

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»



ISSN 1684-8519

ИЗВЕСТИЯ

ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Том 325, № 1, 2014

Ресурсы Планеты

ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ

г. Томск

ИЗВЕСТИЯ ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Сонькин М.А., гл. редактор, д-р техн. наук (Россия)
Глазырин А.С., выпуск. редактор, канд. техн. наук (Россия)
Кириянова Л.Г., выпуск. редактор, канд. филос. наук (Россия)

Ресурсы Планеты

Савичев О.Г., редактор серии, д-р географ. наук (Россия)
Покровский О.С., канд. геол.-минерал. наук (Франция)
Старостенко В.И., д-р физ.-мат. наук (Украина)
Конторович А.Э., д-р геол.-минерал. наук (Россия)
Шварцев С.Л., д-р геол.-минерал. наук (Россия)

Математика, физика и механика

Никитенков Н.Н., редактор серии, д-р физ.-мат. наук (Россия)
Силкин В.М., канд. физ.-мат. наук (Испания)
Коротеев Ю.М., д-р физ.-мат. наук (Россия)
Уленков О.Н., д-р физ.-мат. наук (Россия)
Борисов А.М., д-р физ.-мат. наук (Россия)
Рожкова С.В., д-р физ.-мат. наук (Россия)

Химия и химические технологии

Коршунов А.В., редактор серии, д-р хим. наук (Россия)
Пестряков А.Н., д-р хим. наук (Россия)
Тойпель У., Dsc (Германия)
Джин-Чун Ким, Dsc (Южная Корея)
Ильин А.П., д-р физ.-мат. наук (Россия)

Техника и технологии в энергетике

Заворин А.С., редактор серии, д-р техн. наук (Россия)
Ханьялич К., Dsc. (Нидерланды)
Кабов О.А., д-р физ.-мат. наук (Россия)
Маренго М., PhD (Италия)
Алексеев С.В., д-р физ.-мат. наук (Россия)
Воропай Н.И., д-р техн. наук (Россия)

Информационные технологии

Кочегуров А.И., редактор серии, канд. техн. наук (Россия)
Хамкер Ф.Х., Dsc (Германия)
Руи Д., PhD (Португалия)
Муравьев С.В., д-р техн. наук (Россия)
Спицын В.Г., д-р техн. наук (Россия)

Социально-гуманитарные технологии

Барышева Г.А., редактор серии, д-р экон. наук (Россия)
Завадскас Э.К., PhD, Dsc (Литва)
Касати Ф., PhD (Италия)
Грюнвальд А., PhD (Германия)
Бутовская М.Л., д-р ист. наук (Россия)
Головаха Е.И., д-р филос. наук (Украина)

Входит в Перечень ВАК РФ – ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс по каталогу
агентства «Роспечать» – 18054

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2014

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Журнал «Известия Томского политехнического университета» (Известия ТПУ) – рецензируемый мультидисциплинарный журнал, предназначенный для ученых, исследующих специфику развития техники и технологии в различных научных сферах.

Журнал издается с 1903 года. Учредителем является Томский политехнический университет. Полнотекстовый доступ к электронной версии журнала возможен на сайтах www.elibrary.ru, scholar.google.com

Журнал зарегистрирован Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций – Свидетельство ПИ № 77-16615 от 24 октября 2003 г.

ISSN 1684-8519

Импакт-фактор РИНЦ 2012 – 0,174

Особое внимание в журнале уделяется ключевым проблемам развития современной техники и технологии, что выражается в тематических разделах журнала, охватывающих следующие аспекты науки и техники:

- Ресурсы Планеты
- Математика, физика и механика
- Химия и химические технологии
- Техника и технологии в энергетике
- Информационные технологии
- Социально-гуманитарные технологии

К публикации принимаются статьи, ранее нигде не опубликованные и не представленные к печати в других изданиях.

Статьи, отбираемые для публикации в журнале, проходят закрытое (слепое) рецензирование.

Автор статьи имеет право предложить двух рецензентов по научному направлению своего исследования.

Окончательное решение по публикации статьи принимает главный редактор журнала.

Все материалы размещаются в журнале «Известия ТПУ» на бесплатной основе.

Журнал издается ежемесячно.

К публикации в серию «Ресурсы планеты» принимаются статьи, посвященные широкому кругу проблем наук о земле, ее основным оболочкам, геологии, тектонике, геодинамике, полезным ископаемым, образованию горных пород и руд, водным ресурсам, ландшафтам, геоморфологии, климату, геоэкологии, охране окружающей среды. Особое внимание уделяется проблемам взаимодействия основных компонентов планеты: воды с горными породами, газами, органическим веществом, почвами, техногенными образованиями.

Большое внимание уделяется исследованию проблем геологии и географии Сибири, освоению месторождений нефти и газа, угля, золота, железа, урана, подземных вод, генетическим аспектам формирования кор выветривания, почв, подземных и поверхностных вод, рудных и нерудных полезных ископаемых, разных типов пород, экологическому состоянию окружающей среды, эволюции окружающего мира, проблемам рационального недропользования, экономике минеральных ресурсов, современным методам исследований земли, поискам, разведке и освоению месторождений полезных ископаемых.

Ministry of Education and Science of the Russian Federation
National Research Tomsk Polytechnic University



ISSN 1684-8519

BULLETIN

OF THE TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY

Volume 325, № 1, 2014

The Planet Resources

TPU  PUBLISHING

Tomsk

BULLETIN OF TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY

EDITORIAL BOARD

Sonkin M.A., editor in chief, Dr. Sc. (Russia)
Glazyrin A.S., managing editor, Cand. Sc. (Russia)
Kiryanova L.G., managing editor, Cand. Sc. (Russia)

The Planet Resources

Savichev O.G., *section editor*, Dr. Sc. (Russia)
Pokrovsky O.S., Cand. Sc. (France)
Starostenko V.I., Dr. Sc. (Ukraine)
Kontorovich A.Eh., Dr. Sc. (Russia)
Shvartsev S.L., Dr. Sc. (Russia)

Mathematics, Physics and Mechanics

Nikitenkov N.N., *section editor*, Dr. Sc. (Russia)
Silkin V.M., Cand. Sc. (Spain)
Koroteev Yu.M., Dr. Sc. (Russia)
Ulenekov O.N., Dr. Sc. (Russia)
Borisov A.M., Dr. Sc. (Russia)
Rozhkova S.V., Dr. Sc. (Russia)

Chemistry and Chemical Technology

Korshunov A.V., *section editor*, Cand. Sc. (Russia)
Pestryakov A.N., Dr. Sc. (Russia)
Teipel U., Dsc (Germany)
Jin-Chun Kim, Dsc (South Korea)
Ilyin A.P., Dr. Sc. (Russia)

Power Engineering

Zavorin A.S., *section editor*, Dr. Sc. (Russia)
Hanjalic K., Dsc. (Netherlands)
Kabov O.A., Dr. Sc. (Russia)
Marengo M., PhD (Italy)
Aleksenko S.V., Dr. Sc. (Russia)
Voropai N.I., Dr. Sc. (Russia)

IT Technologies

Kochegurov A.I., *section editor*, Cand. Sc. (Russia)
Hamker F.H., Dsc (Germany)
Rui D., PhD (Portugal)
Muravyov S.V., Dr. Sc. (Russia)
Spitsyn V.G., Dr. Sc. (Russia)

Humanities and Social Sciences Technologies

Barysheva G.A., *section editor*, Dr. Sc. (Russia)
Zavadskas E.K., PhD, DSc (Lithuania)
Casati F., PhD (Italy)
Grunwald A., PhD (Germany)
Butovskaya M.L., Dr. Sc. (Russia)
Golovakha E.I., Dr. Sc. (Ukraine)

AIMS AND SCOPES

Bulletin of Tomsk Polytechnic University (TPU Bulletin) is peer-reviewed multidisciplinary journal owned by Tomsk Polytechnic University. The Journal focuses on the key problems of the development of modern technologies and engineering.

The journal was founded in 1903. The journal is on open access on www.elibrary.ru, scholar.google.com.

The journal is registered internationally (ISSN 1684-8519) and nationally (Certificate PE № 77-166615, October 24, 2003 from the RF Ministry of Press, Broadcasting and Mass Communications).

Topical sections of the Journal focuses on the following aspect of science and engineering:

- The Planet Resources
- Mathematics, Physics and Mechanics
- Chemistry and Chemical Technology
- Power Engineering
- IT Technologies
- Humanities and Social Sciences Technologies

TPU Bulletin publishes only original research articles. All articles are peer reviewed by international experts. Both general and technical aspects of the submitted paper are reviewed before publication. Authors are advised to suggest 2 potential reviewers who are familiar with the research focus of the article. Final decision on any paper is made by the Editor In Chief.

The Bulletin of Tomsk Polytechnic University is published monthly.

The publication of manuscripts is free of charge.

The Planet Resources. The Journal publishes the articles devoted to a wide range of issues of the Earth sciences, its main mantles, geology, tectonics, geodynamics, natural resources, formation of rocks and ores, water resources, landscapes, geomorphology, climate, geoecology, environment protection. The problems of interaction of the main Planet components: water and rocks, gases, organic substance, soils, man-made mineral formations are of special interest. The research of the issues of Siberia geology and geography; development of oil and gas, coal, gold, iron, uranium, ground waters fields; genetic aspects of forming weathering mantle, soils, ground and surface waters, ores and other minerals, various types of rocks; environment ecological state and evolution; problems of sustainable subsoil management; mineral resource economy; up-to-date techniques for exploring the Earth; search, prospecting and development of natural resource fields are of great interest.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

МИНЕРАЛОГИЯ

- Согласование гипотезы электроразрядного образования кимберлитовых трубок с электроразрядным методом синтеза алмаза
Хазанович-Вульф К.К.

ЛИТОЛОГИЯ

- Литология и особенности формирования кембрийских отложений в Юго-Восточной части Западно-Сибирской геосинеклизы
Ковешников А.Е., Конторович В.А., Макаренко С.Н., Татынин Г.М., Терлеев А.А., Токарев Д.А.
- Петро-геохимические особенности и рудоносность двух подтипов анорогенных гранитоидов Горного Алтая
Гусев А.И., Коробейников А.Ф.
- К вопросу о выделении высокоуглеродистых пород в отложениях триаса и юры Западной Сибири по результатам литогеохимических исследований разреза сверхглубокой скважины СГ-7
Столбов Ю.М., Столбова Н.Ф.

ГЕОФИЗИКА

- О результативности метода сопротивлений и вызванной поляризации в варианте электротомографии в условиях Бодайбинского золоторудного района
Мохаммед М.А., Ерофеев Л.Я., Орехов А.Н.
- Закономерности изменения проницаемости коллекторов горизонта Ю, Крапивинского нефтяного месторождения
Шайхиев Д.Р.

ГЕОХИМИЯ

- Закономерности распределения химических элементов в почвах золоторудного месторождения «Пионер» Амурской области
Ляпунов М.Ю.
- Геохимическая типизация магматических образований восточного склона приполярного Урала между речья Сертынья-Манья
Кудрин К.Ю.
- Геохимические особенности голоценового разреза сапропеля озера Минзелинское (Западная Сибирь)
Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Бобров В.А., Кривоногов С.К.
- Геохимическая характеристика подземных вод Нарыкско-Осташкинской площади (Кузбасс)
Домрочева Е.В., Лепокурова О.Е., Сизиков Д.А.

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

- Физико-химические расчеты вторичного минералообразования в озерах Западной Монголии
Колпакова М.Н., Исулов В.П., Шварцев С.Л.
- Перспективы освоения гидрогеотермальных и гидрогеоминеральных ресурсов Казахстана
Абсаметов М.К., Муртазин Е.Ж., Касымбеков Д.А.
- Повышение эффективности гидрогеологических исследований в Казахстане на основе применения новейших информационных технологий
Паничкин В.Ю., Мирошниченко О.Л.
- Геохимия подземных вод приташкентского артезианского бассейна (Республика Узбекистан)
Гусева Н.В., Отакулова Ю.А.

ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

- Структура геохимического поля мезотермального золоторудного месторождения Западное (ленский рудный район)
Гаврилов Р.Ю., Хряпин Д.А.
- Ресурсоэффективная стратегия поисков залежей нефти в доюрском основании Западной Сибири
Сунгурова О.Г., Мазуров А.К., Исаев В.И.

MINERALOGY

- 7 Harmonization of hypothesis of an electric discharge formation of kimberlite pipes with an electric discharge diamond synthesis
Khazanovitch-Wulff K.K.

LITHOLOGY

- 16 Lithology and features of formation of Cambrian deposits in South-East part of the West Kiberian geosyncline
Koveshnikov A.E., Kontorovich V.A., Makarenko S.N., Tatyain G.M., Terleev A.A., Tokarev D.A.
- 27 Petro-geochemical peculiarities and ore mineralization of two subtypes of anorogenic granitoids in Mountain Altai
Gusev A.I., Korobeynikov A.F.
- 35 High-carbon rock release in deposits of Triassic and Jurassic periods in Western Siberia by lithochemical research of super-deep well SG-7 section
Stolbov Yu.M., Stolbova N.F.

GEOPHYSICS

- 42 Efficiency of resistivity and induced polarization method in electrical tomography modification in Bodaybo golden ore district
Mohammed M.A., Erofeev L.Y., Orekhov A.N.
- 50 Patterns of reservoir permeability variation of J₁ Krapivinskoe oilfield horizon
Shaykhiev D.R.

GEOCHEMISTRY

- 57 Regularities of chemical elements distribution in soils of gold mine «Pioner» of the Amur region
Lyapunov M.Yu.
- 69 Geochemical classification of magmatic formations of the Prepolar Urals eastern slope in Sertynya-Manya interfluve
Kudrin K.Yu.
- 83 Geochemical features of Holocene section of Minzelsinskoe lake sapropel (Western Siberia)
Maltsev A.E., Leonova G.A., Bobrov V.A., Krivonogov S.K.
- 94 Geochemical characterization of underground water of the Naryksko-Ostashkinskaya area (Kuzbass)
Domrocheva E.V., Lepokurova O.E., Sizikov D.A.

HYDROGEOLOGY

- 102 Physical and chemical calculations of secondary mineralogenesis in lakes of Western Mongolia
Kolpakova M.N., Isupov V.P., Shvartsev S.L.
- 110 Prospects of development of hydrogeothermal and hydrogeomineral resources of Kazakhstan
Absametov M.K., Murtazin Y.Zh., Kasymbekov D.A.
- 118 Increase of hydrogeological investigation efficiency in Kazakhstan applying the newest informational technologies
Panichkin V.Yu., Miroshnichenko O.L.
- 127 Geochemistry of groundwater in Tashkent artesian basin (Republic of Uzbekistan)
Guseva N.V., Otakulova Yu.A.

GEOLOGY AND MINERALS

- 137 Structure of geochemical field of mesothermal gold ore deposit Zapadnoe (Lensk ore area)
Gavrilov R.Yu., Khryapin D.A.
- 147 Resource efficient search strategies of oil deposits in the pre-Jurassic base of Western Siberia
Sungurova O.G., Mazurov A.K., Isaev V.I.

<p>Петрология гидротермального метасоматизма долеритов внутрирудных даек мезотермальных месторождений золота. Ч. 1. Кедровское месторождение (Северное Забайкалье) Кучеренко И.В.</p>	<p>155</p>	<p>Petrology of hydrothermal metasomatism of intra-ore dolerite dikes of mesothermal gold deposits. P. 1. Kedrovskoe deposit (north trans-Baikal) Kucherenko I.V.</p>
<p>ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ</p>		
<p>Актуальность буровзрывных работ с прямыми врубами при проведении горизонтальных горно-разведочных выработок с влиянием геолого-структурных особенностей массива Масловский А.Н., Лукьянов В.Г.</p>	<p>166</p>	<p>Relevance of drilling and blasting operations with direct cuts when carrying out horizontal rock and exploration excavations with influence of geological and structural features of the rock massif Maslovsky A.N., Lukyanov V.G.</p>
<p>Аналитическое исследование временной прочностной характеристики горной породы при резании-скалывании резцами PDC Борисов К.И., Рубцов В.Л.</p>	<p>172</p>	<p>Analytical investigation of rock temporal strength property at PDC cutting Borisov K.I., Rubtsov V.L.</p>
<p>Современные представления о технологических процессах при отработке продуктивных пластов методом скважинной гидродобычи Бондарчук И.Б., Рябчиков С.Я.</p>	<p>180</p>	<p>Modern concepts of technological processes in development of productive formations by hydraulic borehole mining Bondarchuk I.B., Ryabchikov S.Ya.</p>
<p>ГЕОЭКОЛОГИЯ</p>		
<p>Редевелопмент как средство экологизации землеустройства урбанизированных территорий Попов В.К., Сeryakov С.В., Сeryakova P.Э.</p>	<p>191</p>	<p>Redevelopment as a means of urban land use planning ecologization Popov V.K., Seryakov S.V., Seryakova R.E.</p>
<p>Способы утилизации теплового ресурса и стабилизации экологической ситуации на ликвидируемых угольных предприятиях Инкин А.В.</p>	<p>198</p>	<p>Methods of utilizing thermal resource and stabilizing ecological situation on the closed coal enterprises Inkin A.V.</p>
<p>Биогеохимическая характеристика сфагновых мхов и эпифитных лишайников в районах нефтегазодобывающего комплекса Томской области Межибор А.М., Большунова Т.С.</p>	<p>205</p>	<p>Biogeochemistry of Sphagnum moss and epiphytic lichens in oil and gas exploration areas of Tomsk region Mezhibor A.M., Bolshunova T.S.</p>
<p>TECHNOLOGY AND TECHNIQUE OF EXPLORATION WORK</p>		

УДК 550.8:553.81:523.681.8:548.5

СОГЛАСОВАНИЕ ГИПОТЕЗЫ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО ОБРАЗОВАНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК С ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫМ МЕТОДОМ СИНТЕЗА АЛМАЗА

Хазанович-Вульф Константин Константинович,

канд. геол.-минерал. наук, зам. Председателя Отделения планетологии
Русского Географического Общества, СПб, 190000, пер. Гривцова, д. 10.

E-mail: ojb37@mail.ru

Актуальность и цель исследования. Впервые в геологической литературе, посвященной проблемам алмазообразования, приводится сопоставление новейших данных по синтезу алмаза и гипотез образования кимберлитовых трубок.

Методы исследования: анализ данных о происхождении кимберлитовых трубок. Отмечается, что только одна гипотеза – электроразрядного происхождения трубок – соответствует результатам лабораторных исследований синтеза алмаза с помощью электроразряда. С конца 50-х гг. XX в. электроразрядный способ синтеза алмаза используется во многих странах и признается исследователями в качестве одного из самых эффективных методов искусственного алмазообразования. В начале XXI в. отечественных исследователей В.В. Дигонского, С.В. Дигонского, В.К. Гаранина и др. это обстоятельство натолкнуло на мысль: не является ли электроразряд источником формирования алмаза в природных условиях, в процессах образования кимберлитовых «трубок взрыва»? Между тем, еще в начале 70-х гг. две немногочисленные группы исследователей, томская, под руководством проф. А.А. Воробьева, и московская, состоявшая из двух геологов-алмазников, К.М. Алексеевского и Т.Т. Николаевой, независимо друг от друга сделали первые шаги в разработке новой, электроразрядной, гипотезы образования кимберлитовых трубок.

Результаты и выводы. Сходимость выводов двух групп независимых друг от друга исследователей об участии электроразряда в образовании алмаза, с одной стороны, и кимберлитовых трубок, с другой, должна явиться решающим фактором в создании новой теории природного алмазообразования.

Ключевые слова:

Электроразряд, синтез алмаза, образование алмаза, кимберлитовые трубки, происхождение диатрем.

Введение

Авторы многочисленных публикаций о геологии кимберлитов и алмазных месторождений в настоящее время практически единодушны в своем мнении о мантийном происхождении кимберлитовых трубок. Многочисленные противоречия и несоответствия, связанные с мантийной моделью, не рассматриваются. Дискуссия о происхождении кимберлитовых трубок прекратилась. Между тем неустраиваемая гипотеза их электроразрядного происхождения в 2012 г. уже «отметила» свое 40-летие. Цель настоящей статьи – выяснить, насколько эта гипотеза соответствует результатам синтеза алмаза методом электроразряда.

Электроразрядная гипотеза образования кимберлитовых трубок

Эта гипотеза до настоящего времени не взята на вооружение специалистами в области алмазной

геологии и не обсуждается в печати или на специализированных конференциях. Она остается просто незамеченной официальной наукой и ее многочисленными представителями. Однако гипотеза уже привлекла внимание некоторых зарубежных геологов и журналов. Так, австралийский журнал «New Concepts Global Tectonics Newsletter» опубликовал статью автора в 2007 г., а другой журнал «Australian Institute of Geoscientists Letters» – «AIG News» (г. Перт) полностью перепечатал ее на своих страницах в 2008 г.

В начале 70-х гг. XX в. эта гипотеза разрабатывалась и была предложена выдающимся томским электрофизиком проф. А.А. Воробьевым, 100-летие которого было широко отмечено научной общественностью России в 2009 г. [1] (рис. 1). Он пришел к очень важным выводам в области «электрогеологии» в результате лабораторных исследований электропробоя диэлектриков и полупроводников.



Рис. 1. Эмблема конференции в г. Томске, посвященной 100-летию Александра Акимовича Воробьева

Самое большое значение для понимания загадочных особенностей кимберлитовой геологии имеют соображения А.А. Воробьева 1975 г. [2] о возможности электроразрядов в недрах Земли («подземных гроз»). По его данным, образование канала из недр и кольцевых структур на поверхности Земли может быть связано с результатами электрического разряда в недрах и его взрывного действия, флуктуационного механизма разрушения пород в высоких электрических полях и оплавления стенок канала и кратера. При плавлении горных пород в канале электрического разряда будут образовываться и накапливаться газы, которые только на последнем этапе окажут взрывное действие и образуют воронку взрыва.

В земных недрах возможно накопление объемного заряда до значения, при котором напряженность поля достигает величины прочности диэлектрика. По А.А. Воробьеву это должно вызвать пробой, в результате чего накопившийся заряд потечет по каналу разряда. В разряде можно ожидать выделение энергии до $1,44 \cdot 10^8$ эргов, что соответствует энергии слабого землетрясения. Поскольку время разряда составляет около 10^{-7} секунды, то мгновенная мощность оценивается в 10^{20} ватт (при средней мощности при землетрясениях 10^{10} ватт).

Итак, между недрами и поверхностью Земли, по Воробьеву, могут происходить электрические разряды, в результате которых образуется канал, заполненный раскаленным газом (плазмой), который с огромной скоростью вырывается наружу, производя разрушения в верхней части канала, образуя взрывную воронку (раструб трубки) и заполняя ее туффизитовым материалом с ксенолитами вмещающих пород. Вслед за газом по каналу поднимается магматический расплав.

Два специалиста в области алмазной геологии, сотрудники Лаборатории Осадочных Полезных Ископаемых (ЛОПИ) АН СССР К.М. Алексеевский и Т.Т. Николаева в 1972 г. совершенно независимо от А.А. Воробьева предложили гипотезу электроразрядного происхождения кимберлитовых трубок [3]. Только 16 лет спустя, в 1988 г., они смогли опубликовать две небольших статьи тезисного содержания [4, 5]. Развернутое же изложение своей гипотезы авторы привели в машинописном отчете 1972 г. В этой работе они рассмотрели основные детали кимберлитовой геологии, свидетельствующие

щие в пользу электроразрядного происхождения диатрем. Полное изложение их соображений опубликовано в книге автора [6].

Новые идеи об электроразрядах в недрах Земли и связанных с ними структурах не остались без внимания со стороны некоторых геологов. Так, О.А. Степанов в 1989 г. поддержал концепцию А.А. Воробьева и высказал мнение, что электрическая энергия, сконцентрированная на небольшом участке, может быть достаточной для образования кимберлитовых трубок и взрывных структур более крупного масштаба [7].

Читинский геофизик С.Ю. Баласанян в 1990 г. также пришел к выводу, что в литосфере за счет длительного накопления геоэлектрической энергии могут развиваться электрические пробои горных пород, заключенных между положительно заряженными магматическими очагами и отрицательно заряженной поверхностью Земли. В условиях твердого вещества литосферы электрический пробой должен сопровождаться тепловым пробоем. Баласаняном был сделан важный вывод: роль «спускового механизма» пробоя должно сыграть резкое повышение отрицательного заряда на поверхности Земли под действием атмосферного электричества [8].

Что же могло привести к резкому и внезапному увеличению атмосферного электричества? Какие процессы могли инициировать создание условий, необходимых для электрических пробоев земной коры? К сожалению, Баласанян не рассматривал этот вопрос более детально. Алексеевский и Николаева полагали, что причиной электрических возмущений недр Земли являлись какие-то глобальные космические события, но более детально этот вопрос ими также не рассматривался. При этом они высказали предположение, что эти космические события должны были инициировать образование разновозрастных кимберлитовых трубок на различных континентах Земного шара.

«Болидная модель» образования кимберлитовых трубок

Соображения о возможности накопления на метеорном теле (МТ) электрических зарядов и их дальнейшем взаимодействии с поверхностью Земли впервые были высказаны в 1958 г. известным советским ученым И.С. Астаповичем [9], а позже – В.П. Докучаевым [10], В.В. Ивановым и Ю.А. Медведевым [11], В.Ф. Соляником [12, 13] и А.П. Невским [14]. Согласно их данным, МТ в атмосфере Земли накапливает на себе электрический заряд и индуцирует его на земную поверхность (рис. 2).

По И.С. Астаповичу, движение МТ в атмосфере связано с диссоциацией молекул, ионизацией атомов и, следовательно, с возникновением и разделением зарядов разных знаков и их перемещением. Этот процесс не может не создавать электромагнитного поля, распространяющегося от метеора и его следа. При достижении поверхности Земли это

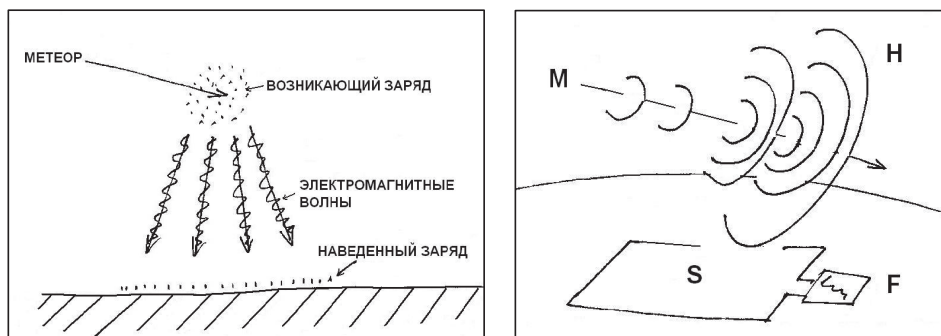


Рис. 2. Электромагнитные явления при пролете метеоров, по И.С. Астаповичу [9]. Слева – метеороэлектрические (метеоромагнитные) явления (эта схема была использована автором настоящей статьи при создании «болидной модели» [6, 15]); справа – метеоромагнитный эффект: движение метеора (M) вызывает перемещение электрических зарядов, создающих магнитное поле (H), которое инициирует в контуре S поток индукции, измеряемый флюксометром (F)

поле отражается от нее, и перемещение зарядов создает эквивалентную мощность токов порядка многих ампер, могущих вызвать индуктивно-электрические и магнитные явления у земной поверхности.

Время показало, что данные Астаповича являются абсолютно верными, хотя до сих пор не признаются официальной наукой. Между тем, к настоящему времени установлено, что ВСЕ российские крупные болиды XX и начала XXI вв. были: а) электрофонными (т. е. источниками звуков не акустической, а электромагнитной природы); б) источниками сильных электрических воздействий на природные и техногенные земные объекты, в частности на электро-, радио- и телеаппаратуру [15, 16]. Так, при взрыве *Сихотэ-Алинского* МТ в 1947 г. монтер получил удар током от отключенной телефонной линии, на которой он работал. В 1984 г. при пролете над Сибирью *Чулымского* болида отмечались телевизионные помехи, перегорание электрических лампочек, выход из строя автоматов уличного освещения и т. п. *Витимский* болид 2002 г. был генератором электрического тока в отключенной из-за ремонта электросети. В близкорасположенных поселках Мама и Луговка при пролете между ними болида в полнакала загорелся свет в люстре у начальника аэропорта в пос. Мама, а на ограде аэродрома возникли огни Св. Эльма. В поселке Луговка загорелся свет в отключенных торшерах. При пролете и взрыве *Челябинского* «метеорита» 2013 г. у горожан вышла из строя мобильная связь. Несколько десятков независимых свидетелей указали, что во время полета этого болида они слышали шипение, часто сравнивая его с бенгальскими огнями (электрофонные явления), а более пятидесяти человек просто сообщили о звуках без подробного описания. Это было за несколько минут до прихода ударной волны.

Таким образом, можно констатировать, что электромагнитные излучения, исходящие от болидов во время их полетов, и их воздействие на земные объекты являются свойством, которое не требует каких-либо новых дополнительных подтверждений.

В начале 90-х гг. к числу немногочисленных сторонников электроразрядной гипотезы происхождения кимберлитовых трубок присоединился и автор этих строк [17–19]. Анализируя известную в геологии закономерность пространственно-временной общности диатремовых полей и кольцевых структур, он высказал предположение, что последние представляют собой астроблемы, а цепочки таких структур отражают траекторию пролета болидов *астероидных размеров*. Особенно четко это предположение выражено на плато Швабский Альб в Германии, где находящиеся на одной прямой линии диатремовое поле Урах и астроблема Штейнхейм и Рис имеют один и тот же возраст – 14,8 Ма [17]. В дальнейшем автор увеличил количество подобных примеров для всех континентов Земного шара (кроме Антарктиды) до 27 [15].

Из всего этого следовало важное предположение: **вхождение в атмосферу крупных, астероидных размеров, метеорных тел сопровождается накоплением на них электрических зарядов столь большой мощности, что именно они и являются источниками ни с чем не сравнимых электрических возмущений в атмосфере и в недрах Земли, и в качестве «спускового механизма» инициируют электрические пробой в земной коре.**

Эту концепцию поддержал, развил и обосновал кемеровский физик В.Ю. Казнев. Суть ее многократно изложена автором этих строк в печати [6, 15, 18–21]. Однако прежде чем перейти к детальному рассмотрению «болидной модели», остановимся на главных проблемных вопросах кимберлитовой геологии.

Некоторые проблемные вопросы кимберлитовой геологии

Несмотря на более чем вековую историю исследований, кимберлитовые трубки (КТ), как и трубки (=диатремы) с наполнителями другого вещественного состава, представляют собой объекты, образование которых связано с целым рядом непонятных геологических процессов и обстоятельств.

Структурное положение полей и зон. Геологами неоднократно делались попытки приурочить

структурную позицию кимберлитовых полей на Сибирской, Русской и других платформах к региональным тектоническим зонам. Однако, по мнению целого ряда геологов-алмазников, в частности В.А. Милашева [22], представленные варианты расположения таких зон явно противоречивы, не соответствуют друг другу и представляют собой результат крайней субъективной интерпретации в условиях недостаточности геолого-геофизических данных, что неоднократно отмечалось в научной печати (обзор этих данных в [6, 15]). Несмотря на непрекращающиеся попытки привязать кимберлитовые поля и зоны к каким-либо региональным разломам, зонам их пересечения или повышенной проницаемости и т. п., убедительных примеров существования таких связей нет, и совершенно очевидно, что эти зоны не имеют к размещению кимберлитов никакого отношения. На основании выводов известных отечественных и зарубежных исследователей кимберлитов (К) установлено, что:

- а) К-поля не имеют резко выраженных границ, которые отражались бы в структуре чехла или фундамента;
- б) локализация К-полей не связана ни с региональными разломами, ни с узлами их пересечения;
- в) К-зоны имеют независимую структурную позицию и также не связаны с зонами разломов.

Одна из последних попыток выявить, что же контролирует размещение кимберлитовых полей, предпринята в монографическом обобщении сибирских геологов [23], в котором убедительные примеры тектонического контроля также отсутствуют. Авторы считают, что размещение кимберлитов **контролируется «зонами лучевой проницаемости»**, в которой фиксируются не сами разломы, а поля разноориентированной интенсивной трещиноватости. При этом они не рассматривают альтернативную точку зрения, согласно которой такие поля могут быть не *причиной*, а *следствием* образования КТ [6, 15]. А интерпретация спрямленных линий на космоснимках (*линеаментов*), имеющих якобы генетическую связь с полями или зонами К-трубок, не имеет убедительных примеров.

Достоверно установлено, что К-поля могут быть приурочены к куполовидным структурам [24], однако анализ этих данных позволяет считать, что:

- а) образование КТ и куполовидных структур – это единый процесс, связанный с интродуцирующей силой внедряющегося К-расплава;
- б) куполообразные структуры, соответствующие К-полям, могли образоваться в результате одновременного («залпового») внедрения магматического расплава. Такая интерпретация соответствует данным, согласно которым рассматриваемые купольные поднятия постепенно выполаживаются и исчезают с глубиной [24], что свидетельствует об их приповерхностном характере [15].

Подводя итоги изложенному анализу, можно сделать следующий вывод: **главная закономерность в размещении К-полей и зон заключается в отсутствии у них универсальных пространственных связей с более древними структурами земной коры, в их независимой («индифферентной») позиции относительно этих структур [6, 15].**

КТ – «окна в мантию» или «окна в земную кору»?

Целый ряд фактических данных свидетельствует против господствующей в настоящее время гипотезы мантийного происхождения КТ. Вот только некоторые из них:

Дефицит магматического расплава является одной из характерных особенностей диатрем, в том числе и КТ. Этого расплава не хватает даже для того, чтобы заполнить трубки до их устьев, где в конечном итоге могут образовываться озера («маары»). Если бы к этому имела отношение мантия, то продукты ее плавки не были бы так строго дозированы и должны были бы проявиться более широко и в больших количествах, чего нет на самом деле.

Химический состав кимберлитов указывает на их происхождение из первично-осадочных пород, что отмечает целый ряд исследователей [25].

Присутствие в составе кимберлитов мантийных пород и минералов не является однозначным свидетельством их мантийной природы, поскольку в процессе своего внедрения К-расплавы захватывают в виде ксенолитов бывшие мантийные породы, присутствующие на различных уровнях земной коры (пример с районом Крушны Горы, Чехия [6]). Другая часть, высокобарические («псевдомантийные») минералы, может образовываться в канале электроразряда. Такую возможность предполагал и А.А. Воробьев [2]: с помощью явлений «подземной грозы», по его мнению, можно удовлетворительно объяснить образование в литосфере химических соединений, входящих в состав минералов. Процессы образования химических соединений или получения химических элементов, их миграции и перераспределения в земной коре могут происходить за счет энергии электрического поля при наличии полей высокой напряженности.

Необходимые условия для К-выплавки ($T=1200...1300^{\circ}$, $P=30-40$ Кбар) могут создаваться не в результате статической нагрузки на глубинах 200...250 км, а в следствие *анатексиса* в локальных очагах земной коры как результата взрывов электроразрядной природы. Кимберлиты, как и все другие заполнители диатрем, таким образом, скорее всего, представляют собой *анатектиты*. Такой вывод, опять-таки, как нельзя лучше согласуется с представлениями А.А. Воробьева: *«Вулканическая деятельность на небесном теле обычно рассматривается как свидетельство наличия в нем горячих недр. В нашей гипотезе выходу в поверхностные слои или растеканию лавы по поверхности небесного тела предшествует плавление... вещества недр в электрическом поле и обра-*

зование магмы в процессе флуктуационного теплоэлектрического пробоя; этот вывод не предполагает наличия в недрах планеты жидкого расплава в месте извержения, обладающего высокой электропроводностью» [2. С. 134].

Эти пророческие предвидения выдающегося ученого можно расценивать как однозначный вывод: *кимберлиты являются «окнами» не из мантии, а из земной коры. Протяженность кимберлитовых диатрем в земной коре обусловлена положением верхнего слоя повышенной электропроводности и составляет всего лишь несколько километров [15]. Именно с этим слоем и должен вступить во взаимодействие заряд, наведенный космическим телом на земную поверхность.*

Этот вывод хорошо согласуется с представлениями современных геологов о строении кимберлитовых трубок: в существующих моделях трубки выклиниваются вниз по разрезу на глубине в несколько километров, а их предполагаемым продолжением являются или дайки, или проблематичные тонкие подводные каналы, уходящие в глубину недр до мантии. Естественно, что такая трактовка базируется лишь на интуиции авторов этих моделей и никак не подкрепляется данными бурения или геофизики. Популярно предположение, что по мере прохождения «всплывающего» мантийного расплава подводные каналы сначала «выжимают» его, а затем *захлопываются* [25], что представляется крайне маловероятным процессом.

Решение проблемных вопросов кимберлитовой геологии с помощью электроразрядной гипотезы

С позиции электроразрядной гипотезы все вышеперечисленные проблемные вопросы получают удовлетворительное объяснение. Согласно гипотезе, вторжение в атмосферу Земли метеорных тел астероидных размеров приводит к громадным электрическим возмущениям в атмосфере Земли и сопровождается: накоплением на МТ мощных электрических зарядов, их индукцией на поверхность Земли, электроразрядным взаимодействием наведенных полей с электрополями на различных уровнях земной коры в зонах повышенной электропроводности; пробоем верхней части коры и образованием диатрем [15, 21].

С позиции электроразрядной модели становится понятным:

- а) *независимая структурная позиция диатремовых полей и зон*, которая определяется положением *траектории* болидов и, естественно, никак не может зависеть от геологического строения территории;
- б) *природа анатексиса как результата взрыва*, спровоцированного электроразрядом; представления об анатексисе в земной коре, создающем *псевдомантийные* условия для образования ряда минералов и соединений на глубинах в несколько километров от поверхности Земли, снимает все (или, по крайней мере, большинство) противоречий кимберлитовой геологии;

- в) *индивидуальность этого процесса* в каждой отдельно взятой трубке, что отражено в специфическом химическом, петрографическом и минеральном составе их заполнителей;
- г) *пространственно-временная связь* между астроблемами и полями диатрем;
- д) *оплавленные стенки* в нижней части отработанной кимберлитовой трубки Кимберли (ЮАР) [26].

Электроразрядная гипотеза образования кимберлитовых трубок все расставляет по своим местам: образование трубчатого канала и алмазов является *следствием* электроразряда, создающего расплав внутри трубки и мгновенный нагрев ее стенок.

Несомненно, что «болидная модель» представляет собой только один из возможных вариантов создания условий, благоприятных для приведения в действие механизма электрического разряда. Вероятно, что существовали и другие варианты этих условий, в частности создание мощных электрических полей при перемещении кратонов над «горячими точками» (плюмами). В последнем случае образующиеся диатремовые зоны должны последовательно становиться более молодыми в одном направлении и более древними в противоположном. Канадские геологи Л. Хеман и Б. Кьярсгаард [27] подобную зону выделяют в восточной части Сев. Америки, опираясь на наиболее точные определения абсолютного возраста по перовскиту, и их доводы нельзя не признать убедительными. Возможно, что одной из таких зон в Сибири является пологая диатрем на восточном склоне Анабарского щита, как ее рассматривает А.Н. Житков [28]. Но из-за отсутствия обновленных радиологических определений подтвердить или опровергнуть эту гипотезу пока нельзя. Причина электроразрядных взаимодействий между плюмом и поверхностью Земли остается еще непонятной, а сам механизм – проблематичным.

Электроразрядный метод синтеза алмаза

О возможностях электроразрядного происхождения алмаза свидетельствуют результаты лабораторных способов его превращения из углеродосодержащих веществ. Об этом говорят результаты экспериментов по синтезу алмазов, проведенных в конце 50-х – начале 60-х гг. целым рядом исследователей. Все они запатентовали новые способы получения кристаллов алмаза в результате практически мгновенных электрических разрядов, пропущенных через углеродсодержащее вещество.

Так, сотрудником фирмы «Дженерал Электрик» Ф. Банди в 1958 г. превращение графита в алмаз осуществлялось при давлении порядка 120–130 кбар и температурах около 3000 К. Для создания высоких температур через графит пропускался импульс тока большой силы при замыкании батареи конденсаторов на графитовый нагреватель. Продолжительность импульса составляла несколько десятков миллисекунд [29].

Японец *К. Иноуэ* в результате обширных экспериментов установил, что необходимые для синтеза алмаза высокая температура и высокое давление могут быть реализованы при использовании искрового электрического разряда, при котором происходит синтезирование алмазных частиц из графита или аморфного углерода [30].

Р. Дальберг в 1961 г. при синтезе алмаза рассматривал электрический разряд только как способ нагрева графита, а гидравлическое сжатие использовал для создания сверхвысокого давления [30].

В 1965 г. французский исследователь *М. Бланк* предложил способ синтеза алмаза с помощью электрического разряда для создания высокой температуры и сверхвысоких давлений, в результате чего доказал, что синтез возможен без применения гидравлических прессов. Энергия разряда в несколько десятков тысяч джоулей приводила не только к нагреву графита, но также была источником мощной ударной волны очень высокого давления [30, 31].

Таким образом, идея электроразрядного синтеза алмаза, зародившаяся еще в начале второй половины XX в., воплотилась в целый ряд положительных экспериментов, с помощью которых была доказана ее состоятельность. Эти эксперименты продолжались и на рубеже XX–XXI вв. Так, *В.В. Дигонский* и *С.В. Дигонский* [30] пришли к выводу, что образование алмаза в условиях гидравлического сжатия и электрического нагрева исходных веществ происходит при интенсивном импульсном нагреве химической системы.

В.К. Гаранин, *С.В. Дигонский* и *В.П. Кудрявцева* [31, 32] предложили модель газофазного образования природного алмаза. Согласно этой модели, для превращения газообразных соединений углерода в алмаз **логично искать в кимберлитах не условия создания сверхвысокого давления, а условия мгновенного роста температуры**. Авторы считают, что возможность мгновенного нагрева естественных углеводородов и оксидов углерода кимберлитовой магмой определяется самой природой кимберлитовых трубок, называемых «трубка-ми взрыва».

Таким образом, цитируемые исследователи вплотную приблизились к проблеме образования кимберлитовых трубок и к гипотезе их электроразрядного механизма, согласно которой в результате мгновенного нагрева пород, образования плазмы в канале разряда и практически одновременного взрывного действия создаются как раз те самые условия для образования алмазов, которые были созданы при проведении экспериментов.

Рассматривают они и вопрос: имеет ли мантия отношение к месту образования алмазов? По этому поводу *С.В. Дигонским* и *В.В. Теном* [33. С. 208] был сделан важный вывод: *«Поскольку мгновенный нагрев газообразных соединений углерода предполагает наличие градиента температуры, то отсутствие такого градиента в условиях мантии делает невозможным образование в мантии алмазов вне зависимости от давления»*. Как

мы видим, этот вывод как нельзя лучше согласуется с концепцией немантийного, корового, происхождения кимберлитового расплава.

Выводы

Установленная опытным путем возможность синтеза алмаза при электрическом разряде неизменно приводит к выводу о возможности такого процесса и в природных условиях. Электроразряд в качестве предполагаемого механизма образования кимберлитовых трубок прекрасно вписывается в изложенные представления о синтезе алмаза и, несомненно, является источником того мгновенного нагрева, который необходим для его образования.

Это – еще один серьезный довод в пользу действительности электроразрядной гипотезы. Ни одна другая гипотеза, ни мантийная, ни гипотеза субдукции, ни гипотеза горячей точки, не предусматривают *внезапного импульсного* нагрева углеродсодержащих соединений с дальнейшим образованием алмаза. Алмаз, согласно приверженцам этих гипотез, образуется в мантии, где существуют необходимые для этого статические давления и температура. Каким-то образом этот алмазоносный расплав должен со скоростью курьерского экспресса преодолеть расстояние в 200...250 км до приповерхностных слоев земной коры [25]. Учитывая то, что этот расплав должен одновременно пробивать себе путь в породах литосферы в условиях отсутствия тектонических подводящих каналов или глубинных разломов, минимальная скорость его подъема (около 180 км/ч) представляется совершенно нереальной. При меньших же значениях скорости алмазы не успеют просочиться опасную для них зону графитизации и не смогут сохраниться в быстро остывающем расплаве.

Сопоставление последних результатов синтеза алмаза с помощью электроразрядной методики, с одной стороны, и гипотезы электроразрядного происхождения кимберлитовых трубок, с другой, показывает следующее:

- Электроразрядная гипотеза происхождения кимберлитовых трубок представляет собой хорошо обоснованную фактическим материалом концепцию, которая вот уже 40 лет пробивает себе дорогу к умам геологического сообщества. Бolidный вариант этой гипотезы, предложенный автором в 1991 г., связывает электроразряды в недрах Земли с наведением сильных электрических полей со стороны входящих в атмосферу крупных (астероидных размеров) космических тел, образующих астроблемы при достижении земной поверхности. В настоящее время, как и 40 лет назад, процесс вхождения космических тел рассматривается исследователями без привлечения данных об энергетических воздействиях с их стороны на поверхность и недра Земли, несмотря на неоспоримые факты существования такого воздействия даже у небольших (первые сотни метров) метеороидов. В результате на вооружении у современной гео-

логии один из важнейших процессов формирования геологических структур – электроразрядный – отсутствует. Такое положение не должно сохраниться надолго и нуждается в исправлении. Время ликвидирует эту ошибку.

- Исследователи синтеза алмаза уже вплотную подошли к решению проблемы его природного образования с учетом электроразрядного механизма синтеза в твердых и газообразных веществах. Они пришли к важному выводу, что

только электроразряд может удовлетворить условию создания импульсного нагрева исходных веществ для синтеза алмаза.

- Сходимость выводов двух групп независимых друг от друга исследователей разного профиля об участии электроразряда в образовании алмаза, с одной стороны, и кимберлитовых трубок, с другой, не может быть случайной и должна явиться решающим фактором в создании новой теории природного алмазобразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хазанович-Вульф К.К. Электроразрядная гипотеза происхождения кимберлитовых трубок и роль А.А. Воробьева в ее становлении // Становление и развитие научных исследований в высшей школе: Сборник трудов Междунар. научн. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – Т. 2. – С. 402–408.
2. Воробьев А.А. Физические условия залегания и свойства глубинного вещества (Высокие электрические поля в земных недрах). – Томск: Изд-во ТГУ, 1975. – 296 с.
3. Алексеевский К., Николаева Т. Загадки кимберлитов // Знание – Сила. – 1972. – № 4. – С. 30–31.
4. Алексеевский К.М., Николаева Т.Т. Роль взрыва в кимберлитовой трубке // Бюлл. МОИП, Отдел. геол. – 1988. – Т. 63. – Вып. 5. – С. 131.
5. Алексеевский К.М., Николаева Т.Т. Взрывы ли образуют трубки взрыва? // Проблемы магматизма, метаморфизма и рудения Дальнего Востока: тезисы докладов IV Дальневосточного Регионального Петрографического совещания. – Ю.-Сахалинск, 1988. – С. 20–22.
6. Хазанович-Вульф К.К. Диатремовые шлейфы астроблем или «болидная модель» образования кимберлитовых трубок. – Петрозаводск: ГЕОМАСТЕР, 2007. – 272 с. URL: http://smerdyachee.ucoz.ru/load/k_k_khazanovich_vulf/3 (дата обращения: 10.04.2013).
7. Степанов О.А. Взрывной механизм формирования структур центрального типа // Сов. Геология. – 1989. – № 12. – С. 95–104.
8. Баласанян С.Ю. Динамическая геоэлектрика. – Новосибирск: Наука, 1990. – 232 с.
9. Астапович И.С. Метеорные явления в атмосфере Земли. – М.: Физматгиз, 1958. – 640 с.
10. Докучаев В.П. Электрический разряд при полете метеоров в атмосфере Земли // Докл. АН СССР. – 1960. – Т. 131. – № 1. – С. 78–81.
11. Иванов В.В., Медведев Ю.А. Об электрическом эффекте крупных метеорных тел // Геомагнетизм и аэронавигация. – 1965. – Т. 5. – № 2. – С. 31–33.
12. Соляник В.Ф. Метеорит и электрическое поле // Юный техник. – 1959. – № 3. – С. 64–65.
13. Соляник В.Ф. Тунгусская катастрофа 1908 г. в свете электрической теории метеорных явлений // Взаимодействие метеорного вещества с Землей. – Новосибирск: Наука, 1980. – С. 178–188.
14. Невский А.П. Явление положительного стабилизирующего электрического разряда и эффект электроразрядного взрыва крупных метеоритных тел при полете в атмосфере планет // Астроном. Вестник. – 1978. – Т. 12. – № 4. – С. 206–215.
15. Хазанович-Вульф К.К. Астероиды, кимберлиты, астроблемы. – СПб: Изд-во Геомастер, 2011. – 192 с. http://smerdyachee.ucoz.ru/load/k_k_khazanovich_vulf/3 (дата обращения: 10.04.2013).
16. Khazanovitch-Wulff K.K. Electric influences of bolides // Asteroid-Comet Hazard-2009: International Conference. – Russia, St. Petersburg, 2009. – P. 233–234.
17. Хазанович-Вульф К.К. Космогенная модель становления и размещения диатрем и вопросы металлогении кимберлитов // Докл. АН СССР. – 1991. – Т. 319. – № 6. – С. 1409–1412.
18. Хазанович-Вульф К.К. Космогенный фактор образования диатрем // Зап. СПб Горного ин-та. – 1992. – Т. 134: «Концептуальные основы геологии». – С. 141–152.
19. Хазанович-Вульф К.К. Космогенный и эндогенный факторы образования взрывных геологических структур // Доклады АН СССР. – 1994. – Т. 337. – № 1. – С. 83–87.
20. Khazanovitch-Wulff K.K. Geological consequences of large meteoric bodies' rapprochement with the Earth. Electrical factor // New Concepts in Global Tectonics Newsletter. – 2007. – № 43. – P. 18–21
21. Khazanovitch-Wulff K.K. Some problems and questions of kimberlite geology and electric discharge hypotheses // New Concepts in Global Tectonics Newsletter. – 2011. – № 61. – P. 88–94.
22. Милашев В.А. Геология кимберлитов // Труды ВНИИОкеангеология. – 2010. – Т. 217. – 334 с.
23. Минералогия платформенного магматизма (траппы, карбонаты, кимберлиты) / С.В. Белов, А.В. Лапин, А.В. Толстов, А.А. Фролов. – Новосибирск: Наука, 2008. – 540 с.
24. Kaminsky F.V., Feldman A.A., Varlamov V.A. et al. Prognostication of primary diamond deposits // Journal of Geochemical Exploration. – 1995. – V. 53. – P. 167–182.
25. Сорохтин О.Г., Митрофанов Ф.П., Сорохтин Н.О. Глобальная эволюция Земли и происхождение алмазов. – М.: Наука, 2004. – 270 с.
26. Hissink L. The electrical origin of kimberlite pipes. URL: <http://figservices1947.wordpress.com/2010/01/25/the-electrical-origin-of-kimberlite-pipes/> (дата обращения: 25.01.2010).
27. Heaman L.M., Kjarsgaard B.A. Timing of Eastern North American kimberlite magmatism: continental extension of the Great Meteor hotspot track? // Earth and Planetary Science Letters (EPSL). – 2000. – V. 178. – P. 253–268.
28. Zhitkov A.N. Paleokinematics and pattern of kimberlite field location on the Siberian platform based on the hypothesis of hot spot // VI International Kimberlite Conference: Extended Abstracts. – Russia, Novosibirsk, 1995. – P. 692–694.
29. Верещагин Л.Ф. Избранные труды. Синтетические алмазы и гидроэкструзия. – М.: Наука, 1982. – 328 с.
30. Дигонский В.В., Дигонский С.В. Закономерности образования алмаза. – СПб.: Недра, 1992. – 223 с.
31. Гаранин В.К., Дигонский С.В., Кудрявцева Г.П. Различные аспекты синтеза алмазов из графита // Известия вузов. Геология и разведка. – 2007. – № 2. – С. 15–20.
32. Гаранин В.К., Дигонский С.В., Кудрявцева Г.П. Модель образования природного алмаза в аспекте его синтеза. Статья 2. Гипотезы образования алмаза в метеоритах, метаморфических породах и кимберлитах // Известия вузов. Геология и разведка. – 2006. – № 2. – С. 8–14.
33. Дигонский С.В., Тен В.В. Общие закономерности газофазного синтеза алмаза и кубического нитрида бора // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 3. – С. 103–117.

Поступила 02.11.2013.

UDC 550.8:553.81:523.681.8:548.5

HARMONIZATION OF HYPOTHESIS OF AN ELECTRIC DISCHARGE FORMATION OF KIMBERLITE PIPES WITH AN ELECTRIC DISCHARGE DIAMOND SYNTHESIS

Konstantin K. Khazanovitch-Wulff,

Cand. Sc., Planetology Branch of the Russian Geographical Society, 10, Gritsvova pereulok, Saint Petersburg, 190000, Russia. E-mail: ojb37@mail.ru

Relevance and purpose of the study. For the first time the geological literature on diamond provides a comparison of the latest data on diamond synthesis and hypothesis of kimberlite pipe formation.

Method of study is the analysis of data on kimberlite pipe origin.

It is noted that only one hypothesis, an electric discharge pipes origin, corresponds to the results of laboratory studies of diamond synthesis by electric discharge. Since the end of the 50s of the XX century the electric discharge method for diamond synthesis is used in many countries and it is recognized by researchers as one of the most effective methods of artificial diamond formation. At the beginning of the XX century Russian researchers V.V. Digonsky, S.V. Digonsky, V.K. Garanin and others assumed that the electric discharge is the source of diamond formation in nature in the course of kimberlite «explosion pipes» formation. Since the early 70s two groups of researchers – in Tomsk, under the guidance of professor A.A. Vorobyov, and in Moscow consisted of two diamond geologists K.M. Alekseevsky and T.T. Nikolaeva, independently made the first steps in developing a new, electric discharge, hypothesis of kimberlite pipe formation.

Results and conclusions. The convergence in the findings of two groups of independent researchers on electric discharge participation, on the one hand, in diamond formation, and on the other hand, in formation of kimberlite pipes should become a decisive factor in developing a new theory of diamond origin.

Key words:

Electric discharge, diamond synthesis, diamond origin, kimberlite pipes, diatremes origin.

REFERENCES

1. Khazanovitch-Wulff K.K. Electrorazryadnaya gipoteza proiskhozhdeniya kimberlitov i rol A.A. Vorobyova v ee stanovlenii [Electric-discharge hypothesis for the origin of kimberlite pipes and the role of A.A. Vorobyov in its formation]. *Stanovlenie i razvitie nauchnykh issledovaniy v vysshey shkole: Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Formation and development of scientific research in higher education: Collection of works of the Intern. Scientific Conf.]. Tomsk, 2009, vol. 2, pp. 402–408.
2. Vorobyov A.A. *Fizicheskie usloviya zaleganiya i svoystva glubinogo veshchestva (vysokie elektricheskie polya v nedrah Zemli)* [Physical conditions of occurrence and properties of deep matter (high electric fields in the bowels of the Earth)]. Tomsk, TSU Press, 1975. 296 p.
3. Alekseevskiy K., Nikolaeva T. *Zagadka kimberlitov* [Riddles of kimberlites]. *Znanie-Sila*, 1972, no. 4, pp. 30–31.
4. Alekseevskiy K.M., Nikolaeva T.T. Rol vzryva v kimberlitovoy trubke [Role of explosion in kimberlite pipe]. *Bull. of Moscow Society of Naturalists, the Division. Geol.*, 1988, vol. 63, no. 5, pp. 131.
5. Alekseevskiy K.M., Nikolaeva T.T. Vzryvy li obrazuyut trubki vzryva? [Do explosions form an explosion pipes?]. *Problemy magmatizma, metamorfizma i mineralizatsii Dalnego Vostoka. Tezisy IV Dalnevostochnogo Regionalnogo Petrograficheskogo Soveshchaniya* [Problems of magmatism, metamorphism, and mineralization of the Far East. Proc. IV Far Eastern Regional Petrography Meeting]. Yuzhno-Sakhalinsk, 1988, pp. 20–22.
6. Khazanovitch-Wulff K.K. *Diatremovye shleyfy astroblem ili «Bolidnaya model» obrazovaniya kimberlitovykh trubok* [Diatrem trains of astroblemes or «Fireball model» of kimberlite pipe formation]. *Petrozavodsk, Geomaster Publ.*, 2007, 272 p. Available at: http://smerdyachee.ucoz.ru/load/k_k_khazanovitch_wulff/3 (accessed 10 April 2013).
7. Stepanov O.A. Vzryvnoy mekhanizm obrazovaniya struktur tsentralnogo tipa [Explosion mechanism of central type structures formation]. *Sov. Geologiya*, 1989, no. 12, pp. 95–104.
8. Balasanyan S.Yu. *Dinamicheskaya Geoelektrika* [Dynamic Geoelectrics]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1990. 232 p.
9. Astapovich I.S. *Meteornye yavleniya v atmosfere Zemli* [Meteor Phenomena in the Earth's atmosphere]. Moscow, Fizmatgiz publ., 1958. 640 p.
10. Dokuchaev V.P. Elektricheskiy razryad pri polete meteorov v atmosfere Zemli [Electrical discharge when flying meteors in the atmosphere of Earth]. *Reports of USSR Academy Sciences*, 1960, vol. 131, no. 1, pp. 78–81.
11. Ivanov V.V., Medvedev Yu.A. Ob elektricheskom effekte bolshikh meteoroidov [Electric effect of large meteoroids]. *Geomagnetizm i Aeronomiya*, 1965, vol. 5, no. 2, pp. 31–33.
12. Solyanik V.F. Meteorit i elektricheskoe pole [Meteorite and the electric field]. *Yuny tekhnika*, 1959, no. 3, pp. 64–65.
13. Solyanik V.F. Tungusskaya katastrofa 1908 goda v svete elektricheskoy teorii meteornykh yavleniy [Tunguska catastrophe in 1908 in the light of the electric theory of meteoric phenomena]. *Vzaimodeystvie meteorogo veshchestva s Zemley* [Interaction of meteor matter with the Earth]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1980. pp. 178–188.
14. Nevsky A.P. Yavlenie polozhitelnogo stabiliziruyushchego elektricheskogo razryada i effekt electrorazryadnogo vzryva krupnykh meteoritnykh tel pri polete v atmosfere planet [The phenomenon of positive and stabilizing effect of electrical discharge of electric explosion of large meteoric bodies in flight in the atmosphere of planets]. *Astronomicheskyy Vestnik*, 1978, vol. 12, no. 4, pp. 206–215.
15. Khazanovitch-Wulff K.K. *Asteroidy, kimberlity, astroblemy* [Asteroids, kimberlites, astroblemes]. St. Petersburg, Geomaster Publ., 2011. 192 p. Available at: http://smerdyachee.ucoz.ru/load/k_k_khazanovitch_wulff/3 (accessed 10 April 2013).
16. Khazanovitch-Wulff K.K. Electric influences of bolides. *Asteroid-Comet Hazard-2009: International Conference*. Russia, St. Petersburg, 2009. pp. 233–234.
17. Khazanovitch-Wulff K.K. Kosmogennaya model stanovleniya i razmesheniya diatrem i voprosy metallogenii kimberlitov [Cosmogenic model of diatrem formation and placement and issues of the kimberlites metallogeny]. *Reports of the USSR Academy of Science, Earth science section*, 1991, vol. 319, no. 6, pp. 127–131.
18. Khazanovitch-Wulff K.K. Kosmogenny faktor obrazovaniya diatrem [Cosmogenic factor of diatrem formation]. *Papers of the*

- St. Petersburg Mining Institute*, 1992, vol. 134: Conceptual Foundations of Geology, pp. 141–152.
19. Khazanovitch-Wulff K.K. Kosmogenny i endogenny faktory obrazovaniya geologicheskikh vzryvnykh struktur [Cosmogenic and endogenous factors of explosive geological structures formation]. *Reports of the USSR Academy of Science*, 1994, vol. 337, no. 1, pp. 83–87.
 20. Khazanovitch-Wulff K.K. Geological consequences of large meteoric bodies' rapprochement with the Earth. Electrical factor. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, 2007, no. 43, pp. 18–21.
 21. Khazanovitch-Wulff K.K. Some problems and questions of kimberlite geology and electric discharge hypotheses. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, 2011, no. 61, pp. 88–94.
 22. Milashev V.A. Geologiya kimberlitov [Kimberlite geology]. *Trudy VNIIOkeangeologia*, 2010, vol. 217, 334 p.
 23. Belov S.V., Lapin A.V., Tolstov A.V., Frolov A.A. *Minerageniya platformennogo magmatizma (trappy, karbonatity, kimberlity)* [Minerageny of platform magmatism (traps, carbonatites, kimberlites)]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2008. 540 p.
 24. Kaminsky F.V., Feldman A.A., Varlamov V.A. Prognostication of primary diamond deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 1995, vol. 53, pp. 167–182.
 25. Sorokhtin O.G., Mitrofanov F.P., Sorokhtin N.O. *Globalnaya evolyutsiya Zemli i proiskhozhdenie almazov* [Global Evolution of the Earth and the origin of diamonds]. Moscow, Nauka Publ., 2004. 270 p.
 26. Hissink L. *The electrical origin of kimberlite pipes*. Available at: <http://fgservices1947.wordpress.com/2010/01/25/the-electrical-origin-of-kimberlite-pipes/> (accessed 25 January 2010).
 27. Heaman L.M., Kjarsgaard B.A. Timing of Eastern North American kimberlite magmatism: continental extension of the Great Meteor hotspot track? *Earth and Planetary Science Letters*, 2000, vol. 178, pp. 253–268.
 28. Zhitkov A.N. Paleokinematics and pattern of kimberlite field location on the Siberian platform based on the hypothesis of hot spot. *VI International Kimberlite Conference: Extended Abstracts*. Russia, Novosibirsk, 1995. pp. 692–694.
 29. Vereshchagin L.F. *Izbrannye trudy. Sinteticheskie almazы i gidrostatika* [Selected Works. Synthetic diamonds and hydrostatic]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 328 p.
 30. Digonsky V.V., Digonskiy S.V. *Zakonomernosti obrazovaniya almazov* [Regularities of diamond formation]. St. Petersburg, Nedra Publ., 1992. 223 p.
 31. Garanin V.K., Digonskiy S.V., Kudryavtseva G.P. Razlichnye aspekty sinteza almazov iz grafita [Various aspects of diamond synthesis from graphite]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 2007, no. 2, pp. 15–20.
 32. Garanin V.K., Digonskiy S.V., Kudryavtseva G.P. Model obrazovaniya prirodnogo almaza v aspekte ego sinteza. Statya 2. Gipotezy obrazovaniya almaza v meteoritakh, metamorficheskikh porodakh i kimberlitakh [Model of natural diamond formation in the aspect of its synthesis. Article 2. Hypotheses diamond formation in meteorites, metamorphic rocks and kimberlites]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 2006, no. 2, pp. 8–14.
 33. Digonskiy S.V., Ten V.V. Obshchie zakonomernosti gazofaznogo sinteza almaza i kubicheskogo nitrida bora [General patterns of gas-phase synthesis of diamond and cubic boron nitride]. *Alternativnaya energetika i ekologiya*, 2010, no. 3, pp. 103–117.

Литология

УДК 553.984;552.54

ЛИТОЛОГИЯ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КЕМБРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ГЕОСИНЕКЛИЗЫ

Ковешников Александр Евгеньевич,

канд. геол.минерал. наук, доцент кафедры геологии разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30; ФГБУН Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 634055, Томск, Академический пр., 3. E-mail: Kovesha@mail.ru

Конторович Владимир Алексеевич,

д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры геофизики Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30; член-корреспондент РАН. Заместитель директора, зав. лабораторией сейсмогеологического моделирования природных нефтегазовых систем ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3. E-mail: KontorovichVA@ipgg.sbras.ru

Макаренко Светлана Николаевна,

канд. геол.-минерал. наук, ст. научн. сотр. лаборатории микропалеонтологии геолого-географического факультета Томского государственного университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36. E-mail: s.makarenko@ggf.tsu.ru

Татьянин Геннадий Михайлович,

канд. геол.-минерал. наук, декан геолого-географического факультета Томского государственного университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36. E-mail: gmt@mail.tsu.ru

Терлеев Александр Анатольевич,

канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр. ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3. E-mail: Terleeva@ipgg.sbras.ru

Токарев Дмитрий Александрович,

науч. сотр. ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3. E-mail: Tokarevda@ipgg.sbras.ru

В юго-восточной части Западно-Сибирской геосинеклизы в последние годы установлено распространение кембрийских отложений на большей, чем считалось ранее, территории.

Цель: изучение литологического состава, условий формирования и накопления кембрийских образований, выявление типов пород, с которыми может быть связано открытие месторождений нефти и газа.

Методы работы: Применены палеонтологические методы определения органических остатков, на основании изучения которых для вскрытых бурением пород установлен раннекембрийский возраст. Литолого-фациальные методы исследования, благодаря которым установлены условия формирования нижнекембрийских отложений, территория и зональность распространения выявленных литологических типов пород на изученной территории.

Результаты: Начавшееся в позднем венде на территории юго-восточной части Западно-Сибирской геосинеклизы формирование образований карбонатной платформы продолжилось в течение раннего кембрия. При этом территория развития карбонатной платформы сначала увеличивалась, а к концу раннего кембрия карбонатная платформа прекратила свое существование. Образования карбонатной платформы представлены осадочными доломитами, которые в восточном и западном направлении переходят в относительно глубоководные отложения. При дальнейших работах возможно установление в северном направлении от изученного участка зон развития образований карбонатной платформы.

Ключевые слова:

Западно-Сибирская геосинеклиза, кембрийские отложения, карбонатная платформа, осадочные доломиты, процессы трещинообразования и выщелачивания.

В последние годы на территории Западно-Сибирской геосинеклизы в восточных районах Томской области бурением установлены новые разрезы венда и кембрия. С данным комплексом отложений на расположенных восточнее землях Восточной Сибири связан ряд месторождений нефти и газа. Их литологический состав и условия формирования и палеогеографический анализ их распространения весьма важны в понимании перспектив восточных территорий Томской области в плане открытия в венд-кембрийских отложениях месторождений нефти и газа. Предпринятые нами [1–3] исследования литологических особенностей и палеонтологическая охарактеризованность данных отложений позволили выйти на более четкие представления об их составе и условиях формирования. Вендским отложениям посвящена отдельная статья [3], и здесь эти отложения будут только упомянуты. В данной статье рассмотрены вопросы формирования кембрийских отложений.

Все 23 структурно-фациальных района, на которые подразделена территория Западно-Сибирской геосинеклизы, и все установленные до настоящего времени находки вендских и кембрийских отложений восточной части Западно-Сибирской геосинеклизы показаны на рисунке. Изучению литологического состава кембрийских отложений, установленных бурением на территории Вездеходного и Туйского СФР, особенностей их формирования и накопления посвящены работы [6–19]. Нами дополнительно изучены разрезы венда и нижнего кембрия Нюрольского СФР (Чкаловская площадь), что позволило рассмотреть особенности накопления отложений того или иного состава по значительной большей площади их распространения [1–3, 15]. Настоящая статья посвящена рассмотрению литологического состава кембрийских отложений юго-восточной части Западно-Сибирской геосинеклизы, установлению особенностей их накопления.

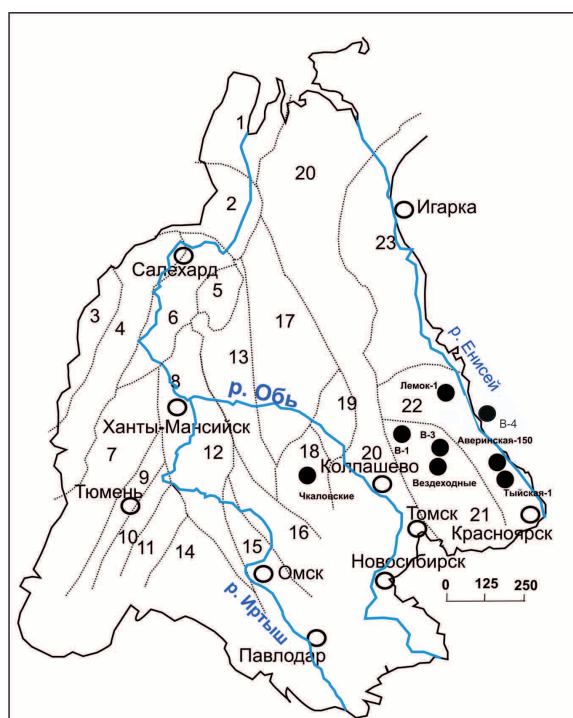


Рисунок. Схема структурно-фациального районирования Западно-Сибирской геосинеклизы (по Елкину, Бахареvu и др., 2001 [4, 5]). Показаны скважины, вскрывшие вендские и кембрийские отложения. Структурно-фациальные районы (СФР): 1 – Бованенковский; 2 – Новопортовский; 3 – Тагильский; 4 – Березово-Сартыньинский; 5 – Ярудейский; 6 – Шеркалинский; 7 – Шаимский; 8 – Красноленинский; 9 – Тюменский; 10 – Косолаповский; 11 – Уватский; 12 – Салымский; 13 – Усть-Балыкский; 14 – Ишимский; 15 – Тевризский; 16 – Туйско-Барабинский; 17 – Варьеганский; 18 – Нюрольский; 19 – Никольский; 20 – Колпашевский; 21 – Вездеходный; 22 – Туйский; 23 – Ермаковский. Скважины: Вездеходные – все скважины Вездеходной площади; Чкаловские – все скважины Чкаловской площади; В-1 – Восток-1; В-3 – Восток-3; В-4 – Восток-4; Туйская-1; Аверинская-1; Лемок-1

Вендские отложения

В последние годы скважинами Восток-1, Восток-3 и Восток-4 получен новый значительный материал по вендским и кембрийским отложениям. Изучение полученного керна значительно дополнило те представления, что были сформированы ранее при изучении разреза по скважинам Лемок-1, Тыйская-1, Аверинская-150 и ряда других на территории Вездоходного и Тыйского СФР. Нами на территории Нюрольского СФР установлено наличие вендских отложений [1–3, 15] на Чкаловской площади.

В пределах Вездоходного и Тыйского СФР обособленные палеонтологические вендские отложения установлены бурением пока только по скважине Восток-3 (табл. 1), где авторами [6, 9, 11] выделены три свиты (снизу вверх): пойгинская, котоджинская и райгинская. Для вендских отложений Нюрольского СФР, описанных нами в [3], установлено, что на огромной территории юго-восточной части Западно-Сибирской геосинеклизы с центром, соответствующим приблизительно территории Вездоходной площади, со времени накопления отложений котоджинской свиты происходило формирование карбонатной платформы на территории Вездоходного, Нюрольского и, предположительно, расположенного между ними Колпашевского СФР. Сформированные отложения, при соответствующем проявлении вторичных процессов, перспективны для формирования пород-коллекторов, и соответственного формирования месторождений нефти и газа.

Кембрийские отложения

Кембрийские отложения на территории Западно-Сибирской геосинеклизы ранее были установлены бурением в юго-восточной части Томской области в пределах Тыйского, Вездоходного СФР. Нами в [3, 15] впервые установлен раннекембрийский возраст отложений Нюрольского СФР (рис. 1). Наиболее полный разрез кембрийских отложений вскрыт бурением на территории Вездоходного и Тыйского СФР. Обращает на себя внимание значительное различие литологического состава кембрийских образований Вездоходного и Нюрольского с одной стороны и Тыйского СФР с другой. Так как на территории Нюрольского СФР пока достоверно установлены только нижнекембрийские образования (Чкаловская площадь), а вышележащие отложения отсутствуют, для получения полной картины формирования кембрийских образований мы вначале рассмотрим только отложения Вездоходного и Тыйского СФР, а затем приведем описание кембрийских отложений, установленных на территории Нюрольского СФР.

Четыре типа разрезов нижнего кембрия

Отложения нижнего кембрия, установленные бурением на территории Нюрольского, Вездоходного и Тыйского СФР (табл. 1), представлены че-

тырьмя типами разрезов: Востокский (скважины Восток-1, Восток-3); Лемокский (Восток-4); Вездоходный (Вездоходные 3 и 4); и Чкаловский (Чкаловские 9 и 210).

Для территории Чкаловской площади установлена явная аналогия с двумя названными выше типами разрезов отложений кембрия, развитыми в пределах Вездоходного СФР: Вездоходным и Востокским. Пока на территории Чкаловской площади палеонтологически охарактеризованы только образования нижнего кембрия.

Вездоходный структурно-фациальный район

На территории Вездоходного СФР (скважины Восток-1, Восток-3) установлено развитие всего комплекса отложений кембрия (снизу вверх): чурбигинская ϵ_{1-2} , пайдугинская ϵ_{1-2} , пуджелгинская ϵ_2 , поделгинская ϵ_2 , кондесская ϵ_3 , шеделгинская ϵ_3 , пыжинская ϵ_3 свиты (табл. 1).

В течение раннего кембрия на территории Вездоходного и Тыйского СФР параллельно формировалось три типа разреза: Вездоходный, Востокский и Лемокский (табл. 1). Вездоходный тип разреза рассмотрим на примере скважины Вездоходной 4, Востокский – скважин Восток-1 и Восток-3, Лемокский – скважины Восток-4 с привлечением данных по литологии по скважинам Лемок-1, Тыйская-1, Аверинская-150 (рис. 1).

Вездоходный тип низов кембрийского разреза

Вездоходный тип разреза представлен [3] вездоходной толщей, стратотип которой выделен по Вездоходной скважине 3 (интервал 3865–3085 м, мощность 780 м), где отложения представлены светло-серыми и белыми массивными доломитами, участками строматолитовыми или микрофитолитовыми, доломитистыми аргиллитами с линзами туфов, с телами спилитов, спессартитов и габбро-базальтов [18, 20]. По скважине Вездоходная-4 в интервале 3120–3106 м (мощность 14 м) породы свиты сложены: белые, светло-серые, серые, темно-серые массивные доломиты; 3283–3120 м (мощность 163 м); пластовые строматолиты с субгоризонтальной биогенной структурой; 3492–3283 м – серые, темно-серые узорчатые и полосчатые доломиты, строматолиты – елковидные, столбчатые, пластинчатые, микрофитолиты, синезеленые водоросли [4, 5, 10, 20]. Нами [3] показано, что нижнему возрастному пределу свиты соответствует время накопления отложений котоджинской свиты, а верхнему возрастному пределу – накопление на сопредельной территории образований чурбигинской и пайдугинской свит.

Востокский тип низов кембрийского разреза

Переход от венда к кембрию по Востокскому типу разреза вскрыт бурением по скважине Восток-3. Здесь ритмически построенная толща райгинской свиты верхов венда сменяется вверх по разрезу образованиями чурбигинской свиты (3870–3660 м, вскрытая мощность 210 м). Отло-

Таблица 1. Сопоставление кембрийских отложений, вскрытых бурением на территории Тыйского и Вездеходного СФР

Возраст	Вездеходный СФР			Разрез типа Лемок			
	В-3	В-1	Везд-4	В-4	Лем-1	Тый-1	
Є ₃		*Пыжинская 2766–3210, Є ₃	Вездеходная 3106–3541, V–Є ₁₋₂	Пыжинская 2262–3025, Є ₃			
Є ₃		Шеделгинская 3210–3600, Є ₃		Елогуйская			
Є ₃		Кондесская 3600–4005, Є ₃		3025–3715, Є ₂	2100–2364, Є ₃ /Є ₂		
Є ₂		Поделгинская 4005–4250, Є ₂					
Є ₂		Пуджелгинская 4250–4825, Є ₂					
Є ₁₋₂	Пайдугинская			Анциферовская			
	3635–3660, Є ₁₋₂	4825–4945, Є ₁ (черносланцевая)		3715–3863, Є ₁	2364–2710, Є ₁		
Є ₁₋₂	Чурбигинская			Аверинская			
	3660–3870, Є ₁₋₂	4945–5010, Є ₁		3863–4215, Є ₁	2710–3145, Є ₁		
Є ₁	Чурбигинская?			Тыйская			
Є ₁	Чурбигинская?		4215–4570, Є ₁	3145–3665, Є ₁	697–1286,5, Є ₁		
	Райгинская, 3870–4191, V _{3nm-dl}		Оксымская 4570–5105, Є ₁				
V ₃	Котоджинская, 4191–4582, V ₃						
V ₃	Пойгинская, 4582–5002, V ₃						

*Название свиты, интервал вскрытия в скважине (м), возраст. Скважины: В-1, В-3, В-4 – скважины Восток; Везд-4 – Вездеходная 4; Лем-1 – Лемок-1; Тый-1 – Тыйская-1.

жения нижнего кембрия здесь представлены чурбигинской и перекрывающей ее пайдугинской свитами.

Нижнечурбигинская подсвита: микритовые известняки здесь переслаиваются с темными пирит-содержащими глинисто-карбонатными породами, содержащими прослой черных пиритовосных аргиллитов и линзы кремней. В известняках присутствует примесь кварца, полевых шпатов, мусковита алевритовой размерности. В микрослоистых глинисто-карбонатных породах установлено высокое содержание (до 25 %) углеродистого вещества.

Верхнечурбигинская подсвита: микритовые нодулярные известняки, переслаивающиеся с глинистыми породами. В известняках установлено наличие известковых спикул и трилобитов.

Пайдугинская свита: карбонатно-глинисто-кремнистая с высоким содержанием углеродистого вещества и пирита и с прослоями силицитов породе.

Таким образом, если на территории Вездеходной-4 мы имеем дело с участком мелководья, то в районе формирования Востокского типа разреза отмечается отчетливое погружение дна бассейна с накоплением явно бассейновых отложений.

Лемокский тип низов кембрийского разреза

Лемокский тип разреза по скважине Восток-4 представлен образованиями оксымской, тыйской, аверинской и анциферовской свит [8].

Оксымская свита (5105–4570 м, вскрытая мощность 535 м) сложена:

Нижнеоксымской подсвитой (5105–4953 м, видимая мощность 152 м), содержащей доломиты кавернозно-пористые с запахом УВ с реликтами тонкообломочного сложения и с прослоями доломитов строматолитовых и доломито-известково-ангидритовых пород.

Верхнеоксымской подсвитой (4953–4570 м, видимая мощность 383 м), в состав которой входят мелкообломочные доломиты и ангидриты, участками с примесью глинистого материала. Присутствуют строматолитовые известняки и доломиты, эвапоритовые доломиты и ангидриты, интракластовые брекчии. Возраст определен по остаткам водорослей.

Тыйская свита (4570–4215 м, вскрытая мощность 355 м), которая подразделяется:

- на нижнетыйскую подсвиту, включающую брекчии ангидритового, доломит-ангидритового, известково-ангидритового состава, содержащие прослой строматолитовых известняков, эвапоритовых и мелкообломочных ангидритов, известняков и доломитов, сменяемые вверх по разрезу;
- верхнетыйскую подсвиту, сложенную глинисто-доломит-ангидритовой тонкообломочной породой, строматолитовыми известняками, эвапоритовыми доломитами, ангидритами и известняками. Отмечается примесь тефры и желваков кремней.

Аверинская свита (4215–3863 м, видимая мощность 352 м) включает нижеаверинскую подсвиту (4215–4150 м), сложенную ангидрит-известково-доломитовыми брекчиями, сменяемыми вверх по разрезу (верхнеаверинская подсвита) переслаиванием мелкообломочных доломитов, ангидритовых доломитов и темно-серых глинистых, ангидритовых, градиционнослойчатых доломитов с прослоями доларенитов, эвапоритовых доломитов, ангидритовых доломитов, известковистых ангидритов и строматолитовых известняков и доломитов. Возраст установлен по трилобитам и водорослям.

Анциферовская свита (3863–3715 м, видимая мощность 148 м) содержит комковато-обломочные известняки с участками, сложенными чередованием известняков с различной примесью глинистого материала, с прослоями эвапоритовых доломитов, редко ангидритов (в низах установлена незначительная примесь тефры). Верхняя часть свиты сложена доломитами, биотурбированными, с ходами илоедов. Возраст определен по трилобитам.

Таким образом, при анализе условий формирования отложений нижнего кембрия на территории Вездеходного СФР установлено значительное отличие обстановок осадконакопления. Если в Вездеходном типе разреза формируются доломиты биогенной природы, накапливающиеся на мелководье, и такая обстановка осадконакопления существовала здесь начиная с позднего венда и весь ранний кембрий, то в Востокском типе разреза мы имеем дело с формирующейся впадиной, с накоплением осадков в застойных условиях.

Таблица 2. Кембрийские отложения, установленные бурением на территории Чкаловской площади

Скважина, видовой состав, возраст	Литология*
Чк-210, Нижний кембрий инт. 2998,3–2993,0 м 3,10 кк) (<i>Archaeocyatha</i>) инт. 2998,3–2993,0 м 3,10 кк) <i>Archaeocyatha</i> ? инт. 3011,5–3009,2 м 2,9 кк) карбонатная спикула губок инт. 2998,3–2993,0 м 3,10 кк) (<i>Archaeocyatha</i>) инт. 2998,3–2993,0 м 3,10 кк) мелкораквинная фауна	3021,5–3013,0 м Серые глинисто-кремнистые, участками рассланцованные, породы по кислую эффузиву или дациту, участки окремнения; 3013,0–2993,0 м (20 м) Брекчия доломитовой породы
Чк-9, Нижний кембрий инт. 3141,4–3133,4 м 1,30 кк) (<i>Archaeocyatha</i>)	3245,9–3219,4 м Лампрофиры, частично глинистая порода; 3150,3–3121,4 м (29 м) Переслаивание зеленовато-серых и черных сланцев, с прослоями и линзами кремней; 3092–3054 м (38 м) известняки серые, участками черные; 3054–3034 м измененные лампрофиры

*Подчеркивание – этой пачке пород соответствует определение возраста

На территории Тыйского СФР мы имеем дело с отложениями участка моря, периодически подвергающегося осушению с формированием эвапоритовых и близких к ним по составу пород.

Чкаловский тип низов кембрийского разреза

Отложения нижнего кембрия установлены на территории Чкаловской площади по скважинам Чкаловская-210 и Чкаловская-9 (табл. 2). Здесь бурением установлено развитие доломитовых брекчий (Чкаловская-210), черных сланцев с линзами кремней, прослоями известняков (Чкаловская-9).

Средний-верхний кембрий

Отложения среднего и верхнего кембрия установлены бурением пока только на территории Вездеходного и Тыйского СФР. На территории Вездеходного СФР они представлены отложениями свит (снизу вверх): пуджелгинской, поделгинской, кондесской, шеделгинской и пыжинской (востоковский тип разреза). Отложения Тыйского СФР представлены свитами (снизу вверх): елогуйской и пыжинской (Лемокский тип разреза).

Средне-верхнекембрийские отложения Вездеходного СФР

Итак, средне-верхнекембрийские отложения [7, 9] Вездеходного СФР представлены (снизу вверх):

Пуджелгинской свитой (скважина Восток-1, интервал 4825–4250 м, мощность 575 м), сложенной чередованием пачек пород, переслаиванием светло-коричнево-серых, розовато-серых пелитоморфных известняков и зеленовато-серых, темно-вишневых карбонатно-глинистых, алевроитоглинистых пород, с редкими прослоями (интракластовыми) известняковых брекчий, светло-вишневых сильно известковых литито-кварц-полевошпатовых песчаников и светло-серых в различной степени песчаных калькаренитов (карбонатных песчаников с карбонатным цементом). Текстура седиментационно-нарушенная и ненарушенная. Возраст свиты принят как среднекембрийский (амгинско-майский).

Поделгинская свита (скважина Восток-1, интервал 4250–4005 м, мощность 245 м). Фаунистически не охарактеризована. Возраст принят по положению между палеонтологически охарактеризованными отложениями (между среднекембрийской (амгинско-майской), пуджелгинской свитой и верхнекембрийской кондесской свитой).

Нишнеподелгинская подсвита (4250–4090 м, видимая мощность 160 м) сложена переслаиванием светло-вишневых доломитовых песчаников – доларенитов с известково-доломитовыми полевошпат-кварц-лититовыми песчаниками близкого строения. Встречаются прослой интракластовых брекчий и пелитоморфных доломитов. Доларениты содержат примесь силикакластики.

Верхнеподелгинская подсвита (4090–4005 м, видимая мощность 85 м) сложена переслаиванием темно-серых, темно-коричнево-серых доломитов, в том числе доломитовых алевролитов – доломитов (ангидритистых, слабоглинистых пелитоморфных) с доломитами ангидритистыми тонкокристаллическими. В верхней части подсвиты установлены прослои светло-вишневых оолитовых калькаренитов (известняковых песчаников), калькаренитов с силикокластикой и песчаников кварц-полевошпат-лититовых карбонатсодержащих (с преобладанием обломков базальтов и плагиоклаза).

Кондесская свита (скважина Восток-1, интервал 4005–3600 м, мощность 405 м) сложена кальцитовыми (или известняковыми) песчаниками и алевролитами (калькаренитами и кальсиллитами) с менее проявленными прослоями известняков пелитоморфных (с примесью глинистого вещества, доломита, небольшого количества ангидрита). Породы в основном пестроокрашены (темно-серые, серые, зеленовато-серые, вишневые), среди них преобладают оолитовые калькарениты, калькарениты с изменчивым содержанием силикокластики, известковые песчаники, биокалькарениты. Комплекс установленных органических остатков соответствует тавгийскому горизонту верхнего кембрия северо-запада Сибирской платформы и, соответственно, возраст кондесской свиты принят как позднекембрийский (нганасанско-тавгийский).

Шеделгинская свита (скважина Восток-1, интервал 3600–3210 м, мощность 390 м). Верхняя и нижняя границы проведены условно согласно с верхней, возможно, связан перерыв в осадконакоплении. Свита сложена преимущественно известняками и подразделена на две подсвиты. Нижняя подсвита соответствует мадуйскому горизонту верхнего кембрия северо-западной части Сибирской платформы, на основании чего ее возраст принят как позднекембрийский (мадуйский). Для верхней подсвиты по палеонтологическим данным возраст принят как позднекембрийский (энцийский).

Таким образом, на территории Вездеходного СФР в нижнем кембрии отмечается погружение дна бассейна, в среднем и позднем кембрии – его обмеление с накоплением терригенных пород, что указывает на размыв находящейся рядом суши, сложенной магматическими и метаморфическими породами.

Средне-верхнекембрийские отложения Тыйского СФР

Отложения Тыйского СФР представлены отложениями елогуйской и пыжинской свит [4, 8, 9, 13] (снизу вверх):

Елогуйская свита вскрыта бурением по скважинам Восток-4 и Лемок-1. По скважине Восток-4 (интервал 3715–3025 м, мощность 690 м) она подразделяется на пять подсвит:

- Нижнеелогуйская (первая): (интервал 3715–3640 м, мощность 75 м) по шламу и мате-

риалам ГИС представлена переслаивающимися известняками, известковыми доломитами, коричнево-серыми до темно-коричневых и даже до черных карбонатно-глинистыми породами с прослоями темно-коричневых, серых, зеленовато-серых глинистых известняков.

- Вторая (снизу): (интервал 3640–3340 м, мощность 300 м) представлена оолито-комковатыми известняками и тонко переслаивающимися серыми кальцисилитами, доломитами и темно-серыми глинистыми пелитоморфными известняками, доломитами, иногда седиментационно нарушенными (преобладание седиментационного будинажа).
- Третья (снизу): (интервал 3340–3215 м, мощность 125 м) сложена переслаивающимися коричнево-серыми комковатыми и пелитоморфными известняками с редкими маломощными прослоями строматолитовых известняков.
- Четвертая (снизу): (интервал 3215–3185 м, мощность 30 м) образована чередованием преобладающих пакетов седиментационно нарушенного переслаивания светло-серых доломитистых тонкообломочных известняков, серых доломит-глинистых пород и более редких прослоев комковатых, комковато-оолитовых, строматолитовых известняков.
- Пятая (верхняя): (интервал 3185–3025 м, мощность 160 м) представлена светло-серыми, коричнево-серыми оолитовыми, комковато-оолитовыми, комковатыми доломитизированными известняками с единичными прослоями вторичных доломитов. Породы имеют массивную или неясно проявленную параллельную и градиационную слоистость. В верхах елогуйской свиты по брахиоподам и трилобитам установлен возраст – нижняя половина верхнего кембрия.

В целом, на территории Тыйского СФР накапливались породы, основное отличие которых от однообразных отложений, накопившихся на территории Вездеходного СФР, повышение роли доломита, что, возможно, является отражением более глубоководных условий осадконакопления.

Общие для Вездеходного и Тыйского структурно-фациальных районов верхнекембрийские отложения

Общими для Вездеходного и Тыйского СФР являются образования пыжинской свиты верхнего кембрия.

Пыжинская свита в Вездеходном СФР (скважина Восток-1, интервал 3210–2766 м, мощность 444 м) сложена пестроцветными (контрастное сочетание вишневых, зеленых, серых тонов окраски) породами и характеризуется смешанным песчано-алевритоглинисто-известняковым составом с значительным преобладанием обломочного известнякового материала алевритовой и песчаной размерности. Зеленая окраска связана с двухвалентным железом и проявлена как результат вторичных процессов. Породы свиты содержат повышен-

ное относительно нижележащих отложений количество глинистого и алевролита-глинистого материала. Встречаются редкие прослои оолитовых калькаренитов, интракластовых аргиллитовых брекчий и ангидритов. По палеонтологическим данным описываемые отложения соответствуют кетыйскому горизонту верхнего кембрия северо-западной части Сибирской платформы.

На территории Тыйского СФР отложения представлены (снизу вверх): пыжинской свитой (скважина Восток-4, интервал 3025–2262 м, мощность 763 м) подразделяется на пять подсвит:

- Нижнепыжинская (интервал 3025–2880 м, мощность 145 м) представлена вишневыми алевроито-ангидрит-глинисто-доломитовыми, доломит-глинистыми породами с частыми прослоями (0,1–0,3 м) тонкообломочных доломитов, ангидритовых доломитов, интракластовых брекчий, пакетов тонкого переслаивания ангидритовых доломитов и доломитистых аргиллитов. Встречены единичные тонкие прослои строматолитовых известняков.
- Вторая снизу (интервал 2880–2790 м, мощность 90 м) по ГК отвечает мергелям, доломит-известковым алевроаргиллитам.
- Третья снизу (интервал 2790–2745 м, мощность 45 м) по шламу и изменчивости ГК сложена доломит-известковыми алевроаргиллитами, аргиллитами с прослоями известняков и доломитов.
- Четвертая снизу (интервал 2745–2370 м, мощность 975 м) представлена преобладающими слоями темно-вишневых с зелеными пятнами известково-доломитовых, доломитовых алевроаргиллитов с изменчивой карбонатностью, в меньшей степени пакетами тонкого переслаивания светло-вишневых доломитов, калсиллитов и вишневых карбонатсодержащих аргиллитов, редко строматолитовых известняков. Постоянно встречаются агрегатные выделения ангидрита. Местами развит седиментационный будинаж. Характерна силикокластическая примесь кварца, полевых шпатов, слюд, кислых эффузивов, туфов, глауконита.
- Пятая верхняя (интервал 2370–2262 м, мощность 108 м) представлена чередованием преобладающих пакетов мощностью около 1 м тонкого переслаивания светло-вишневых алевроглинистых кальсиллитов с темно-вишневыми аргиллитами и слоев (0,2–2,0 м) темно-вишневых известковистых алевроаргиллитов, глинистых алевролитов. Реже встречаются прослои 0,1–0,3 м мелкооолитовых, комковатооолитовых известняков, интракластовых брекчий, калькаренитов с силикокластикой и глауконитов. В виде единичных тонких (первые сантиметры) прослоев встречаются строматолитовые известняки, ангидриты, песчаники с примесью кислой вулканокластики. В виде согласных полос и секущих пятен в красноцветных отложениях развита зеленая окраска, обусловленная процес-

сами оглеения. Характерна тонкая параллельная, градиционная, полого-косая, линзовидная, редко штормовая косо-бугорчатая слоистость. На глубине 2304,5 м встречены неопределимые трилобиты. Выше установлены несогласно залегающие юрские отложения.

Таким образом, в сравнении с территорией Вездеходного СФР, здесь установлена большая роль эвапоритовых образований, указывающих на начало процесса осушения моря.

Условия формирования кембрийских отложений

В целом, рассматривая отложения венда и кембрия Вездеходного, Тыйского и Нюрольского СФР (по венду в [3]), можно представить следующую общую картину накопления данных отложений.

В венде на территории Вездеходного, Нюрольского, возможно Колпашевского, СФР происходило формирование осадочных доломитовых пород, которые вверх по разрезу по периферии очерченной территории сменяются терригенно-известковыми породами, с продолжением накопления образований карбонатной платформы в центральных частях территории.

В нижнем кембрии (табл. 3) продолжается накопление образований карбонатной платформы, центр которой смещается на запад (осадочные доломиты Вездеходного типа разреза [20], доломитовые породы с прослоями доломитовых брекчий на Чкаловской площади, скважина 210, 9, 2?). В среднем и верхнем кембрии постепенно море начинается смещаться на запад, в сторону центральной части Западно-Сибирской геосинеклизы, на востоке (Восток-4) в разрезе начинают появляться эвапоритовые образования (ангидрит).

Отложения жигаловской толщи верхнего (возможно и среднего) кембрия [4, 5, 11, 12, 20] на территории Вездеходной площади, в составе которой установлены темно-серые глинистые сланцы, позволяет высказать следующее предположение. Если предположить накопление аргиллитов начиная с конца венда («чкаловская» толща), продолжающееся в нижнем кембрии (Чкаловская-9), а также на протяжении всего кембрия до его верхов (жигаловская толща), то выявленная нами карбонатная платформа завершила свое существование где-то в конце нижнего или начале среднего кембрия на территории Вездеходной площади. В течение всего кембрия в районе Вездеходной площади Вездеходного СФР, на территории Нюрольского СФР (возможно и Колпашевского СФР), происходило постепенное углубление дна бассейна с постепенной сменой образований карбонатной платформы отложениями шельфа.

Карбонатная платформа прекратила свое существование в раннем, а может быть, и среднем кембрии.

Таким образом, отмечается возрастное скольжение пород карбонатной платформы в венде и нижнем кембрии, вероятно, и в среднем и верхнем кембрии с запада на восток. Это делает перспектив-

Таблица 3. Сопоставление литологического состава кембрийских отложений, вскрытых бурением на территории Вездеходного, Нюрольского и Тыйского СФР

Возраст	СФР			
	Вездеходный		Нюрольский	Тыйский
	Скважины: В-1, В-3	Везд-4	Чк-210, Чк-9	В-4
Є ₃	(В-1)* Пыжинская, Є ₃ . Песчано-алеритоглинисто-известковые породы, обломочные известняки с ангидритом	Жигаловская толща, Є ₂₋₃ . Темно-серые глинистые сланцы		Пыжинская, Є ₃ . Алеврито-ангидрит-глинисто-доломитовые породы, выше – доломит-известковистые алевроаргиллиты, с аргиллитами, известняками, доломитами, выше с обломочными известняками, аргиллитами с ангидритом
Є ₃	(В-1) Шеделгинская, Є ₃ . Известняки			Елогуйская, Є ₂ . Известняки, известковые доломиты, темно-коричневые до черных карбонатно-глинистые породы, прослои глинистых известняков, выше – с оолитовыми известняками, выше – известняки и доломитово-глинистые породы, выше – известняки со вторичными доломитами
Є ₃	(В-1) Кондесская, Є ₃ . Известковые песчаники, известняки, биокалькаренины			
Є ₂	(В-1) Поделгинская, Є ₂ . Полимиктовые и доломитовые песчаники, выше доломиты, ангидритистые доломиты			
Є ₂	(В-1) Пуджелгинская, Є ₂ . Известняки и карбонатно-глинистые, алевритоглинистые породы, обломочные известняки			
Є ₁₋₂	(В-3) Пайдугинская, Є ₁₋₂ карбонатно-глинисто-кремнистая порода богатая УВ, пиритом, прослои силицитов		Анциферовская, Є ₁ . Комковато-обломочные известняки, эвапоритовые доломиты, ангидриты	
Є ₁₋₂	(В-3) Чурбигинская, Є ₁₋₂ . Микритовые известняки с глинисто-карбонатными породами, черными аргиллитами пиритсодержащими, линзы кремней. Выше – нодулярные известняки, глинистые породы		Аверинская, Є ₁ Ангидрит-известково-доломитовые брекчии, выше – эвапоритовые доломиты и известняки	
Є ₁		Вездеходная V–Є ₁₋₂ . доломиты, частью строматолитовые, микрофитолитовые, аргиллиты, линзы туфов, тела спилитов, спессартинов, габбро базальтов	Доломитовые брекчии (Чк-210) и черные сланцы, известняки с линзами кремней (Чк-9)	Тыйская, Є ₁ Брекчии карбонатно-ангидритовые, выше – глинисто-доломит-ангидритовые породы, эвапоритовые доломиты
Є ₁				Оксымская, Є ₁ . Доломиты с прослоями доломито-известково-ангидритовых пород, выше – доломиты и ангидриты

ным территорию Вездеходного, Колпашевского и Нюрольского СФР землями, перспективными для обнаружения в процессе бурения образований карбонатной платформы, которые накапливались затем на территории Нюрольского, Варьеганского и Новопортовского СФР в силуре, девоне и нижнем карбоне [21].

Выводы

1. На территории Тыйского, Вездеходного и Нюрольского (возможно Колпашевского) СФР на протяжении позднего венда происходило накопление образований карбонатной платформы (от Чкаловской до Вездеходной площади и района скважины Восток-3), представленных осадочными доломитами, в которых при воздействии вторичных процессов (выщелачивание, трещинообразование) могут сформироваться породы-коллекторы и месторождения нефти и газа. К концу венда территория карбонатной платформы начинает уменьшаться.
2. В раннем кембрии на территории Вездеходной площади продолжалось накопление образований карбонатной платформы, на востоке очерченной территории формировалась депрессия, а на западе – относительно глубоководные образования шельфа. Карбонатная платформа постепенно прекращает свое существование из-за углубления моря.
3. В среднем и верхнем кембрии на западе территории появляются признаки грядущего высыхания морского бассейна, и карбонатная платформа, вероятно, смещается в западном направлении, где постепенно из-за углубления моря прекращает формироваться.
4. Впоследствии в силуре – раннем карбоне сформировались обширные участки карбонатных пород, с которыми связано открытие основного количества месторождений нефти и газа в палеозойских отложениях Западно-Сибирской геосинеклизы.

Работа выполнена при поддержке Интеграционного проекта СО РАН и УрО РАН № 50 «Геологическое строение, тектоника, история формирования и перспективы нефтегазоносности палеозоя Западно-Сибирской геосинеклизы и ее складчатого обрамления».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новые биостратиграфические данные по осадочным образованиям «домезозойского» фундамента Западно-Сибирской геосинеклизы в северо-западной части Томской области (материалы параметрической скважины Чкаловская-501) / А.А. Терлеев, Д.А. Токарев, Н.В. Сенников, А.Е. Ковешников, С.Н. Макаренко // *Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности: Матер. II Всеросс. науч. конф. с участием иностранных ученых.* – Тюмень–Новосибирск, 2010. – С. 159–161.
2. New paleontological data from the Upper Vendian of the Chkalovskoe Territory of the Fore-Yenisei segment of the West Siberian Megabasin (boreholes 10, 17, 26, 501) / A.A. Terleev, D.A. Tokarev, V.A. Kontorovich, S.N. Makarenko, A.E. Koveshnikov, N.V. Sennikov, G.M. Tatianin // *Neoproterozoic sedimentary basins: stratigraphy, geodynamics and petroleum potential: Proc. of the International conference.* – Novosibirsk, 30 July – 02 August, 2011. – P. 100–102.
3. Литология и особенности формирования вендских отложений в юго-восточной части Западно-Сибирской геосинеклизы / А.Е. Ковешников, Конторович В.А., С.Н. Макаренко, Г.М. Татьянанин, А.А. Терлеев, Д.А. Токарев // *Известия Томского политехнического университета.* – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 23–30.
4. Елкин Е.А., Краснов В.И., Бахарев Н.К. и др. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Палеозой Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2001. – 163 с.
5. Решения межведомственного совещания по рассмотрению и принятию региональной стратиграфической схемы палеозойских образований Западно-Сибирской равнины / под ред. В.И. Краснова. – Новосибирск: СНИИГТИМС, 1999. – 80 с.
6. Разрез переходных венд-кембрийских отложений восточной части Западно-Сибирской геосинеклизы (по результатам бурения параметрической скважины Восток-3) / А.Э. Конторович, А.И. Варламов, Д.В. Гражданкин, Г.А. Карлова, А.Г. Клец, В.А. Конторович, С.В. Сараев, А.А. Терлеев, С.Ю. Беляев, И.В. Варакина, А.С. Ефимов, Б.Б. Кочнев, К.Е. Наговицин, А.А. Постников, Ю.Ф. Филиппов // *Геология и геофизика.* – 2008. – № 12. – С. 1238–1247.
7. Стратиграфия кембрия в комплексе основания Приенисейской части Западно-Сибирского мегабассейна (по результатам бурения параметрической скважины Восток-1) / А.И. Варламов, И.В. Коровников, А.С. Ефимов, А.Г. Клец, А.В. Комаров, А.Э. Конторович, В.А. Конторович, С.В. Сараев, Ю.Ф. Филиппов, И.В. Варакин, В.Н. Глинских, В.А. Лучинина, Н.В. Новожилова, Т.В. Пегель, Н.В. Сенников, А.В. Тимохин // *Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности: Матер. I Всеросс. науч. конф. с участием иностранных ученых.* – Тюмень–Новосибирск, 2008. – С. 38–41.
8. Разрез кембрия в восточной части Западно-Сибирской геосинеклизы (по результатам бурения параметрической скважины Восток-4) / А.Э. Конторович, В.А. Конторович, И.В. Коровников, С.В. Сараев, Н.В. Сенников, Ю.Ф. Филиппов, А.И. Варламов, А.С. Ефимов, Ю.А. Филиппов, А.А. Постников, А.А. Терлеев, Г.А. Карлова, К.Е. Наговицин, Д.А. Токарев, Т.П. Батурина, И.А. Губин, Б.Б. Кочнев, Н.В. Новожилова, В.А. Лучинина // *Геология и геофизика.* – 2012. – Т. 53. – № 10. – С. 1273–1284.
9. Тумашев И.В. Литология венд-нижнекембрийских отложений Предьенисейской нефтегазоносной субпровинции (по результатам бурения параметрических скважин Восток-1, 3, 4) // *Известия Томского политехнического университета.* – 2013. – Т. 323. – № 1. – С. 99–104.
10. Конторович В.А., Конторович А.Э. Геологическое строение докембрийско-палеозойских платформенных отложений в юго-восточных районах Западной Сибири [Томская область, по сейсмическим данным] // *Отчет. геология.* – 2006. – № 6. – С. 62–70.
11. Венд приенисейской части Западно-Сибирского мегабассейна: стратиграфия, обстановки осадконакопления (по результатам бурения параметрической скважины Восток-3 [Томская область]) / А.И. Варламов и др. // *Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности: Матер. Всеросс. науч. конф. с участием иностр. ученых.* – Тюмень–Новосибирск, 29 сентября – 2 октября 2008. – С. 41–44.
12. Геология нефти и газа Западной Сибири / А.Э. Конторович и др. – М.: Недра, 1975. – 680 с.
13. Новый опорный разрез кембрия Предьенисейского осадочного бассейна (по материалам бурения параметрической скважины Восток-4) / Ю.Ф. Филиппов и др. // *Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности: матер. II Всеросс. науч. конф. с участием иностр. ученых.* – Тюмень–Новосибирск, 27–29 апреля 2010. – С. 183–188.
14. Новый тип разреза кембрия в восточной части Западно-Сибирской плиты (по результатам бурения параметрической скважины Восток-1) [Томская область и перспективы нефтегазоносности] / А.Э. Конторович и др. // *Геология и геофизика.* – 2008. – Т. 49. – № 11. – С. 1119–1128.
15. Палеонтологические данные венд-кембрийских отложений Чкаловской площади в северо-западной части Томской области по результатам бурения (скв. Чкаловская № 10, 17, 26, 501, 210, 9, 4) / А.А. Терлеев и др. // *Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): матер. сов.* – Иркутск, 17–20 октября 2012. – Т. 2. – Вып. 10. – С. 117–119.
16. Конторович В.А., Филиппов Ю.Ф., Каштанов В.А. Сейсмо-стратиграфия верхнего протерозоя и палеозоя предьенисейской части Западно-Сибирской геосинеклизы // *Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): матер. науч. совещ. по Программе фундамент. исслед.* – Иркутск, 20–23 октября 2003. – С. 127–130.
17. Схема стратиграфии кембрийских отложений приенисейской части Западной Сибири / Е.А. Елкин и др. // *Геология и геофизика.* – 2001. – Т. 42. – № 7. – С. 1015–1027.
18. Симонов В.А., Ступаков С.И., Ковешников А.Е. Особенности формирования палеозойских базальтовых комплексов фундамента Западно-Сибирского нефтегазоносного осадочного бассейна // *Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогенетическое прогнозирование: матер. II Российско-Казахстанского междунар. научного совещания.* – Новосибирск, 1–4 апреля, 2014. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – С. 149–151.
19. Ковешников А.Е. Влияние герцинского складкообразования на сохранность палеозойских образований Западно-Сибирской геосинеклизы // *Известия Томского политехнического университета.* – 2013. – Т. 323. – № 1. – С. 148–151.
20. Геологическое строение доюрского основания Западно-Сибирской плиты в пределах Кеть-Тымского междуречья / Г.Д. Исаев, С.Н. Макаренко, М.Е. Раабен, В.И. Биджаков, И.И. Коптев. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2003. – 34 с.
21. Ковешников А.Е. Ловушки нефти и газа в доюрских отложениях Западно-Сибирской геосинеклизы (Томская область) // *Известия Томского политехнического университета.* – 2011. – Т. 319. – № 1. – С. 152–155.

Поступила 03.10.2013 г.

LITHOLOGY AND FEATURES OF FORMATION OF CAMBRIAN DEPOSITS IN SOUTH-EAST PART OF THE WEST SIBERIAN GEOSYNECLISE

Aleksandr E. Koveshnikov,

Cand. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk branch, 3, Akademicheskoye avenue, Tomsk, 634055, Russia. E-mail: Kovasha@mail.ru

Vladimir A. Kontorovich,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 3, Akademika Koptuyuga Avenue, Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: KontorovichVA@ipgg.sbras.ru

Svetlana N. Makarenko,

Cand. Sc., Tomsk State University, 36, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia. Email: s.makarenko@ggf.tsu.ru

Gennady M. Tatyaniin,

Cand. Sc., Tomsk State University, 36, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: gmt@mail.tsu.ru

Aleksandr A. Terleev,

Cand. Sc., Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 3, Akademika Koptuyuga Avenue, Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: Terleevaa@ipgg.sbras.ru

Dmitry A. Tokarev,

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 3, Akademika Koptuyuga Avenue, Novosibirsk, 630090, Russia E-mail: Tokarevda@ipgg.sbras.ru

In the South-Eastern part of West-Siberian geosyncline in recent years the spread of the Cambrian deposits was observed on larger territory than it was considered before.

The aim of the research is to study lithological composition, conditions of formation and accumulation of Cambrian formations and to identify the types of rocks that may be associated with the opening of oil and gas fields.

Methods of work: The authors have applied the paleontological methods for determining organic residues studying which the early Cambrian age was determined for the rocks exposed by drilling; lithofacial research methods, which were used to determine the conditions of formation of the lower Cambrian sediments, land and distribution zoning of the revealed lithological types of rocks within the studied area.

Results: The formation of the carbonate platform deposits, started in the late Wend in the South-Eastern part of West-Siberian geosyncline, continued during the early Cambrian. The territory of carbonate platform grew at first but to the end of the early Cambrian the carbonate platform ceased to exist. The carbonate platforms deposits are represented by sedimentary Dolomites, which grade to relatively deep-water deposits in the East and in the West. Further works may establish the development areas of the carbonate platform deposits in the Northern direction from the area studied.

Key words:

West-Siberian geosyncline, Cambrian sedimentary rock, carbonate platform, sedimentary dolomite rocks, cracking and leaching.

REFERENCES

1. Terleev A.A., Tokarev D.A., Sennikov M.R., Koveshnikov A.E., Makarenko S.N. Novye biostratigraficheskie dannye po osadochnym obrazovaniyam «domezozoyского» fundamenta Zapadno-Sibirskoy geosineklizy v severo-zapadnoy chaste Tomskoy oblasti (materialy parametricheskoy skvazhiny Chkalovskaya-501) [New biostratigraphic data on sedimentary formations «pre-Mesozoic» foundation of the Western-Siberian geosyncline in the North-Western part of Tomsk region (materials of the parametric wells Chkalovskaya-501)]. *Fundament, struktury obramleniya Zapadno-Sibirskogo mezazoyско-kaynozoyского osadochnogo basseyn, ikh geodinamicheskaya evolyutsiya i problem neftegazonosti. Materialy II Vserossiyskoy konferentsii s uchastiem inostrannykh uchennykh* [Foundation, structure framing the West Siberian Mesozoic-Cenozoic sedimentary basin, their geodynamic evolution and problems of oil and gas potential. Proc. II scientific conference with participation of foreign scientists]. Tyumen–Novosibirsk, 2010. pp. 159–161.

2. Terleev A.A., Tokarev D.A., Kontorovich V.A., Makarenko S.N., Koveshnikov A.E., Sennikov N.V., Tatianin G.M. New paleontological data from the Upper Vendian of the Chkalovskoe Territory of the Fore-Yenisei segment of the West Siberian Megabasin (boreholes 10, 17, 26, 501). *Neoproterozoic sedimentary basins: stratigraphy, geodynamics and petroleum potential: Proc. of the International conference*. Novosibirsk, 30 July – 02 August, 2011. pp. 100–102.
3. Koveshnikov A.E., Kontorovich V.A., Makarenko S.N., Tatiana G.M., Terleev A.A., Tokarev D.A. Litologiya i osobennosti formirovaniya vendskikh otlozheniy v yugo-vostochnoy chaste Zapadno-Sibirskoy geosineklizy [Lithology and features of formation of Vendian deposits in the South-Eastern part of West-Siberian geosyncline]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 324, no. 1, pp. 23–30.
4. Elkin E.A., Krasnov V.I., Bakharev N.K. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Paleozoy Zapadnoy Sibiri* [Stratigraphy of oil and gas basins of Siberia. Paleozoic Western Siberia]. Novosibirsk, SB RAS Publ. house, 2001. 163 p.
5. *Reshenie mezhdvestvennogo soveshchaniya po rassmoteniyu i prinyatiyu regionalnoy stratigraficheskoy skhemy paleozoyskikh obrazovany Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Decisions of the inter-Agency meeting to consider and adopt a regional stratigraphic schemes of the Paleozoic formations of the West Siberian plain]. Ed. by V.I. Krasnov. Novosibirsk, Siberian research Institute of Geology, Geophysics and mineral raw materials, 1999. 80 p.
6. Kontorovich A.E., Varlamov A.I., Grazhdankin A.I., Karlova G.A., Klez A.G., Kontorovich V.A., Saraev S.V., Terleev A.A., Belyaev S.Yu., Varaksina I.V., Efimov A.S., Kochnev B.B., Nagovitsin K.E., Postnikov A.A., Filippov Yu.F. Razrez perekhodnykh vend-kembriyskikh otlozheniy vostochnoy chaste Zapadno-Sibirskoy geosineklizy (po rezultatam bureniya parametricheskoy skvazhiny Vostok-3) [The incision transition Vendian-Cambrian deposits of the Eastern part of the West Siberian geosyncline (by results of parametric drilling wells East-3)]. *Geology and Geophysics*, 2008, no. 12, pp. 1238–1247.
7. Varlamov A.I., Korovnikov I.V., Efimov A.S., Klez A.G., Komarov A.V., Kontorovich A.E., Kontorovich V.A., Saraev S.V., Filippov Yu.F., Varaksin I.V., Glinskikh V.N., Luchinina V.A., Novozhilova N.V., Pegel T.V., Sennikov N.V., Timokhin A.V. *Stratigrafiya kembriya v komplekse osnovaniya Prieniseyskoy chaste Zapadno-Sibirskogo megabasseyna (po rezultatam bureniya parametricheskoy skvazhiny Vostok-1)* [Cambrian stratigraphy in the complex grounds of Yenisei part of the West Siberian megabasin (by the results of parametric drilling wells Vostok-1)]. *Fundament, struktury obramleniya Zapadno-Sibirskogo mezozoyско-kaynozoyского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефtegazonosnosti. Materialy I Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s uchastiem inostrannykh uchenykh* [Foundation, structure framing the West Siberian Mesozoic-Cenozoic sedimentary basin, their geodynamic evolution and problems of oil and gas potential. Proc. I scientific conference with participation of foreign scientists]. Tyumen–Novosibirsk, 2008. pp. 38–41.
8. Kontorovich A.E., Kontorovich V.A., Korovnikov I.V., Saraev S.V., Sennikov N.V., Filippov Yu.F., Varlamov A.I., Efimov A.S., Filiptsov Yu.A., Postnikov A.A., Terleev A.A., Karlova G.A., Nagovitsin K.E., Tokarev D.A., Baturina T.P., Gubin I.A., Kochnev B.B., Novozhilova N.V., Luchinina V.A. Razrez kembriya v vostochnoy chasti Zapadno-Sibirskoy geosineklizy (po rezultatam bureniya parametricheskoy skvazhiny Vostok-4) [The cut of the Cambrian in the Eastern part of West-Siberian geosyncline (by results of parametric drilling wells Vostok-4)]. *Geology and Geophysics*, 2012, vol. 53, no. 10, pp. 1273–1284.
9. Tumashev I.V. Litologiya vend-nizhnnekembriyskikh otlozheniy Predeniseyskoy neftegazonosnoy subprovintsii (po rezultatam bureniya parametricheskikh skvazhin Vostok-1, 3, 4) [Lithology of Vendian-Low Cambrian deposits in Pretensionously oil and gas subprovince (the drilling appraisal wells Vostok-1, 3, 4)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 1, pp. 99–104.
10. Kontorovich V.A., Kontorovich A.E. Geologicheskoe stroenie dokembriysko-paleozoyskikh platformnykh otlozheniy v yugo-vostochnykh rayonakh Zapadnoy Sibiri. Tomsaya oblast, po seismicheskim dannym [Geological structure of the Precambrian-Paleozoic platform sediments in the South-Eastern regions of Western Siberia. Tomsk region, based on seismic data]. *Otechestvennaya geologiya*, 2006, no. 6, pp. 62–70.
11. Varlamov A.I. Vend prieniseyskoy chaste Zapadno-Sibirskogo megabasseyna: stratigrafiya, obstanovki osadkonakopleniya (po rezultatam bureniya parametricheskoy skvazhiny Vostok-3, Tomskaaya oblast) [Vendian Yenisei part of the West Siberian basin: stratigraphy, depositional environment (by the results of parametric drilling of the well Vostok-3, Tomsk region)]. *Fundament, struktury obramleniya Zapadno-Sibirskogo mezozoyско-kaynozoyского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефtegazonosnosti. Materialy I Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s uchastiem inostrannykh uchenykh* [Foundation, structure framing the West Siberian Mesozoic-Cenozoic sedimentary basin, their geodynamic evolution and problems of hydrocarbon prospects. Proc. of the All-Russian Scientific Conference with the participation of foreign scientists]. Tyumen–Novosibirsk, 29 Sept. – 2 Oct. 2008. pp. 41–44.
12. Kontorovich A.E. *Geologiya nefti i gaza Zapadnoy Sibiri* [Geology of oil and gas fields in Western Siberia]. Moscow, Nedra Publ., 1975. 680 p.
13. Filippov Yu.F. Novy oporny razrez kembriya Preyeniseyskogo osadchnogo basseyna (po materialam bureniya parametricheskoy skvazhiny Vostok-4) [The new reference section of Cambrian Pradi name sedimentary basin (on the material of parametric drilling of the well Vostok-4)]. *Fundament, struktury obramleniya Zapadno-Sibirskogo mezozoyско-kaynozoyского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефtegazonosnosti. Materialy II Vserossiyskoy konferentsii s uchastiem inostrannykh uchenykh* [Foundation, structure framing the West Siberian Mesozoic-Cenozoic sedimentary basin, their geodynamic evolution and problems of oil and gas potential. Proc. II scientific conference with participation of foreign scientists]. Tyumen–Novosibirsk, 27–29 April 2010. pp. 183–188.
14. Kontorovich A.E. Novy tip razreza kembriya v vostochnoy chaste Zapadno-Sibirskoy plity (po materialam bureniya parametricheskoy skvazhiny Vostok-1, Tomskaaya oblast i perspektivy neftegazonosnosti) [A new type of incision of the Cambrian in the Eastern part of the West Siberian plate (by the results of parametric drilling of the well Vostok-1), Tomsk region and the perspectives of oil]. *Geologiya i Geofizika*, 2008, vol. 49, no. 11, pp. 1119–1128.
15. Terleev A.A. Paleontologicheskie dannye vend-kembriyskikh otlozheniy Chkalovskoy plishchadi v severo-zapadnoy chaste Tomskoy oblasti po rezultatam bureniya (skvazhina Chkalovskaya № 10, 17, 26, 501, 210, 9, 4) [Paleontological data on Vendian-Cambrian deposits in Chkalovskaya area in the North-Western part of Tomsk region on the drilling results (well Chkalovskaya № 10, 17, 26, 501, 210, 9, 4)]. *Geodinamicheskaya evolyutsiya litosfery Tsentralno-Aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu)*. *Materialy soveshchaniya* [Geodynamic evolution of lithosphere of the Central-Asian mobile belt (from ocean to continent). Proc. of the meeting]. Irkutsk, 17–20 Oct. 2012. Vol. 2, Iss. 10, pp. 117–119.
16. Kontorovich V.A., Filippov Yu.F., Kashtanov V.A. Seismostratigrafiya verkhnego proterozoya i paleozoya predyeniseyskoy chaste Zapadno-Sibirskoy geosineklizy [Seismostratigraphy upper Proterozoic and Paleozoic pretensionously part of the West Siberian geosyncline]. *Geodinamicheskaya evolyutsiya litosfery Tsentralno-Aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu)*. Ma-

- terialy soveshchaniya* [Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central-Asian mobile belt (from ocean to continent). Proc. of the scientific meeting. Irkutsk, 20–23 Oct. 2003, pp. 127–130.
17. Elkin E.A. Skhema stratigrafii kembriyskikh otlozheny prieniseyskoy chaste Zapadnoy Sibiri [Stratigraphy scheme of Cambrian deposits in Yenisei part of Western Siberia]. *Geologiya i geofizika*, 2001, vol. 42, no. 7, pp. 1015–1027.
 18. Simonov V.A., Stupakov S.I. Koveshnikov A.E. osobennosti formirovaniya paleozoyskikh bazaltovykh kompleksov fundamenta Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo osadochnogo basseyna [Features of formation of the Paleozoic basalt complexes of the basement of the West Siberian oil and gas bearing sedimentary basin]. *Korrelatsiya altaid i uralid: magmatizm, metamorfizm, stratigrafiya, geokhronologiya, geodinamika i metalogenicheskoe prognozirovanie. Materialy II Rossiysko-Kazakhstanskogo mezhdunarodnogo nauchnogo soveshchaniya* [Correlation of Altaic and Uralic: magmatism, metamorphism, stratigraphy, geochronology, geodynamics and metallogenic forecasting. Proc. of II Russian-Kazakhstan international scientific meetings]. Novosibirsk, 1–4 April, 2014. Novosibirsk, SB RAS Publ. house, 2014. pp. 149–151.
 19. Koveshnikov A.E. Vliyanie gertsinskogo skladkoobrazovaniya na sokhrannost paleozoyskikh obrazovany Zapadno-Sibirskoy geosineklizy [Impact of Hercynian folding on safety of Paleozoic formations of the West-Siberian geosyncline]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 1, pp. 148–151.
 20. Isaev G.D., Makarenko S.N., Raaben M.E., Bizhakov V.I., Koptev I.I. *Geologicheskoe stroenie doyruskogo osnovaniya Zapadno-Sibirskoy plity v predelakh Ket-Tymskogo mezhdurechya* [Geological structure of pre-Cambrian founding of the West-Siberian plate within Ket-Tym interfluves]. Novosibirsk, Novosibirsk State University Press, 2003. 34 p.
 21. Koveshnikov A.E. Lovushki nefti i gaza v doyruskikh otlozheniyakh Zapadno-Sibirskoy geosineklizy (Tomskaya oblast) [Oil and gas traps in pre-Jurassic deposits of the West-Siberian geosyncline (Tomsk region)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 319, no. 1, pp. 152–155.

УДК 553.3/4.078:553.2:551.73

ПЕТРО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И РУДОНОСНОСТЬ ДВУХ ПОДТИПОВ АНОРОГЕННЫХ ГРАНИТОИДОВ ГОРНОГО АЛТАЯ

Гусев Анатолий Иванович,

д-р геол.-минерал. наук, профессор каф. географии и экологии естественно-географического факультета Алтайской государственной академии образования им. В.М. Шукшина, Россия, 659300, г. Бийск, ул. Советская, д. 11. E-mail: anzerg@mail.ru

Коробейников Александр Феопенович,

д-р геол.-минерал. наук, профессор каф. геологии и разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: lev@tpu.ru

Актуальность работы определяется необходимостью изучения петро-геохимических особенностей анорогенных гранитоидов и их рудоносности.

Цель работы: обоснование различной рудоносности двух подтипов анорогенных гранитоидов Горного Алтая по их петро-геохимическим особенностям.

Методы исследования: Химический состав на главные петрогенные элементы определён силикатным анализом. Определения редких элементов выполнены эмиссионной спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре «ОРТИМА-4300», для Cu, Zn, Pb, Li – методом ISP-AES, остальные элементы, в том числе PЗЭ, – методом ISP-MS в лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). Расчёт тетрадного эффекта фракционирования PЗЭ выполнен по методу В. Ирбер.

Результаты: выявлены два подтипа анорогенных гранитоидов Солонешенского рудного района, генерация которых проходила в сложных условиях мантийно-корового взаимодействия. Установлены различные источники плавления мантийного и корового субстратов для гипертальвусных и транссольвусных гранитов. Гипертальвусные рибекитовые лейкограниты Елиновского массива формировались с участием тетрадного эффекта фракционирования PЗЭ M-типа и генерировали альбититовое и скарновое уран-редкометалльно-редкоземельное оруденение, а транссольвусные рибекитовые лейкограниты Казандинского массива сопровождалась тетрадным эффектом фракционирования PЗЭ W-типа и генерировали жильное и грейзеновое вольфрам-молибденовое и бериллиевое оруденение.

Ключевые слова:

Анорогенные гранитоиды, гипертальвусные, транссольвусные, мантийно-коровое взаимодействие, тетрадный эффект фракционирования PЗЭ, W, Mo, Be, U, Zr, TR.

Введение

Анорогенные гранитоиды в Горном Алтае представлены гипертальвусными моношатовыми и субсольвусными двуполовшатовыми типами [1]. Моношатовые рибекитовые граниты и лейкогра-

ниты распространены в регионе широко, и с ними в пространственной и парагенетической связи обнаруживаются различные типы жильного, скарнового, альбититового и грейзенового оруденения Та, Nb, U, W, Be, Sc, Zr, редких земель. В Солонешен-

ском рудном районе и в пограничной части с Талицко-Бащелакским локализованы несколько анорогенных интрузивов, два из которых являются рудоносными. Формирование рибекитовых гранитоидов этих массивов по данным абсолютного датирования происходило в узком временном интервале 267–272 млн лет. Установлено, что с разными массивами связаны месторождения и проявления со своим набором металлов. По петрографическим и петрохимическим данным резких отличий в составе таких гранитоидов не обнаруживается. Использование высокочувствительных методов лабораторных анализов позволяет в составе рибекитовых гранитоидов анорогенного типа Горного Алтая выделить два подтипа: гиперсолвусные и транссолвусные, различающиеся геохимическими параметрами, петрологическими особенностями генерации и металлогенной [2–4].

Геологическое положение массивов

Изученные массивы представлены: 1 – Елиновским, расположенным в левом борту реки Щебеты и являющимся сателлитом крупного Бутачихинского, и 2 – Казандинским, расположенным южнее и приуроченным к зоне влияния Бащелакского разлома.

Елиновский массив представляет собой трицинное удлиненное тело северо-восточного простирания протяженностью более 2 км и шириной от 0,5 до 1 км. На северо-восточном продолжении массива наблюдается несколько даек лейкократовых рибекитовых гранит-порфиров протяженностью от 0,5 до 1 км и мощностью от 0,3 до 50 м. Массив прорывает и ороговиковывает терригенно-карбонатные силурийско-девонские породы. Контакты массива извилистые, рвущие; характерны узкие апофизы с ксенолитами ранних фаз. Контактные изменения выражаются в ороговикании и скарнировании карбонатно-терригенных отложений. Ширина контактовых ореолов достигает 1 км.

Казандинский массив, в отличие от Елиновского, имеет извилистые очертания и близок к изометричной форме площадью около 2 км². Он прорывает ордовикские и силурийские терригенно-карбонатные породы и терригенные кембро-ордовикские отложения. Ороговикование проявлено на расстоянии от 0,5 до 0,8 км от контакта. Северо-восточная часть массива срезается Бащелакским разломом.

Петро-геохимические особенности массивов

Оба массива слагают сходные породные типы: граниты, лейкограниты, умеренно-щелочные лейкограниты, лейкогранит-порфиры. В обоих массивах присутствуют рибекитовые разности пород. Химические составы пород массивов сведены в табл. 1.

На диаграмме A/NK–A/CNK по [7] породы обоих массивов попадают в поле сильно пералюминиевого типа (рис. 1).

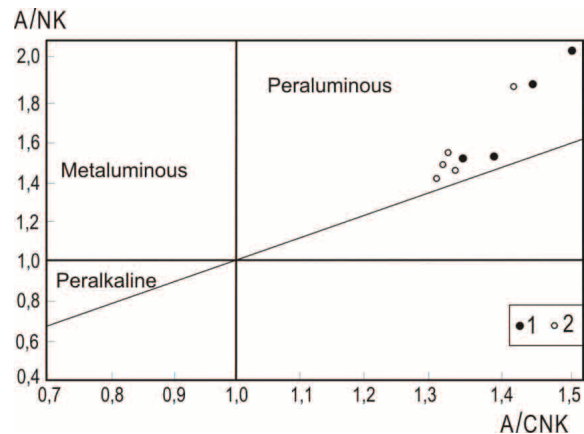


Рис. 1. Диаграмма A/NK–A/CNK по Маньяру и Пикколи [7] для пород Казандинского и Елиновского массивов $A=Al_2O_3$, $N=Na_2O$, $K=K_2O$, $C=CaO$ (в молекулярных количествах). Породы массивов: 1 – Казандинского, 2 – Елиновского

Анализ табл. 1 показывает, что отношения многих элементов в породах сравниваемых массивов действительно обнаруживают не заряд-радиус-контролируемое («non-CHARAC» в англоязычной литературе) поведение химических элементов. Вероятно, различные типы тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов (M-тип для Елиновских гранитоидов и W-тип для Казандинских) обязаны различными активностями, насыщенностями и обогащенностями летучими компонентами, такими как H₂O, CO₂, и такими элементами, как Li, B, F и/или Cl.

Так, отношения K/Rb в породах обоих массивов весьма высокие (от 144,1 до 395,8) и намного превышают среднее значение для хондрита (63,8). Отношения K/Ba в гранитоидах Казандинского массива (42,6...53,7) намного меньше, чем в хондритах (236,1). Исключение составляет лейкогранит умеренно-щелочной, в котором это отношение немного превышает хондритовое значение. В Елиновском массиве, наоборот, почти все отношения K/Ba весьма высокие (534...2072) и намного превышают хондритовое значение (236,1) и лишь у одного рибекитового лейкогранита (206,6) это отношение чуть ниже хондритового. В целом же граниты Елиновского массива отличаются по отношению K/Ba от гранитоидов Казандинского массива.

Zr и Hf имеют близкое геохимическое поведение и их отношение (Zr/Hf) в большинстве земных и внеземных пород являются почти постоянными, составляя около 38 ± 2 ; в хондритах оно составляет 36,0. Однако Zr/Hf отношения редуцированы для гранитоидов Казандинского массива, варьируясь от 7,9 до 10,9, и близки к хондритовому значению в Елиновских гранитоидах (24,5...39,3). На диаграмме соотношений Zr/Hf–TE₁ отчетливо видно, что с увеличением тетрадного эффекта M-типа и уменьшением W-типа происходит уменьшение отношений Zr/Hf в разные стороны от хондритовых значений (рис. 2).

Таблица 1. Представительные анализы породных типов Елиновского и Казандинского массивов (оксиды в мас. %, элементы в г/т)

Оксиды, химические элементы и отношения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Оксиды, химические элементы и отношения	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	71,25	75,4	76,1	76,0	77,5	72,29	74,71	75,17	74,02	Ho	3,21	0,63	3,08	2,14	2,22	0,5	0,7	0,9	0,6
TiO ₂	0,22	0,08	0,08	0,08	0,08	0,27	0,18	0,08	0,08	Er	10,2	2,15	9,03	6,25	6,41	1,4	1,6	2,7	1,9
Al ₂ O ₃	14,50	12,4	12,3	12,9	11,5	13,99	13,01	12,57	12,67	Tm	1,78	0,55	1,41	1,03	0,96	0,3	0,29	0,21	0,52
Fe ₂ O ₃	2,35	1,49	1,15	0,91	1,59	0,94	0,66	0,64	0,58	Yb	10,2	3,89	9,4	6,39	7,01	8,2	8,1	8,0	7,5
FeO	1,25	0,94	0,79	0,63	<0,2	2,08	1,87	1,78	1,36	Lu	1,41	0,63	1,34	0,98	1,25	0,22	0,23	0,21	0,42
MnO	0,10	0,05	0,03	0,02	0,062	0,06	0,06	0,06	0,06	Y	90,5	12,2	83,2	62,0	53,6	46,7	45,2	58,0	65,6
MgO	0,23	0,18	0,07	0,05	<0,1	0,40	0,29	0,15	0,13	ΣPЗЭ	350,32	166,36	335,2	268,9	191,1	215,2	189,1	175,1	205,3
CaO	0,15	0,43	0,47	0,43	0,28	1,49	1,27	0,73	0,76	Ga	31,5	22,6	21,6	20,1	20,3	17,4	18,3	20,7	19,6
Na ₂ O	5,45	4,34	4,36	4,26	3,9	3,67	3,67	3,72	3,9	Zr	554	248	464	359	262	48,4	45,5	42,7	46,9
K ₂ O	4,12	4,27	4,28	4,63	4,2	3,49	3,46	4,6	4,6	Sc	2,5	<0,1	<0,1	<0,1	2,02	8,1	7,7	3,6	5,3
P ₂ O ₅	0,15	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	0,07	0,05	<0,05	Hf	16,7	8,0	15,3	9,13	10,7	6,1	4,5	4,4	4,3
Сумма	99,99	100	100	100	99,7	99,87	99,9	99,92	99,93	Ta	12,9	1,36	2,41	1,52	1,48	3,5	3,8	2,2	2,3
V	12,1	10,7	10,9	10,9	<2,5	12,2	11,6	1,9	8,5	Mo	1,1	0,75	0,86	1,66	2,75	2,2	1,8	1,1	0,9
Cr	35,5	20,3	21,5	34,6	26,8	21,4	19,0	8,8	11,4	Sb	0,3	0,25	0,2	0,32	0,93	0,1	0,2	0,2	0,1
Co	2,1	1,04	1,39	1,43	<0,5	3,3	2,9	1,9	1,9	Sn	5,9	3,34	4,06	2,63	9,21	5,6	5,45	4,7	4,5
Ni	2,2	2,05	2,99	1,83	<0,1	19,7	17,1	18,0	11,6	Be	4,5	3,67	4,73	3,79	4,45	2,1	1,95	0,7	1,74
Cu	4,5	1,95	2,25	3,27	11,8	13,9	13,2	12,6	14,8	W	1,3	0,73	0,89	0,6	0,61	1,5	1,9	2,1	2,5
Zn	145	163	149	112	109	46,8	38,1	35,6	34,5	U	6,3	4,54	6,27	3,83	6,5	2,1	1,9	2,0	2,1
Rb	250	246	226	141	183	111,8	110,5	123,7	98,7	Li	171,0	114,0	169,0	10,9	13,7	55,3	37,6	8,7	21,7
Sr	275	1,85	1,95	5,11	16,9	203,4	191,6	55,2	126,8	Ag	0,05	0,018	0,045	0,025	0,039	0,1	0,07	0,09	0,1
Nb	35,1	23,8	25,9	17,7	22,8	12,9	10,0	7,0	8,3	(La/Yb) _N	2,7	4,97	2,84	4,1	1,89	4,17	3,73	2,8	3,65
Cs	7,7	2,89	4,66	1,35	2,24	4,7	4,4	3,2	4,3	Nb/Ta	2,7	17,5	10,7	11,64	15,4	3,68	3,03	3,18	3,61
Ba	204	17,1	24,9	186	43	734	721,7	141,2	725,4	Eu/Eu*	0,07	0,03	0,036	0,076	0,010	0,71	0,76	0,82	0,79
Pb	19,5	5,8	16,5	6,83	18,1	21,3	20,5	22,8	20,7	Th/U	2,4	3,08	4,38	4,07	2,69	5,8	4,6	5,6	5,3
Th	15,1	14,0	27,5	15,6	17,5	12,2	8,7	11,3	11,2	TE ₁	1,08	1,21	1,08	0,99	1,12	0,73	0,78	0,84	0,89
La	41,5	29,3	40,5	39,7	20,1	51,8	45,7	34,0	41,4	TE _{1,3}	1,01	1,02	1,04	0,97	1,1	0,71	0,65	0,67	0,77
Ce	90,2	72,3	88,9	71,3	50,4	56,8	51,3	41,1	55,3	(La/Sm) _N	2,05	3,9	2,06	2,9	2,19	5,89	5,84	7,44	5,76
Pr	12,1	7,83	11,9	10,5	4,99	7,3	5,3	5,1	5,5	(Gd/Yb) _N	1,1	0,57	1,03	1,14	0,66	0,39	0,34	0,22	0,30
Nd	46,8	26,6	45,1	38,4	20,5	29,6	19,6	17,3	16,7	K/Rb	198,6	144,1	157,1	395,8	176,6	282,1	240,3	281,8	386,8
Sm	12,4	4,48	12,1	9,25	5,62	5,4	4,8	2,8	4,4	K/Ba	534	2072	1426	207	810	42,9	42,6	252	53,7
Eu	0,87	0,11	0,44	0,7	0,27	1,12	1,05	0,69	0,97	Zr/Hf	33,2	31,0	30,3	39,3	24,5	7,9	10,1	9,7	10,9
Gd	11,9	2,77	12,1	9,1	5,81	4,0	3,4	2,2	2,8	La/Nb	1,2	1,23	1,56	2,24	0,88	4,01	4,57	4,85	4,98
Tb	2,15	0,38	2,12	1,49	1,23	0,66	0,41	0,27	0,43	La/Ta	3,2	21,5	16,8	26,1	13,6	14,8	12,0	15,4	18,0
Dy	15,1	2,54	14,6	9,72	10,8	1,22	1,38	1,58	1,27	Y/Ho	28,1	19,4	27,0	28,9	24,1	93,4	64,5	64,4	109,3
										Sr/Eu	31,6	16,8	4,43	7,3	62,6	181,6	182,5	80,0	130,7
										La/Lu	67,5	46,6	30,2	40,5	16,1	235,4	198,7	161,9	98,5

Примечание: Силикатный анализ выполнен в лаборатории ВСЕГЕИ. Определения редких элементов выполнены эмиссионной спектроскопией с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре «OPTIMA-4300», для Cu, Zn, Pb, Li – методом ICP-AES (аналитик Э.Г. Червякова), остальные элементы, в том числе PЗЭ, – методом ICP-MS в той же лаборатории (аналитики В.А. Шишлов, В.Л. Кудряшов). ΣPЗЭ – сумма редкоземельных элементов. Значения PЗЭ нормированы по хондриту по E. Anders, N. Grevesse (1989) [5]. Eu*=(Sm_N+Gd_N)/2. TE₁ – тетрадный эффект фракционирования PЗЭ первой тетрады по Irbcr [6]; TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования PЗЭ, как среднее между первой и третьей тетрадами. Породы Елиновского массива: 1 – гранит-порфир умеренно-щелочной, 2–4 – лейкограниты рибекитовые умеренно-щелочные, 5 – лейкогранит-порфир умеренно-щелочной; породы Казандинского массива: 6 – гранит, 7 – лейкогранит, 8 – лейкогранит умеренно-щелочной, 9 – лейкогранит рибекитовый.

На диаграмме Y/Но–TE₁ фигуративные точки составов пород занимают различные позиции относительно друг друга, а также составов хондритов и области варьирования составов магматических пород (рис. 3).

Если составы пород Елиновского массива близки к области варьирования составов магматических пород, то для пород Казандинского массива наблюдается сильное изменение соотношений редких земель первой триады PЗЭ, а также Y и Ho.

На диаграмме Eu/Eu*–TE₁ соотношения отношений европия и тетрадного эффекта фракционирования первой тетрады также дают различные тренды для сравниваемых массивов (рис. 4).

На диаграмме чётко видно, что увеличение значения тетрадного эффекта M-типа первой тетрады в Елиновском массиве коррелируется с уменьшением величины Eu/Eu*. Обратная картина наблюдается для пород Казандинского массива. В нём уменьшение величины тетрадного эффекта W-типа сопровождается слабым ростом значений Eu/Eu*. Европиевая негативная аномалия (с ≥95 % Eu дуплетированием на рис. 4) для Елиновского массива не может быть объяснена традиционной сепарацией полевых шпатов в расплаве, хотя известна констатация позитивной аномалии Eu в коэффициенте распределения модели PЗЭ в расплавах. Установлено в последнее время, что причина проявления тетра-

дного эффекта фракционирования РЗЭ в высокоэволюционированных гранитоидных магмах вызвана взаимодействием магма-флюид, которое создаёт не только деплетирование Eu в породах, но и также вызывает необычную негативную аномалию во всех конституционных минералах, включая и калиевый полевой шпат [8]. Сравнение величин отношений Eu/Eu^* для обоих массивов показывает, что чем выше указанное отношение, тем выше кислотность среды, согласно рядам кислотности-щёлочности А.А. Маракушева [9] для ряда элементов Sm, Gd, Eu в водно-сероводородных растворах при стандартных условиях. Следовательно, при становлении Казандинского массива и формировании грейзенового оруденения W и Be кислотность среды была выше, чем при формировании Елиновского массива с более щелочной средой. С последним связаны альбититы с оруденением U, Zr, Nb, Ta, TR.

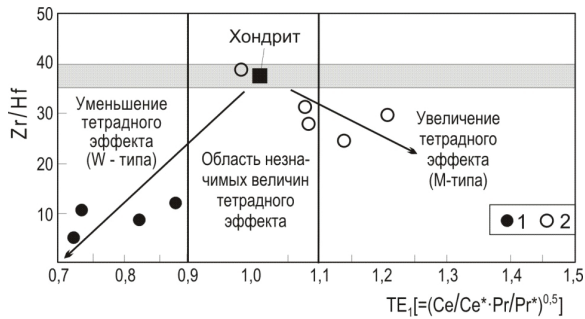


Рис. 2. Диаграмма $Zr/Hf-TE_1$ для гранитоидов Елиновского и Казандинского массивов TE_1 по [6]. Серая область отвечает только отношениям элементов (Zr и Hf), но не TE_1 . Хондритовые значения приняты по [5]. Гранитоиды массивов: 1 – Казандинского, 2 – Елиновского

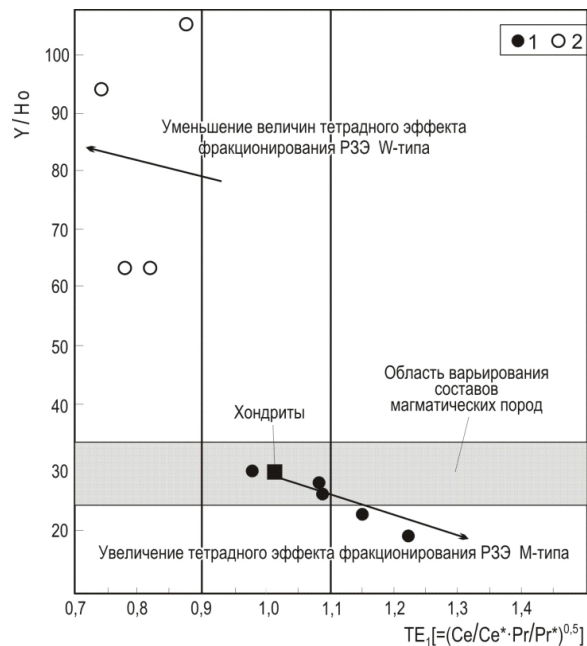


Рис. 3. Диаграмма $Y/No-TE_1$ для пород Казандинского и Елиновского массивов TE_1 по [6]. Хондритовые значения приняты по [5]. Гранитоиды массивов: 1 – Елиновского, 2 – Казандинского

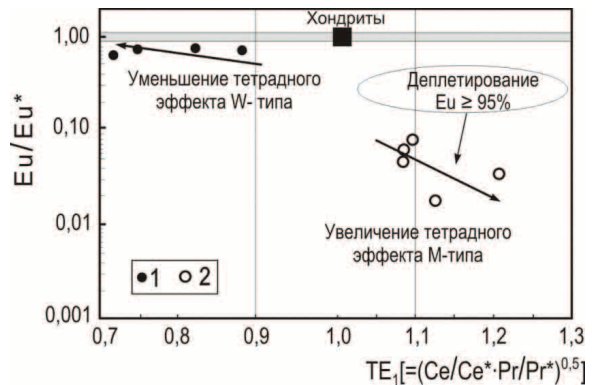


Рис. 4. Диаграмма Eu/Eu^*-TE_1 для пород Казандинского и Елиновского массивов. Условные обозначения те же, что на рис. 3

Сравнительные данные по комплексу признаков анализируемых массивов сведены в табл. 2.

Таблица 2. Сопоставление гранитоидов Елиновского и Казандинского массивов по данным [2, 3, 10]

Параметры	Елиновский массив	Казандинский массив
Кварц	33	30
Микроклин-пертит	52	38
Альбит	1	28
Рибекит	6	2,7
Эгирин	1	0,9
Магнетит	0,3	1,2
Гематит	0,2	1,0
Циркон	1,2	0,8
Флюорит	0,4	–
Монацит	0,5	0,2
Тип гранитов	A ₂ , Пералюминиевый, гиперсолвусный	A ₂ , Пералюминиевый, транссолвусный
Сумма РЗЭ, г/т	166–269	175–215
Тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ	M-тип	W-тип
Возраст (млн лет)	369–372±5–7	367±4
$^{87}Sr/^{86}Sr$	0,70513–0,7042	0,7076
$\epsilon(Nd)_t$	+3,	+0,7
$\epsilon(Sr)_t$	+30,2	+35,5
Возраст протолита	900	1100
Рудная минерализация	Ta, Nb, Zr, U, TR	Be, W, Mo

Примечание: Минералы в объёмных процентах.

Анализ табл. 2 показывает, что анорогенные гранитоиды Елиновского массива относятся к гиперсолвусному подтипу и характеризуются преобладанием в своём составе микроклин-пертита, несколько более поздним возрастом и ювенильным (мантийным) соотношением изотопов стронция. В них проявлен M-тип тетрадного эффекта распределения РЗЭ. Анорогенные гранитоиды Казандинского массива относятся к промежуточному подтипу между субсолвусными и гиперсолвусными гранитами – транссолвусному. Это несколько более ранние граниты с более древним протолитом и

соотношением изотопов стронция, указывающим на контаминацию корового материала. В минеральном составе этих гранитов меньшие количества рибекита и значительные содержания альбита. В гранитоидах Казандинского массива проявлен W-тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ, предполагающего участие высоководных контаминированных коровых источников с высокими содержаниями фтора, бора, фосфора и других летучих компонентов.

Рудная минерализация

В *Щебетинском рудном узле* наибольший интерес представляют Токаревское и Казандинское рудные поля с двумя разведанными молибден-вольфрамовыми и одним бериллиевым месторождениями. Оруденение локализуется, как в эндо-, так и в экзоконтактных зонах гранитных массивов. В Казандинском рудном поле наиболее крупными являются Казандинские вольфрамовое и бериллиевое месторождения.

Казандинское бериллиевое месторождение разведывалось в 1951–1960 гг. на глубину до 300 м. Оруденение размещается в кварцевых жилах, образующих полосу шириной более 500 м. Жилы (65 шт.), вошедшие в подсчет запасов, имеют мощность до 1,2 м (средняя – 0,39 м) и общую протяженность 8115 м. Их простирание 250–300°, падение южное под углом 65–85°. Главным рудным минералом является берилл, представленный как мелкими, так и крупными кристаллами (10×2 см) и гнездами; в подчиненных количествах отмечаются пирит, молибденит, висмутин, вольфрамит, а из нерудных – турмалин, морион, дымчатый кварц. Среднее содержание BeO в жилах составляет 0,194%. Отмечаются повышенные содержания (%): Mo – до 0,3; Pb – до 0,1; Cu, Bi – до 0,05, а так же золота – до 0,2 г/т и серебра – до 9 г/т. В кварце, обогащенном пиритом, установлено 134 г/т серебра, 0,5 г/т золота. Запасы BeO категории В+С₁+С₂ для Казандинского бериллиевое месторождения составляют 1218,8 т.

В контакте с Елиновским массивом сформировались скарновое флюорит-редкоземельное и альбититовое тантал-ниобиевое с цирконием проявления.

Елиновское скарновое флюорит-редкоземельное проявление находится в северо-западной части Елиновского массива и на его продолжении. Здесь на выклинке массива наблюдается несколько кулисообразных даек рибекитовых лейкогранит-порфиоров, в контактах которых локализуется скарновая залежь, сложенная пироксен-гранатовыми скарнами с редкими выделениями волластонита. Контакт среднезернистых роговообманковых лейкогранит-порфиоров с известняками куймовской свиты верхнего силура интрузивный. Граниты вблизи контакта каолинизированы, окварцованы и обохрены по трещинам. Известняки скарнированы и мраморизованы. В скарнированных известняках наблюдается серия кварцевых,

кварц-карбонатных и кварц-флюоритовых жил. Простирание жил северо-западное (285–300°), падение северо-восточное под углом 45–90°. Мощность жил до 0,8 м. Прослеживаются они по простиранию на первые десятки метров. В отдельных жилах флюорит составляет до 50% объема породы. Иногда в кварце наблюдается мелкая, довольно редкая вкрапленность пирита, галенита и сфалерита. Рентгено-спектральный анализ каолинизированного гранита дал следующие результаты: Y – 0,01...0,03%, Yb – 0,01...0,03%. Спектральный анализ бороздовых проб по кварцу с сульфидами показал наличие Pb до 0,3...1%, Zn до 1%. Нами в скарнированных известняках определены содержания (%): La – 0,1...0,3, Ce – 0,2...0,3, Y – 0,01...0,03. Основная масса редких земель связана с Се – кальцитом, в котором содержания редких земель составляют (г/т): La – 1450, Се – 870, Y – 270. Опробованию были подвергнуты скарнированные известняки, кварц-флюоритовые и кварц-карбонатные породы. Повышенное содержание элементов встречено лишь в измененных гранитах (%): Zr – 0,1, Nb – 0,005, Ga – 0,001, Y – 0,01, Yb – 0,002. Радиоактивностью 65 мкр/час на фоне 25 мкр/час обладают дайки рибекитовых лейкогранитов мощностью до 0,3 м и измененные граниты по зонам дробления. В первом случае в дайках повышенная радиоактивность, связанная с малаконом (малакон – дипирамидальная разновидность циркона с повышенными содержаниями U, Th, Th; содержание U – 0,8...1%, Th – 0,3% по рентгеноспектральному анализу), а во втором случае природа радиоактивности не выяснена. Местами в дайках наблюдается малакон в виде густой вкрапленности. Размер зерен до 0,5 см. Химическим анализом в гранитах установлен диоксид циркония в количествах от 0,1 до 0,76%.

Альбититовое тантал-ниобий-циркониевое проявление *Вершинное* расположено в северной части Елиновского массива. Здесь альбитизированные и окварцованные рибекитовые лейкограниты превращены местами в крупнозернистые альбититы с вкрапленностью танталита, колумбита, пироклора и циркона размерами от 0,1 до 1 мм. Содержания тантала варьируют (%) от 0,01 до 0,12, ниобия – от 0,005 до 0,1, циркония от 0,1 до 0,5, урана от 0,005 до 0,1.

Обсуждение результатов и выводы

Два подтипа анорогенных гранитоидов, выделенных в Солонешенском районе, характеризуется разной степенью мантийно-корового взаимодействия и различными источниками плавления корового субстрата. Сопоставление данных по анализируемым массивам с экспериментальными данными по моделированию источников плавления показали, что граниты Казандинского массива тяготеют к расплавам, образовавшимся за счёт плавления амфиболитов, а все остальные породы – за счёт плавления метаграувак [11]. Аналогичные сопоставления с экспериментальными моделями

плавления коровых источников для Елиновского массива дали однозначные показатели плавления за счёт граувакк [11].

Ультракислые породы Казандинского и Елиновского массивов располагаются на максимуме степени изестково-щелочного фракционирования ортоклаза и альбита. Экспериментально установлено, что этой ситуации могут отвечать: уменьшение щёлочности в процессе взаимодействия вода–породы или небольшая степень ассимиляции пелитов, которые и будут легко увеличивать показатели фракционирования ортоклаза и альбита, что и имеет место для конечных дифференциатов и Казандинского, и Елиновского массивов.

Принципиальные отличия сравниваемых массивов по проявлению тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ в породах, вероятно, обусловлены различными сценариями формирования как по геологическим условиям, так и по характеру флюидного режима [12]. Характер зональности у сравниваемых массивов различен, что связано с особенностями генерации и становления интрузивных тел. На большом фактическом материале по изучения сложных габбро-гранитоидных серий выявлены 2 крайних типа зональности: 1 – нормальная зональность, в которой более эволюционированные фазы (граниты, лейкограниты) локализируются в центре массивов, а по периферии – менее эволюционированные – породы первых фаз внедрения (габброиды, диориты); контакты между фазами постепенные с конкордантными или слабо конкордантными текстурами и переходами; 2 – обратная зональность массивов проявляется тогда, когда более эволюционированные порции магмы локализируются на периферии; контакты между фазами и фациями контрастные с дискордантными текстурами [13, 14]. Такой различный характер зональности плутонов интерпретируется как результат химической дифференциации и скорости поступления последовательных фаз. В случае быстрого поступления фаз и отдельных пульсаций предыдущие поступления не успевают закристаллизоваться и более поздние фазы их легко прорывают и располагаются в центре плутонов с формированием нормальной зональности. Наоборот, когда скорость становления массивов малая, предыдущие фазы внедрения успевают закристаллизоваться и тогда более поздние фазы внедряются на периферию плутонов с образованием обратной зональности. Становление и характер зональности Елиновско-Бутачихинского плутона отвечает обратной зональности – Елиновский массив, сложенный наиболее эволюционированными рибекитовыми гранитами и лейкогранитами, располагается на периферии сложного плутона. Зональность Казандинского массива отвечает нормальному типу, когда наиболее эволюционированные лейкограниты локализируются в центре плутона [15].

В породах Казандинского массива проявлен W-тип тетрадного эффекта фракционирования. Известно, что W-тип тетрадного эффекта более

свойственен морской воде, грунтовыми водами, известнякам, другим осадочным породам [16, 17]. В последнее время установлено, что W-тип тетрадного эффекта может проявляться и в гранитоидах, флюиды которых обогащены вадозной водой [18, 19]. Ранее нами показано, что такое обогащение вадозной водой в процессе контаминации корового материала происходило и для гранитоидов Казандинского массива [11]. Становление Казандинского массива происходило в лежачем боку регионального глубинного Башелакского разлома, оперяющего Чарышско-Теректинский, проявляющий сейсмическую активность и в настоящее время (Бельтирское землетрясение 2003 г.). Флюидный режим Казандинского массива в значительной степени определялся и обводнёностью магмоконтролирующего разлома. Предполагаемый механизм обводнения приразломного пространства и контролируемых его интрузивов, жильного выполнения трещин, грейзенов – дилатантное нагнетание по Р. Сибсону [20, 21]. Этот динамический процесс включает понятия «модели разломного клапана» и чередующееся изменение давления флюида. На первом этапе при палеосейсмических напряжениях и сдвиговых движениях по магморудолокализирующей трещине Р флюида было больше Р литостатического. При таких параметрах флюиды заполняют трещиноватое пространство вокруг трещин на больших площадях, производят пропилитизацию пород. Процесс дилатантного нагнетания флюидов сопровождается увеличением объёма пористости пород. Это как следствие приводит к снижению порового давления, и происходит всасывание флюидов в расширяющийся объём пор. Для объяснение миграции флюидов предложена модель корового волновода [22]. При этом коровые волноводы распространяются до глубин 10...15 км и действуют как насосы. Флюидные растворы, которые двигаются вниз, омывают верхние коровые слои пород, растворяя минералы и загроужаясь различными компонентами. На втором этапе, после окончания максимума сейсмических событий, когда Р флюида становится меньше Р литостатического, растворы устремляются из вмещающих пород, поднимаются вверх, проникают в полость магмо-рудолокализирующего разлома, насыщают водой всё его пространство и контролирующие интрузивы и отлагают жильные минералы, металлы и другие компоненты. Таким образом, описанный механизм использует энергию тектонических движений в коре и литосфере. Эта энергия достаточна для переноса флюидов на значительные расстояния, насыщения ими гранитоидных массивов (в значительной степени и вадозной водой), обеспечивая проявление и W-типа тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ.

Таким образом, анорогенные рибекитовые гранитоиды в Солонешенском рудном районе следует подразделять на два подтипа: 1 – Елиновский, гиперсолвусный, связанный исключительно с плавлением мантийного источника типа эклогитов и

гранатовых амфиболитов, и 2 – Казандинский, трансольвусный, связанный со смешением мантйного и корового материала. Для подтипов характерны не только различные соотношения изотопов стронция и неодима, но и различная металлогени-

ческая нагрузка: для Елиновского ареала – это уран-редкометалльно-редкоземельная апогранитная и скарновая, а для Казандинского – вольфрам-молибденовое и бериллиевое оруденение грейзенового и жильного геолого-промышленных типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.И. Дискриминация анорогенных гранитоидов // Современные наукоёмкие технологии. – 2011. – № 3. – С. 7–8.
2. Гусев А.И., Гусев Н.И., Красова А.С. Анорогенные гранитоиды Бутачихинского массива Горного Алтая: геохимия, петрология и оруденение // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 4. – С. 222–226.
3. Гусев А.И. Петрология и рудоносность анорогенных щелочных гранитоидов Казандинского массива Горного Алтая // Современные наукоёмкие технологии. – 2013. – № 1. – С. 88–93.
4. Гусев А.И., Гусев Н.И. Петрология и рудоносность анорогенных щелочных гранитоидов Елиновского массива Горного Алтая // Современные наукоёмкие технологии. – 2013. – № 2. – С. 55–60.
5. Anders E., Greevesse N. Abundance of the elements: meteoric and solar // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1989. – V. 53. – P. 197–214.
6. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1999. – V. 63. – № 3/4. – P. 489–508.
7. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // *Geol. Soc. Amer. Bull.* – 1989. – V. 101. – P. 635–643.
8. Zhao Z.H. REE and O-Pb-Sr-Nd isotopic compositions and petrogenesis of the Altai granitoids // *New Development of Solid Earth Science in Northern Xinjiang.* – Beijing: Science Publishing Co, 1993. – P. 239–266.
9. Маракушев А.А. Термодинамические факторы образования рудной зональности // Прогнозирование скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений. – М.: Наука, 1976. – С. 36–51.
10. Sr-Nd isotopic systematic of granitoids and evolution of continental crust of the Western part of Altai-Sayan fold region / N.N. Kruk, S.N. Rudnev, S.A. Vystavnoi, S.V. Palesskiy // *Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia.* – Novosibirsk: Department «GEO», 2001. – P. 68–72.
11. Петрология и рудоносность магмо-рудно-метасоматических систем Солонешенского рудного района Алтая / А.И. Гусев, Н.И. Гусев, Е.М. Табакаева, Е.А. Дзагоева, М.А. Кукуева. – Бийск: АГАО, 2013. – 200 с.
12. Гусев А.И., Гусев Н.И. Магмо-флюидно-динамическая концепция эндогенного рудообразования на примере Горного Алтая и других регионов // *Региональная геология и металлогения.* – 2005. – № 23. – С. 119–129.
13. Vigneresse J.L. The role of discontinuous magma inputs in felsic magma and ore generation // *Ore geology Reviews.* – 2007. – V. 30. – P. 181–216.
14. Гусев А.И. Эталон синюхинского габбро-гранитного комплекса (Горный Алтай). – Новосибирск: СНИИГТМС, 2007. – 208 с.
15. Петрология и рудоносность магмо-рудно-метасоматических систем Талицко-Башчелакского района Алтая / А.И. Гусев, С.В. Попов, Е.А. Дзагоева, Н.В. Белозерцев. – Бийск: Изд-во БПГУ, 2010. – 205 с.
16. Masuda A., Ikeuchi Y. Lanthanide tetrad effect observed in marine environment // *Geochim. J.* – 1979. – V. 13. – P. 19–22.
17. W- and M-type tetrad effects in REE patterns for water-rock systems in the Tono uranium deposit. Central Japan / Y. Takahashi, H. Yoshida, N. Sato, K. Hama, Y. Yusa, H. Shimizu // *Chem. Geol.* – 2002. – V. 184. – P. 311–335.
18. Два типа тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов в шшонитовых гранитоидах Кавказских Минеральных вод / А.И. Гусев, А.А. Гусев, Н.И. Гусев, Е.А. Гусев // *Современные наукоёмкие технологии.* – 2011. – № 4. – С. 17–22.
19. Гусев А.И. Петрология адакитовых гранитоидов. – М.: Изд-во РАЕ, 2014. – 165 с.
20. Sibson R.H., McMoore J., Rankin R.H. Seismic pumping – a hydrothermal fluid transport mechanism // *J. Geol. Soc.* – 1975. – V. 131. – P. 653–659.
21. Sibson R.H., Robert F., Poulsen K.H. High angle reverse faults, fluid pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits // *Geology.* – 1988. – V. 16. – P. 551–555.
22. Dmitrievsky A.N., Balanyuk I.E., Sorokhtin O.E. Model of methane hydrate formation in Mid-Ocean Ridges // *Geophys. Research Abstracts.* – 2003. – V. 5. – P. 00011–00012.

Поступила 24.03.2014 г.

UDC 553.3/4.078:553.2:551.73

PETRO-GEOCHEMICAL PECULIARITIES AND ORE MINERALIZATION OF TWO SUBTYPES OF ANOROGENIC GRANITOIDS IN MOUNTAIN ALTAI

Anatoliy I. Gusev,

Dr. Sc., Shukshin Altai State Academy of Education, 11, Sovetskaya street,
Biysk, 659333, Russia. E-mail: anzerg@mail.ru

Aleksandr F. Korobeynikov,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: lev@tpu.ru

The urgency of the discussed issue is caused by the need of researching petro-geochemical features of anorogenic granitoids and their ore mineralization.

The main aim of the study: substantiation of different ore mineralization of two subtypes of granitoids in Mountain Altai on their petro-geochemical peculiarities.

The methods used in the study: The chemical composition on the major petrogenic elements was determined by silicate assay by X-ray fluorescence (XRF) techniques. Rare elements were determined by inductively coupled plasma on the mass spectrometry «OPTIMA-4300», for Cu, Zn, Pb, Li – by the ISP-AES method, the rest elements including REE were determined by the ISP-MS method in the VSE-GEI Laboratory (Saint-Petersburg). Calculation of tetrad effect of REE fractionation was carried using the W. Irber method.

Results: The authors have determined two subtypes of anorogenic granitoids of Soloneshensky ore district; they were generated under complex conditions of mantle-crust interaction. Different sources of mantle and crust substrate melting for gypersolvus and transsolvus granites were determined. Gypersolvus riebeckite leucogranite of Elinovskii massive were formed with tetrad effect of M-type REE fractionation and generated albitites and skarn uranium rare metals rare earth ore mineralization, but transsolvus riebeckite leucogranites of Kazandinsky massive were accompanied by tetrad effect of W-type REE fractionation and generated lode and greisen tungsten-molibdenium and beryllium ore mineralization.

Key words:

Anorogenic granitoids, gypersolvus and transsolvus granites, mantle-crust interaction, tetrad effect of fractionation of REE, W, Mo, Be, U, Zr, REE.

REFERENCES

- Gusev A.I. Diskriminatsiya anorogennykh granitoidov [Discrimination of anorogenic granitoids]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2011, no. 3, pp. 7–8.
- Gusev A.I., Gusev N.I., Krasova A.S. Anorogennye granitoidy Butachikhinskogo massiva Gornogo Altaya: geokhimiya, petrologiya i orudnenie granitoidov [Anorogenic granitoids of Butachikhinsky mass of Gorny Altai: geochemistry, petrology and mineralization]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2012, no. 4, pp. 222–226.
- Gusev A.I. Petrologiya i rudonosnost anorogennykh shchelochnykh granitoidov Kazandinskogo massiva Gornogo Altaya granitoidov [Petrology and mineralization of androgenic alkaline granitoids of Kazandinsky mass in Gorny Altai]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2013, no. 1, pp. 88–93.
- Gusev A.I., Gusev N.I. Petrologiya i rudonosnost anorogennykh shchelochnykh granitoidov Elinovskogo massiva Gornogo Altaya granitoidov [Petrology and mineralization of androgenic alkaline granitoids of Elinovsky mass in Gorny Altai]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2013, no. 2, pp. 55–60.
- Anders E., Greevesse N. Abundance of the elements: meteoric and solar. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1989, vol. 53, pp. 197–214.
- Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1999, vol. 63, no. 3/4, pp. 489–508.
- Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1989, vol. 101, pp. 635–643.
- Zhao Z.H. REE and O-Pb-Sr-Nd isotopic compositions and petrogenesis of the Altai granitoids. *New Development of Solid Earth Science in Northern Xinjiang*. Beijing, Science Publishing Co, 1993, pp. 239–266.
- Marakushev A.A. Termodinamicheskie factory obrazovaniya rudnoy zonalnosti granitoidov [Thermodynamic factors of ore zonality formation]. Prognozirovanie skrytogo orudneniya na osnove zonalnosti gidrotermalnykh mestorozhdeniy granitoidov [Prediction of covered mineralization on the basis of zonality of hydrothermal deposits]. Moscow, Nauka Publ., 1976, pp. 36–51.
- Kruk N.N., Rudnev S.N., Vystavnoi S.A., Paleskiy S.V. Sr-Nd isotopic systematic of granitoids and evolution of continental crust of the Western part of Altai-Sayan fold region. *Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia*. Novosibirsk, Department «GEO», 2001, pp. 68–72.
- Gusev A.I., Gusev N.I., Tabakaeva E.M., Dzagoeva E.A., Kukoeva M.A. Petrologiya i rudonosnost magmo-rudno-metasomaticheskikh sistem Soloneshenskogo rudnogo raiona Altaya granitoidov [Petrology and mineralization of magma-ore-metasomatic systems of Soloneshensky ore area of Altai]. Biysk, AGAO Publ., 2013, 200 p.
- Gusev A.I., Gusev N.I. Magmo-fluido-dinamicheskaya kontseptsiya endogennogo rudoobrazovaniya na primere Gornogo Altaya i drugikh regionov granitoidov [Magma-fluid-dynamic concept of endogenic mineralization by the example of Gorny Altai and other regions]. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*, 2005, no. 23, pp. 119–129.
- Vignerresse J.L. The role of discontinuous magma inputs in felsic magma and ore generation. *Ore geology Reviews*, 2007, vol. 30, pp. 181–216.
- Gusev A.I. *Etalon Sinyukhinskogo gabbro-granitnogo kompleksa (Gorny Altai) granitoidov* [Etalon of Sinyukhinsky gabbro-granite complex (Gorny Altai)]. Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 2007, 208 p.
- Gusev A.I., Popov S.V., Dzagoeva E.A., Belozertsev N.V. *Petrologiya i rudonosnost magmo-rudno-metasomaticheskikh sistem Talitsko-Nashchelakskogo rayona Altaya granitoidov* [Petrology and

- mineralization of magma-ore-metasomatic systems of Talitsk-Bashchelaksky area of Altai]. Biysk, BPSU Publ., 2010. 205 p.
16. Masuda A., Ikeuchi Y. Lanthanide tetrad effect observed in marine environment. *Geochim. J.*, 1979, vol. 13, pp. 19–22.
 17. Takahashi Y., Yoshida H., Sato N., Hama K., Yusa Y., Shimizu H. W- and M-type tetrad effects in REE patterns for water-rock systems in the Tono uranium deposit. Central Japan. *Chem. Geol.*, 2002, vol. 184, pp. 311–335.
 18. Gusev A.I., Gusev A.A., Gusev N.I., Gusev E.A. Dva tipa tetradnogo effekta fraksionirovaniya redkozemelnykh elementov v shoshonitovykh granitoidakh Kavkazskikh Mineralnykh Vod granitoidov [Two types of tetrad effect of rare earth element fractioning in granitoids of Kuakas Mineral waters]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2011, no. 4, pp. 17–22.
 19. Gusev A.I. *Petrologiya adakitovykh granitoidov granitoidov* [Petrology of granitoids]. Moscow, RAE Publ., 2014. 165 p.
 20. Sibson R.H., McMoore J., Rankin R.H. Seismic pumping – a hydrothermal fluid transport mechanism. *J. Geol. Soc.*, 1975, vol. 131, pp. 653–659.
 21. Sibson R.H., Robert F., Poulsen K.H. High angle reverse faults, fluid pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits. *Geology*, 1988, vol. 16, pp. 551–555.
 22. Dmitrievsky A.N., Balanyuk I.E., Sorokhtin O.E. Model of methane hydrate formation in Mid-Ocean Ridges. *Geophys. Research Abstracts*, 2003, vol. 5, pp. 00011–00012.

УДК 552.578:550.4(571.1)/.6

К ВОПРОСУ О ВЫДЕЛЕНИИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ ПОРОД В ОТЛОЖЕНИЯХ ТРИАСА И ЮРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗРЕЗА СВЕРХГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ СГ-7

Столбов Юрий Михайлович,

канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник кафедры геологии и разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: StolbovaNF@ignd.tpu.ru

Столбова Нэля Федоровна,

канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры геологии и разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: StolbovaNF@ignd.tpu.ru

Актуальность исследования обусловлена необходимостью получения дополнительной геологической информации о нефтегазоносных отложениях триаса и юры Западной Сибири, вскрытых сверхглубокой скважиной СГ-7.

Цель работы: выделить высокоуглеродистые породы в разрезе сверхглубокой скважины современными аналитическими методами.

Методы исследования: литолого-петрографические и ядерногеохимические. На их основе были изучены коллекции пород из керна сверхглубокой скважины СГ-7. Под бинокулярным микроскопом и в петрографических шлифах изучено 606 образцов. Столько же измерений концентраций урана и глинозема, отображающих геохимические особенности пород, было выполнено ядерно-физическими методами анализа. Полученные результаты исследований были рассмотрены с учетом ландшафтных фаций седиментогенеза и геохимических фаций диагенеза. Они нашли отображение в таблице, показывающей связь возраста изученных отложений с названием свит и толщ, интервалами их проявлений с указанием количества проанализированных образцов и проб их представляющих. Анализ изложенных в таблице данных позволяет сделать ряд выводов об условиях формирования отложений, вскрытых сверхглубокой скважиной. Это ландшафтные фации: континентальные, переходные к морским и морские – озерные, озерно-болотные, дельтовые, русловые, прибрежно-морские, лагунные, псевдоабиссальные. Это и геохимические фации: со сменяющимся окислительно-восстановительным режимом диагенеза – от окислительных до резковосстановительных. Последние характерны для захоронения органического вещества и последующего формирования высокоуглеродистых пород. В результате исследований установлено, что породы тюряхинской (триас) и баженовской (верхняя-юра) свит, накапливающие углеродистое вещество и уран, формируются в условиях аридного седиментогенеза и обстановках резковосстановительных фаций диагенеза.

Результаты: установлены границы и условия формирования высокоуглеродистых пород тюряхинской (триас) и баженовской (верхняя юра) свит.

Ключевые слова:

Высокоуглеродистые породы, уран, тюряхинская свита, баженовская свита, аридный седиментогенез, диагенез резковосстановительный.

Введение

С целью уточнения геологического строения и открытия новых месторождений углеводородного сырья в более глубоких горизонтах мезозоя и палеозоя на севере Западно-Сибирской плиты

была пробурена сверхглубокая параметрическая скважина СГ-7 в районе Ен-Яхинского прогиба, с которым связаны крупнейшие газовые месторождения: Уренгойское, Медвежье и Ямбургское.

Характеристика объекта исследования и методика работ

Предметом настоящего исследования является керновый материал, отобранный через 0,2...0,5 м в интервале глубин 3790...6880 м. Каменный материал был изучен литолого-петрографическими и ядерно-физическими методами, в частности методом запаздывающих нейтронов, реализованным на базе Томского исследовательского ядерного реактора, при этом были определены концентрации урана и глинозема. Методика исследований позволяла определить вещественный состав пород, их текстурно-структурные особенности, дать названия пород в соответствии с современными классификациями [1], а также провести фациальный анализ палеогеографических (ландшафтных) фаций седиментогенеза и геохимических фаций диагенеза.

При изучении осадочных пород использованы основные приёмы фациального анализа, а также палеогеографических исследований особенностей становления и накопления осадочных пород, ставших возможными благодаря трудам Д.В. Наливкина, Н.М. Страхова, Л.Б. Рухина, Ф.Г. Крашенинникова, М.Р. Лидера и многих др. В процессе исследований привлекались также новые данные, изложенные в работах И.А. Вылцина [2] и В.П. Алексеева [3]. При изучении геохимических обстановок диагенеза использовалось учение Г.И. Теодоровича [4, 5]. Исследования базировались также на общих представлениях о геохимическом поведении урана в земной коре [6] и его взаимодействии с органическим веществом [7].

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты литологических и геохимических исследований разреза скважины СГ-7 с выделенными ландшафтными фациями седиментогенеза и геохимическими фациями диагенеза осадочных пород представлены в таблице. Ниже проведено обсуждение результатов с учётом геологического времени формирования выделенных свит, вещественных и текстурно-структурных особенностей пород и их словесных ассоциаций, а также фациальных условий их формирования, учитывались также результаты ранее проведенных исследований [8–10].

Анализ эволюции палеогеографических и геохимических обстановок формирования отложений в триас-меловое время показал, что формирование пород происходило в основном в условиях морских и переходных палеогеографических фаций. При этом диагенетические процессы протекали в различных окислительно-восстановительных обстановках. Пониженные содержания кислорода характерны для фациальных обстановок нижнего триаса и верхней юры. В этот период формировались породы тюряхинской и баженовской свит.

В разрезах названных свит отмечаются наиболее высокие концентрации урана и глинозема, а также ураноносного органического вещества (таблица). Породы формировались в морских псевдобиссальных фациях седиментогенеза и восстанови-

тельных фациях диагенеза. Эти обстановки являются наиболее благоприятными для формирования нефтематеринских пород доманиковых фаций, обогащенных ураноносным керогеном типа-II [7].

Тюряхинская свита по стратиграфической принадлежности соответствует тампейской серии нижнего триаса. Керн поднят из следующих интервалов: 6864,33... 6880,46; 6806,0...6820,0; 6736,63...6776,15 м.

Отложения представлены переслаиванием аргиллитов, песчаников, гравелито-конгломератов и глинисто-карбонатных пород. Толщины прослоев различны. В начале интервала (гл. 6741,33 м) они имеют мощности в несколько сантиметров, а в интервале 6869,83...6873,26 м весь разрез сложен глинисто-карбонатными породами.

Глинистые породы (аргиллиты), отмеченные в интервале 6736,6...6746,63; 6762,0...6768,0; 6806,8...6808,5 м, представлены серыми и черными разновидностями. Черные аргиллиты образуют скопления неправильной формы и тонкие слойки. Последние четко видны в глинисто-карбонатных породах интервала 6869,83...6873,26 м. Они имеют своеобразный блеск, содержат черное высокоуглеродистое вещество и визуально походят на аргиллиты баженовской свиты. Эти породы обнаруживают аномально высокие содержания урана. Кроме того, на гл. 6745,13 м в них отмечается положительная реакция на фосфор, что является одним из характерных признаков нефтематеринских пород. На гл. 6870,03 м в аргиллите отмечена тонкая сыпь пирита, указывающая на восстановительную среду формирования осадка и сероводородное заражение бассейна. На глубине 6741,33; 6762,0; 6764,0 м в аргиллитах отмечены мелкие округлые стяжения карбонатных железистых минералов (до 0,5 мм в диаметре), которые обычно возникают вокруг скоплений органического вещества (ОВ). Всё это указывает на резковосстановительные условия диагенеза осадочных пород (рис. 1, 2).

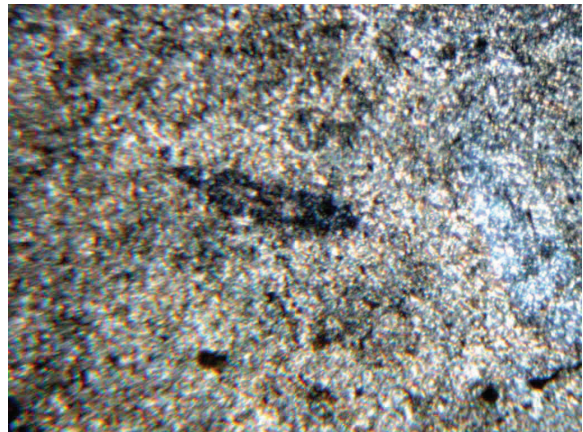


Рис. 1. Аргиллит с реликтами микроорганизмов. Их форма и размеры зафиксированы распределением тонкодисперсного углеродистого вещества. Шлиф СГ-7-525. Скв. Ен-Яхинская-7, инт. 6762,0...6773,15 м; гл. 6773 м. N±. Ув. 40×. Тюряхинская свита. U = 6,93 г/т, Al₂O₃ = 12,58 %, U/Al₂O₃ = 0,551, C_{орг} = 1,59

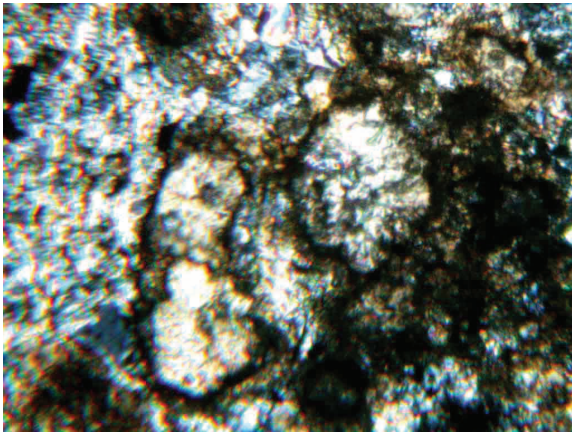


Рис. 2. Аргиллит с зональными микроконкрециями. По внешней зоне микроконкреций сидерита отмечается черное рассеянное ОВ. Шлиф СГ-7-525. Скв. Ен-Яхинская-7, инт. 6762,0...6773,15 м; гл. 6773 м. N+ Ув. 150°. Тюряхинская свита. $U=6,93$ г/т, $Al_2O_3=12,58$ %, $U/Al_2O_3=0,551$, $C_{орг}^U=1,59$

Фациальная обстановка осадконакопления этих пород прибрежно-морская, псевдоабиссальная. Текстуры пород однородные, тонкогоризонтально-слоистые. Все обломочные породы этой свиты (алевролиты, песчаники, гравелиты и гравелито-конгломераты) содержат высокоуглеродистые и ураноносные аргиллиты, присутствующие в виде цементирующего агрегата, в виде слойков и обломков. Слойки характерны для мелкообломочных алевритовых псаммитовых пород, а крупные обломки ураноносных углеродистых аргиллитов – для гравелитов и конгломератов.

Средние содержания урана (г/т) в глинисто-карбонатных породах составляет 8,36 (по 4 пробам); в песчаниках – 5,79 (по 18 пробам), в аргиллитах – 5,5 (по 21 пробе), в конгломератах – 3,3 (по 15 пробам).

Текстуры глинистых и алевро-глинистых пород, встречаемые наиболее часто, тонкогоризонтально-слоистые, участками линзовидно-слоистые, косослоистые разнонаправленные, с элементами турбидитных текстур. Текстуры песчаных и гравелитовых разновидностей пород преимущественно однородные с нечетким проявлением слоистости. Часто в песчаниках отмечаются окатыши аргиллитов.

Величина $C_{орг}^U$, вычисленная по величине не связанного с алюмосиликатными минералами урана [11], в породах свит очень неравномерна. На отдельных участках она достигает 7,561 %. Отмечается интервал 6743,0...6762,0 м, в котором величина $C_{орг}^U$ имеет среднее значение 1,093 %.

Все это указывает на нестабильный характер условий осадконакопления. Глинистые породы с примесью высокоуглеродистых и ураноносных разновидностей органического вещества накапливались в прибрежно-морских отложениях. Песчаники и гравелиты, по-видимому, приурочены к отложениям дельт. Таким образом, представляется, что отложения тюряхинской свиты формирова-

лись в довольно широкой прибрежной зоне, являющейся переходной от континентальной к морской.

Образцы пород баженовской свиты отобраны в интервале 3852,2...3854,6 м. Они представляют лишь самую её верхнюю часть. Отложения сложены черными аргиллитами с небольшой примесью алевритового материала. Породы плотные, крепкие, кремнисто-глинистые, обогащенные черным равномерным, линейно- и послойно распределенным захороненным органическим веществом. Часто отмечается присутствие пирита. Структуры пород мелко-микроструктурные и пелитовые. На их фоне видны реликты мелких планктоногенных сферических форм, принадлежащих, вероятно, фораминиферам и радиоляриям. Встречаются отпечатки двухстворчатых моллюсков, размером ~ 20...30 мм.

Текстуры пород тонко- и микрослоистые, строго параллельные, слабо подчеркиваемые интенсивно разложенными органическими остатками, имеющими тёмно-бурый цвет. Отмечаются слабые проявления знаков ряби, кое-где встречаются черные жесткие корочки органического вещества, а также непротяженные слойки многочисленных глобулей и довольно крупных стяжений пирита в глинисто-органическом материале. Такие особенности пород характерны для обстановок морских псевдоабиссальных фаций седиментогенеза, условий аридизации климата и обмеления водного бассейна (рис. 3, 4).

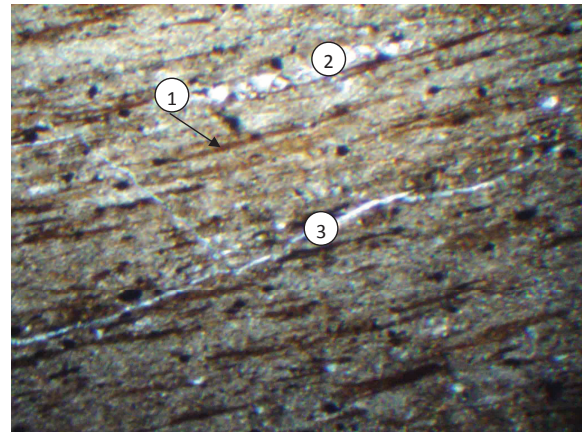


Рис. 3. Аргиллит кремнисто-гидрослюдистый с тонким линзовидно-полосчатым распределением красноватобурого ОВ (1). Видны послойные скопления скелетов радиолярий, замещенных кремнистыми минералами (2) и трещиноватость (3), субпараллельная слоистость. Баженовская свита. $C_{орг}^U=1,019$ %. Шлиф СГ-7-158. Скв. Ен-Яхинская-7, инт. 3852,2...3854,6 м; гл. 3852,30 м. N||. Ув. 40×

По геохимическим параметрам (содержанию урана, глинозёма, величине $C_{орг}^U$) породы существенно отличаются от ниже- и выше лежащих темных тонкослоистых существенно глинистых отложений. Это указывает на специфичность их генезиса. Повышенные концентрации глинозёма свидетельствуют о наибольшем среди мезозойских

Таблица. Литолого-геохимическая характеристика отложений, вскрытых сверхглубокой скважиной СГ-7

Система	Свита, толща	Интервал	Кол-во проб	Уран, $n \cdot 10^{-4} \%$	$Al_2O_3, \%$	$C'_{орг}$	Ландшафтные фации седиментогенеза	Геохимические фации диагенеза
Меловая	Ачимовская толща	3620,5...3626,3	16	1,74–5,32	9,93–17,22	0,00–0,890	континентальная, озёрная	восстановительная
				3,25	14,72	0,208		
		3626,3...3639,0	30	1,41–3,93	10,75–17,01	0,00–0,329	континентальная, озёрная, но в более активных условиях, чем в предыдущем интервале	слабовосстановительная
				2,48	13,92	0,07		
3639,0...3647,3	7	1,52–5,50	11,51–16,80	0,00–0,841	переходная от моря к суше, дельтовая	окислительно-восстановительный режим формирования отложений, меняющийся от окислительного до восстановительного		
		2,9	13,97	0,23				
3826,15...3834,46	15	1,27–5,19	11,15–16,90	0,00–0,730	морская, прибрежно-морская	слабовосстановительная и даже восстановительная		
		2,34	13,45	0,084				
Верхнеюрская	Баженовская свита	3852,2...3854,6	6	2,15–7,03	13,03–18,39	0,00–1,330	морская, псевдоабиссальная	резковосстановительная
				5,06	16,35	0,731		
Юрская	Васюганская	3936,4...3942,7	18	0,59–2,81	3,73–18,21	0,00–0,397	континентальная, озёрная	окислительная, возможно, пресноводная
				1,87	13,51	0,026		
		3942,7...3946,0	6	2,06–2,98	13,45–17,91	0,00–0,00	переходная от моря к суше, дельтовая	окислительная
	2,51			16,81	0			
	3946,0...3954,8	19	1,17–7,31	11,27–17,62	0,00–1,408	морская, прибрежно-морская	увеличение восстановительного потенциала от нейтрального	
			2,77	14,19	0,128			
	Тюменская	3669,0...3972,4	10	1,25–3,95	11,11–16,85	0,00–0,312	морская, прибрежно-морская	слабовосстановительная
				2,21	13,61	0,04		
		3972,4...3980,0	16	1,75–3,53	10,55–17,24	0,00–0,165	переходная от суши к морю, дельтовая	слабовосстановительная до окислительной
				2,53	14,14	0,051		
	4054,3...4066,2	19	1,63–4,36	12,18–18,11	0,00–0,680	переходная от суши к морю, дельтовая, только с более интенсивным перемещением пород, чем в предыдущем интервале	восстановительная, но в более спокойной обстановке, чем предыдущий интервал	
			2,95	15,09	0,121			
	4660,2...4672,4	6	1,72–3,55	12,67–18,13	0,00–0,212	переходная от суши к морю, дельтовая	слабовосстановительная	
			2,62	15	0,06			
	Котухтинская	4824,0...4839,6	11	0,85–4,04	9,15–17,38	0,00–0,309	континентальная, русловая	окислительная
				1,76	11,68	0,04		
4906,0...4917,1		10	1,26–4,40	11,53–18,18	0,00–0,383	континентальная, русловая, близкая к морю	слабовосстановительная	
	2,3		13,67	0,057				
5068,0...5080,0	24	2,11–4,04	13,22–18,58	0,00–0,447	переходная, лагунная	восстановительная		
		3,01	15,23	0,11				
Котухтинская	5226,0...5238,46	13	1,28–3,53	9,84–16,65	0,00–0,197	переходная от суши к морю	слабовосстановительная, близкая к нейтральной	
			2,73	15,03	0,051			
Новоуренгойская	5438,5...5549,0	17	1,30–3,77	8,38–18,39	0,00–0,362	континентальная пойменная	слабовосстановительная	
			2,76	15,33	0,062			

Продолжение таблицы

Система	Свита, толща	Интервал	Кол-во проб	Уран, $n \cdot 10^{-4}$ %	Al ₂ O ₃ , %	C _{орг}	Ландшафтные фации седиментогенеза	Геохимические фации диагенеза
Триасовая	Витютинская	5549,0...5561,6	11	1,35–4,50	11,24–19,89	0,00–0,312	континентальная озёрная	слабовосстановительная
				2,67	15,27	0,085		
		5561,6...5575,1	13	1,09–2,83	5,96–13,53	0,00–0,254	континентальная пойменная	окислительная
				1,59	10,09	0,024		
		5585,3...5618,7	35	1,08–5,83	7,81–17,96	0,00–0,977	континентальная русловая	от восстановительной до окислительной
				2,3	12,07	0,115		
		5630,1...5650,21	21	1,19–3,96	8,75–22,59	0,00–0,606	континентальная озёрная, но с более активным перемещением материала, чем в предыдущем интервале	восстановительная
				2,75	14,78	0,119		
		5659,0...5727,41	49	0,85–4,29	4,44–19,78	0,00–0,763	континентальная русловая	слабовосстановительная
				2,17	11,69	0,075		
		5827,47...5842,73	15	1,06–3,89	6,52–18,63	0,00–0,329	континентальная русловая	слабоокислительная до восстановительной
				1,79	10,43	0,081		
	5935,5...5940,9	6	1,28–2,76	8,40–17,45	0,00–0,00	озерно-болотная	окислительная	
			1,93	13,54	0			
	5974,5...5987,3	14	1,41–5,81	6,56–21,83	0,00–0,932	континентальная, постоянно меняющаяся от русловой к озерно-болотной	восстановительная	
			2,92	13,69	0,169			
	Варенгояхинская	5987,3...5992,4	4	1,22–3,64	5,54–21,95	0,00–0,167	континентальная русловая	окислительная
				1,89	11,14	0,042		
		6092,1...6099,0	8	1,18–3,61	5,96–18,66	0,00–0,177	переходная дельтовая	окислительная
				1,85	10,02	0,042		
	6099,0...6102,0	3	1,52–2,25	5,80–6,80	0,161–0,347	континентальная русловая	восстановительная	
			1,98	6,45	0,28			
	6149,4...6163,28	14	1,19–13,61	5,27–23,98	0,00–3,861	переходная	восстановительная	
			3,95	15,05	0,485			
	Пурская	6261,0...6300,44	25	1,14–4,14	7,28–19,16	0,00–0,494	континентальная озёрно-болотная	слабовосстановительная
				2,84	15,3	0,075		
		6370,32...6399,27	27	0,44–3,63	5,33–19,33	0,00–0,182	континентальная дельтовая	слабовосстановительная, почти нейтральная среда
				2,3	13,46	0,039		
6421,77...6454,97	31	0,95–4,42	7,53–20,03	0,00–0,437	континентальная озёрно-болотная	восстановительная		
		3,24	16,04	0,136				
6575,78...6613,48	38	0,03–3,78	8,33–29,2	0,00–0,181	переходная, лагунная	окислительная		
		2,01	15,45	0,005				
Тюрьяхинская	6736,63...6773,15	24	1,89–10,20	3,90–21,28	0,00–2,188	прибрежно-морская с переходом в дельтовую	резковосстановительная	
			4,61	14,14	0,74			
	6806,0...6820,0	8	2,43–25,37	4,51–19,58	0,377–7,561	прибрежно-морская, меняющаяся на дельтовую	резковосстановительная	
7,76			13,41	1,816				
6864,33...6880,46	17	2,34–17,56	4,54–22,28	0,127–5,059	прибрежно-морская с переходом в дельтовую	резковосстановительная		
		5,55	11,18	1,201				

пород количестве глинистых минералов и очень слабым привносе аллохтонных, в том числе и не алюмосиликатных компонентов. Тончайшая строгопараллельная слоистость указывает на исключительно спокойную иловую среду накопления осадков. Лишь слабые проявления знаков ряби указывают на элементы волнения в верхней части формирующегося осадка и относительно малые глубины его захоронения.

Под микроскопом отчетливо видно, что гидрослюды (основные породообразующие минералы) несколько меняют свой химический состав и образуют линзовидные агрегаты бурого, желтовато-бу-

рого, красновато-бурого цвета с отчетливым плеохроизмом. Здесь же располагается множество мелких линзовидных выделений кремнистого состава, а также реликтов округлых радиоларий, выполненных радиально-лучистым халцедоном и пиритом. Пирит присутствует в породе также в виде овальных, псевдокластических агрегатов, угловатых индивидов, агрегатов причудливой формы (0,5×1 мм). Вблизи скоплений пирита часто встречаются крупночешуйчатые гидрослюды. В конце изученного интервала агрегаты пирита становятся крупнее, появляются линзовидные агрегаты сидерита. В минеральном составе пород преобладает

двухвалентные формы железа (сидерит, пирит), указывающие на редковосстановительные обстановки диагенеза.

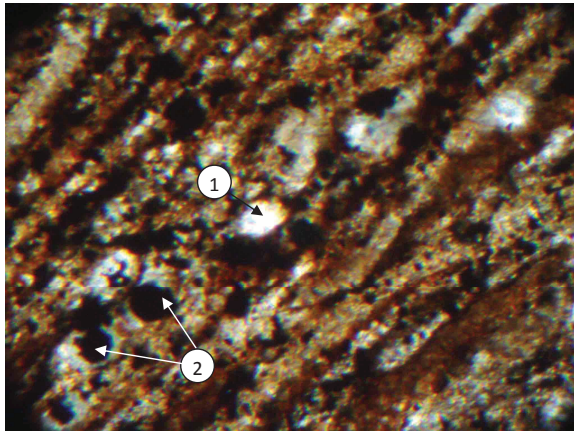


Рис. 4. Аргиллит кремнисто-гидрослюдистый с обилием ОВ (3) с реликтами окремненных радиолярий (1) и обилием глобулярного пирита (2). Баженовская свита. $C_{\text{орг}}^{\text{с}} = 1,117\%$. Шлиф СГ-7-292п. Скв. Ен-Яхинская-7, инт. 3852,2...3854,6 м; гл. 3852,21 м. N ||. Ув. 130 $^{\circ}$

Для пород свиты характерны высокие концентрации урана, изменяющиеся от 2,15 до 7,03 г/т,

что свидетельствует о существовании колебания режима Eh. Концентрации урана более чем в два раза превышают содержания его в породах ачимовской толщи. Всё это указывает на редковосстановительные условия накопления осадков и превращение ОВ в уранорганический геополимер – кероген типа-II.

Таким образом, формирование отложений баженовской свиты происходит в морской псевдоабиссальной обстановке. Высокие величины содержания керогена типа-II свидетельствуют о редковосстановительной среде формирования отложений. Свита сложена почти однородными пелитоморфными глинистыми осадками с обилием ОВ и пирита, указывающего на возможность сероводородного заражения среды.

Выводы

Таким образом, проведенные литогеохимические исследования отложений Западной Сибири, вскрытых сверхглубокой скважиной СГ-7, позволили выделить высокоуглеродистые ураноносные отложения тюрьяхинской и баженовской свит, формирование которых происходило в морских псевдоабиссальных фациях седиментогенеза и редковосстановительных условиях диагенеза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Систематика классификации осадочных пород и их аналогов / В.Н. Шванов, В.Т. Фролов, Э.И. Сергеева и др. – СПб.: Недра, 1998. – 352 с.
2. Вылцин И.А. Фации и формации осадочных пород. – Томск: Изд-во ТГУ, 2002. – 484 с.
3. Алексеев В.П. Литолого-фациальный анализ. – Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2002. – 147 с.
4. Теодорович Г.И. Минералогия и фации битуминозных свит кавказской провинции и юга Волго-Уральской области. – М.: Наука, 1970. – 250 с.
5. Минералого-геохимические фации и условия образования нефтепроизводящих отложений девона Зап. Башкирии и Вост. Татарии / Г.И. Теодорович, Б.Я. Полонская, А.Г. Андриянова и др. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 148 с.
6. Основные черты геохимии урана / под ред. А.П. Виноградова. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 374 с.
7. Столбова Н.Ф., Столбов Ю.М. Петрографические и геохимические особенности захороненного органического вещества баженовской свиты / Органическое вещество в современных и ископаемых осадках. – М.: Изд-во МИНХ им. Губкина, 1986. – С. 278–280.
8. Ехлаков Ю.А., Угрюмов А.Н., Горбачев В.И. Новый район развития терригенного триаса в Ямало-Ненецком автономном округе // Горные ведомости. – 2007. – № 12. – С. 16–22.
9. Новые представления о формировании нефтегазоносности в триасовых прогибах севера Западной Сибири / Т.В. Карасева, К.А. Мещеряков, В.И. Горбачев, И.С. Хопта, В.Н. Савинов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2012. – № 7. – С. 10–16.
10. Особенности проявления флюидодинамических процессов на больших глубинах / С.Г. Попов, А.В. Белоконов, Ю.А. Ехлаков, А.Н. Угрюмов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – № 3. – С. 55–59.
11. О возможности исследования зон флюидомиграции УВ методами прикладной ядерной литогеохимии / Ю.М. Столбов, Н.Ф. Столбова, В.Д. Волостнов, Е.И. Бочаров // Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. К созданию общей теории нефтегазоносности недр. Кн. II. – М.: Геос, 2002. – С. 218–221.

Поступила 25.11.2013 г.

HIGH-CARBON ROCK RELEASE IN DEPOSITS OF TRIASSIC AND JURASSIC PERIODS IN WESTERN SIBERIA BY LITHOGEOCHEMICAL RESEARCH OF SUPER-DEEP WELL SG-7 SECTION

Yury M. Stolbov,

Cand. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: StolbovaNF@ignd.tpu.ru

Nelya F. Stolbova,

Cand. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: StolbovaNF@ignd.tpu.ru

The relevance of research is caused by the need to obtain additional geological information on oil deposits of Triassic and Jurassic periods in Western Siberia uncovered by super-deep well SG-7.

The main aim of the study: to identify high-carbon rocks in a section of a super-deep well SG-7 by modern techniques.

The methods used in the study: lithological, petrographic, nuclear and geochemical methods. On their basis the authors have studied the collections core and super-deep well SG-7 rocks. 606 samples were investigated under binocular microscope and in petrographic sections. The same amount of uranium and alumina concentration was measured by nuclear and physical methods that displays geochemical features of rocks. The results obtained were investigated considering landscape facies of sediment genesis and geochemical facies of diagenesis. The table shows the relation of deposits age and the names of suites and formations, intervals of their occurrence; it indicates the quantity of the samples analyzed and the tests representing them. The analysis of the data in the table allows making conclusions on conditions of forming deposits opened with a super-deep well. These are the landscape facies: continental, transitional to the sea – lake, lake and marsh, deltoid, river-bad, coastal and sea, lagoon, transitional to sea and pseudoabyssal, and geochemical ones: with changing oxidation-reduction mode of diagenesis – from oxidizing to extremely reducing. The latter are typical for burring organic substance and subsequent formation of high-carbon rocks. It was ascertained that the rocks of Tyuryakhin (Triassic) and Bazhenov (top Jurassic) formations accumulating carbon substance and uranium are formed in conditions of arid sediment genesis and situations of diagenesis extremely reducing facies.

Results: The authors determined the borders and conditions of generating high-carbon rocks of Tyuryakhin (Triassic) and Bazhenov (top Jurassic) formations.

Key words:

High-carbon rocks, uranium, Tyuryakhin formation, Bazhenov formation, arid sediment genesis, dramatically reduced diagenesis.

REFERENCES

1. Shvanov V.N., Frolov V.T., Sergeeva E.I. *Sistematika klassifikatsii osadochnykh porod i ikh analogov* [Systematics of classification of sedimentary rocks and their analogues]. St. Petersburg, Nedra Publ., 1998. 352 p.
2. Vyltsin I.A. *Fatsii i formatsii osadochnykh porod* [Facies and formation of sedimentary rocks]. Tomsk, of the TSU Publ. House, 2002. 484 p.
3. Alekseev V.P. *Litologo-fatsialny analiz* [Lithofacies analysis]. Ekaterinburg, UGGA Publ. House, 2002. 147 p.
4. Teodorovich G.I. *Mineralogiya i fatsii bituminoznykh svit kavkazskoy provintsii i yuga Volgo-Uralskoy oblasti* [Mineralogy and bituminous facies of Caucasian province and south of the Volga-Ural region suites]. Moscow, Nauka Publ., 1970. 250 p.
5. Teodorovich G.I., Polonsky B.Ya., Andriyanova A.G. *Mineralogo-geokhimicheskie fatsii i usloviya obrazovaniya nefteproduktivnykh otlozheniy devona Zapadnoy Bashkirii i Vostochnoy Tatarii* [Mineralogical and geochemical facies and conditions of forming oil-producing deposits of Devonian in Western Bashkiria and Eastern Tataria]. Moscow, AN USSR Publ., 1960. 148 p.
6. *Osnovnye cherty geokhimii urana* [The main features of uranium geochemistry]. Ed. A.P. Vinogradov. Moscow, ANSSSR Publ., 1963. 374 p.
7. Stolbova N.F., Stolbov Yu.M. Petrograficheskie i geokhimicheskie osobennosti zakhoronennogo veshchestva bazhenovskoy svity [Petrographic and geochemical characteristics of Bazhenov buried organic matter]. *Organicheskoe veshchestvo v sovremennykh i iskopaemykh osadkakh* [Organic matter in modern and ancient sediments]. Moscow, MINK him. Gubkina Publ., 1986. pp. 278–280.
8. Ekhlakov Yu.A., Ugryumov A.N., Gorbachev V.I. Novy rayon razvitiya terrigennoy triasy v Yamalo-Nenetskom avtonomnom okruge [New area of developing Triassic clastic in Yamalo-Nenets Autonomous District]. *Gornye vedomosti – Mountain Gazette*, 2007, no. 12, pp. 16–22.
9. Karaseva T.V., Mescheryakov K.A., Gorbachev V.I., Khopta I.S., Savinov V.N. Novye predstavleniya o formirovaniy neftegazonosti v triasovykh progibakh severa Zapadnoy Sibiri [New ideas on oil and gas occurrence formation in Triassic troughs in the north of Western Siberia]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy – Geology, Geophysics and development of oil and gas fields*, 2012, no. 7, pp. 10–16.
10. Popov S.G., Belokon A.V., Ekhlakov Yu.A., Ugryumov A.N. Osobennosti proyavleniya flyuidodinamicheskikh protsessov na bolshikh glubinakh [Features of fluid dynamic processes display at depth]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy – Geology, Geophysics and development of oil and gas fields*, 2005, no. 3, pp. 55–59.
11. Stolbov Yu.M., Stolbova N.F., Volostnov V.D., Bocharov E.I. O vozmozhnosti issledovaniya zon flyuidomigratsii UV metodami prikladnoy yadernoy litogeokhimii [On the possibility of researching HC fluid migration areas by applied nuclear lithochemistry methods]. *Novye idei v geologii i geokhimii nefti i gaza. K sozdaniyu obshchey teorii neftegazonosti nedr* [New ideas in geology and geochemistry of oil and gas. Towards a general theory of oil and gas mineral resources]. Moscow, Geos Publ., 2002. B. II, pp. 218–221.

Геофизика

УДК 550.83:550.814:553.41

О РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ МЕТОДА СОПРОТИВЛЕНИЙ И ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ВАРИАНТЕ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ В УСЛОВИЯХ БОДАЙБИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО РАЙОНА

Мохаммед Мохаммед Атеф,

ассистент кафедры геофизики Университета Сохаг, Арабская Республика
Египет, 82524, Сохаг, ул. Наср Сити. E-mail: mohammedhassou@yahoо.com

Ерофеев Леонид Яковлевич,

д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры геофизики
Института природных ресурсов ТПУ,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: Erofeev_Leonid@tpu.ru

Орехов Александр Николаевич,

канд. геол.-минер. наук, доцент кафедры геофизики
Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск,
пр. Ленина, д. 30. E-mail: orekhovan@mail.tomsknet.ru

Актуальность: актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности геофизических методов при поисково-разведочных работах в ведущих золоторудных и золотодобывающих провинциях Сибирского региона.

Цель работы: определить возможности новой модификации электроразведки – электротомографии в варианте вызванной поляризации в золотоносных регионах, сложенных углеродисто-терригенными (черносланцевыми) толщами для решения комплекса поисково-разведочных задач. Определить круг решаемых геологических задач и основные осложняющие факторы.

Методы исследования: для определения возможностей электротомографии были проведены полевые опытно-методические работы в типичном для Сибири золотоносном районе – Бодайбинской синклинали, в пределах которой более 150 лет добывается золото и где открыто значительное количество крупных месторождений золота, в том числе гигантское месторождение Сухой лог.

Результаты работы: установлено, что возможности электротомографии в условиях черносланцевых отложений, вмещающих золоторудные месторождения, значительны: с её помощью можно оценивать толщину и состав покровных (в т. ч. четвертичных) отложений, намечать места крупных тектонических нарушений, определять основные черты структурного строения, прогнозировать участки локализации отдельных рудных тел (рудноносных зон). Указаны условия, осложняющие проведение работ; охарактеризованы основные проблемы, возникающие при геологической интерпретации результатов томографических работ.

Ключевые слова:

Бодайбинский район, месторождения золота, геофизические методы поисков и разведки, эффективность, электроразведка, электроразведочная томография.

Электротомография в последние два десятилетия получила серьезную теоретическую и инструментальную базу [1–7] и нашла широкое практическое применение при изучении различных геологических обстановок в ходе инженерно-геологических изысканий [8–13] и поисково-разведочных работ на отдельные виды полезных ископаемых, главным образом рудных месторождений [14–16]. Однако возможности электротомографии далеко не раскрыты, если вести речь о нюансах её использования применительно к конкретным видам полезных ископаемых или определённых типов физико-геологической обстановки в конкретных ре-

гионах. Сейчас идет накопление фактического материала по использованию электротомографии в геологоразведочном деле. При этом на сегодняшний день опыт её практического применения явно недостаточен. Настоящее исследование проведено с целью определения возможностей электротомографии при изучении золоторудных площадей в условиях Ленской золотоносной провинции.

Одним из основных рудных районов этой провинции является Бодайбинский район. Здесь 150 лет эксплуатируются россыпи золота и открыто одно из крупнейших в РФ месторождений золота – Сухой лог, находятся значительные по запа-

сам благородного металла месторождения: Высочайшее, Вернинское, Невское, Западное [17–19]. Кроме этого известен ряд слабо изученных месторождений – Кавказ, Копыловское и др., и многочисленных рудопроявлений, рис. 1 [20].

Бодайбинский рудный район сложен рифейско-вендскими карбонатно-терригенными отложениями, смятыми в складки. На рассматриваемой площади развиты отложения верхней подсерии Бодайбинской серии – образования Догалдинской и Илигирской свит, покрытых чехлом четвертичных отложений.

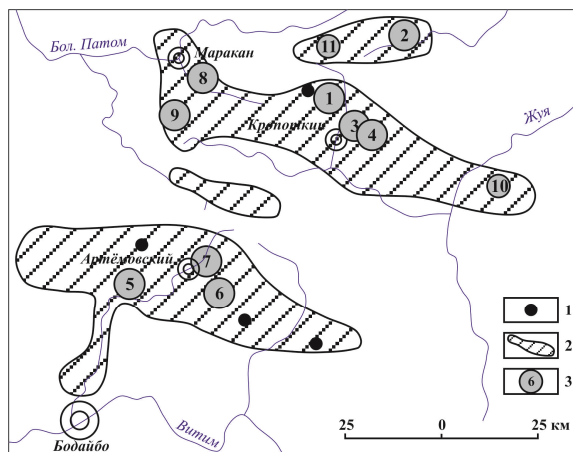


Рис. 1. Схема расположения месторождений и перспективных проявлений в Бодайбинском районе: 1) выявленные золотоносные минерализованные зоны, на которых проводятся поисковые работы; 2) основные золоторудные районы; 3) золоторудные месторождения (1 – Сухооложское, 2 – Высочайшее, 3 – Вернинское, 4 – Невское, 5 – Кавказ, 6 – Копыловское, 7 – Догалдынская жила, 8 – Ожерелье, 9 – Ыканское; потенциальные золоторудные месторождения – рудные зоны с промышленными параметрами в рудных полях: 10 – Светловское и 11 – Верхне-Угаханское)

В составе Догалдынской свиты по литолого-петрографическим особенностям, количественным соотношениям литологических разностей выделяются три подсвиты: нижняя, средняя и верхняя. Нижняя подсвита характеризуется наличием темно-серых метапесчаников, редких линз метагравелитов и сланцев. Толщина подсвиты составляет 200...400 м. Средняя подсвита по количественному соотношению слагающих пород, распределению углеродистого вещества и гранулометрии породы представлена переслаиванием малоуглеродистых, полевошпат-кварцевых метапесчаников с метаалевролитами, толщина подсвиты 430...700 м. В верхней подсвите наиболее распространены метапесчаники, меньше развиты сланцы и резко подчинены метаалевролиты и метагравелиты. Общая толщина свиты 500...800 м.

Илигирская свита заканчивает разрез верхнепротерозойских отложений Бодайбинского синклиория и подразделяется на нижнюю и верхнюю подсвиты. В целом для пород этой свиты присуще развитие более разнообразной карбонатности (известковой, доломитовой, магнезиально-железистой) [18–20].

Четвертичные отложения, перекрывающие верхнепротерозойские образования, занимают около 45 % площади. В Бодайбинском районе преобладают закрытые ландшафты – залесенные и задернованные склоны, толщина мохового слоя составляет 0,5...1 м, под ним развит вечномёрзлый слой гумусо-торфянных отложений (толщина иногда >1 м), перекрывающих делювиально-солифлюкционные отложения.

Район весьма перспективен на открытие новых крупных месторождений золота, в поисках и изучении которых могут сыграть значительную роль геофизические методы. Необходимость их применения, наряду с прочим, диктуется вышеотмеченной «закрытостью» территории, где информация о коренных породах в большей части может быть получена лишь с помощью шурфов и канав [20], проходка которых, как известно, особенно в мерзлых грунтах, сопряжена с серьезными трудностями. Кроме того, наличие вечной мерзлоты резко снижает эффективность геохимических методов поисков.

Для определения возможностей электротомографии при решении поисково-разведочных задачами были выполнены опытно-методические работы. Полевые наблюдения проведены на рудоносной площади в окрестностях во многом типичного для Бодайбинского золоторудного района коренного месторождения золота – Копыловского (рис. 1). Непосредственно для исследований было выбрано два профиля. Профиль № 1 был проложен в заведомо безрудной части участка, другой, № 2, – на рудоносной площади, и пересекал вкrest простирания рудную зону. Измерения проводились с 10-канальной многоэлектродной электроразведочной станцией Syscal-Pro Switch 72 производства фирмы IRIS Instruments по стандартной методике методом вызванной поляризации (ВП) с определением параметра поляризуемости (η_k) и удельного электрического сопротивления (ρ_k) геологической среды. Обработка полевых измерений и интерпретация полученных данных выполнены с использованием программных продуктов X2ipi (МГУ), Res2Dinv (Малайзия), ZondRes2D (СПбГУ) [3, 4].

Результаты измерений и соответствующей обработки по профилю № 1 показаны на рис. 2, а, б. Анализируя их, в первом приближении можно отметить, что разрез профиля № 1 существенно дифференцирован по удельному электрическому сопротивлению и практически однороден по параметру поляризуемости. Этот факт однозначно свидетельствует об отсутствии в пределах разреза участков (горизонтов), существенно различающихся по содержанию в них электронно-проводящих минералов, которыми на данной территории могут быть сульфиды, главным образом пирит и пирротин, а также участки глубоко измененные до графита (в процессе метаморфизма) углистого вещества сланцев.

При более детальном изучении рис. 2, а можно видеть, как отчетливо, местами скачкообразно, из-

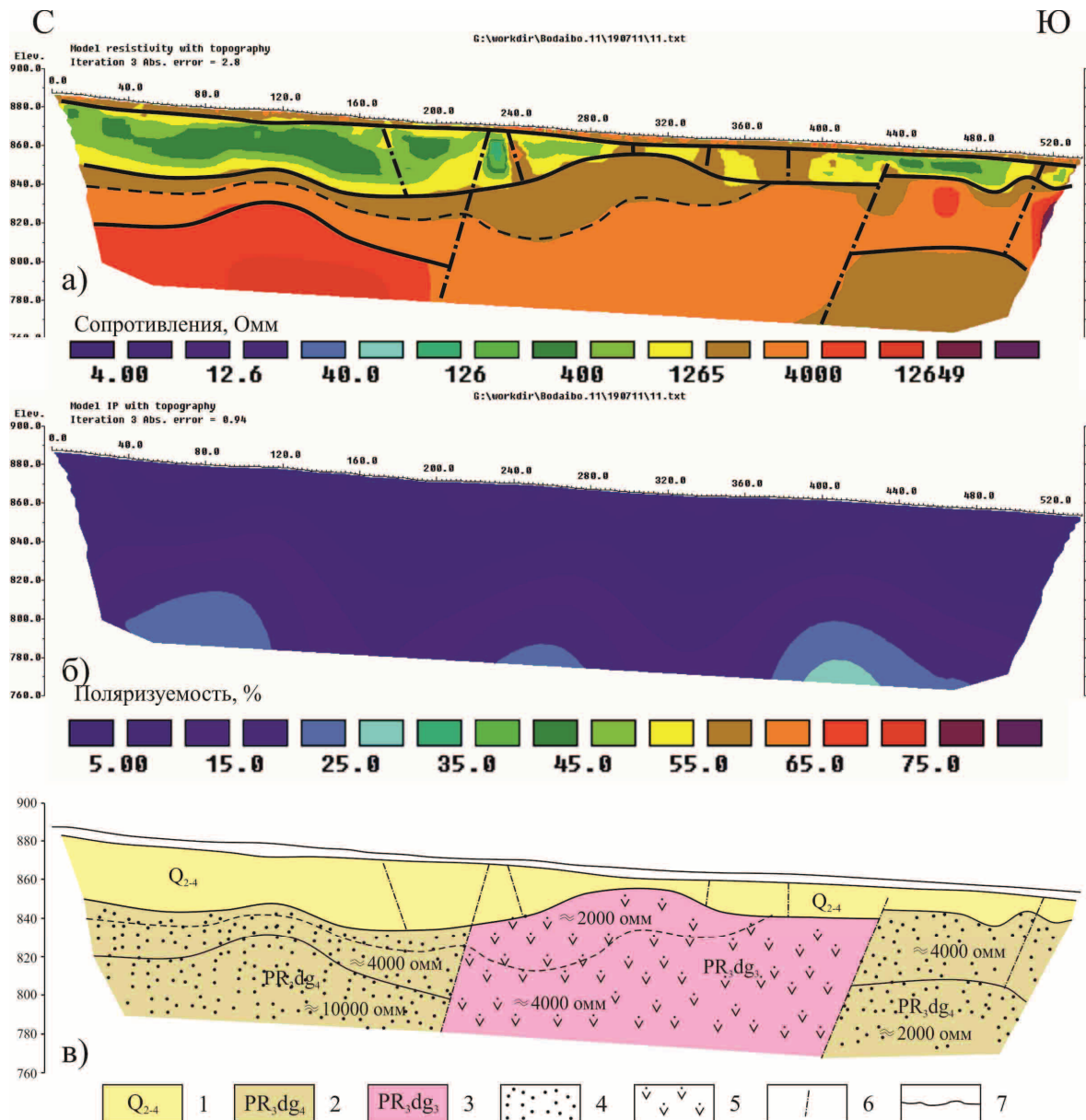


Рис. 2. Результаты электротомографических работ по профилю № 1: а) модель распределения сопротивлений; б) модель распределения поляризуемости; в) интерпретационный разрез; 1) четвертичные отложения; 2) верхняя подсвита Догадынской свиты; 3) средняя подсвита Догадынской свиты; 4) полимиктовые песчаники; 5) массивные мелкозернистые песчаники; 6) предполагаемые ослабленные зоны и тектонические нарушения; 7) предполагаемые геофизические границы

меняется удельное электрическое сопротивление разреза по падению и простиранию пород. На разрезе уверенно выделяются границы между участками разного значения ρ_k и вертикальные смещения этих границ.

Первая от дневной поверхности граница отделяет слой, имеющий в среднем значение удельного электрического сопротивления, изменяющегося в диапазоне 800...2000 Ом·м. Вполне допустимо, что эта граница является границей рыхлых (гумусоторфянных) отложений, перекрывающих четвертичные породы. Следующий (второй) слой в поле электросопротивления весьма четко отделяется от

ниже- и вышележащих образований. Вне всякого сомнения, он соответствует породам четвертичного возраста – делювиально-солифлюкционным отложениям, рис. 2, а.

По выделенным горизонтам с помощью электротомографии можно (главным образом по разрезу удельного электрического сопротивления) определить толщины почвенно-растительного покрова, делювиальных отложений, их неоднородность, обусловленную неравномерным оттаиванием (промерзанием) почв и делювия, а также распределением каменных потоков (курумных образований). Эти данные, безусловно, полезны при выборе мест

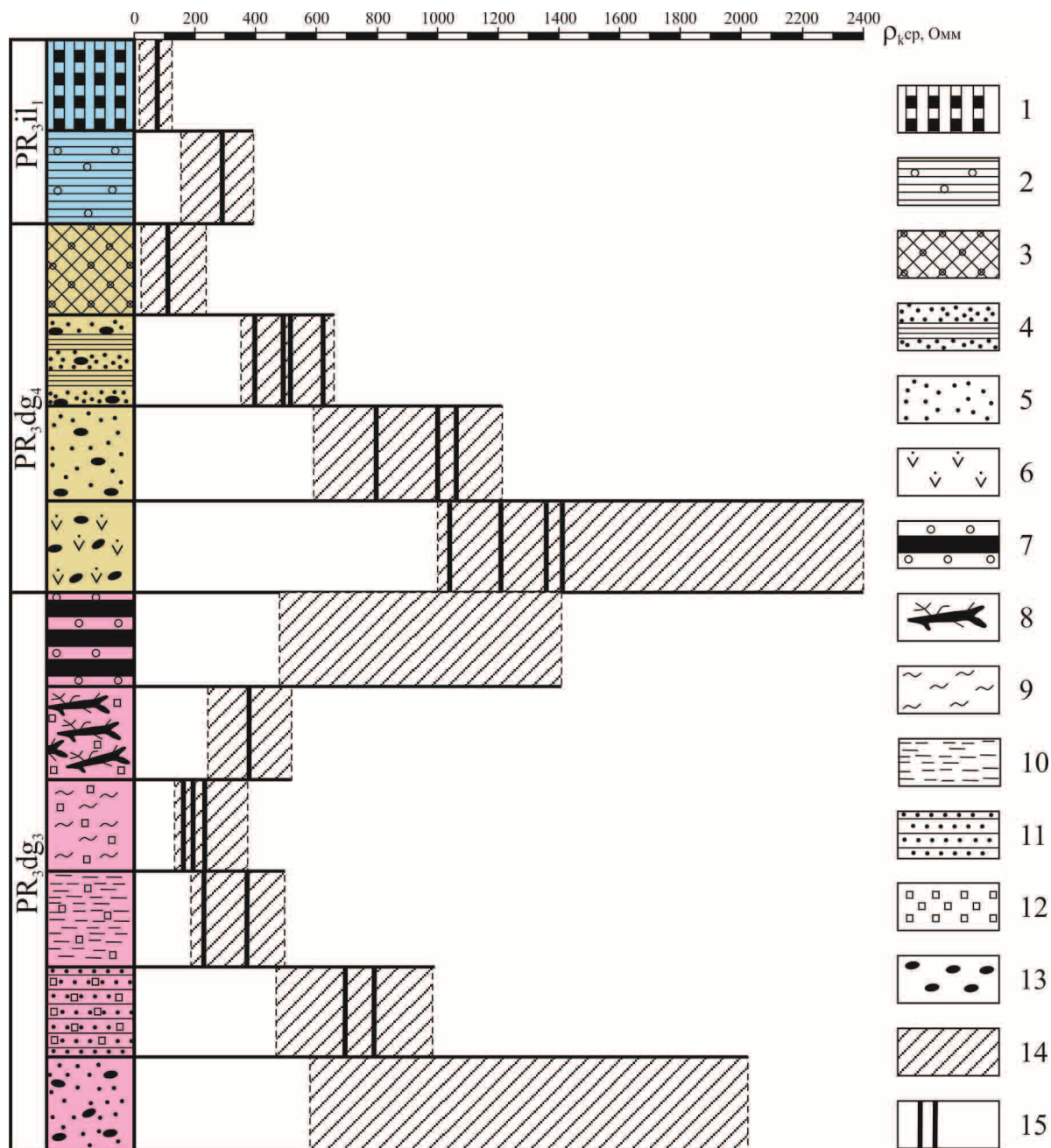


Рис. 3. Схематическая геолого-геофизическая колонка, составленная по параметрическим разрезам, изученным установкой срединного градиента (К.М. Радченко): 1) высокоуглистые интенсивно пиритизированные алевро-сланцы; 2) карбонатизированные углистые песчано-сланцевые породы; 3) зоны вторично изменённых обводнённых песчаников; 4) песчано-алевролитовые породы; 5) полимиктовые песчаники; 6) массивные мелкозернистые песчаники; 7) кварцево-жильная зона; 8) зона вкраплено-прожилковой кварц-сульфидной минерализации; 9) зоны милонитов; 10) алевро-сланцы углистые; 11) песчаники олигомиктовые; 12) пиритовая минерализация; 13) пирротиновая минерализация; 14) области вариации значений для однотипных образований; 15) осреднённые значения по параметрическим профилям

заложения легких горных выработок, проходка которых является одним из главных видов работ при поиске и оценке новых золоторудных месторождений в Бодайбинском районе [20].

Согласно геологическим данным, под четвертичными отложениями на пр. № 1 располагаются полимиктовые и массивные тонкозернистые пе-

счаники разного возраста. Тонкозернистые песчаники (более древние) занимают центральную часть разреза, полимиктовые – боковые, отделяются друг от друга сквозными тектоническими нарушениями, которые уверенно выделяются в разрезе кажущегося удельного сопротивления по разрыву границ горизонтов.

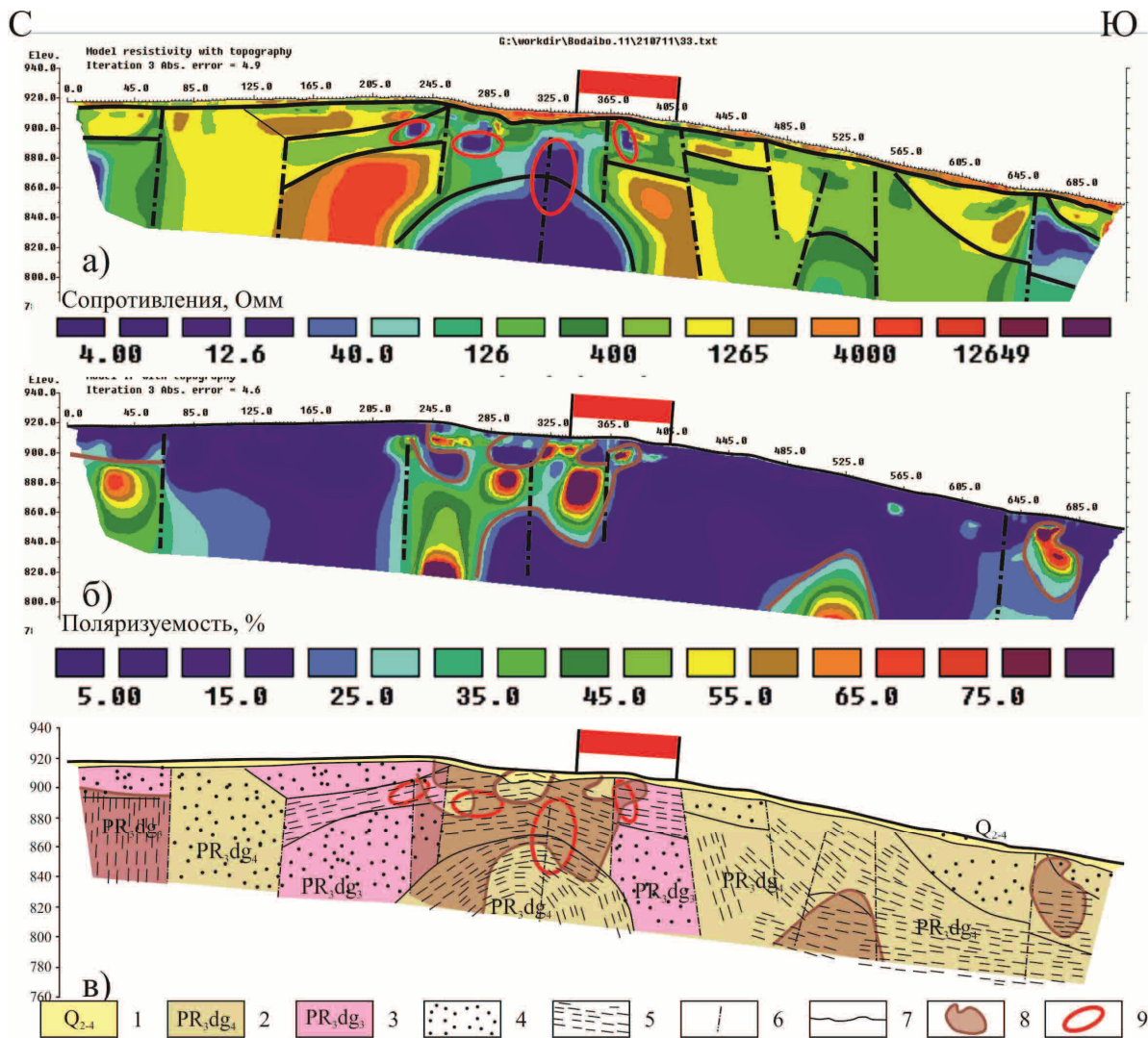


Рис. 4. Результаты электротомографических работ по профилю № 2: а) модель распределения сопротивлений; б) модель распределения поляризуемости; в) интерпретационный разрез; 1) четвертичные отложения; 2) верхняя подсвита Догаддынской свиты; 3) средняя подсвита Догаддынской свиты; 4) полимиктовые песчаники; 5) алевро-сланцы углистые; 6) предполагаемые ослабленные зоны и тектонические нарушения; 7) предполагаемые геофизические границы; 8) зоны повышенной поляризуемости; 9) зоны перспективные на оруденение по геофизическим данным

В целом данные электротомографии и результаты определения удельных электрических сопротивлений различных пород, слагающих Бодайбинскую синклиналь (рис. 3), позволяют составить ряд вариантов геологического строения по пр. № 1, один из которых (по нашим представлениям наиболее вероятный) приведен на рис. 2, в. Для более однозначной расшифровки результатов электротомографии нужны дополнительные сведения, на которых мы в настоящей статье останавливаться не будем, поскольку они весьма специфичны и многообразны и обсуждение их далеко выходит за рамки темы настоящей статьи.

Профиль № 2 (рис. 4) расположен в западной части исследуемой площади и пересекает рудоносную антиклинальную складку в области её замыкания. Он, как это нетрудно видеть, и по характеру

изменения электрического разреза, и по изменению поляризуемости в нем существенно отличается от первого профиля. Второй профиль в целом имеет более низкое электросопротивление пород, отчётливо видны локальные области повышенной поляризуемости. Это свидетельствует о том, что в его составе присутствуют углефицированные и сульфидизированные породы.

На разрезе удельного электрического сопротивления (рис. 4, а) четко проявляется антиклинальная структура, фиксируемая по форме изменения маркирующего низкоомного, скорее всего обуглероженного, горизонта песчаников. Пространственно с ней совпадает зона повышенной поляризуемости, включающая участки весьма высокой поляризуемости, часть из которых имеют и высокую электропроводимость.

Последние, несомненно, представляют собой высокоуглеродистые интенсивно сульфидизированные образования – потенциально рудоносные участки разреза. Весь же разрез является областью, породы в которой претерпели существенные изменения под действием региональных и локальных процессов метаморфизма и метасоматоза. Об этом свидетельствует ярко выраженная «пестрота» физических свойств, отражающая изменчивость в разрезе, а также состояние и состав вещества в нём.

Результаты совместного анализа электросопротивления и поляризуемости пород разреза по профилю № 2, с учетом данных схематической геолого-геофизической колонки (рис. 3) площади исследования, позволяют составить схематический геолого-геофизический разрез, один из вариантов ко-

торого приведен на рис. 4, в. Варианты здесь, как и в случае с пр. № 1, обусловлены значительными и перекрывающимися диапазонами изменения физических свойств практически всех разновидностей пород исследуемого района.

В итоге отметим, что возможности решения разведочных задач на золото с использованием методики электротомографии в Бодайбинском районе значительны. Её здесь можно успешно применять при детальных работах на рудоносных площадях для выявления наиболее перспективных участков на оруденение, изучать их структурное и тектоническое строение, прогнозировать местоположение рудных тел, давать оценку литологическому составу разрезов, определять толщины и строение чехла покровных отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Dahlin T. The development of DC resistivity imaging techniques // *Computer and Geosciences*. – 2001. – V. 27. – № 9. – P. 1019–1029.
- Griffiths D.H., Barker R.D. Two-dimensional resistivity imaging and modeling in areas of complex geology // *Journal of Applied Geophysics*. – 1993. – V. 29. – P. 211–226.
- Loke M.H., Barker R.D. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudo sections using a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*. – 1996. – V. 44. – P. 131–152.
- Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации / А.А. Бобачев, А.А. Горбунов, И.Н. Модин, В.А. Шевнин // *Приборы и системы разведочной геофизики*. – 2006. – № 2. – С. 14–17.
- Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред / А.А. Бобачев, М.Н. Марченко, И.Н. Модин, Е.В. Перваго, А.В. Урсова, В.А. Шевнин // *Физика Земли*. – 1995. – № 12. – С. 79–90.
- Бобачев А.А., Модин И.Н. Электротомография со стандартными электроразведочными комплексами // *Разведка и охрана недр*. – 2008. – № 1. – С. 43–47.
- Бобачев А.А., Яковлев А.Г., Яковлев Д.В. Электротомография – высокоразрешающая электроразведка на постоянном токе // *Инженерная геология*. – 2007, Сентябрь. – С. 31–35.
- Бобачев А.А., Ерохин С.А. Практика применения электротомографии на малоглубинных акваториях // *Инженерные изыскания*. – 2011. – № 11. – С. 24–29.
- Применение электротомографии для решения археологических задач / А.А. Бобачев, И.В. Журбин, И.Н. Модин, В.А. Шевнин // *Инженерная и рудная геофизика-2009: Тезисы докладов V Междунар. научно-практ. конф.* – Геленджик, 26–30 апреля 2009.
- Изучение речных палеодолин в четвертичных отложениях береговой зоны Вьетнама методом электрической томографии / Р.Г. Кулинич, Д.Ч. Танг, Г.Н. Шкабарня, И.В. Дмитриев, В.М. Никифоров // *Вестник ДВО РАН*. – 2009. – № 4. – С. 42–49.
- Нетруненко А.Г., Власов В.В., Бобачев А.А. Технология электротомографии для картирования тектонических нарушений при инженерно-геологических изысканиях под строительство тоннелей // *Инженерная и рудная геофизика-2010: Тезисы докладов VI Междунар. научно-практ. конф.* – Геленджик, 26–30 апреля 2010.
- Павлова А.М., Шевин В.А. 3D-Электротомография при исследовании ледниковых отложений // *Геофизика*. – 2013. – № 6. – С. 32–37.
- Геофизические исследования археологических памятников в Северо-Западной Монголии в 2005 г. / М.И. Эпов, В.И. Молодин, А.К. Манштейн, Ю.А. Манштейн, Е.В. Балков, М.А. Чемякина, Э.П. Шурина, К.В. Ковбасов // *Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий*. – Новосибирск, ИАЭТ СО РАН, 2005. – Т. XI. – С. 503–508.
- Ерохин С.А., Бобачев А.А. Исследование перспективного золоторудного участка в Северной Якутии с помощью электротомографии // *Инженерная и рудная геофизика: Тезисы докладов V Междунар. научно-практ. конф.* – Геленджик, 26–30 апреля 2009.
- Пустозеров М.Г. Современные геофизические технологии при золотопроисковых работах в ЗАО «Полус» // *Разведка и охрана недр*. – 2008. – № 1. – С. 11–16.
- Межскважинная электротомография при изучении глубоко залегающего рудного тела в Норильском районе / В.А. Куликов и др. // *Геофизика*. – 2013. – № 1. – С. 27–34.
- Спиридонов А.М., Зорина Л.Д. Геолого-генетические модели золоторудных месторождений Забайкальской части Монголо-Охотского складчатого пояса // *Геология и геофизика*. – 2006. – Т. 47. – № 11. – С. 1158–1168.
- Корольков А.Т. Геодинамические особенности металлогенических формаций золоторудных районов Забайкалья // *Известия Томского политехнического университета*. – 2005. – Т. 308. – № 6. – С. 53–57.
- Иванов А.И. Основные черты геологического строения и золотоносность Бодайбинского района // *Руды и металлы*. – 2008. – № 3. – С. 43–61.
- Иванов А.И. Опыт прогнозирования, поисков и оценки новых золоторудных месторождений в Бодайбинском районе // *Разведка и охрана недр*. – 2008. – № 2. – С. 11–16.

Поступила 22.05.2014 г.

UDC 550.83:550.814:553.41

EFFICIENCY OF RESISTIVITY AND INDUCED POLARIZATION METHOD IN ELECTRICAL TOMOGRAPHY MODIFICATION IN BODAYBO GOLDEN ORE DISTRICT

Mohammed Mohammed Atef,

Sohag University, Nasr City Street, Sohag, 82524, Arab Republic of Egypt.

E-mail: mohammedhassoup@yahoo.com

Leonid Ya. Erofeev,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050,

Russia. E-mail: Erofeev_Leonid@tpu.ru

Alexander N. Orekhov,

Cand. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050,

Russia. E-mail: orekhovan@mail.tomsknet.ru

Relevance of the study is caused by the need to improve the effectiveness of the geophysical methods in exploration work in leading gold ore provinces of Siberian region.

The main aim of the study is to determine the capabilities of a new modification of electro prospecting – electrical tomography of the induced polarization variant in gold regions of stacked carbon-terrigenous (black shale) strata to solve the complex of exploration tasks; to determine the range of geological problems and to solve the major complicating factors.

The methods used in the study: To identify the opportunities of electrical tomography the authors have carried out the field research and methodological work in a typical gold-bearing region of Siberia – Bodaibo syncline within which gold is mined more than 150 years and where significant amount of large gold deposits was opened, including the giant Sukhoi Log deposit.

The Results: It was ascertained that electrical tomography has great possibilities in conditions of black shale deposits containing significant gold deposits: it can help in assessing the thickness and composition of the coating (including Quaternary) deposits, chalking the places of major tectonic faults, identifying the main features of the structural framework, predicting the localization of individual sites orebodies (mineralized zones). The paper introduces the conditions complicating the work and characterizes the main problems associated with the geological interpretation of the results of tomographic works.

Key words:

Bodaybo area, golden ore deposits, geophysical methods of prospecting and exploration, efficiency, electrical prospecting, electrical tomography.

REFERENCES

1. Dahlin T. The development of DC resistivity imaging techniques. *Computer and Geosciences*, 2001, vol. 27, no. 9, pp. 1019–1029.
2. Griffiths D.H., Barker R.D. Two-dimensional resistivity imaging and modeling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, 1993, vol. 29, pp. 211–226.
3. Loke M.H., Barker R.D. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudo sections using a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 1996, vol. 44, pp. 131–152.
4. Bobachev A.A., Gorbunov A.A., Modin I.N., Shevnin V.A. Elektrotomografiya metodom soprotivleniy i vyzvanoy polarizatsii [Electrical tomography by resistance and induced polarization]. *Pribory i sistemy razvedachnoy geofiziki – Instruments and systems exploration geophysics*, 2006, no. 2, pp. 14–17.
5. Bobachev A.A., Marchenko M.N., Modin I.N., Pervago E.V., Uru-sova A.V., Shevnin V.A. Novye podkhody k elektricheskim zondirovaniyam gorizontarno-neodorodnykh sred [New approaches to electrical soundings of horizontally inhomogeneous media]. *Fizika Zemli – Physics of the Solid Earth*, 1995, no. 12, pp. 79–90.
6. Bobachev A.A., Modin I.N. Elektrotomografiya so standartnymi elektrorazvedochnymi kompleksami [Electrical tomography with standard electric prospecting complexes]. *Razvedka i okhrana nedr – Exploration and protection of the natural resources*, 2008, no. 1, pp. 43–47.
7. Bobachev A.A., Yakovlev A.G., Yakovlev D.V. Elektrotomografiya – vysokorazreshayushchaya elektrorazvedka na postoyannom toke [Electrical tomography is the high-resolution electric prospecting with direct current]. *Ingenernaya geologiya – Engineering geology*, 2007, September, pp. 31–35.
8. Bobachev A.A., Erokhin S.A. Praktika pimeneniya elektrotomografii na maloglubinnykh akvatoriakh [Application of shallow waters elektrotomography]. *Inzenernye izyskaniya – Engineering surveys*, 2011, no. 11, pp. 24–29.
9. Bobachev A.A., Zhurbin I.V., Modin I.N., Shevnin V.A. Primenenie elektro tomografii dlya resheniya arkhelogicheskikh zadach [Elektrotomography application for solving archaeological problems]. *Inzenernaya i rudnaya geofizika-2009: Tezisy dokladov V Mezhdunarodnoy nauchno-practicheskoy konferentsii* [Engineering and mining geophysics-2009: Proc. V International Scientific and Practical Conference]. Gelendzhik, 26–30 April, 2009.
10. Kulnich R.G., Tang D.C., Skabarnya G.N., Dmitriev I.V., Nikiforov V.M. Izuchenie rechnykh paleodolin v chetvertichnykh otlozeniyakh beregovoy zony Vietnama metodom elektricheskoy tomografii [Study of rivers paleovalleys in Quaternary sediments of the coastal zone of Vietnam by electrical tomography]. *Vestnik DVO – Bulletin of the Far Eastern District*, 2009, no. 4, pp. 42–49.
11. Netrunenko A.G., Vlasov V.V., Bobachev A.A. Tekhnologiya elektrotomografii dlya kartirovaniya tektonicheskikh narusheni-y pri inzenerno-geologicheskikh izyskaniakh pod stroitelstvo tonneley [Electrical tomography for mapping the tectonic disturbances in geotechnical investigations for tunnel construction]. *Inzenernaya i rudnaya geofizika-2010: Tezisy dokladov VI Mezhdunarodnoy nauchno-practicheskoy konferentsii* [Engineering and mining geophysics-2010. Proc. VI International Scientific and Practical Conference]. Gelendzik, 26–30 April, 2010.
12. Pavlova A.M., Shevnin V.A. 3D-elektrotomografiya pri issledovani-akh ledikovykh otlozeniy [3D- electrical tomography when stu-

- dying of glacial deposits]. *Geofizika – Geophysics*, 2013, no. 6, pp. 32–37.
13. Epov M.I., Molodin V.I., Manstein A.K., Balkov E.V., Chemyakina M.A., Shurina E.P., Kovbasov K.V. Geofizicheskie issledovaniya arkhelogicheskikh pamyatnikov v severo-zapadnoy Mongolii v 2005 godu [Geophysical exploration of archaeological sites in the North-Western Mongolia in 2005]. *Problemy arkhologii, etnografii, antropologii sibiri i sopedelnykh territoriy* [Problems of archeology, ethnography, anthropology, Siberia and adjacent territories]. Novosibirsk, IAE T SDRAC, 2005. Vol. XI, pp. 503–508.
 14. Erokhin S.A., Bobachev A.A. Issledovanie perspektivnogo zolotorudnogo uchastka v severnoy Yakutii s pomoshchyu elektrotomografii [Study of prospective gold area in Northern Yakutia using electrical tomography]. *Inzhenernaya i rudnaya geofizika-2009: Tezisy dokladov V Mezhdunarodnoy nauchno-practicheskoy konferencii* [Engineering and mining geophysics-2009. Proc. V International Scientific and Practical Conference]. Gelendzik, 26–30 April, 2009.
 15. Pustozеров M.G. Sovremennye geofizicheskiye tekhnologii pri zolotoposkovkh rabotakh v ZAO «Polyus» [Modern geophysical technologies in golden search works in «Polus»]. *Razvedka i okhrana nedr – Exploration and protection of the natural resources*, 2008, no. 1, pp. 11–16.
 16. Kulikov V.A. Mezhskvazhinnaya elektrotomografiya pri izuchenii gluboko zalezayushchego rudnogo tela v Noril'skom rayone [Inter-well electrical tomography at the study of deep ore body in the Noril'sk area]. *Geofizika – Geophysics*, 2013, no. 1, pp. 27–34.
 17. Spyridonov A.M., Zorina L.D. Geologo-geneticheskiye modeli zolotorudnykh mestorozhdeniy Zabaykalskoy chasti Mongolo-Okhotskogo skladchatogo poyasa [Geological-genetic models of gold deposits of the Trans-Baikal Mongolia-Okhotsk fold belt]. *Geologia i geofizika – Geology and Geophysics*, 2006, vol. 47, no. 11, pp. 1158–1168.
 18. Korolkov A.T. Geodinamicheskie osobennosti metallogenicheskikh formatsiy zolotorudnykh rayonov Zabaykalya [Geodynamic features of gold metallogenic formations districts of Transbaikal area]. *Izvestiya Tomskogo Polytechnicheskogo Universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2005, vol. 308, no. 6, pp. 53–57.
 19. Ivanov A.I. Osnovnye cherty geologicheskogo stroeniya i zolotonosnost Bodaibinskogo rayona [The main features of geological structure and gold content of Bodaibo Area]. *Rudy i metally – Ores and metals*, 2008, no. 3, pp. 43–61.
 20. Ivanov A.I. Opyt prognozirovaniya, poiskov i otsenki novykh zolotorudnykh mestorozhdeniy v Bodaybinskom rayone [Experiment expectation, exploration and evaluation of the new gold deposits in the area Bodaibo]. *Razvedka i okhrana nedr – Exploration and protection of natural resources*, 2008, no. 2, pp. 11–16.

УДК 553.98:550.83(571.1)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ ГОРИЗОНТА Ю₁ КРАПИВИНСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Шайхиев Дамир Рафаилович,

мл. науч. сотр. сектора мониторинга гидродинамических исследований скважин ОАО «ТомскНИПИнефть», Россия, 634027, г. Томск, пр. Мира, д. 72; аспирант кафедры геофизики Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30.
E-mail: ShaykhievDR@nipineft.tomsk.ru

Излагаются результаты петрофизических и геофизических исследований фильтрационных свойств коллекторов пласта Ю₁₋₃ Крапивинского нефтяного месторождения. Выявлены закономерности и причины пространственной неоднородности пласта по проницаемости, как в целом по площади месторождения, так и в геолого-геофизическом разрезе скважин, а также причины ошибок оценки проницаемости по результатам интерпретации геофизических исследований скважин. Был проведен анализ карты проницаемости пласта Ю₁₋₃, которая была получена из постоянно действующей геолого-технологической модели Крапивинского месторождения. Данный анализ подтвердил пространственную неоднородность фильтрационно-емкостных свойств коллектора, особенно проницаемости, которая наиболее ярко выражена на севере месторождения, что подтверждается наличием суперколлекторов, которые были выделены по выполненному комплексу исследований. Был проведен сравнительный анализ значений проницаемости пород пласта Ю₁₋₃ по результатам лабораторных исследований керна, геофизических и гидродинамических исследований скважин, в результате чего были выявлены расхождения в оценке проницаемости. Была подтверждена закономерность выделения типов коллекторов в пласте Ю₁₋₃. По соотношению коэффициента открытой пористости и проницаемости было отмечено наличие суперколлектора в пласте Ю₁₋₃ и его отличительные особенности. Были отмечены геологические причины роста проницаемости пласта Ю₁₋₃.

Ключевые слова:

Пористость, проницаемость, суперколлектор, геофизические исследования скважин, гидродинамические исследования скважин.

Проницаемость – это свойство породы-коллектора пропускать через себя флюиды (вода, нефть, газ) и отдавать их при разработке месторождений [1–5]. Информация о проницаемости коллекторов необходима при настройке фильтрационной модели месторождения. «От того, насколько точны и детальны эти данные, зависит степень соответствия полученной модели и реального строения пласта, а значит точность воспроизведения истории разработки и точность поведения залежи в будущем» [6].

Крапивинское нефтяное месторождение расположено в юго-восточной части Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна (Томская область). Промышленная нефтеносность связана с Верхнеюрским нефтегазовым комплексом (НГК) – горизонт Ю₁, который является наиболее продуктивным на юго-востоке Западной Сибири [7–9].

В тектоническом отношении месторождение приурочено к Крапивинским группам поднятий в пределах Моисеевского куполовидного поднятия южной части Каймысоинского свода [1, 10, 11]. Тектоническими разломами месторождение разбито на шесть блоков. По сейсмическим данным тектонические нарушения, секущие Крапивинские структуры, достигают баженовского горизонта и проникают в нижнемеловой интервал разреза.

Верхнюю часть юрского горизонта слагают битуминозные карбонатно-глинисто-кремнистые образования баженовской свиты и глинистые породы георгиевской свиты, служащие региональной покрывкой Верхнеюрского НГК. Горизонт Ю₁ ло-

кализован в верхней части васюганской свиты и представлен кварцевыми и кварцево-полевошпатовыми песчаниками и алевролитами пластов Ю₁₋₂ и Ю₁₋₃.

Литологические и петрофизические исследования образцов керна из пластов горизонта Ю₁ выполнены в лабораториях физики пласта ОАО «Томскнефтегазгеология» и «ТомскНИПИнефть», а также в Центре подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела (Томский политехнический университет) [10, 12–15]. Проведены гидродинамические (ГДИС) и геофизические исследования скважин (ГИС).

Пласт Ю₁₋₃ является наиболее продуктивным пластом и основным объектом разработки Крапивинского месторождения. Особенности пласта Ю₁₋₃: локальное развитие нефтяных залежей в пределах регионально распространенного коллектора, резкая пространственная неоднородность фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) коллектора, особенно проницаемости, которая наиболее ярко выражена на севере месторождения (рис. 1). Данная карта была получена из постоянно действующей геолого-технологической модели (ПДГТМ) Крапивинского месторождения.

Данная неоднородность также прослеживается и в разрезе (рис. 2), редкое, но имеющее место проявление так называемых «суперколлекторов» – пластов с аномально высокой проницаемостью.

По комплексу литолого-физических параметров в пласте выделяются три пачки (табл. 1), чаще не разделенные непроницаемыми прослоями,

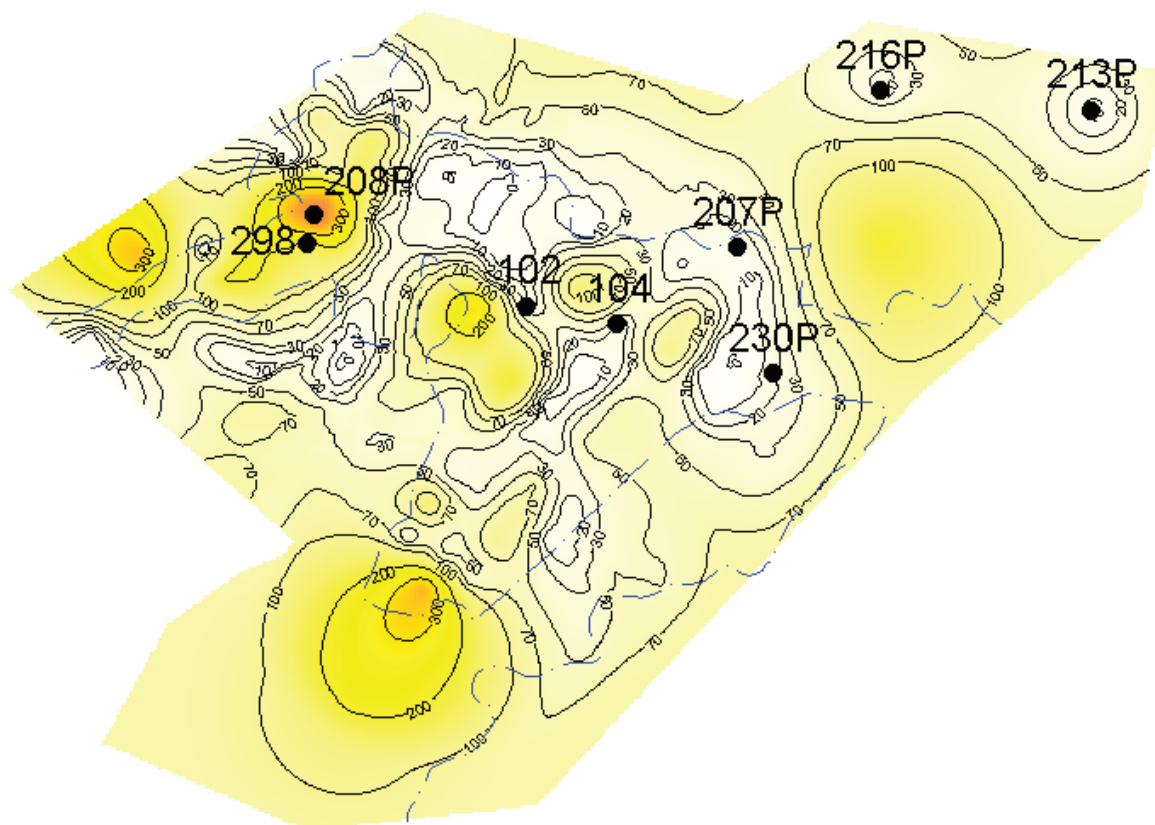


Рис. 1. План изолиний коэффициента проницаемости (мД) пласта Ю₁₋₃ северной части Крапивинского месторождения. На план нанесены: внешний контур нефтеносности пласта и положение скважин, на которые есть ссылки в тексте

поэтому пласт остается единой гидродинамической системой. С учетом наличия суперколлекторов и резкого отличия по проницаемости пачки Ю_{1-3а} от остальных пачек, в составе пласта выделены четыре типа коллектора (рис. 3, табл. 2), первый и второй – в составе пачки Ю_{1-3а}.

Таблица 1. Проницаемость пород пласта Ю₁₋₃ по результатам лабораторных измерений керна и геофизических исследований скважин

Методы измерений проницаемости	Параметры измерений	Интервал пласта Ю ₁₋₃		
		Ю _{1-3а}	Ю _{1-3б}	Ю _{1-3в}
Лабораторные	Скважин/определений	15/181	27/261	3/14
	Среднее $K_{пр}$, мД	144,6	16,3	6,6
	Интервал изменения, мД	1,9...2484,8	1...36	2...7,6
Геофизические исследования скважин (ГИС)	Скважин/определений	83/274	145/570	50/60
	Среднее $K_{пр}$, мД	118	14,86	6,86
	Интервал изменения, мД	2,1...413	0,6...382	1...41

Правомерность выделения типов коллектора особенно хорошо видна из соотношения, которое было получено по методу наименьших квадратов [16], коэффициентов открытой пористости ($K_{по}$) и проницаемости ($K_{пр}$) – базовых параметров коллек-

тора. На поле корреляции $K_{по}$ и $K_{пр}$ (рис. 3) параметры, полученные по данным лабораторных исследований керна и ГИС, образуют область точек, в которой от подошвы к кровле закономерно следуют типы коллекторов. Такое изменение параметров объясняется регрессивными условиями осадконакопления и в полной мере относится к коллекторам типа III и IV, размещенным в нижней части пласта.

Таблица 2. Типы коллекторов по результатам лабораторных измерений керна и геофизических исследований скважин пласта Ю₃ Крапивинского месторождения

Параметр коллектора	Типы коллектора			
	I	II	III	IV
Открытая пористость, $K_{по}$, %	18...22	14...19	12...15	12...14
Проницаемость, $K_{пр}$, мД	100...3000	10...1000	1...10	0,1...1
Глинистость, $K_{гл}$, %	~ 5	5...7	5...9	9...15
Микропористость глин, %	0,96	3,12	4,2	13,44
Обломков с $d > 0,25$ мм, %	50...70	33	21	4...15
Регенерационного кварца в цементе, %	6,53	5,17	4,17	1,88

На границе 30...50 мД происходит резкое изменение и места локализации точек, и наклона зависимостей – I и II типы коллектора (рис. 3). При этом в перекрывающемся для трех типов коллектора интервале пористости 16...19,5 % в коллекторах

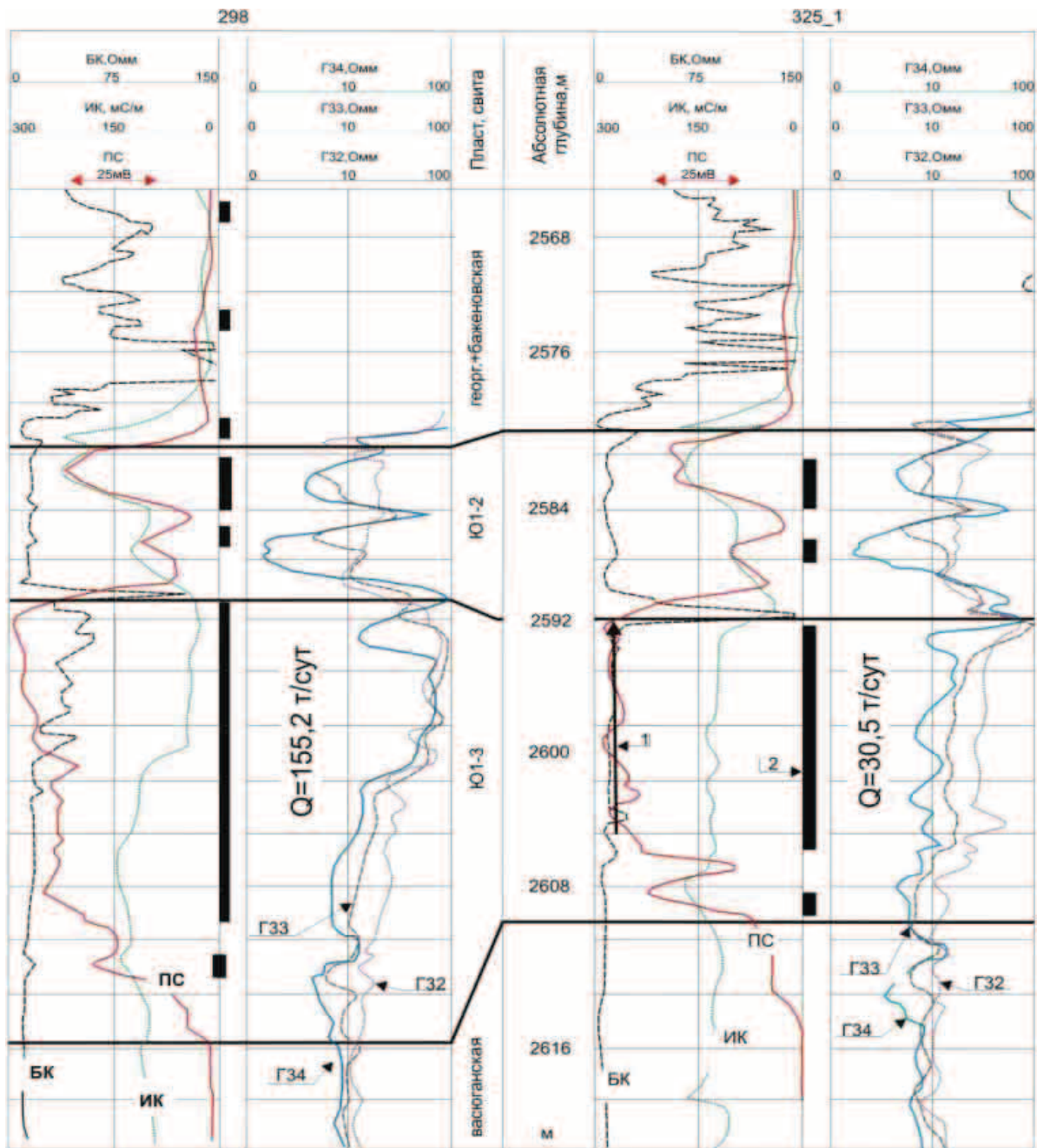


Рис. 2. Результаты геофизических исследований двух разрезов Крапивинского месторождения с разным притоком нефти (Q) из пласта Ю₁₋₃: 1) интервалы перфорации; 2) интервалы нефтенасыщенности пластов по данным ГИС

I и II типа $K_{др}$ практически на порядок выше, чем в коллекторе III типа. При большей пористости доминирует коллектор I типа, обладающий высокой и аномальной проницаемостью (суперколлектор).

Коллектор I типа представлен песчаниками преимущественно кварцевого состава. Кварц преобладает в обломках (более 60 %) и в составе цемента (регенерированный кварц). Кроме того, от других типов коллектор отличается хорошей отсортированностью обломков и их более крупным размером, а также низким содержанием пирита и карбонатов в цементе.

Поскольку основным изменяющимся параметром коллектора является проницаемость [17], то перечисленные свойства коллекторов первого типа и есть причины увеличения проницаемости пласта Ю₁₋₃, в том числе и образования суперколлектора. Нужно отметить, что большинство параметров-причин (пористость, остаточная водонасыщенность ($K_{ов}$), глинистость), а также параметры ГИС (ПС, ГЖ) имеют линейные корреляционные связи с $LgK_{др}$ (табл. 3), то есть распределены по нормальному закону, а проницаемость – по логнормальному. Это, с одной стороны, определяет невысокую

Таблица 3. Наиболее сильные корреляционные связи коэффициента проницаемости с другими петрофизическими параметрами пласта Ю₁₋₃ (разрез скважины 208, I тип коллектора)

K _{пр} , мД медиана максимум	По измерениям керна			По данным ГИС	
	K _{по}	K _{эф} сухой породы	K _{ов}	ГК	ПС
351,6 2484,8	LgK _{пр} = =0,3131K _п -3,6877 R ² =0,946	LgK _{пр} = =-10,421 K _{эф} +24,558 R ² =0,943	LgK _{пр} = =-0,0619K _{ов} +4,0914 R ² =0,924	LgK _{пр} = =-0,5409ГК+4,4882 R ² =0,704	LgK _{пр} = =-0,0628ПС+3,2725 R ² =0,64

точность оценки проницаемости по связи с пористостью, а с другой, не позволяет считать вышеназванные параметры существенными причинами изменения коэффициента проницаемости, который получен по данным ГИС, на несколько порядков, как это имеет место в пласте Ю₁₋₃ Крапивинского месторождения (рис. 3, табл. 1, 2).

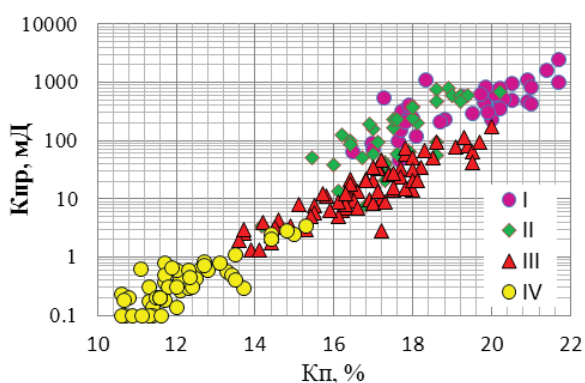


Рис. 3. Поле корреляции коэффициентов проницаемости и открытой пористости различных типов коллекторов пласта Ю₁₋₃ Крапивинского месторождения

Основной причиной изменения K_{пр} является вариации размера пор коллектора. Этот параметр входит в уравнение Козени–Кармена [2, 18], представляющее собой теоретическую модель связи «K_п–K_{пр}». По уравнению Козени–Кармена коэффициент проницаемости прямо пропорционален коэффициенту пористости, а также квадрату радиуса пор. Радиус пор может изменяться в терригенных коллекторах на несколько порядков [19]. В случае отсортированного малоглинистого коллектора между распределением пор по размерам и распределением обломков по их размерам наблюдается хорошая согласованность. Иными словами, результаты гранулометрического анализа пород-коллекторов разных типов показывают (табл. 2), что размер пор увеличивается от коллектора IV типа к коллектору I типа.

Росту проницаемости способствуют также понижение глинистости и карбонатности цемента, смена гидрослюд на менее поверхностно активный каолинит, понижение микропористости глин (свободный член в уравнении «K_п-α_{ПС}» [18]). По этим обстоятельствам, в совокупности с преимущественно кварцевым составом обломков, коэффициент открытой пористости K_{по} коллектора I типа весьма близок к коэффициенту эффективной пори-

стости (табл. 3), что выразилось в очень тесных корреляционных связях проницаемости с открытой пористостью, плотностью и остаточной водонасыщенностью [20].

Отражение пластов горизонта Ю₁ и типов коллекторов пласта Ю₁₋₃ в результатах ГИС можно видеть на геолого-геофизических разрезах скважин 298 и 325_1 (рис. 2). Приведены диаграммы показаний электрических методов: самопроизвольной поляризации (ПС), бокового (БК) и индукционного (ИК) каротажа и разноглубинных градиент-зондов (ГЗ) метода сопротивления. По средним значениям ФЭС коллекторов пласта Ю₁₋₃ в кровельной части разреза 298 содержит коллектор I типа (K_п=21,3 %, K_{пр}=1681 мД), а разреза 325_1 – коллектор II типа (K_п=18,9 %, K_{пр}=203,6 мД). По результатам интерпретации данных ГИС в разрезе 298 пласт является более нефтенасыщенным (K_н=84 %) и имеет большую мощность (рис. 2), чем в сравниваемом разрезе (K_н=62 %). При вторичном вскрытии пластов получен приток безводной нефти, в 5 раз больший из скважины с коллектором I типа.

Литолого-стратиграфический разрез в показаниях методов ГИС исследуемых разрезов отражается стандартно. Покрышка Верхнеюрского НГК отличается высокими показаниями ПС и переменными показаниями методов сопротивления: битуминозные карбонатно-глинисто-кремнистые образования баженовской свиты – аномально высоким электрическим сопротивлением (БК, ГЗ), а глины георгиевской свиты – самым низким сопротивлением в интервале юрского разреза (рис. 2). Глинистые отложения васюганской свиты (за пределами пластов-коллекторов) характеризуются высокими значениями ПС и низкими показаниями методов сопротивления.

Таблица 4. Средние значения петрофизических параметров пласта Ю₁₋₃ в скв. 298 и 325_1 северной части Крапивинского месторождения

Разрез	По измерениям керна			По данным ГИС				
	K _п , %	K _{пр} , мД	K _н , %	ПС, мВ	ИК, мС/м	БК, Ом*м	ГК, мкР/ч	НГК
298	21,3	1681	84	3,9	29,9	48,4	2,47	2,86
325_1	18,9	203,6	62	21,7	105,2	16,9	4,57	2,4

По данным ГК также отмечается отличительная характеристика суперколлектора. Значение

естественной радиоактивности на скв. 298 составляет 2,47 мР/ч, а по скв. № 325_1 – 4,57 мР/ч. Это свидетельствует о том, что песчаник суперколлектора менее радиоактивен по сравнению с песчаником, который не обладает аномальной проницаемостью (табл. 4)

О латеральной неоднородности по проницаемости пласта Ю₁₋₃ можно судить из данных рис. 1. *Вопервых*, выделяются локальные области высоких проницаемостей коллектора (>300 мД), например, в разрезах скважин 208Р и 298 (коллектор первого типа), как правило, обрамленные кольцевой зоной пониженной и низкой проницаемости в зависимости от степени карбонатизации коллектора [21, 22]. В разрезах скважин 102, 104 коллекторы II типа, а скважин 230Р, 207Р – III типа. *Ввторых*, наблюдается тенденция ухудшения свойств коллектора к востоку (северо-востоку), то есть в направлении Нюрольской мегавпадины. Пласт Ю₁₋₃ в разрезах скважин 213Р, 216Р имеет коллектор IV типа и практически не дает притоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физика горных пород / Л.Я. Ерофеев, Г.С. Вахромеев, В.С. Зинченко, Г.Г. Номоконова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 520 с.
2. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика. – М.: Недра, 1991. – 368 с.
3. Элланский М.М. Петрофизические основы комплексной интерпретации данных геофизических исследований скважин. – М.: Изд-во ГЕРС, 2001. – 229 с.
4. Конторович В.А., Мангазев В.П., Городников М.А. Анализ мезозойско-кайнозойской истории тектонического развития территории Томской области // Международная геофизическая конференция и выставка ЕАГО, SEG: Сб. тез. докл. – М.: Совинцентр, 1997. – С. 110–112.
5. Comparative Study on Stress-Dependent Permeability of Ultra-low Permeability Sandstone Rock using Different Types of Fluid Media / Sun Junchang, Yang Zhengming, Langfang Zranch, Teng Qi. VI International Petroleum Technology Conference. – Beijing, China, 26–28 March, 2013.
6. Геология нефти и газа Западной Сибири / А.Э. Конторович, И.И. Нестеров, Ф.К. Салманов и др. – М.: Наука, 1975. – 678 с.
7. Белозёров В.Б., Брылина Н.А., Даненберг Е.Е. Литостратиграфия отложений васюганской свиты юго-востока Западно-Сибирской плиты / в кн.: Региональная стратиграфия нефтегазоносных районов Сибири. – Новосибирск: Сиб. науч. исслед. ин-т. геологии, геофизики и минерального сырья, 1988. – С. 75–83.
8. Анашкин А.Р., Дорогиницкая Л.М., Дергачева Т.Н. Петрофизические основы классификации коллекторов нефти и газа Западной Сибири по добычным параметрам // Геофизика. Спец. Вып. – 2001. – С. 77–83.
9. Белозеров В.В. Роль петрофизических исследований при оценке насыщения сложнопостроенных коллекторов // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 1. – С. 110–116.
10. Чернова О.С., Жуковская Е.А. Биостратиграфическая характеристика отложений горизонта Ю1 Крапивинского нефтяного месторождения // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 1. – С. 122–127.
11. Белозёров В.Б. Палеогеографические особенности формирования нефтеносных пластов васюганской свиты Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 311. – № 1. – С. 67–72.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлены основные закономерности пространственной неоднородности коллекторов пласта Ю₁₋₃ Крапивинского месторождения по проницаемости, расхождение в значении коэффициента проницаемости, полученного по данным ГИС и по данным ПДГТМ. Установлены литолого-петрофизические и геофизические признаки коллекторов с аномальными значениями этого параметра. Основной причиной изменения проницаемости коллекторов пласта, в том числе и появления суперколлекторов, является изменение размера пор. Это же является основной причиной ошибок оценки проницаемости по данным геофизических исследований скважин, использующей корреляционные зависимости между пористостью и проницаемостью. Для устранения ошибок и более корректного определения проницаемости пласта необходимо использование данных гидродинамических исследований скважин.

12. Особенности строения продуктивного пласта Ю1–3/4 Крапивинского месторождения нефти по геологосейсмическим данным / В.П. Девятов, В.И. Берилко, В.В. Фоменко, Н.И. Карапузов // Вопросы геологии и палеонтологии Сибири. – Томск: Изд-во НТЛ, 1997. – С. 12–18.
13. Сахибгареев Р.С. Вторичные изменения коллекторов в процессе формирования и разрушения нефтяных залежей. – Л.: Недра, 1989. – 260 с.
14. Жуковская Е.А., Кравченко Г.Г. Влияние вторичных изменений на коллекторские свойства верхнеюрских продуктивных отложений Крапивинского месторождения // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 1. – С. 93–98.
15. Формалев В.Ф., Ревизников Д.Л. Численные методы. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Физматлит, 2006. – 400 с.
16. The Integration of Petrophysical and Formation Tester Data in the Creation of a Petrophysical Model for an Eastern Siberian Oilfield / Y. Karpekin, P. Weinheber, L. Abdrakhmanova, A. Tsiklakov, Y.I. Gordeev, Maslov S.O. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – Denver, Colorado, USA, 30 October – 2 November 2011. URL: <http://tgtoil.com/wp-content/uploads/2013/12/SPE-146043-MS-P.pdf> (дата обращения: 10.01.2014).
17. Конторович В.А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2002. – 253 с.
18. Количественная оценка добычных характеристик коллекторов нефти и газа по петрофизическим данным и материалам ГИС / Л.М. Дорогиницкая, Т.Н. Дергачева, А.Р. Анашкин и др. – Томск: STT, 2007. – 278 с.
19. Пирсон С.Д. Учение о нефтяном пласте. – М.: Гостехиздат, 1961. – 567 с.
20. Кравченко Г.Г. Анизотропия песчаных коллекторов Крапивинского месторождения нефти (Томская область) // Структурный анализ в геологических исследованиях: матер. Междуна. семинара и республиканской школы молодых ученых. – Томск, 1999. – С. 128–129.
21. Перозин Г.Н. Эпигенез терригенных пород юры и мела Западно-Сибирской низменности. – М.: Недра, 1971. – 158 с.

Поступила 13.01.2014 г.

PATTERNS OF RESERVOIR PERMEABILITY VARIATION OF J₁ KRAPIVINSKOE OILFIELD HORIZON

Damir R. Shaykhiev,

TomskNIPIneft, 72, Mira Avenue, Tomsk, 634027, Russia;
Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Toms, 634050, Russia.

E-mail: ShaykhievDR@nipineft.tomsk.ru

The paper introduces the results of petrophysical and geophysical researches of reservoir filtration features of Krapivinskoe oilfield J₁₋₃ horizon. The author has determined the factors and the reasons of space permeable heterogeneity both in lateral and vertical directions, as well as the reasons of inaccuracy when estimating permeability by geophysical data interpretation. The permeability map of J₁₋₃ reservoir was analyzed; the map was obtained from a permanent geological-technological model Krapivinskoe oilfield. The analysis confirmed spatial heterogeneity of the reservoir permeability and porosity, especially permeability, which is most pronounced in the north of the field; it was proved by the presence of high permeable layers that had been allocated according to the implemented complex of the researches. Based on the results of core laboratory research, geophysical and hydrodynamic data interpretation and well test analysis the author carried out the comparative analysis of J₁₋₃ horizon permeability values. As a result the differences in permeability estimation were determined. The validity of petro-units selection of J₁₋₃ horizon was confirmed. Presence of high permeable layers in J₁₋₃ horizon and its diagnostic characteristics were determined from porosity to permeability values correlation. The paper describes the geological reasons of increasing permeability values of J₁₋₃ horizon.

Key words:

Porosity, permeability, high-permeability reservoir rock, well logging, well testing.

REFERENCES

- Erofeev L.Ya., Vakhromeev G.S., Zinchenko V.S., Nomokonova G.G. *Fizika gornyykh porod* [Physics of rock properties]. Tomsk, TPU Publ. House, 2006. 520 p.
- Dobrynin V.M., Vendelshteyn B.Yu., Kozhevnikov D.A. *Petrofizika* [Petrophysics]. Moscow, Nedra Publ., 1991. 368 p.
- Ellansky M.M. *Petrofizicheskie osnovy kompleksnoi interpretatsii dannykh geofizicheskikh issledovaniy skvazhin* [Petrophysical principles of complex data interpretation of geophysical well investigation]. Moscow, GERS Publ., 2001. 229 p.
- Kontorovich V.A., Mangazeev V.P., Gorodnikov M.A. *Analiz mezozoysko-kaynozoysoy istorii tektonicheskogo razvitiya territorii Tomskoy oblasti* [Analysis of mesozoic-cainozoic history of Tomsk region tectonic development]. *Mezhdynarodnyaya geofizicheskaya konferentsiya i vystavka EAGO, SEG. Sbornik tezisov dokladov* [International geophysical conference and exhibition EAGO, SEG. Abstracts]. Moscow, Sovintsentr Publ., 1997. pp. 110–112.
- Sun Junchang, Yang Zhengming, Langfang Zranch, Teng Qi. *Comparative Study on Stress-Dependent Permeability of Ultra-low Permeability Sandstone Rock using Different Types of Fluid Media. VI International Petroleum Technology Conference*. Beijing, China, 26–28 March, 2013.
- Kontorovich A.E., Nesterov I.I., Salmanov F.K. *Geologia nefti i gaza Zapadnoy Sibiri* [Oil and gas geology of West Siberia]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 678 p.
- Belozеров V.B., Brylina N.A., Danenberg E.E. *Litostratigrafiya otlozheniy vasyuganskoy svity yugo-vostochnykh rayonov Zapadno-Sibirskoi plity* [Lithostratigraphy of Vasyugan formation in southeast of West Siberia plate]. *Regionalnaya stratigrafiya neftegazovykh rayonov Sibiri* [Regional stratigraphy of oil and gas bearing areas of Siberia]. Novosibirsk, Sibirskiy nauchno-issledovatel'skiy institut geologii, geofiziki i mineral'nogo syr'ya, 1988. pp. 75–83.
- Anashkin A.R., Doroginitskaya L.M., Dergacheva T.N. *Petrofizicheskie osnovy klassifikatsii kollektorov nefti i gaza po dobyvnykh parametram* [Petrophysical principles of oil-gas sand classification of West Siberia based on production data]. *Geofizika*, 2001, Spec. Iss., pp. 77–83.
- Belozеров B.V. *Rol petrofizicheskikh issledovaniy pri otsenke natsyshcheniya slozhnopoastroennykh kollektorov* [Petrophysical investigations responsibility when estimating oil saturation in complex reservoirs]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2010, vol. 317, no. 1, pp. 110–116.
- Chernova O.S., Zhykovskaya E.A. *Biostratigraficheskaya kharakteristika otlozheniy gorizonta U1 Krapivinskogo neftyanogo mestorozhdeniya* [Biostratigraphic property of J1 formation deposits in Krapivinskoe oil field]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2010, vol. 317, no. 1, pp. 122–127.
- Belozеров V.B. *Paleogeograficheskie osobennosti formirovaniya neftenosnykh plastov vasyuganskoy svity Zapadnoy Sibiri* [Paleogeographic particulars of forming oil and gas bearing formations of West Siberia Vasyugan petroleum play]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2008, vol. 311, no. 1, pp. 67–72.
- Devyatov V.P., Berilko V.I., Fomenko V.V., Karapuzov N.I. *Osobennosti stroeniya produktivnogo plasta U1-3/4 Krapivinskogo mestorozhdeniya nefti po geologoseismicheskim dannym* [Seismic data on structure of reservoir J1-3/4 of Krapivinskoe oil field]. *Voprosy geologii i paleontologii Sibiri* [Issues of geology and paleontology of Siberia]. Tomsk, NTL Publ., 1997. pp. 12–18.
- Sakhibgareev P.S. *Vtorichnye izmeneniya kollektorov v protsesse formirovaniya i razrusheniya neftyanykh zalezhey* [Secondary alteration in accumulation and destruction of oil trap]. Leningrad, Nedra Publ., 1989. 260 p.
- Zhukovskaya E.A., Kravchenko G.G. *Vliyanie vtorichnykh izmeneniy na kollektorskie svoystva verkhneyurskikh produktivnykh otlozheniy Krapivinskogo mestorozhdeniya* [Influence of secondary alteration on reservoir characteristics of upper Jurassic sand in Krapivinskoe oil field]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2010, vol. 316, no. 1, pp. 93–98.
- Formalev V.F., Reviznikov D.L. *Chislennyye metody* [Numerical methods]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2006. 2nd edition, 400 p.
- Karpekin Y., Weinheber P., Abdrakhmanova L., Tsiklavov A., Gordeev Y.I., Maslov S.O. *The Integration of Petrophysical and Formation Tester Data in the Creation of a Petrophysical Model for an Eastern Siberian Oilfield. SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Denver, Colorado, USA, 30 October – 2 November 2011. Available at: <http://tgitool.com/wp-content/uploads/2013/12/SPE-146043-MS-P.pdf> (accessed 10.01.2014).
- Kontorovich V.A. *Tektonika i neftegazonosnost mezozoysko-kaynozoysskikh otlozheniy yugo-vostochnykh rayonov Zapadnoy Sibiri* [Tectonics and oil-and-gas origin of Mesozoic and Cainozoic age

- sedimentation of South-East regions of West Siberia]. Novosibirsk, SO RAN Publ., GEO, 2002. 253 p.
18. Dorognitskaya L.M., Dergacheva T.N., Anashkin A.R. *Kolichestvennaya otsenka dobyvnykh kharakteristik kollektorov nefti i gaza po petrofizicheskim dannym i materialam GIS* [Quantitative estimation of oil and gas reservoir production characteristics by petrophysical and well log data]. Tomsk, STT Publ., 2007. 278 p.
 19. Pirson S.D. *Uchenie o neftynom plaste* [Study of oil formation]. Moscow, Gostoptekhisdat Publ., 1961. 567 p.
 20. Kravchenko G.G. *Anizotropiya peschanykh kollektorov Krapivinskogo mestorozhdeniya nefti (Tomskaya oblast)* [Net sand anisotropy in Krapivinskoe oil field (Tomsk region)]. *Stryktyrny analiz v geologicheskikh issledovaniyakh. Materialy mezhdynarodnogo seminara i respublikanskoj shkoly molodykh uchenykh* [Structural analysis in geological researches. Proc. of International seminar and republic school of young scientists]. Tomsk, 1999. pp. 128–129.
 21. Perozio G.N. *Epigenez terrigennykh porod yury i mela Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Weathering of clastic rocks of Jurassic and Cretaceous of West Siberia plate]. Moscow, Nedra Publ., 1971. 158 p.

Геохимия

УДК 550.849

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ПИОНЕР» АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Ляпунов Михаил Юрьевич,

аспирант кафедры геологии и природопользования
инженерно-физического факультета ФГБОУ ВПО «Амурский
государственный университет», Россия, 675027, г. Благовещенск,
Игнатьевское шоссе, д. 21. E-mail: lyapunov@pokrmine.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью получения данных анализа эколого-геохимической ситуации территории с целью дальнейшего промышленного освоения месторождения.

Цель работы: определение концентраций химических элементов и соединений в почвенных горизонтах А (гумусовый) и В (иллювиальный) до начала проведения хозяйственной деятельности ОАО «Покровский рудник», связанной с промышленной обработкой месторождения «Пионер». По результатам геоэкологических исследований выполнить оценку по суммарному показателю загрязнения химическими веществами состояния почвенных горизонтов.

Методы исследования: спектральный полуколичественный и атомно-абсорбционный; атомно-эмиссионный и масс-спектральный анализ.

Результаты: Выполнена оценка состояния по суммарному показателю загрязнения химическими веществами (нормирование относительно принятых предельно-допустимых концентраций) почвенных горизонтов А и В. Выявлен процесс распределения повышенных концентраций химических элементов на площади месторождения. По результатам геоэкологических исследований территории золоторудного месторождения «Пионер» выполнена оценка состояния почвенных горизонтов. Почвенный гумусовый горизонт, оцененный по суммарному показателю загрязнения химическими веществами, незагрязненных площадей не имеет. Участки со слабой степенью загрязнения занимают 22 % исследуемой площади, со средней – 48 %, с сильной – 23 %, с очень сильной – 7 %. По мере удаления от рудного поля концентрация рудовмещающих элементов уменьшается, но в пределах исследуемого участка допустимой не становится. Почвенный иллювиальный горизонт на площади золоторудного месторождения «Пионер», оцененный по суммарному показателю загрязнения химическими веществами, незагрязненных площадей не имеет. Участки со слабой степенью загрязнения занимают 10 % исследуемой площади, со средней – 43 %, с сильной – 24 %, с очень сильной – 23 %. Относительно гумусового горизонта в иллювиальном наблюдается более обширное по площади распространение повышенных концентраций химических элементов. Полученные данные могут быть использованы при анализе эколого-геохимической ситуации с целью дальнейшего промышленного освоения месторождения.

Ключевые слова:

Эколого-геохимические исследования, коэффициент концентрации, суммарный показатель загрязнения, предельно допустимые концентрации, золоторудное месторождение, почвенный горизонт, химический элемент.

Введение

Почва – поверхностный слой литосферы Земли, обладающий плодородием и представляющий собой полифункциональную гетерогенную открытую четырёхфазную (твёрдая, жидкая, газообразная фазы и живые организмы) структурную систему, образовавшуюся в результате выветривания горных пород и жизнедеятельности организмов [1].

Почвы территории месторождения «Пионер» сформировались в однородных биоклиматических условиях в зоне буро-таежных холодных длитель-

но промерзающих почв под лесной и болотной растительностью.

Почвообразующими породами здесь являются делювиальные глины и суглинки континентальных отложений кайнозойского возраста. Буро-таежные почвы развиваются под хвойной и лиственной растительностью в условиях промывного режима.

Суммарное влияние растительности на процессы почвообразования и свойства этих почв проявляется в умеренном подкислении верхней части

почвенного профиля (рН 3–5), формирования аккумулятивно-гумусового горизонта небольшой мощности (3–8 см) со средним содержанием гумуса 3...7 % фульватного типа. Тяжелый механический состав иллювиальной толщи играет роль водоупора в условиях повышенного поступления влаги снеготаяния в почву и является причиной временного избыточного увлажнения верхних почвенных горизонтов. Весной на ровных участках буро-таежных почв держится верховодка. В буро-таежных типичных почвах следы оглеения видны в нижней части верхнего горизонта, буро-таежные глеевые оглеены по всему профилю [2].

Главные отличительные черты зональных суглинистых буро-таежных почв следующие:

- текстурный профиль с существенными различиями между его верхними и нижними горизонтами по водно-физическим, химическим свойствам, гранулометрическому составу, устойчивости к нарушениям и возможностям восстановления;
- кислая среда, невысокая буферность к химическим воздействиям (за счет среднего содержания гумуса и малой емкости катионного обмена), периодически восстановительные условия;
- свойства иллювиального горизонта (В) позволяют рассматривать его как сорбционно-механический геохимический барьер.

Буро-таежная почва характеризуется довольно мощной лесной подстилкой, сравнительно малой мощностью гумусового горизонта и слабой дифференциацией на почвенные горизонты. По механическому составу преобладают среднесуглинистые разнородности. В составе мелкозема преобладают песчаные фракции, что подтверждает грубозернистость верхней части элювия гранитов [3, 4].

Таежная зона территории золоторудного месторождения «Пионер» характеризуется значительным распространением почв болотного типа, что является характерным для почвенного покрова северных районов Амурской области. Болота переходные торфянистые, приурочены преимущественно к широким водораздельным плато и долинам рек, покрыты кочками.

Характерными морфологическими признаками торфянисто-глеевых почв является наличие торфянистого горизонта и оглеение иллювиального горизонта. Эти почвы содержат значительное количество азота и органических веществ в верхних горизонтах, состоящих главным образом из грубых растительных остатков, и относительно высокое количество перегноя в нижележащих горизонтах. Реакция почвы кислая, сумма поглощенных оснований довольно высокая, что объясняется главным образом биологической аккумуляцией поглощенных оснований [5, 6].

В почвах, сформировавшихся на данной территории, механическая денудация преобладает над химической. Процесс выветривания гранитов сопровождается незначительным выносом кремнезема, что объясняется наличием в породе кальция и

магния, железа и алюминия, присутствие которых способствует задержанию освобожденного кремнезема на месте в результате взаимоосаждения и коагуляции.

Для почв, сформировавшихся в данных условиях, характерна кислая реакция почвенной среды, причем величины рН стабильны и мало изменяются в сезонном и многолетнем циклах. За счет постоянной кислотности в почвах наблюдается высокое содержание полуторных оксидов железа и алюминия. Содержание поглощенных оснований кальция и магния среднее и низкое, причем при утяжелении гранулометрического состава почв сумма поглощенных оснований соответственно увеличивается [7, 8].

В данной статье рассмотрены эколого-геохимические исследования почвы до начала проведения хозяйственной деятельности ОАО «Покровский рудник», связанной с промышленной обработкой золоторудного месторождения «Пионер». Площадь геоэкологических исследований расположена в Магдагачинском и Зейском районах Амурской области, составляет 52,7 км².

С целью определения концентраций химических элементов и соединений в почвенных горизонтах А (гумусовый) и В (иллювиальный) выполнено опробование по сети 1×1 км (рис. 1).

Почвенный горизонт А

На исследуемой площади породообразующие породы представлены делювиальными глинами и суглинками и современными аллювиальными отложениями.

Средняя мощность гумусового горизонта составляет от 0 см, на нарушенных землях – до 0,2 м. Верхний слой горизонта представлен опадом из хвои, мхов, листвы и на отдельных типах почв слабообразовавшимся торфом. Типовой состав почв следующий: буро-таежные, буро-таежные глеевые, лугово-болотные торфянисто-глеевые, болотные торфянисто-глеевые, нарушенные. Все типы почв на изучаемой площади относятся к малогумусовым (содержание гумуса менее 4 %) и среднегумусовым (содержание гумуса 4...6 %).

Почвенный горизонт В

На исследуемой площади породообразующие породы горизонта В представлены делювиальными глинами и суглинками и современными аллювиальными отложениями.

Средняя мощность опробованного слоя иллювиального горизонта составляет от 20 см. Горизонт представлен суглинками, супесью с дресвой, глинами, песком с дресвой и щебнем.

Основная часть аналитических исследований литогеохимических проб выполнена в ЦАЛ ФГУП «Амургеология», определение кислоторастворимых форм элементов в образцах грунтов проведено в лаборатории ядерно-физических и масс-спектральных методов анализа АСИЦ ИПТМ РАН п. Черноголовка.

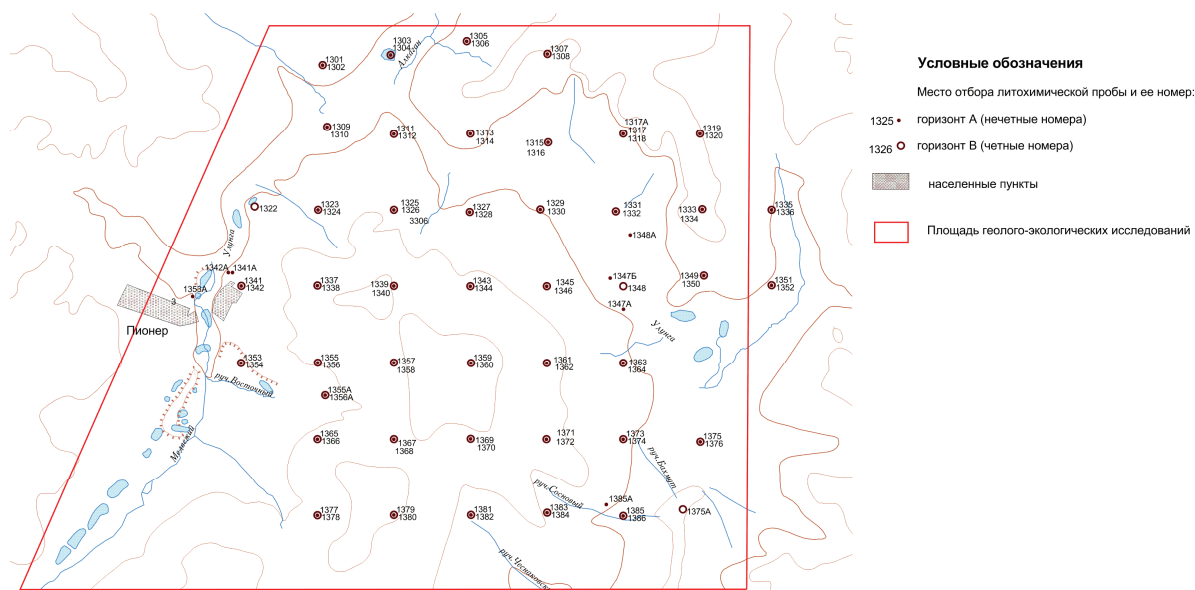


Рис. 1. Схема геоэкологического опробования золоторудного месторождения «Пионер»

Результаты исследований и их обсуждение

Для оценки состояния почвенного покрова исследуемой территории выполнен расчет коэффициентов концентрации по предельно-допустимым концентрациям (ПДК), ориентировочно допустимым концентрациям (ОДК) и кларкам химических элементов и загрязняющих веществ в почвах. Согласно методике ИМГРЭ выполнен расчет суммарного загрязнения по элементам I–IV классов опасности по отношению к принятым ПДК, ОДК и кларкам. Оценка степени загрязнения земель химическими веществами по суммарному показателю (Zс) выполнена в соответствии с документом «Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами» [9]. Выделены пять градаций для оценки загрязнения почв по суммарному показателю: (допустимая степень загрязнения – Zс<2; слабая – Zс от 2 до 8; средняя – Zс от 8 до 32; сильная – Zс от 32 до 64; очень сильная – Zс>64). Критерии для определения опасности повышенных концентраций нормируемых компонентов (оценки производятся по максимальным величинам концентраций) приведены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели условия степени загрязнения почв

Группы токсичных веществ (класс опасности)	Степень концентрации (по отношению к ПДК, ОДК)			
	Допустимая	Умеренно опасная	Опасная	Чрезвычайно опасная
I	1	1–2	2–3	>3
II	1	1–5	5–10	>10
III	1	1–10	10–20	>20
Радиоактивные элементы	1	1–15	15–40	>40

По суммарному показателю загрязнения в почвах горизонта А на исследуемом участке незагрязненных земель нет. Степень загрязнения почв горизонта А характеризуется от слабой до очень сильной. В табл. 2 приведены максимальные, минимальные, средние содержания элементов в гумусовом горизонте, а также ПДК и ОДК, по которым выполнена оценка степени загрязнения [10, 11].

Основные элементы, превышающие принятые нормативы, в единицах ПДК в гумусовом горизонте следующие: As (15–200), P (1,3–3,8), Ag (1,5–20), Sb (0,5–6,7), Bi (1,5–10), В (1,5–30), Мо (1,5–3,0), Cu (1,1–6,1), Со (1,5–3,0), Pb (1,2–1,9), Ni (1,3), W (2–4), Zn (1,3–2,6) и макрокомпоненты Na, Si, K, Al – 1,1–3,1.

Участки со слабой степенью загрязнения занимают 22 % исследуемой площади, со средней – 48 %, с сильной – 23 %, с очень сильной – 7 %. Здесь верхняя граница золотоносной зоны проходит в основном по современной поверхности и верхняя часть ее эродирована. По мере удаления от рудного поля концентрация рудовмещающих элементов уменьшается, но в пределах исследуемого участка допустимой не становится.

Площадь со слабой степенью загрязнения, преимущественно на левобережье р. Улунга и на юго-западном участке, составляет ~22 % исследуемой площади. В повышенных концентрациях здесь присутствуют Bi (Кк=1,5–2), В (1,2–2), Na (1,1–3,2), K (1,5–2,9). Элемент висмут относится к группе малоподвижных и частично умеренно подвижных, характеризуется незначительной радиальной дифференциацией, имеется тенденция к некоторому накоплению в гумусовом горизонте А относительно горизонта В.

Площадь со средней степенью загрязнения земель составляет приблизительно 48 % исследуе-

мой территории, полностью занимает долину р. Улунга и частично пологоувалистую поверхность денудационного выравнивания и денудационную поверхность долинных педиментов. В повышенных концентрациях здесь присутствуют элементы: Pb (1,3–1,9), As (15), Ag (1,5–6), W (2–4), Bi (1,5–7,5), P (1,3–3,8), B (1,5–15), K (1,5–3,7), Sb (6,7), Co (1,5–3,0), Mn (1,9–4,7), Cd (10), Cu (1,5–2,3), Mo (1,5), Ni (1,3), Hg (1,7).

Таблица 2. Содержания химических элементов в почве горизонта А

Элемент	Ед. изм	Горизонт А			ПДК, ОДК, кларк*	
		min	max	средн.		
As	мг/кг	30	400	96	2	
Pb		10	60	33	32	
Sn		0,5	4	2,7	4,5	
Mo		0,6	6	1,1	2	
Ag		0,02	2	0,28	0,1	
Cu		8	400	40	66	
Zn		5	300	100	110	
Sb		30	30	30	4,5	
W		3	6	4,0	1,5	
Bi		0,15	2	0,54	0,2	
Ni		10	50	31	40	
Co		2	30	13	10	
Cr		10	150	63	200	
V		40	100	75	150	
Mn		80	7000	918	1500	
Ti		800	4000	2193	4600	
P		300	3000	1188	800	
Ge		0,5	1,0	0,6	1	
Sc		1	10	3,3	7	
Ga		5	40	24	30	
Be		0,5	4	1,3	6	
Ba		200	800	458	500	
Zr		30	150	68	300	
Y		4	30	10,5	50	
Yb		0,4	2	1	3	
La		5	40	22	40	
Nb		1,5	15	4,6	10	
Li		10	40	25	30	
B	10	300	52	10		
Cd	0,5	10	0,7	1		
Sr	10	400	84	300		
Hg	0,01	3,63	0,63	2,1		
Fe	%	0,5	4	1,5	3,8	
Ca		0,08	1,5	0,5	1,37	
Na		0,04	2	1,24	0,63	
Mg		0,1	1	0,30	0,63	
Si		15	50	35	33	
Al		3	8	6,8	7,13	
K		0,25	5	2,6	1,36	
Np		мг/кг	20	15970	4972	500

*Примечание: 1) ПДК – Sn, Mo, Ag, Sb, W, Bi, Co, Cr, V, Mn, Ti, P, Ge, Sc, Ga, Be, Ba, Zr, Y, Yb, La, Nb, Li, B, Sr, Hg, Np; 2) ОДК – As, Pb, Cu, Zn, Ni, Cd; 3) Кларк – Fe, Ca, Na, Mg, Si, Al, K.

Площадь с сильной степенью загрязнения земель составляет ~ 23 % исследуемой территории. В геоморфологическом отношении это пологоувалистая поверхность денудационного выравнивания и

эрозионно-денудационная поверхность долинных педиментов. В повышенных концентрациях здесь присутствуют элементы: Pb (1,3–1,6), As (15–35), Ag (2–20), Sb (6,7), W (2,7–4), Bi (2–5), P (1,3–3,8), B (2–30), K (1,5–3,7), Co (1,5–3,0), Cu (6,1), Mo (3).

Площадь с очень сильной степенью загрязнения земель составляет ~7 %. В геоморфологическом отношении это пологоувалистая поверхность денудационного выравнивания и эрозионно-денудационная поверхность долинных педиментов. В повышенных концентрациях здесь присутствуют элементы: As (150–200), Ag (3), Bi (1,5–3), B (1,5–3), K (2,2), Co (2), Na (1,6).

Почвенный горизонт В

По суммарному показателю загрязнения в почвах горизонта В на исследуемом участке незагрязненных земель нет. Степень загрязнения почв горизонта В характеризуется от слабой до очень сильной. В табл. 3 приведены максимальные, минимальные, средние содержания элементов в иллювиальном горизонте, а также ПДК и ОДК, по которым выполнена оценка степени загрязнения.

Основные элементы, превышающие принятые нормативы, в единицах ПДК в иллювиальном горизонте следующие: As (15–500), P (1,3–3,8), Ag (1,5–30), Sb (6,7–8,9), Bi (1,5–2,7), B (1,5–40), Mo (1,5–10), Cu (1,1–3,0), Co (1,5–4,0), Pb (1,3–3,1), Ni (1,3–1,5), W (2–6,7), Zn (1,4–2,7) и макрокомпоненты Na, Si, K, Al – 1,1–4,8.

Участки со слабой степенью загрязнения занимают 10 % исследуемой площади, со средней – 43 %, с сильной – 24 %, с очень сильной – 23 %. Относительно гумусового горизонта в иллювиальном наблюдается более обширное по площади распространение повышенных концентраций химических элементов.

Площадь со слабой степенью загрязнения представлена небольшими участками в восточной части исследуемой площади. В повышенных концентрациях (мг/кг) здесь выявлены: бор (до 40), вольфрам (до 3), натрий (до 2), калий (до 3).

Площадь со средней степенью загрязнения земель составляет ~43 % исследуемой территории, занимает северную левобережную и восточную части, преимущественно по долине р. Улунга, и частично эрозионно-денудационную поверхность долинных педиментов. В повышенных концентрациях выявлены: As (15–20), P (1,3–3,8), Cd (10), Ag (1,5–10), Bi (1,5–3,5), Sb (6,7), Co (1,5–4,0), Pb (1,3–1,6), Mo (1,5), B (2–15), W (2–2,7), Ni (1,5–3), K (1,5–3,7), Mn (1,3), Na (1,6–4,8), Al (1,4).

Площадь с сильной степенью загрязнения земель составляет ~24 % исследуемой территории, занимает частично площадь рудопроявления и к северу почти всю кольцеобразную долину р. Улунга. В геоморфологическом отношении это пологоувалистая поверхность денудационного выравнивания и площадь развития рыхлых кайнозойских отложений. На этой территории в повышенных кон-

центрациях выявлены следующие элементы: As (15–35), P (1,3–1,9), Cd (10), Pb (1,3–1,9), Ag (2–7), Sb (6,7), Cu (1,5–3,0), Bi (1,5–20), Co (1,5–2,0), B (2–30), Li (1,3), Mo (1,5–10), Zn (1,4–2,7), Ni (1,3), W (2–4,7), Na (1,6–4,8), K (2,2–4,9), Al (1,1–1,4).

Таблица 3. Содержания химических элементов в почве горизонта В

Элемент	Ед. изм.	min	max	средн.	ПДК, ОДК, кларк
As	мг/кг	30	1000	110	2
Pb		20	100	39	32
Sn		1	6	3	4,5
Mo		0,6	20	1,7	2
Ag		0,02	3	0,28	0,1
Cu		8	200	34	66
Zn		10	300	105	110
Sb		30	40	31	4,5
W		3	10	4	1,5
Bi		0,15	4	0,55	0,2
Ni		8	60	31	40
Co		3	40	12	10
Cr		20	150	82	200
V		40	150	84	150
Mn		100	3000	488	1500
Ti		1000	3000	2326	4600
P		300	3000	1060	800
Ge		0,5	1,5	0,65	1
Sc		1	7	3,2	7
Ga		15	40	26	30
Be		0,5	3	0,81	6
Ba		200	700	388	500
Zr		30	150	70	300
Y		3	20	8	50
Yb		0,3	2	0,87	3
La		5	30	20	40
Nb		1,5	8	4,7	10
Li		10	50	29	30
B		7	400	70	10
Cd		0,5	15	1,5	1
Sr		5	300	67	300
Hg		0,01	0,37	0,13	2,1
Fe		0,5	5	1,57	3,8
Ca	0,05	0,8	0,4	1,37	
Na	0,3	3	1,46	0,63	
Mg	0,07	0,8	0,3	0,63	
Si	30	50	38	33	
Al	5	10	7	7,13	
K	1	6	3	1,36	
Np	мг/кг	15	58100	11700	500

Площадь с очень сильной степенью загрязнения земель составляет ~23 %. В геоморфологическом отношении это пологоувалистая поверхность денудационного выравнивания и эрозионно-денудационная поверхность долинных педиментов. В повышенных концентрациях обнаружены элементы: As (20–500), P (1,9–3,8), Sb (6,7), Ag (1,5–3), Bi (2–10), B (1,5–40), Pb (1,3–3,1), Mo (1,5), Co (1,5–3), W (2–4,7), Li (1,3), Na (1,6–3,2), K (1,5–4,4), Si (1,2).

Ниже приведены сведения о химических элементах, выявленных в повышенных концентрациях на площади рудопроявления, их распространении по площади и перераспределении в ландшафте.

Свинец распространен по исследуемой площади довольно равномерно и не только на площади рудного поля, где свинец является рудогенным элементом гидротермалитов, но и на левобережной террасе р. Улунга. Значительное загрязнение свинцом выявлено по подвижным формам, ими сформирована на площади напряженная и критическая экологическая ситуация (из 13 проб в 9 экотоксикологическое состояние от напряженного до критического). Это в большей степени свинец техногенного происхождения. По группе подвижности свинец относится преимущественно к умеренно подвижным. Анализ коэффициента радиальной дифференциации свидетельствует об интенсивном выносе свинца из гумусового горизонта А в горизонт В (радиальная дифференциация выражена очень отчетливо). Особенно явно это проявляется на нарушенных землях – оработках прошлых лет и прилегающих к ним территориях.

Мышьяк в горизонте А выявлен в трех пунктах опробования с Кк=15. По всей исследуемой площади повышенные концентрации его в гумусовом горизонте связаны исключительно с породами рудопроявления, это наиболее контрастный элемент-спутник золотого оруденения. Содержание мышьяка в гумусовом горизонте всей площади изменяется от 30 до 400 мг/кг (среднее содержание 95,8 мг/кг), коэффициент концентрации варьирует от 0,5 до 400. Вторичные литогеохимические ореолы мышьяка характеризуются содержанием 300–400 мг/кг, по всему рудному полю выявлены знаки проявлений мышьяка в штучных пробах. Содержание мышьяка в иллювиальном горизонте гораздо больше, чем в горизонте А, и характеризуется содержанием от 300 до 1000 мг/кг (Кк изменяется от 15 до 500). Распределение мышьяка на площади рудопроявления происходит за счет выноса его из гумусового горизонта в горизонт В. А за пределами рудного поля идет накопление мышьяка в гумусовом горизонте.

Серебро на площади со средней степенью загрязнения фиксируется в пределах 0,15–0,6 мг/кг (Кк от 1,5 до 6).

По всей площади участка элемент Ag отличает близповерхностное оруденение, выделен во всех группах метасоматитов, в гидротермалитах. По группе подвижности серебро преимущественно малоподвижно. Однако его подвижность увеличивается на нарушенных землях (старые оработки по ручью Восточному), и еще более увеличивается подвижность на свежих оработках (на площади ООО «Артель Новые технологии»).

В гумусовом горизонте концентрации серебра от 0,02 до 2,0 мг/кг (Кк от 0,15 до 20,0; средний 2,82); в иллювиальном горизонте концентрации серебра от 0,02 до 3,0 (Кк от 0,2 до 30). В горизонте В концентрации серебра выше, чем в гумусовом,

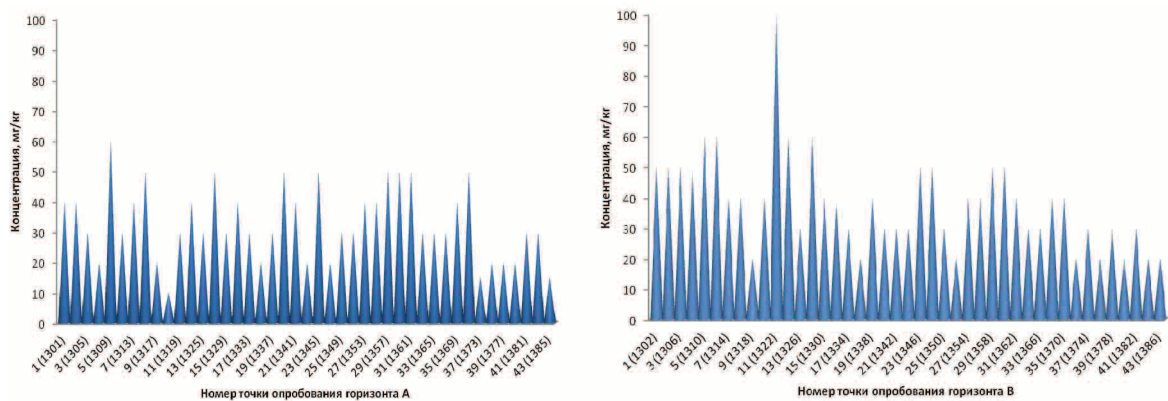


Рис. 2. Гистограмма содержания свинца в почве горизонта А и В

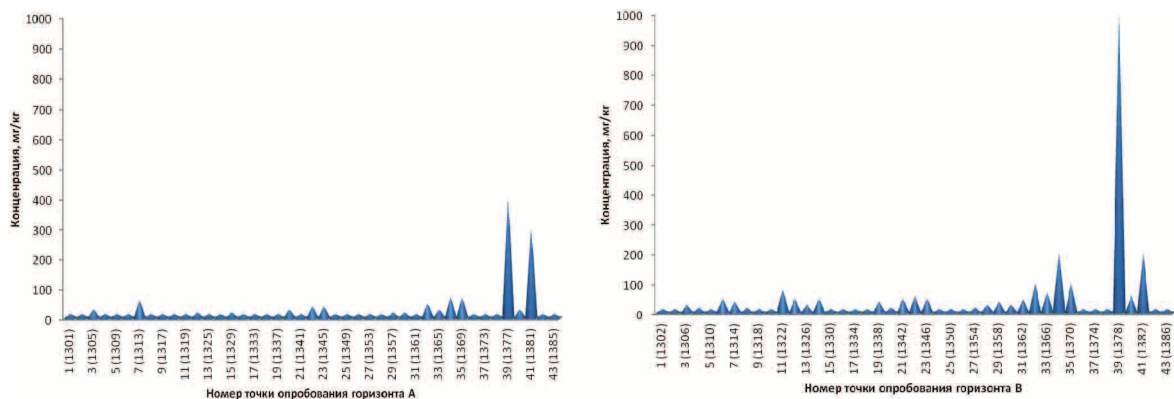


Рис. 3. Гистограмма содержания мышьяка в почве горизонта А и В

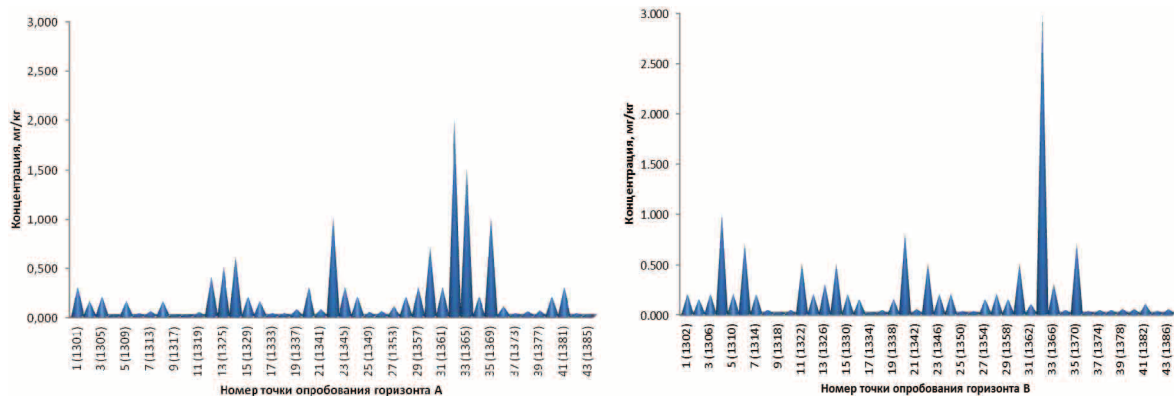


Рис. 4. Гистограмма содержания серебра в почве горизонта А и В

о чем свидетельствует коэффициент радиальной дифференциации – происходит вынос металла из горизонта А в горизонт В.

Вольфрам фиксируется в повышенных концентрациях по 9 пробам, на площади со средней степенью загрязнения. Содержание колеблется в пределах 3–6 мг/кг (Кк от 2 до 4). Концентрация металла в почвенных горизонтах составляет: гор. А – 3–6 мг/кг (ср. 4,0); Кк – 0,5–4 (ср.=1,3); гор. В – 3–10 мг/кг (ср. 4,1); Кк – 2–6,7 (ср.=2,7).

Коэффициенты радиальной дифференциации и местной миграции указывают на процесс накопления элемента в гумусовом горизонте.

Висмут фиксируется в повышенных концентрациях на площади практически повсеместно. Содержание его в гумусовом горизонте колеблется от 0,15 до 1,5 мг/кг (Кк от 0,75 до 7,5).

Для висмута характерен повышенный природный фон (0,38 мг/кг – гор. А; 0,34 – гор. В) относительно принятого норматива (0,2 мг/кг). Предшественниками ранее (Я.Н. Жилич, 1982) висмут был установлен в виде проявлений, которые пространственно приурочены к верхнеамурским гранодиоритам и, вероятно, связаны с ним генетически. По подвижности висмут относится к группе малоподвижных и умеренно подвижных. Содер-

жание висмута в гумусовом горизонте изменяется от 0,15 до 2 мг/кг (среднее – 0,54 мг/кг), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,75 до 10 (средний – 2,7); в иллювиальном горизонте содержание висмута от 0,15 до 4 мг/кг (среднее – 0,55 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,8 до 20 (средний – 2,7). Направление и интенсивность перераспределения висмута в ландшафте характеризуется коэффициентами радиальной дифференциации и местной миграции. Исследуемая площадь имеет очень сложную природную геохимическую характеристику. На площади, где выявлено повышенное содержание висмута, идет накопление в гумусовом горизонте.

На всей площади исследования бор присутствует в повышенных концентрациях. Для него характерен повышенный природный фон: 21,5 мг/кг для гумусового горизонта и 20,9 мг/кг для иллювиального горизонта относительно принятого норматива 10 мг/кг. Бор накапливается в более молодых гранитоидах, особенно повышенной основности, и в рудных процессах.

Содержание бора в гумусовом горизонте 10–300 мг/кг (среднее 52,21 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 1 до 30 (средний 5,22); в иллювиальном горизонте – 7–400 мг/кг (среднее 70 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,7 до 40 (средний 7). Почвы на пло-

щади кислые, малогумусные, подвижных оснований практически нет, и по подвижности бор относится к группе малоподвижных. Распределение бора в гумусовом горизонте аналогично иллювиальному отличается лишь немного по интенсивности. На большей площади преобладает процесс накопления бора в иллювиальном горизонте; на прилегающей с восточной стороны к рудному полю площади – это право- и левобережная долина р. Улунга, происходит интенсивный процесс накопления бора в гумусовом горизонте.

На площади со средней степенью загрязнения кобальт в повышенных концентрациях фиксируется практически в половине проб. Содержание его в гумусовом горизонте колеблется от 15 до 30 мг/кг (Кк от 1,5 до 3).

Для него характерен немного повышенный природный фон: 12,5 мг/кг для гумусового горизонта и 13,5 мг/кг для иллювиального горизонта относительно принятого норматива 10 мг/кг. Кобальт является рудогенным элементом метасоматов ранних стадий. По подвижности кобальт в существующей природной обстановке относится к группе умеренно подвижных и среднеподвижных, причем максимальная подвижность характерна для участков, где идет отработка россыпей. Содержание кобальта в гумусовом горизонте от 2 до 30 мг/кг (среднее 12,84 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,2 до 3 (средний 1,28); в

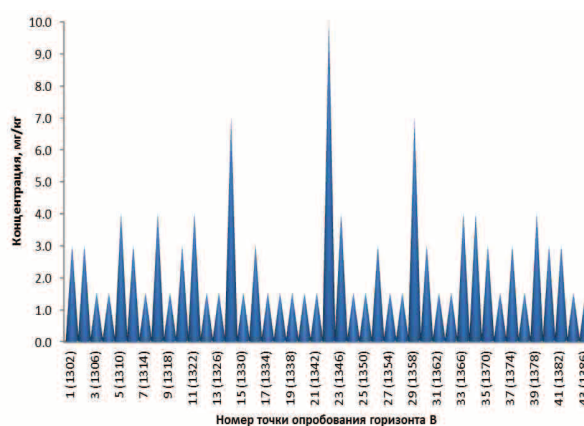
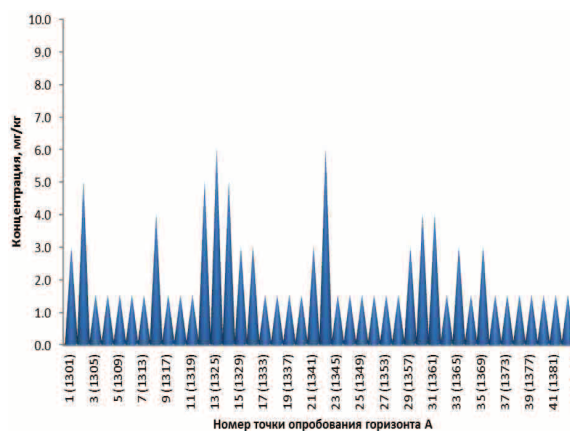


Рис. 5. Гистограмма содержания вольфрама в почве горизонта А и В

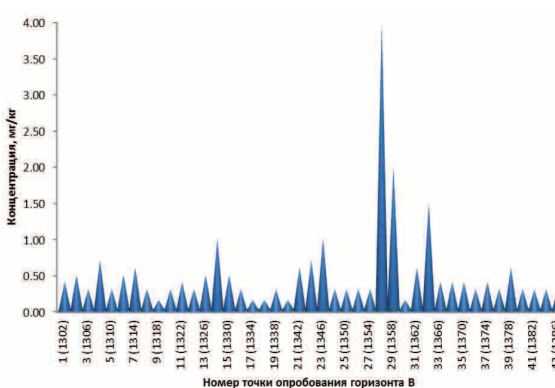
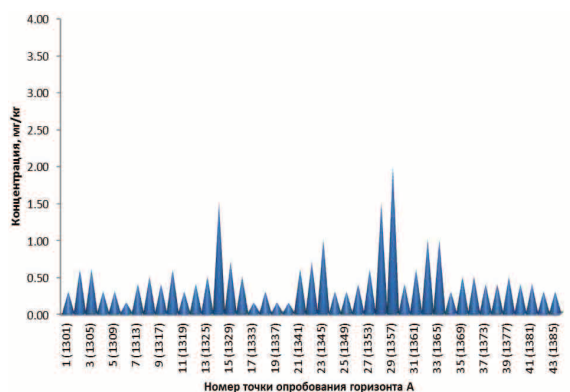


Рис. 6. Гистограмма содержания висмута в почве горизонта А и В

иллювиальном горизонте – 3–40 мг/кг (среднее 12,16 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,3 до 4 (средний 1,2).

Кадмий проанализирован лишь спектральным полуколичественным методом, при котором порог обнаружения недостаточный. На площади со средней степенью загрязнения в повышенных концентрациях кадмий фиксируется только в одной пробе на нарушенных отработкой землях в долине р. Улунга.

По всей исследуемой площади в почвенных горизонтах выявлены повышенные концентрации кадмия в 5-ти пунктах опробования и исключи-

тельно на нарушенных отработкой при добыче россыпного золота землях: в долине р. Улунга, по руч. Восточный и Алкаган. По подвижности относится к группе исключительно малоподвижных. Содержание кадмия в гумусовом горизонте изменяется от 0,5 до 10 мг/кг (среднее – 0,7 мг/кг), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,5 до 10 (средний – 0,72); в иллювиальном горизонте содержание изменяется от 0,5 до 15 мг/кг (среднее – 1,5 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,85 до 15 (средний – 1,5). Повышенные концентрации кадмия носят техногенный характер.

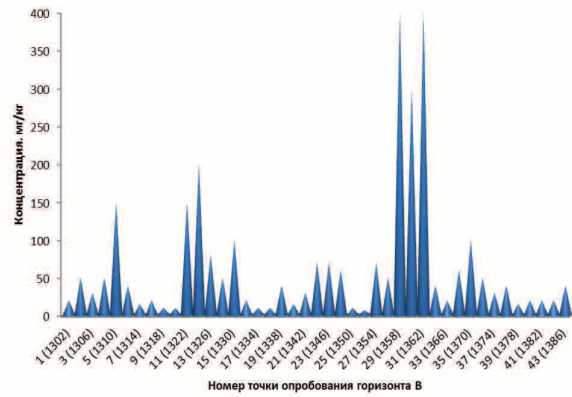
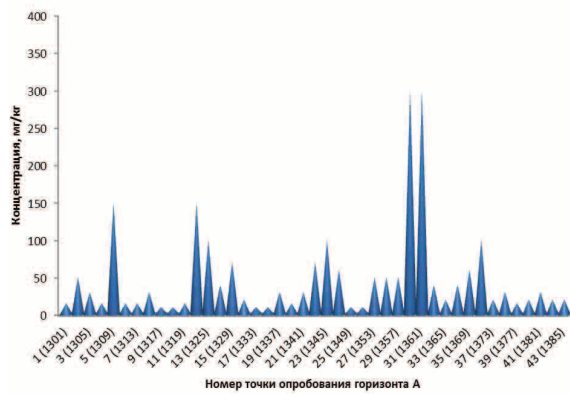


Рис. 7. Гистограмма содержания бора в почве горизонта А и В

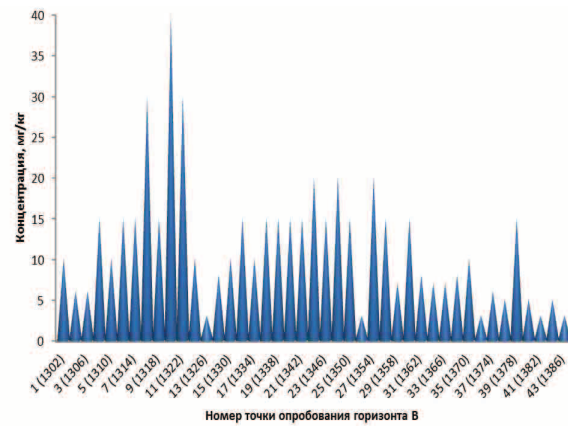
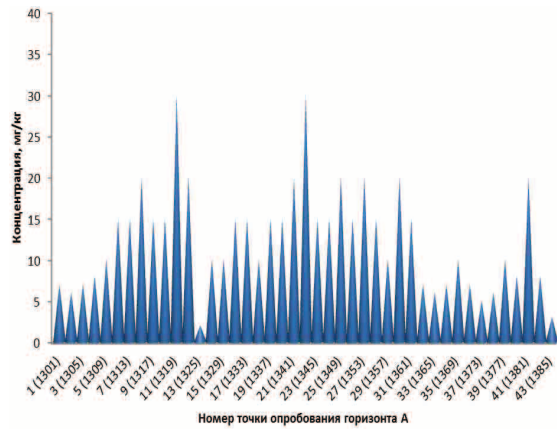


Рис. 8. Гистограмма содержания кобальта в почве горизонта А и В

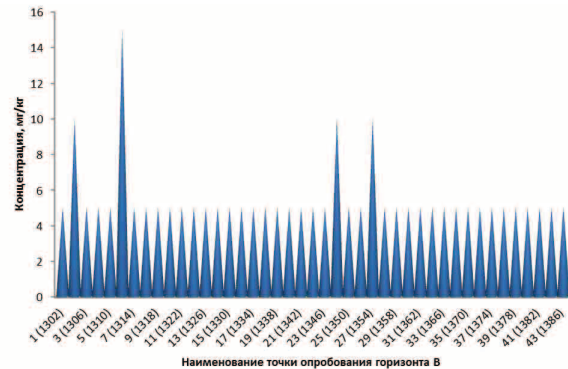
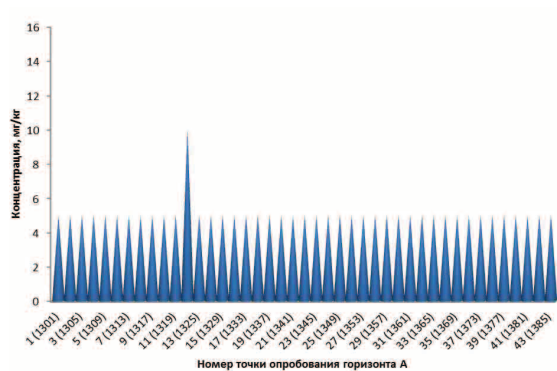


Рис. 9. Гистограмма содержания кадмия в почве горизонта А и В

Сурьма является элементом-индикатором золотого оруденения «Пионер» и распределяется в метасоматитах ранних стадий – медно-порфировое оруденение и гидротермалитах, представленных кварцевыми, кварц-карбонатными жилами, зонами окварцевания. Сурьма проанализирована, как и кадмий, спектральным полуколичественным методом, при котором порог обнаружения недостаточный. На площади со средней степенью загрязнения в повышенных концентрациях сурьма фиксируется только в четырех пробах с содержанием 30 мг/кг ($K_k=6,7$).

При анализе распределения сурьмы по всей исследуемой площади в почвенных горизонтах выявлены повышенные концентрации в 11-ти пунктах опробования. По подвижности сурьма относится к группе малоподвижных. Содержание сурьмы в гумусовом горизонте 30 мг/кг, коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,5 до 6,67 (средний – 1,22); в иллювиальном горизонте содержание 30–40 мг/кг, коэффициент концентрации изменяется от 6,7 до 8,9 (средний – 6,9). Загрязнение выявлено на площади нарушенных земель долины р. Улунга (между притоками Медвежий и Алкаган); максимальная концентрация элемента одновременно в обоих горизонтах на заболоченной долине ($K_k=6,7-8,9$).

Медь является рудогенным элементом и распределяется в метасоматитах ранних стадий – медно-порфировый тип оруденения.

Для меди характерен повышенный природный фон (25 мг/кг – гор. А; 23,4 – гор. В) на оцениваемой

площади. На площади со средней степенью загрязнения зафиксировано в трех пробах содержание меди от 70 до 150 мг/кг.

Содержание меди в гумусовом горизонте изменяется от 8 до 400 мг/кг (среднее – 40,3 мг/кг), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,12 до 6,1 (средний – 0,6); в иллювиальном горизонте содержание меди от 8 до 200 мг/кг (среднее – 34 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,1 до 3 (средний – 0,5).

Молибден является рудогенным элементом, выделен в метасоматитах ранних стадий – оруденение медно-порфирового типа, и в группе низкотемпературных метасоматитов (Я.Н. Жилич, 1982). Для молибдена характерен повышенный природный фон (0,9 мг/кг – гор. А; 0,96 – гор. В) на оцениваемой площади. По подвижности молибден относится к группе умеренно- и малоподвижных. Содержание молибдена в гумусовом горизонте изменяется от 0,6 до 6 мг/кг (среднее – 1,14 мг/кг), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,3 до 3 (средний – 0,57); в иллювиальном горизонте содержание меди от 0,6 до 20 мг/кг (среднее – 1,71 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,3 до 10 (средний – 0,9). В иллювиальном горизонте площадь с повышенным содержанием молибдена превосходит в два раза.

Марганец в почвенных горизонтах исследуемой площади характеризуется фоновым содержанием 500 мг/кг в гумусовом горизонте и 343 мг/кг в иллювиальном горизонте. Достаточно нормальной

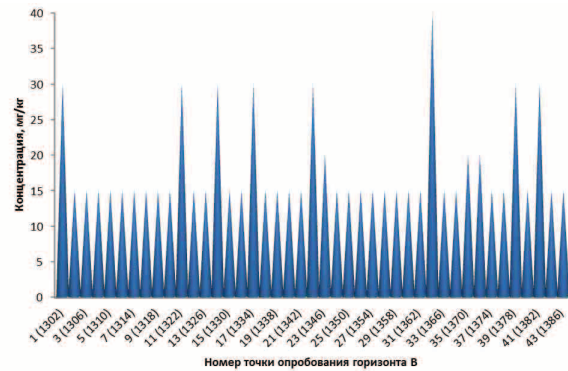
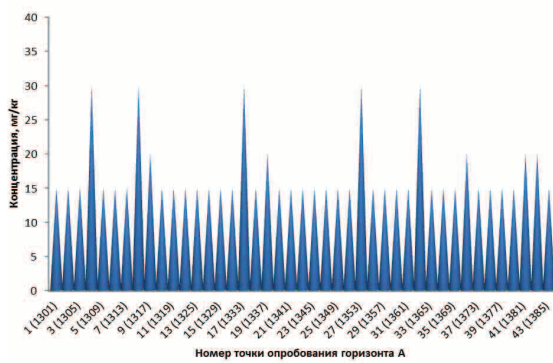


Рис. 10. Гистограмма содержания сурьмы в почве горизонта А и В

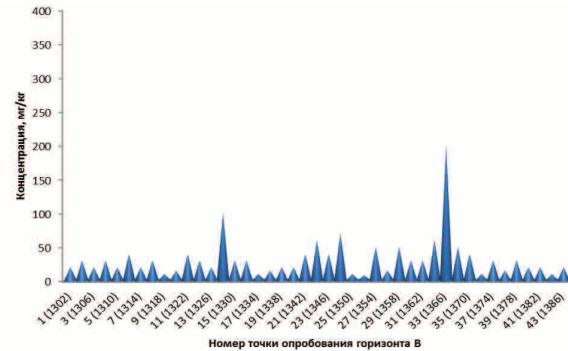
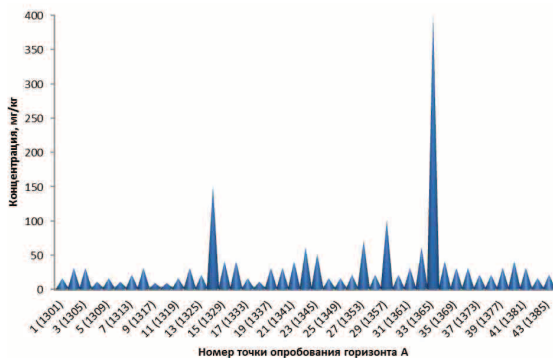


Рис. 11. Гистограмма содержания меди в почве горизонта А и В

концентрацией в почвах считается 400–3000 мг/кг, ниже и выше этих величин наступает критический недостаток или токсичный избыток [10]. Самые высокие показатели содержания марганца установлены для участков, богатых органикой глеевого происхождения.

По подвижности марганец относится к группе очень подвижных, среднеподвижных и умеренно подвижных. Причем группа подвижности элемента возрастает на нарушенных землях. Содержание марганца в гумусовом горизонте изменяется от 80 до 7000 мг/кг (среднее – 918,14 мг/кг), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,05 до 4,7 (средний – 0,61); в иллювиальном горизонте содержание от 100 до 3000 мг/кг (среднее – 488 мг/кг), коэффи-

циент концентрации изменяется от 0,1 до 2 (средний – 0,3).

Фосфор в почвенных горизонтах исследуемой площади характеризуется фоновым содержанием 1051 мг/кг в гумусовом горизонте и 1009 мг/кг в иллювиальном горизонте. Норматив, по которому выполнена оценка загрязнения, составляет 800 мг/кг.

По подвижности фосфор относится к группе очень подвижных, умеренно подвижных и малоподвижных. Причем группа подвижности элемента возрастает на нарушенных землях. Содержание фосфора в гумусовом горизонте изменяется от 300 до 3000 мг/кг (среднее – 1188,4 мг/кг), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,38 до 3,75 (средний – 1,49); в иллювиальном горизонте содержание фос-

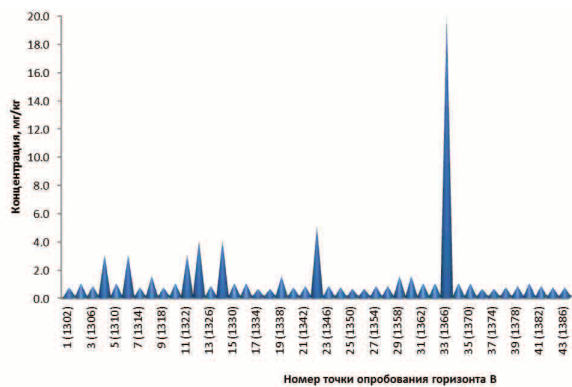
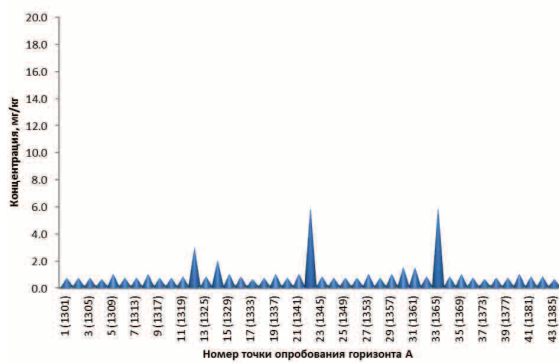


Рис. 12. Гистограмма содержания молибдена в почве горизонта А и В

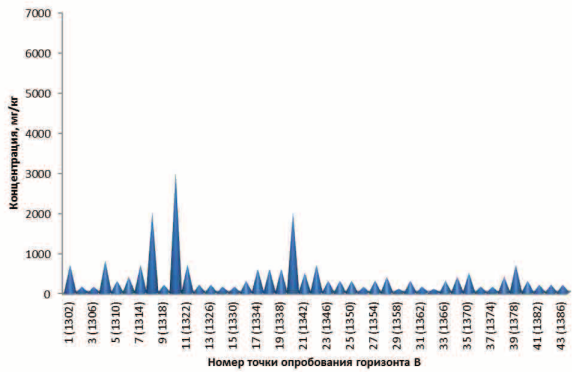
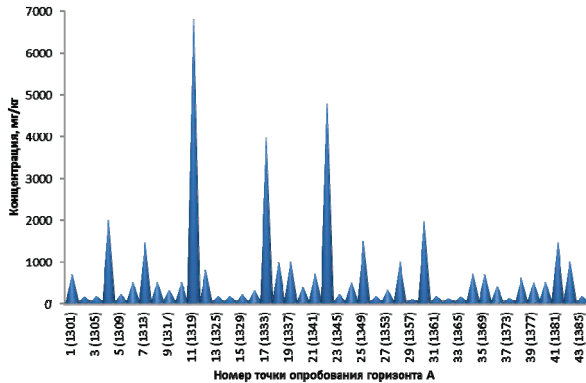


Рис. 13. Гистограмма содержания марганца в почве горизонта А и В

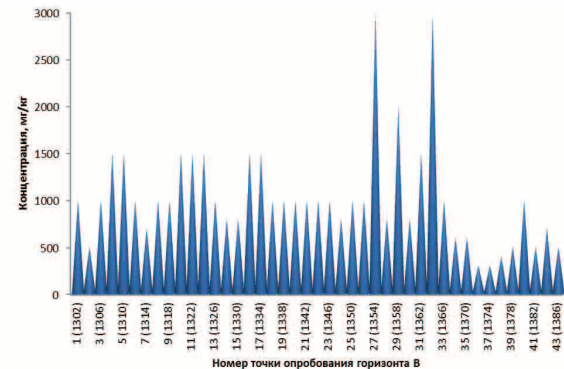
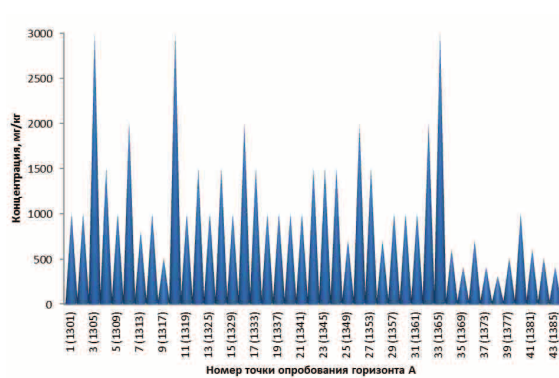


Рис. 14. Гистограмма содержания фосфора в почве горизонта А и В

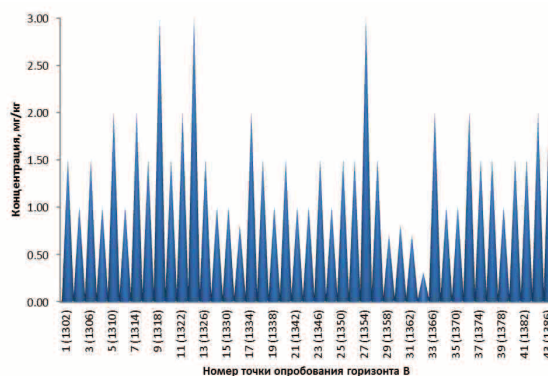
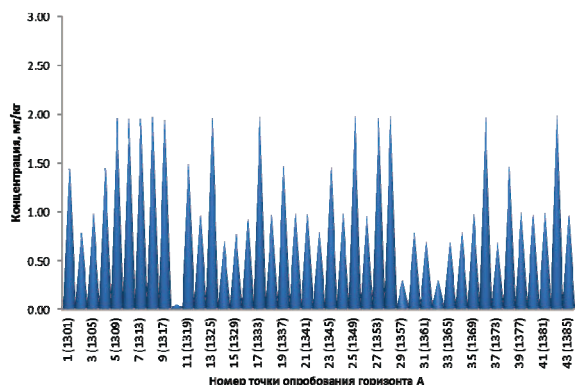


Рис. 15. Гистограмма содержания натрия в почве горизонта А и В

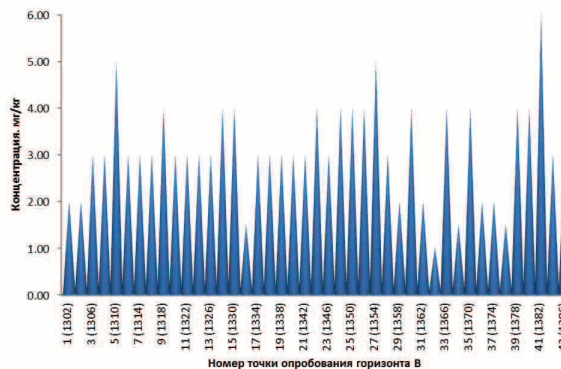
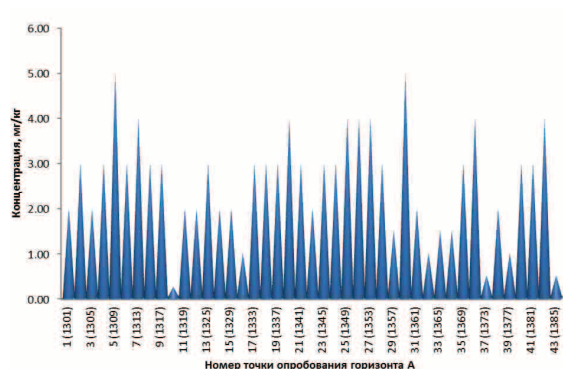


Рис. 16. Гистограмма содержания калия в почве горизонта А и В

фора от 300 до 3000 мг/кг (среднее – 1060 мг/кг), коэффициент концентрации изменяется от 0,4 до 3,8 (средний – 1,3).

Содержание *натрия* в гумусовом горизонте изменяется от 0,04 до 2 % (среднее – 1,24 %), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,06 до 3,17 % (средний – 1,97 %); в иллювиальном горизонте содержание натрия от 0,3 до 3 % (среднее – 1,46 %), коэффициент концентрации изменяется от 0,5 до 4,8 (средний – 2,3 %).

Проявляется достаточно четкая дифференциация по профилю: например, для площади с содержанием 1,3 % ($K_k=2$) характерно накопление натрия в иллювиальном горизонте, а для площади с меньшим содержанием натрия характерно накопление в гумусовом горизонте.

Содержание *калия* в гумусовом горизонте изменяется от 0,25 до 5 % (среднее – 2,62 %), коэффициент концентрации относительно принятого норматива изменяется от 0,18 до 3,68 (средний – 1,93); в иллювиальном горизонте содержание калия от 1 до 6 % (среднее – 3,15 %), коэффициент концентрации изменяется от 0,7 до 4,4 (средний – 2,3). По подвижности калий относится к группе исключительно малоподвижных. В гумусовом горизонте содержание калия повышенное относительно иллювиального, а распространение по площади с повышенным содержанием практически одинаковое.

Заключение

По результатам геоэкологических исследований территории золоторудного месторождения «Пионер» выполнена оценка состояния почвенных горизонтов. Почвенный гумусовый горизонт, оцененный по суммарному показателю загрязнения химическими веществами (нормирование относительно принятых предельно-допустимых концентраций), незагрязненных площадей не имеет. Участки со слабой степенью загрязнения занимают 22 % исследуемой площади, со средней – 48 %, с сильной – 23 %, с очень сильной – 7 %. По мере удаления от рудного поля концентрация рудовмещающих элементов уменьшается, но в пределах исследуемого участка допустимой не становится. Почвенный иллювиальный горизонт на площади золоторудного месторождения «Пионер», оцененный по суммарному показателю загрязнения химическими веществами (нормирование относительно принятых ПДК), незагрязненных площадей не имеет. Участки со слабой степенью загрязнения занимают 10 % исследуемой площади, со средней – 43 %, с сильной – 24 %, с очень сильной – 23 %. Относительно гумусового горизонта в иллювиальном наблюдается более обширное по площади распространение повышенных концентраций химических элементов. Полученные данные могут быть использованы при анализе эколого-геохимической ситуации с целью дальнейшего промышленного освоения месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивлёв А.М. Эволюция почв. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та, 2005. – 97 с.
2. Терентьев А.Т. Почвы Амурской области и их сельскохозяйственное использование. – Владивосток: Дальневосточное книжное изд-во, 1969. – 262 с.
3. Выветривание и почвообразование на юге Дальнего Востока / под ред. д-ра биол. наук А.М. Ивлева. – М.: Наука, 1979. – 102 с.
4. Дугаров В.И., Куликов А.И. Агрофизические свойства мерзлотных почв. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 255 с.
5. Зимовец Б.А. Почвенно-геохимические процессы муссоно-мерзлотных ландшафтов. – М.: Наука, 1967. – 168 с.
6. Иванов Г.И. Особенности почвообразования на юге Дальнего Востока. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1973. – 45 с.
7. Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. – М.: Наука, 1976. – 200 с.
8. Коновровский А.К. Почвы севера зоны Малого БАМа. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. – 120 с.
9. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. – М.: Управление охраны почв и земельных ресурсов Минприроды России, 1993. – 30 с.
10. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: в 6 т. Т. 2. – М.: Недра, 1994. – 303 с.
11. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.020–94. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1995. – 8 с.

Поступила 10.03.2014 г.

UDC 550.849

REGULARITIES OF CHEMICAL ELEMENTS DISTRIBUTION IN SOILS OF GOLD MINE «PIONER» OF THE AMUR REGION

Mikhail Yu. Lyapunov,

Amur State University, 21, Ignatevskoe Highway, Blagoveshchensk, 675027, Russia. E-mail: lyapunov@pokrmine.ru

The relevance of the work is caused by the need to receive the data of analysis of territory ecological-geochemical situation for a deposit further development.

The main aim of the study: to determine the concentration of chemical elements and compounds in the soil horizons (humus) and (illuvial) before the «Pokrovskiy mine» business activities related to «Pioner» industrial refining; based on the results of the geoecological studies to assess soil horizon state by total pollution.

The methods used in the study: spectral semiquantitative and atomic absorption method; atomic emission and mass-spectral analysis of moving forms.

The results: The author has assessed the state of soil horizons A and B by total pollution rate (rate setting on the maximum permissible concentrations). The distribution of chemical elements high concentrations on the field was determined. Based on the results of the geoecological research within the gold mine «Pioner» the status assessment of soil horizons was carried out. Soil humus horizon, assessed by its total pollution rate, has all polluted areas. Areas with low pollution level occupy 22 % of the studied area, with an average pollution level – 48 %, with strong – 23 %, with very strong – 7 %. With distance from the field the concentration of ore bearing items decreases, but it is not allowed within the investigated area. Soil illuvial horizon within «Pioner» gold mine, assessed according to its total pollution rate, has all polluted areas. Areas with low pollution level occupy 10 % of the studied area, with an average pollution level – 43 %, with strong – 24 %, with very strong – 23 %. Higher concentrations of chemical elements are more distributed in the illuvial horizon relative to the humus one. The data obtained can be used in the analysis of ecological-geochemical situation for further development of the deposit.

Key words:

Ecological and geochemical studies, concentration ratio, total impurities, maximum permissible concentrations, gold mine, soil horizon, chemical element.

REFERENCES

1. Ivlev A. M. *Evolyutsiya pochv* [Evolution of soils]. Vladivostok, Far Eastern University Publ., 2005. 97 p.
2. Terentyev A.T. *Pochvy Amurskoy oblasti i ikh selskokhozyaystvennoe ispolzovanie* [Soils of the Amur region and their agricultural use]. Vladivostok, Far eastern book Publ., 1969. 262 p.
3. *Vyvetrivanie i pochvoobrazovanie na yuge Dalnego Vostoka* [Weathering and soil formation in the South of the Russian Far East]. Ed. A.M. Ivlev. Moscow, Nauka Publ., 1979. 102 p.
4. Dugarov V.I., Kulikov A.I. *Agrofizicheskie svoystva merzlotnykh pochv* [Agrophysical properties of sorted circles]. Novosibirsk, Nauka Siberian Branch Publ., 1990. 255 p.
5. Zimovets B.A. *Pochvenno-geokhimicheskie protsessy mussono-merzlotnykh landshaftov* [Soil-geochemical processes of monsoon-sorted circles]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 168 p.
6. Ivanov G.I. *Osobennosti pochvoobrazovaniya na yuge Dalnego Vostoka* [Features of soil formation in the South of the Russian Far East]. Novosibirsk, Nauka Siberian Branch Publ., 1973. 45 p.
7. Ivanov G.I. *Pochvoobrazovanie na yuge Dalnego Vostoka* [Soil formation in the South of the Russian Far East]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 200 p.
8. Konorovsky A.K. *Pochvy severa zony Malogo BAMA* [Soils of the North zone of Small BAM]. Novosibirsk, Nauka Siberian Branch Publ., 1984. 120 p.
9. *Poryadok opredeleniya razmerov ushcherba ot zagryazneniya zemel khimicheskimi veshchestvami* [Procedure for determining the size of land pollution with chemicals]. Moscow, Managing soil and land resources Ministry of natural resources of Russia, 1993. 30 p.
10. Ivanov V.V. *Ekologicheskaya geokhimiya elementov* [Environmental geochemistry of elements]. Moscow, Nedra Publ., 1994. Vol. 2, 303 p.
11. *Gigienicheskie normativy GN 2.1.7.020–94. Orientirovochno dopustimye kontsetratsii (ODK) tyazhelykh metallov i myshyaka v pochvakh* [Hygienic standards 2.1.7.020–94. Roughly allowable concentration of heavy metals and arsenic in soils]. Moscow, Goskomsanepidnadzor Russia, 1995. 8 p.

УДК 552.11 (470.5)

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ВОСТОЧНОГО СКЛОНА ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА МЕЖДУРЕЧЬЯ СЕРТЫНЬЯ–МАНЬЯ

Кудрин Константин Юрьевич,

канд. геол.-минерал. наук, доцент каф. геологии Института природопользования ФГБОУ ВПО «Югорский государственный университет»,
Россия, 628011, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16.
E-mail: kudringeo@inbox.ru

Актуальность работы обусловлена недостаточной степенью изученности района, несовершенством схемы магматизма, как интрузивного, так и эффузивного.

Цель работы: уточнение схемы развития магматизма территории на основании комплекса геологических наблюдений и результатов аналитических исследований.

Методы исследования: анализ ранее проведенных работ (геолого-съёмочных и тематических); полевые работы (документация, опробование); аналитические исследования: петрографические, рентген-флуоресцентные (ИГМ СО РАН, прибор AR α 9900XP, аналитик Н.М. Глухова), рентгеноспектральные (ИГГ УрО РАН, прибор СРМ-18, аналитики Н.П. Горбунова и Л.А. Татарина), ICP–MS (ИГМ СО РАН, прибор Finnegan Element I, аналитик И.В. Николаева; ИГГ УрО РАН, прибор ELAN-9000, аналитики Н.Н. Адамович и Д.В. Киселева).

Результаты: Приведены результаты исследования магматитов палеоостроводужного сектора восточного склона Приполярного Урала, вскрытого долинами рек Щекурья, Сертынья, Поля и Манья от зоны Главного Уральского глубинного разлома до западной границы развития осадочных комплексов чехла Западно-Сибирской плиты. Новые данные позволили: обосновать присутствие в строении Щекуринского массива двух типов габброидов и сопоставить их с тагилыктымским и северорудничным комплексами; отнести ко второй фазе северорудничного комплекса диориты Сертыньинско–Щекуринского массива; предполагать задугово-спрединговую природу комплекса параллельных даек Маньинского и Польинского разрезов; сопоставить с го-благодатским и люльинским комплексами вулканогенные разрезы по рекам Щекурья и Сертынья соответственно.

Ключевые слова:

Приполярный Урал, палеоостроводужный сектор, магматизм, петрохимия, геохимия.

Описание района исследований

В структуре палеоостроводужного сектора Приполярного Урала площадь исследований охватывает район распространения магматических образований бассейна рек Манья, Поля, Щекурья и Сертынья от зоны Главного Уральского глубинного разлома (ГУГР) до развития плитных отложений Западной Сибири (рис. 1). Сложность геологического строения территории определяется полигенным характером габброидов Щекуринского массива. Другим важным элементом строения района являются вулканогенные образования, расположенные восточнее интрузивных массивов и характеризующиеся сильной изменчивостью петрографического состава, делающей уникальным каждый разрез, вскрываемый речной эрозией.

Территория характеризуется неравномерной и далеко неполной изученностью. Результаты обобщения ранее проведенных геолого-съёмочных и тематических работ нашли отражение в [1]. В 2010–2013 гг. нами получены новые данные, позволяющие уточнить ряд спорных вопросов схемы магматизма площади исследований.

В 2010–2012 гг. проведены полевые работы в бассейне рек Щекурья, Сертынья, Поля и Манья, в которых активное участие принимали студенты и магистранты геологических специальностей Югорского государственного университета в рамках учебных геолого-съёмочных и научно-исследовательских практик [2].

Аналитические исследования проведены в Институте геологии и минералогии (ИГМ) им. акад. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск) и в Институте геологии и геохимии (ИГГ) им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН (г. Екатеринбург). Анализ компонентного состава пород выполнен методом РФА на приборе AR α 9900XP в ИГМ СО РАН (аналитик Н.М. Глухова) и рентгеноспектральным методом на приборе СРМ-18 в ИГГ УрО РАН (аналитики Н.П. Горбунова и Л.А. Татарина). Микроэлементный состав пород определен методом ICP–MS на приборах Finnegan Element I в ИГМ СО РАН (аналитик И.В. Николаева) и ELAN–9000 в ИГГ УрО РАН (аналитики Н.Н. Адамович и Д.В. Киселева). Аналитическим исследованиям предшествовало петрографическое изучение каменного материала.

Интрузивные образования площади исследований представлены Щекуринским и Сертыньинско–Щекуринским массивами.

Щекуринский массив сложен габброидами и является северным продолжением крупного Хорасюрского массива, особенности строения и состава которого описаны в [3]. Но в отличие от Хорасюрского в нем не установлены оливиновые габбро, нориты и габбронориты: Щекуринский массив сложен исключительно амфиболовыми и пироксен-амфиболовыми габбро. Полученные нами геологические, петрохимические и геохимические данные позволяют говорить о полигенном характере массива, в строении которого участвуют не менее двух типов габброидов.

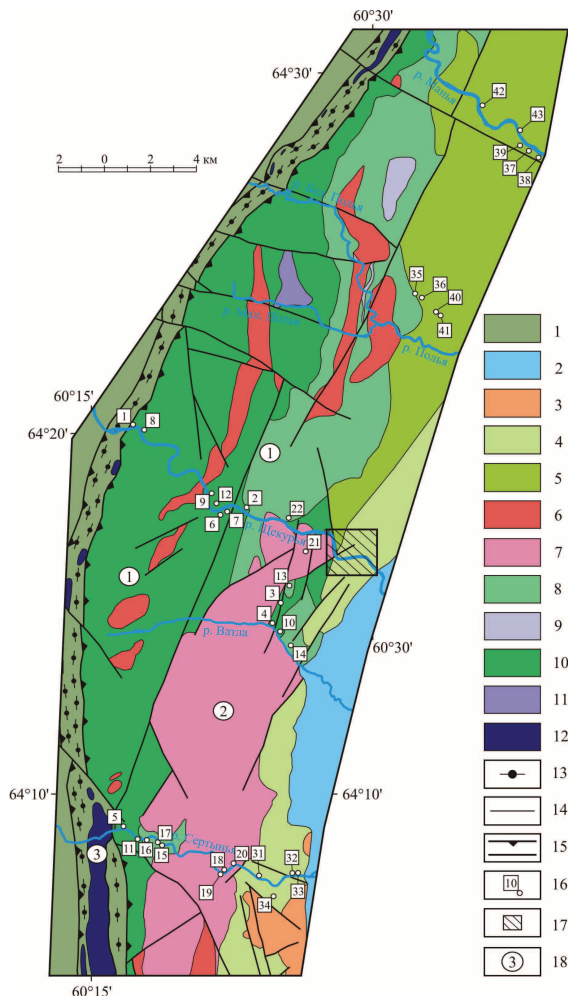


Рис. 1. Схема геологического строения района исследований. Составлена с использованием материалов М.М. Павлова (1990), В.В. Бочарева (1990), Н.А. Петенина (1994), А.В. Чурсина (2009). 1) мезозойско-кайнозойские отложения; 2) палеоконтинентальный сектор Урала; 3) вулканиты рувшорской толщи; 4) базальты и долериты комплекса параллельных даек; 5) эффузивы соимшорской толщи; 6) плагиограниты невыясненной принадлежности; 7) диориты северорудничного комплекса; 8) габброиды северорудничного комплекса; 9) серпентиниты невыясненной принадлежности; 10) габброиды тагилокытлымского комплекса; 11) гипербазиты качканарского комплекса; 12) гипербазиты салатимского комплекса; 13) зона ГУГР; 14) геологические границы; 15) надвиги и разрывные нарушения; 16) точки отбора проб и их номера; 17) участок детальных исследований вулканогенного разреза (рис. 3); 18) массивы: 1 – Щекурьинский; 2 – Сертыньинско-Щекурьинский; 3 – Сертыньинский

В 2010 г. в береговых обнажениях р. Щекурья установлено развитие двух типов габбро: полосчатых (чередование меланократовых и лейкократовых разновидностей) и массивных, контакт между ними не зафиксирован. В 2011 г. в обнажениях по р. Сертынья нами задокументирован интрузивный контакт с зоной закалки: полосчатые габбро прорываются массивными. Контакт четко проявлен и в геофизических полях (рис. 2): полосчатые габбро

характеризуются отрицательными значениями магнитного поля; массивные – положительными. Геофизические данные позволяют предполагать контакт габброидов в районе устья руч. Кёльхья (левый приток р. Щекурья). Кроме того, полосчатые габбро вмещают ксенолиты пироксенитов качканарского комплекса; в массивных габбро на р. Щекурья присутствуют ксенолиты расположенных восточнее вулканитов. Оба типа габброидов прорываются диоритами Сертыньинско-Щекурьинского массива и гранитоидами неустановленной принадлежности.

Полосчатые габбро слагают преимущественно западную часть Щекурьинского массива, среди них обособляются пегматоидные образования с постепенными и секущими взаимоотношениями с нормальными габбро. Микроструктуры пород гипидиоморфные, габбровые. Массивные габбро распространены в восточной части массива, микроструктуры пород призматическизернистые, офиитовые.

Одно из минералогических отличий пород – в массивных габбро постоянно присутствует пироксен (диопсид), в полосчатых габбро пироксен не зафиксирован. Первичные амфиболы полосчатых габбро по составу отвечают ряду эденит–паргасит–ферроэденит–ферропаргасит. Амфибол массивных габбро – магнезиальная роговая обманка. По составу плагиоклаза в полосчатых габбро установлены сосуществующие андезин, лабрадор, битовнит и анортит (при этом зональное строение отсутствует). Плагиоклазы массивных габбро обычно зональны: в ядре имеют анортитовый состав, к периферии он меняется до битовнита и лабрадора. Набор первичных акцессорных минералов габброидов практически идентичен: магнетит, ильменит, апатит, сфен, циркон; следует отметить отсутствие титаномagnetита в составе массивных габбро.

Диориты Сертыньинско-Щекурьинского массива прорывают все описываемые габброиды площади, что отмечалось по результатам геологических съемок в этом районе [4]. Породы массивные с субофиитовыми микроструктурами, сложены пироксеном, амфиболом, плагиоклазом и кварцем. Кроме того, в составе диоритов присутствует переменное количество резко ксеноморфного калишпата, за счет которого породы приобретают монцонитовую структуру. Как будет показано далее, диориты петрогеохимически близки массивным габбро восточной части Щекурьинского массива, поэтому рассматриваются нами как вторая фаза становления единого магматического комплекса.

Пироксены диоритов соответствуют диопсиду, амфиболы разделились на эденит и магнезиальную роговую обманку, плагиоклаз принадлежит кислому андезину–олигоклазу, часто имеет отчетливое зональное строение. Акцессорные минералы представлены титанистым магнетитом, ильменитом, сфеном, апатитом и цирконом.

Вулканогенные разрезы изучены нами по береговым обнажениям рек Сертынья, Щекурья,

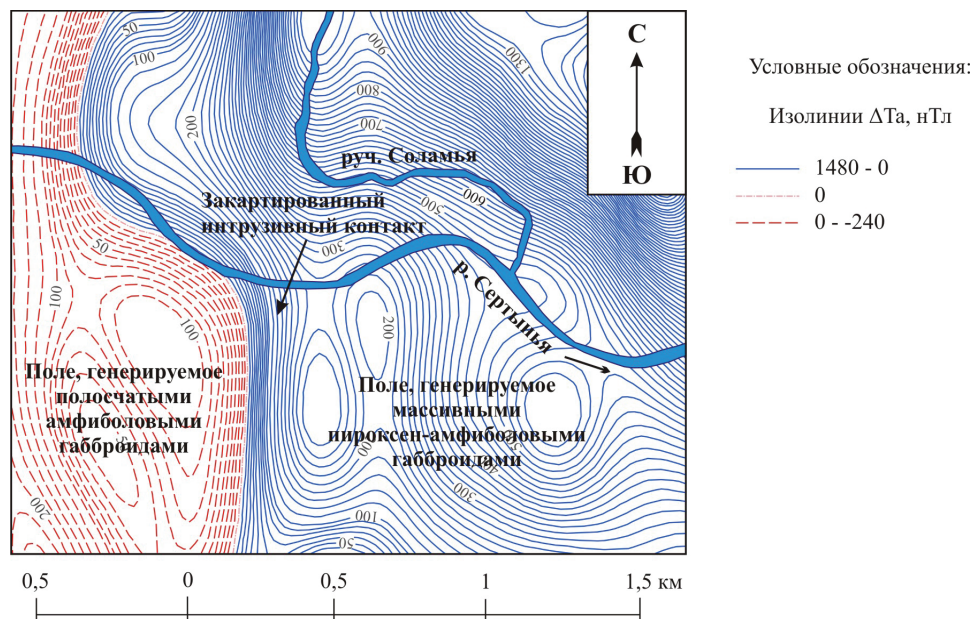


Рис. 2. Контакт полосчатых и массивных габброидов в магнитном поле (по материалам ОАО «Уральская геофизическая экспедиция», А.В. Чурсин, 2009)

Полья и Манья. Эффузивы простираются в север-северо-восточном направлении с падением на восток-юго-восток, образуя моноклиналную структуру.

Маньинский разрез подробно описан В.В. Бочкаревым [5]. Им приведена петрографическая характеристика пород, рассмотрены их взаимоотношения, поэтому мы не будем приводить характеристику разреза, отметив вслед за автором, что в береговых обнажениях вскрыт комплекс параллельных даек, в том числе образования типа «дайка в дайке». Дайковый комплекс представлен однородными долеритами, изменяющимися от микро- до среднезернистых в зависимости от мощности слагаемых ими тел. Среди даек отмечаются редкие скринны черных базальтов. В западной части разреза (в правом борту р. Манья в районе устья руч. Тарыгья) нами наблюдалось инъекционное внедрение массивных габбро в описываемые долериты.

Под *Польинским разрезом* нами понимается участок, вскрытый при строительстве автодороги Саранпауль-Неройка. Обнажающиеся здесь образования полностью аналогичны Маньинскому разрезу. В своей западной части они прорваны амфиболовыми плагиигранитами невыясненной принадлежности.

Субвулканические и вулканогенные образования Польинского и Маньинского разрезов отнесены В.В. Бочкаревым к спилит-кварц-альбитофировой формации раннего силура по аналогии с раннесилурийскими спилитами Западно-Тагильской зоны [5].

Щекуринский разрез также описан В.В. Бочкаревым и отнесен к ордовикской кремнисто-спилит-диабазовой формации [5]. Описание этого разреза присутствует в пояснительной записке к Государственной геологической карте [4], а также в от-

чете по ГС-50 (Э.Г. Негурица, 1970). При этом все три описания отличаются друг от друга, поэтому мы приводим результаты полевого изучения Щекуринского разреза.

В строении вулканогенного разреза по р. Щекурья выделены четыре пачки пород (рис. 3). Западную пачку слагают интерсертальные базальты с редкими порфировыми выделениями плагиоклаза и диопсида, магнитные акцессории – титанистый магнетит и титаномагнетит. Аналогичные породы встречены в ксенолитах массивных габбро Щекуринского массива. Мощность пачки 370 м.

Восточнее картируется пачка андезитов, среди которых наблюдаются маломощные прослои базальтов. Значительную роль здесь играют кластолавы, обломки в которых представлены преимущественно миндалекаменными андезитами. В верхней части пачки среди обломков появляются вишнево-красные риолиты. Пироксен в андезитах также представлен диопсидом. Мощность пачки 250 м.

Третья пачка представлена сложно чередующимися базальтами (преобладают) и андезитами с порфировыми выделениями диопсида. Количество порфировых выделений достигает местами 50 % объема породы. В кровле пачки картируются дациты. Характерной особенностью вулканитов пачки является присутствие хромита в акцессорной фазе при полном отсутствии магнетита и титаномагнетита. Мощность пачки 200 м.

Наращивают разрез в восточном направлении порфировые (в порфировых выделениях кварц, альбит и изредка хлоритизированная роговая обманка) риолиты, принимающие местами малиново-красную окраску. В породах часто присутствуют многочисленные обломки эффузивов среднего состава. В риолитах наблюдается повышенное содержание акцессорных минералов – апатит, циркон,

титанистый магнетит, титаномагнетит, вторичные сфен и рутил. Мощность верхней пачки 250 м.



Рис. 3. Схема геологического строения участка детальных исследований вулканитов Щекуринского разреза: 1) мезозойско-кайнозойские отложения; 2) риолиты, дациты; 3) андезиты, литокластолавы андезитового состава; 4) базальты, андезитобазальты; 5) диориты; 6) полосчатые габбро; 7) разрывные нарушения; 8) точки наблюдения; 9) точки геохимического опробования и их номера

Западный контакт вулканитов с габброидами в Щекуринском разрезе срезан тектоническим нарушением. Однако западнее него в массивных габбро установлены крупные ксенолиты базальтов, аналогичных базальтам нижней пачки.

Сертыньинский опорный разрез описан в отчете М.М. Павлова по ГДП-50, слагающие его вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы им рассматриваются в ранге соимпорской толщи позднего силура (М.М. Павлов, 1990). В восточной части разреза по подошве подушечных лав черных миндалекаменных базальтов им проведена подошва рувшорской толщи нижнего девона, в которую входят и распространенные южнее молассоиды. Поэтому мы также не останавливаемся на петрографической характеристике разреза. В.В. Бочкарев отнес породы Сертыньинского разреза к трахибазальт-трахиандезитовой формации раннего девона [5].

Западный контакт вулканитов с диоритами Сертыньинско-Щекуринского массива завуалирован мощным кремне-натриевым метасоматозом, продукты которого развиты как по диоритам, так и по эффузивам.

Петрогеохимическая характеристика пород

Петрогеохимическая характеристика магматических пород описываемой территории (таблица) приведена в сопоставлении с результатами обобщения данных по результатам геолого-съёмочных и тематических работ в пределах Пуйвинской,

Ятринской и Хорасюрской площадей [1], что отражено на рис. 4, 7.

Лейкократовые разности полосчатых габбро, слагающие западную часть Щекуринского массива, тяготеют к составам субщелочных пород (трахиандезитобазальты), реже – к составам пород нормальной щелочности (андезитобазальты); мезократовые соответствуют составам пород нормальной щелочности (базальты); меланократовые – в равной степени к составам субщелочных пород и пород нормальной щелочности (умеренно-щелочные пикробазальты и ультраосновные пикробазальты) (рис. 4, А). На диаграмме Л.С. Бородина составы полосчатых габбро образуют относительно компактный рой фигуративных точек, формирующих эволюционный тренд от толеитовой до субщелочной серии (рис. 4, Б).

Для минералогических разновидностей полосчатых габбро характерны однотипные тренды распределения нормированных содержаний редкоземельных элементов (РЗЭ) при заметном дефиците концентраций тяжелых лантаноидов и слабо выраженной положительной Eu аномалии (рис. 5, А). При этом содержание РЗЭ возрастает от меланократовых к лейкократовым разновидностям. Аналогично увеличивается степень фракционирования РЗЭ (La/Yb): от 1,6 для меланократовых до 12 для лейкократовых габбро. Это может указывать на взаимосвязь формирования пород с процессами магматической дифференциации. Габбро сопоставимы по геохимическим параметрам с породами тагилыкитлымского комплекса Хорасюрского массива [3], а также с РЗЭ-геохимией габброидов петротипа – Тагильского массива [6].

Микроэлементные составы описываемых пород, нормированные по составу примитивной мантии (рис. 6, А), демонстрируют особенности, присущие магматическим образованиям, продуцируемым в условиях островных дуг.

Массивные габбро Щекуринского массива и диориты Сертыньинско-Щекуринского массива на петрохимических диаграммах обнаруживают полное соответствие петрографического и петрохимического составов (рис. 4, А), образуя единый эволюционный ряд от толеитовых до известковых производных (рис. 4, Б).

Предполагаемое генетическое родство массивных габбро и диоритов подтверждается и геохимическими данными: породы имеют характерное распределение РЗЭ при степени фракционирования La/Yb=0,7–2,6 (с нарастанием от основных пород к средним) и отрицательную Eu аномалию (рис. 5, Б). Геохимические особенности пород сопоставимы с диоритами верхнетагильского комплекса бассейна р. Сертынья [3]. Микроэлементные составы массивных габбро и диоритов на спайдер-диаграмме (рис. 6, Б), демонстрируют особенности, присущие магматическим образованиям, продуцируемым в условиях островных дуг, отличаясь от эталонного состава несколько пониженными содержаниями всех элементов.

Таблица. Химический состав магматитов Щекуринской площади (%)

Точка	1	2	3	4	5	6	7	3-1	8
Проба	13	1,3	3,28	3,32	P-20	2,5	2,3	3,27	7
SiO ₂	41,58	40,39	53,15	48,62	–	51,98	51,65	52,29	45,04
TiO ₂	1,01	0,92	0,57	0,94	–	0,86	0,86	0,59	0,94
Al ₂ O ₃	21,60	17,98	22,47	19,51	–	17,53	17,05	16,57	14,38
Fe ₂ O ₃	11,15	13,63	4,41	9,97	–	8,90	10,01	9,77	9,91
MnO	0,19	0,19	0,07	0,15	–	0,16	0,17	0,17	0,15
MgO	5,52	6,98	2,34	5,87	–	5,19	5,17	5,12	13,43
CaO	12,82	14,28	7,70	10,21	–	8,39	8,58	8,47	12,35
Na ₂ O	2,39	1,57	6,13	3,83	–	3,67	3,65	2,50	1,66
K ₂ O	0,31	0,62	0,30	0,35	–	0,81	0,91	0,92	0,16
P ₂ O ₅	0,33	1,53	0,15	0,15	–	0,20	0,24	0,12	0,04
ППП	3,29	1,16	1,66	0,91	–	1,96	1,65	2,77	2,33
Сумма	100,19	99,27	98,98	100,53	–	99,66	99,95	99,31	100,4
Sc	29	33	13,8	36	40	37	41	42	133
V	361	802	173	314	250	250	271	320	418
Cr	25	5,4	18,2	64	48	59	60	79	422
Ni	13,8	15,8	21	35	28	28	114	31	109
Cu	146	668	83	140	101	164	473	121	11,5
Zn	77	70	43	82	88	75	379	72	61
Rb	5,5	7,4	1,81	0,96	9,8	9,9	12,4	12,7	4,7
Sr	1148	1368	1876	1123	650	611	556	337	411
Y	8,1	12,4	5,1	19,9	28	18,7	21	17,1	11,1
Zr	10,4	6,1	48	95	114	53	94	36	22
Nb	1,72	0,11	0,81	1,70	2,60	1,41	1,88	0,47	1,29
Cs	0,43	<0,1	<0,1	<0,1	0,18	0,17	0,20	0,30	<0,1
Ba	44	93	107	73	145	109	111	108	29
La	2,7	4,9	3,5	5,3	12	7,1	8,9	5,1	2,1
Ce	7,9	13,5	8,4	18,1	31	21	26	13,7	5,2
Pr	1,53	2,6	1,33	3,7	4,8	3,7	4,5	2,1	0,91
Nd	7,6	15,3	6,2	17,7	22	17,5	19,8	9,6	4,4
Sm	2,3	4,0	1,48	4,4	5,6	4,3	4,8	2,6	1,29
Eu	0,90	1,37	0,50	1,24	1,56	1,26	1,51	0,84	0,59
Gd	2,3	4,3	1,25	4,4	5,7	3,8	4,8	2,8	1,76
Tb	0,31	0,55	0,15	0,69	0,81	0,56	0,68	0,41	0,28
Dy	1,52	2,6	0,9	3,6	4,1	2,7	3,6	2,9	1,86
Ho	0,30	0,42	0,21	0,69	0,73	0,58	0,68	0,55	0,37
Er	0,70	1,04	0,52	2,1	2,1	1,60	1,95	1,65	1,00
Tm	0,095	0,12	0,07	0,31	0,32	0,22	0,31	0,27	0,15
Yb	0,49	0,60	0,40	1,90	1,97	1,45	1,82	1,80	0,91
Lu	0,07	0,09	0,06	0,28	0,29	0,23	0,28	0,25	0,14
Hf	0,57	0,25	1,53	3,5	2,8	1,69	2,9	1,91	0,78
Ta	0,11	<0,1	<0,1	<0,1	0,13	<0,1	0,14	<0,1	<0,1
Th	0,06	0,11	0,14	0,24	0,90	0,19	0,73	0,57	0,19
U	0,03	0,08	0,08	0,14	0,39	0,19	0,22	0,22	0,08

Продолжение таблицы

Точка	4-1	9	10	11	12	13	14	15	16
Проба	3,30	3,6	3,35	P-24	3,4	3,26	3,36	Л-8	P-27
SiO ₂	43,67	53,38	55,33	55,63	51,31	49,51	49,66	49,00	57,26
TiO ₂	1,04	1,19	0,58	0,57	1,05	0,61	0,63	0,64	0,57
Al ₂ O ₃	17,60	20,02	24,10	16,34	15,64	14,95	16,58	16,70	16,28
Fe ₂ O ₃	13,97	6,63	2,86	9,07	11,77	7,90	10,39	10,74	9,30
MnO	0,14	0,15	0,02	0,15	0,19	0,16	0,19	0,19	0,16
MgO	6,84	2,28	0,99	4,66	4,81	10,78	6,82	7,20	4,03
CaO	12,24	6,20	7,27	7,90	8,42	10,41	11,80	10,97	7,55
Na ₂ O	2,22	6,67	6,70	2,82	3,87	3,00	1,76	2,05	2,92
K ₂ O	0,27	0,58	0,29	0,96	0,43	0,24	0,29	0,55	0,72
P ₂ O ₅	0,03	0,52	0,16	0,11	0,12	0,06	0,08	0,06	0,12
ППП	1,79	1,47	1,58	1,84	2,46	2,46	1,91	1,60	1,28
Сумма	99,83	99,14	99,88	100,02	100,07	100,09	100,12	99,72	100,19
Sc	63	12,2	3,8	40	44	50	55	54	34
V	796	170	96	253	338	223	337	313	237
Cr	16,7	<1	64	46	19,6	637	34	88	29
Ni	35	<5	35	31	11,9	151	29	41	20
Cu	12,4	173	140	29	86	123	69	122	60
Zn	95	83	82	71	82	57	78	60	76
Rb	0,92	5,4	2,6	12,7	7,2	3,4	3,1	6,4	9,0
Sr	544	1777	2262	400	290	164	271	322	395
Y	5,8	23	2,0	19,1	24	14,8	22	15,4	16,0
Zr	13	18	7,8	101	60	28	21	51	43
Nb	1,28	1,93	0,40	0,61	0,43	1,04	0,49	0,25	0,47
Cs	<0,1	0,10	<0,1	0,51	0,13	0,10	<0,1	0,18	0,22
Ba	45	311	97	75	52	36	42	48	101
La	2,3	24	1,01	5,0	3,5	1,7	2,5	2,9	4,7
Ce	5,9	54	2,6	13,6	9,9	4,2	7,9	8,2	11,9
Pr	0,98	8,8	0,42	1,92	1,75	0,79	1,47	1,43	1,62
Nd	4,7	38	1,96	9,1	8,6	3,8	8,6	7,1	7,2
Sm	1,10	7,8	0,60	2,2	2,4	1,30	2,8	2,0	2,0
Eu	0,43	2,8	0,37	0,64	0,88	0,49	0,82	0,62	0,56
Gd	1,23	7,1	0,5	2,2	3,2	1,89	2,9	1,88	1,89
Tb	0,15	0,90	0,06	0,41	0,57	0,35	0,54	0,35	0,35
Dy	0,95	4,4	0,26	2,4	3,4	2,6	3,5	2,3	2,2
Ho	0,19	0,71	0,06	0,49	0,79	0,51	0,73	0,46	0,43
Er	0,45	1,90	0,19	1,36	2,2	1,52	2,4	1,36	1,34
Tm	0,06	0,27	0,03	0,22	0,35	0,26	0,41	0,19	0,20
Yb	0,37	1,39	0,19	1,44	2,1	1,60	2,6	1,20	1,30
Lu	0,05	0,18	0,03	0,22	0,32	0,26	0,37	0,18	0,20
Hf	0,62	0,79	0,50	1,80	2,0	1,13	1,06	1,08	1,09
Ta	<0,1	0,11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Th	0,12	0,22	0,03	0,15	0,35	0,27	0,14	0,39	0,58
U	0,08	0,11	0,03	0,06	0,22	0,08	0,07	0,15	0,21

Продолжение таблицы

Точка	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Проба	Л-5	К-20	Б-8/2	К-13/3	1,7	1,6	2,7/2	2,9	К-7
SiO ₂	–	61,81	–	60,71	63,32	54,15	54,66	51,07	62,97
TiO ₂	–	0,50	–	0,50	0,30	1,16	1,83	1,69	0,51
Al ₂ O ₃	–	14,48	–	15,10	17,99	14,87	12,60	14,14	16,32
Fe ₂ O ₃	–	6,78	–	7,70	3,80	9,89	15,94	15,07	6,41
MnO	–	0,10	–	0,12	0,08	0,15	0,10	0,15	0,11
MgO	–	3,98	–	4,99	1,10	3,98	2,72	5,42	2,55
CaO	–	6,21	–	3,29	5,47	7,11	4,52	5,38	2,61
Na ₂ O	–	3,81	–	3,64	4,32	3,69	3,75	2,06	5,81
K ₂ O	–	0,63	–	1,53	0,97	0,94	0,78	1,39	0,65
P ₂ O ₅	–	0,08	–	0,09	0,07	0,30	0,25	0,16	0,12
ППП	–	1,75	–	2,46	2,09	2,50	3,38	4,03	1,70
Сумма	–	100,12	–	100,12	99,53	98,76	100,54	100,57	99,78
Sc	34	36	32	37	16,3	36	45	48	34
V	234	177	160	168	56	301	361	288	86
Cr	52	55	58	50	2,4	90	9,2	11,6	3,4
Ni	29	26	32	21	<5	42	11,2	13,4	<5
Cu	86	36	44	57	35	230	66	30	26
Zn	61	29	35	79	36	90	97	108	93
Rb	10,1	6,4	5,3	19,7	17,8	16,7	13,2	42	9,3
Sr	613	298	295	275	214	349	181	85	202
Y	16,4	22	20	17,7	17,0	34	54	47	23
Zr	52	78	77	136	42	174	133	94	62
Nb	0,51	0,87	0,80	0,69	0,55	3,3	5,4	3,1	0,76
Cs	0,25	0,15	<0,1	0,33	0,17	0,20	0,14	0,68	0,17
Ba	148	89	93	193	85	144	53	55	75
La	4,0	5,1	5,6	4,5	2,7	16,2	7,7	4,7	3,8
Ce	11,0	13,8	14,2	11,8	6,5	39	20	13,5	10,5
Pr	1,59	2,0	2,0	1,58	1,03	6,6	3,6	2,4	1,66
Nd	7,1	9,1	8,5	7,5	5,1	29	17,4	12,0	8,4
Sm	1,96	2,4	2,3	2,0	1,75	6,5	5,3	4,1	2,3
Eu	0,62	0,54	0,53	0,45	0,56	1,57	1,62	1,18	0,76
Gd	2,1	2,5	2,3	2,0	2,2	6,6	7,8	6,3	3,3
Tb	0,33	0,46	0,43	0,38	0,36	0,96	1,3	1,1	0,47
Dy	2,1	2,6	2,5	2,1	2,4	5,0	8,5	6,7	3,4
Ho	0,44	0,55	0,52	0,46	0,55	0,97	1,75	1,56	0,80
Er	1,33	1,66	1,68	1,41	1,63	3,0	5,2	4,4	2,1
Tm	0,19	0,27	0,27	0,23	0,24	0,48	0,81	0,71	0,36
Yb	1,28	1,83	1,90	1,49	1,54	2,9	5,2	4,1	2,3
Lu	0,19	0,26	0,26	0,22	0,24	0,41	0,75	0,66	0,34
Hf	1,26	2,3	2,1	1,71	1,35	5,1	4,0	2,9	2,1
Ta	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,22	0,39	0,22	<0,1
Th	0,42	0,73	0,81	0,63	0,46	2,0	0,61	0,28	0,57
U	0,15	0,27	0,33	0,21	0,22	0,95	0,14	0,08	0,19

Продолжение таблицы

Точка	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Проба	К-9	1,11	1,12/2	3,14	3,20	К-31	К-25	К-22	Р-2
SiO ₂	48,64	64,64	50,65	77,77	73,41	–	55,01	52,83	–
TiO ₂	0,26	0,41	0,20	0,26	0,32	–	1,02	1,07	–
Al ₂ O ₃	14,00	14,00	11,75	10,25	12,51	–	16,98	17,52	–
Fe ₂ O ₃	9,25	5,19	9,23	2,20	3,31	–	8,51	9,95	–
MnO	0,13	0,11	0,23	0,03	0,05	–	0,14	0,13	–
MgO	9,26	1,87	11,05	0,59	0,69	–	3,33	4,84	–
CaO	9,19	6,96	7,73	1,56	1,06	–	4,86	2,69	–
Na ₂ O	3,69	3,71	4,07	4,89	6,33	–	6,33	5,94	–
K ₂ O	0,07	0,19	0,07	0,77	0,45	–	0,25	1,35	–
P ₂ O ₅	0,03	0,08	0,03	0,05	0,08	–	0,25	0,30	–
ППП	5,60	2,88	3,95	1,30	1,58	–	3,56	3,38	–
Сумма	100,13	100,05	98,95	99,69	99,80	–	100,24	100,02	–
Sc	42	27	40	11	16,1	34	30	31	35
V	202	63	184	65	31	259	242	256	239
Cr	520	5,0	646	8,0	19,4	30	14	13	24
Ni	169	<5	181	5,7	<5	24	20	22	24
Cu	125	28	831	44	93	55	226	277	78
Zn	58	142	79	18,3	79	75	90	113	88
Rb	4,2	3,5	2,8	4,8	2,9	4,9	1,51	40	42
Sr	59	65	106	53	66	309	79	507	561
Y	9,1	20	10,4	17	22	24	30	33	40
Zr	19,7	42	21	72	61	144	217	221	139
Nb	0,11	0,36	<0,1	0,80	0,81	2,4	3,0	3,1	2,5
Cs	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,20	<0,1	0,29	0,79	0,69
Ba	11,3	17,3	9,6	78	22	66	27	55	97
La	0,78	1,78	1,71	4,4	3,7	11,2	14,0	15,3	17,5
Ce	2,2	5,0	2,6	12,7	9,5	28	36	38	33
Pr	0,36	0,90	0,57	1,79	1,67	4,2	5,7	6,0	6,2
Nd	1,66	4,8	2,8	8,1	7,5	17,9	25	27	27
Sm	0,52	1,66	0,87	2,3	2,1	4,0	5,4	6,0	6,2
Eu	0,22	0,58	0,37	0,49	0,65	1,28	1,35	1,46	1,66
Gd	0,86	2,4	1,17	2,3	3,0	4,4	5,1	5,8	6,3
Tb	0,18	0,44	0,21	0,40	0,47	0,67	0,76	0,84	0,98
Dy	1,23	2,8	1,29	2,6	3,0	3,5	4,5	4,5	5,7
Ho	0,27	0,63	0,29	0,56	0,67	0,67	0,84	0,87	1,06
Er	0,84	1,92	0,90	1,83	2,2	1,88	2,3	2,4	2,9
Tm	0,14	0,31	0,15	0,30	0,34	0,27	0,33	0,35	0,44
Yb	0,96	1,79	1,01	2,0	2,3	1,80	2,0	2,3	2,5
Lu	0,15	0,29	0,15	0,29	0,32	0,27	0,29	0,33	0,38
Hf	0,75	1,5	0,73	2,7	2,4	3,2	4,3	4,4	3,4
Ta	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,11	0,16	0,14	0,11
Th	0,14	0,25	0,19	0,87	0,55	1,22	1,51	1,56	1,21
U	0,06	0,14	0,06	0,63	0,25	0,45	0,67	0,54	0,24

Окончание таблицы

Точка	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Проба	K-38	K-41	K-55	K-60/1	K-61	K-49	K-50	K-81/2	K-88
SiO ₂	48,48	46,51	46,86	54,03	51,16	51,13	48,50	53,10	46,47
TiO ₂	1,02	1,32	1,52	1,17	1,48	1,23	1,29	1,13	1,35
Al ₂ O ₃	14,03	14,04	12,94	13,31	12,44	12,40	14,53	13,25	12,45
Fe ₂ O ₃	11,59	17,32	19,20	14,44	17,48	16,29	15,53	15,64	18,81
MnO	0,18	0,22	0,24	0,18	0,22	0,29	0,23	0,13	0,39
MgO	8,56	5,96	8,51	5,30	6,34	6,64	6,51	7,18	8,65
CaO	9,46	7,23	3,46	3,62	2,80	5,56	5,44	1,80	4,23
Na ₂ O	2,90	4,10	3,55	4,72	4,31	4,05	4,10	4,00	3,56
K ₂ O	0,35	0,03	0,05	0,45	0,04	0,25	0,37	0,03	0,04
P ₂ O ₅	0,13	0,17	0,17	0,17	0,26	0,15	0,20	0,26	0,14
ППП	3,30	2,90	3,60	2,60	3,20	1,70	2,90	3,30	3,60
Сумма	100,00	99,80	100,08	99,97	99,74	99,69	99,59	99,82	99,69
Sc	33,06	36,71	32,48	26,31	24,02	32,82	35,33	31,11	39,11
V	230,36	326,49	342,75	244,02	186,24	279,22	329,19	367,19	352,31
Cr	180,12	58,41	28,45	41,54	15,99	61,74	159,71	146,26	121,58
Ni	53,75	31,92	19,72	20,79	8,86	39,47	49,90	75,92	68,40
Cu	15,25	20,40	33,17	22,49	19,59	30,10	51,11	21,09	17,75
Zn	0,00	6,50	33,64	65,38	13,78	2,73	35,05	45,99	38,18
Rb	1,94	0,06	0,36	3,65	0,79	1,81	2,76	0,38	0,25
Sr	171,08	45,92	71,55	68,12	42,54	202,90	170,54	27,92	26,73
Y	18,24	27,59	34,79	43,88	52,57	25,33	28,73	28,76	27,82
Zr	41,33	64,76	92,17	153,94	151,97	64,14	71,27	74,93	64,96
Nb	1,68	1,96	3,63	3,84	5,47	2,48	2,85	1,56	1,87
Cs	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,05	0,05	0,04
Ba	47,77	5,87	13,83	48,97	11,62	33,78	38,62	16,93	13,35
La	2,28	3,14	4,96	3,79	8,46	3,31	3,44	3,82	2,42
Ce	7,32	10,36	14,75	14,37	26,60	11,31	11,39	7,94	8,31
Pr	1,12	1,69	2,37	2,34	4,03	1,68	1,70	1,93	1,43
Nd	6,21	9,33	11,95	13,04	20,23	9,04	9,58	9,24	8,20
Sm	2,14	3,23	4,07	5,00	6,73	3,04	3,25	4,23	3,32
Eu	0,81	1,21	1,48	1,36	2,00	1,11	1,16	1,04	1,05
Gd	2,28	3,37	4,44	5,15	7,25	3,24	3,69	4,10	3,40
Tb	0,51	0,75	0,92	1,18	1,44	0,72	0,76	0,32	0,76
Dy	3,52	5,27	6,22	8,13	10,21	4,77	5,19	5,98	5,62
Ho	0,72	1,12	1,34	1,78	2,07	1,00	1,11	1,14	1,17
Er	2,19	3,46	4,06	5,57	6,44	3,04	3,36	3,43	3,48
Tm	0,32	0,46	0,56	0,80	0,93	0,44	0,51	0,44	0,49
Yb	2,13	3,12	3,90	5,30	6,22	2,99	3,30	3,88	3,49
Lu	0,29	0,46	0,55	0,80	0,91	0,45	0,45	0,61	0,51
Hf	1,25	1,97	2,75	4,68	4,74	1,98	2,15	2,30	2,29
Ta	0,10	0,13	0,22	0,25	0,30	0,13	0,18	0,14	0,13
Th	0,18	0,23	0,39	0,57	0,65	0,25	0,28	0,17	0,17
U	0,08	0,09	0,17	0,20	0,25	0,10	0,10	0,12	0,11

Примечания: Тагилкохтылимский комплекс: 1–5 – роговообманковое габбро; 6, 7, 3–1 – роговообманковое кварцевое габбро; 8, 4–1 – роговообманковое меланократовое габбро; 9, 10 – роговообманковое лейкократовое габбро; 11 – роговообманковое габбро окварцованное. Северорудничный комплекс: 12, 13 – пироксен-роговообманковое габбро; 14, 15 – роговообманковое габбро; 16, 17 – роговообманковое кварцевое габбро; 18 – роговообманковый диорит; 19–21 – роговообманковый кварцевый диорит. Эффузивы: Щекуринский разрез: нижняя пачка: 22 – пироксеновый базальт (ксенолит в габбро); 23 – андезибазальт; 24 – базальт; вторая пачка: 25 – пироксен-плагиоклазовый андезит; третья пачка: 26 – пироксеновый базальт; 27 – пироксен-плагиоклазовый дацит; 28 – пироксеновый базальт; верхняя пачка: 29, 30 – риолит; Сертыньинский разрез: 31 – плагиоклазовый андезибазальт; 32 – плагиоклазовый андезит; 33, 34 – пироксен-плагиоклазовый базальт; Маньинский и Польинский разрезы: 35–39 – долерит; 40–43 – базальт.

Вулканогенные и субвулканические образования описываемой территории обнаруживают значительные различия как петрохимических, так и геохимических параметров, подчеркивающих уникальность разрезов, вскрытых эрозией деятельностью водотоков площади.

Фигуративные точки составов пород Маньинского и Польинского разрезов располагаются в полях базальтов, трахибазальтов, андезибазальтов и трахиандезибазальтов (рис. 7, А), имея при этом натриевый тип щелочности (таблица, образцы 35–43. На диаграмме Л.С. Бородин составы описываемых пород соответствуют субщелочным и известково-щелочным сериям (рис. 7, Б).

Микроэлементный состав пород Маньинского и Польинского разрезов как по характеру нормализованных содержаний РЗЭ (рис. 8, Г), так на спайдер-диаграмме (рис. 9, Г) обнаруживает особенности, присущие составам N-MORB базальтов.

Вулканиды Щекуринского разреза на петрохимических диаграммах обнаруживают полное соответствие петрографического и петрохимического составов (рис. 7), образуя эволюционный ряд от базальтов до риолитов с натриевым типом щелочности при повышенном, по сравнению с ранее описываемыми породами Маньинского и Польинского разрезов, содержании калия. Исключение составляют вулканиды третьей пачки, в которых K₂O фиксируется менее 0,1 %.

В Щекуринском разрезе по особенностям редкоземельного состава вулканиды разделились на две группы. В первую вошли базальты нижней пачки, аналогичные им базальты ксенолитов в габброидах восточной части Щекуринского массива, андезиты второй пачки и риолиты верхней пачки. По характеру распределения РЗЭ (рис. 8, А) породы слабо фракционированы (La/Yb=1,5–5,5) при существовании заметной отрицательной Eu аномалии. При этом уровень накопления редкоземельных элементов снижается от базальтов к риолитам. В сравнении с хорошо изученными вулканогенными комплексами Среднего Урала описываемые вулканиды наиболее близки гороблагодатскому вулканогенному комплексу Тагильской зоны Среднего Урала [11] верхнеименного стратиграфического уровня позднего силура [12].

Вторая группа вулканидов по особенностям редкоземельного состава объединяет базальты и дациты третьей пачки Щекуринского разреза. В отличие от вышеописанных они характеризуются субхондритовым спектром РЗЭ с 2–10-кратным обогащением в сравнении с хондритом (рис. 8, Б). Более того, концентрация тяжелых РЗЭ нередко превышает концентрацию легких (La/Yb=0,8–1,7); суммарное содержание РЗЭ повышается в породах с увеличением их кремнекислотности. При этом РЗЭ-характеристика дацитов практически идентична N-MORB базальтам.

Микроэлементные составы всех вулканидов Щекуринского разреза, нормированные по составу примитивной мантии (рис. 9, А, Б), демонстри-

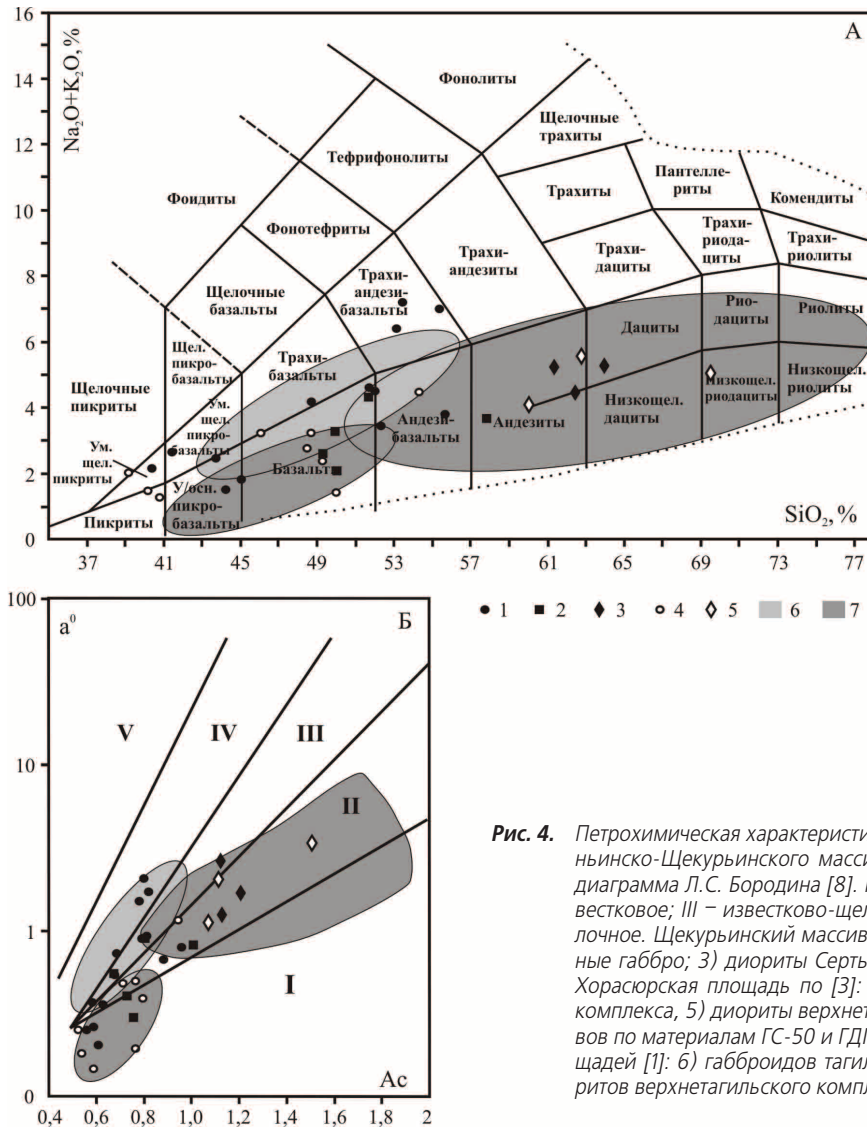


Рис. 4. Петрохимическая характеристика пород Щекуринского и Сертыньинско-Щекуринского массивов: А – TAS-диаграмма [7]; Б – диаграмма Л.С. Бородина [8]. Поля серий: I – толеитовое; II – известковое; III – известково-щелочное; IV – субщелочное; V – щелочное. Щекуринский массив: 1) полосчатые габбро, 2) массивные габбро; 3) диориты Сертыньинско-Щекуринского массива; Хорасюрская площадь по [3]: 4) габброиды тагилокытлымского комплекса; 5) диориты верхнетагильского комплекса; поля составов по материалам ГС-50 и ГДП-50 Ятринской и Пуйвинской площадей [1]: 6) габброидов тагилокытлымского комплекса, 7) диоритов верхнетагильского комплекса

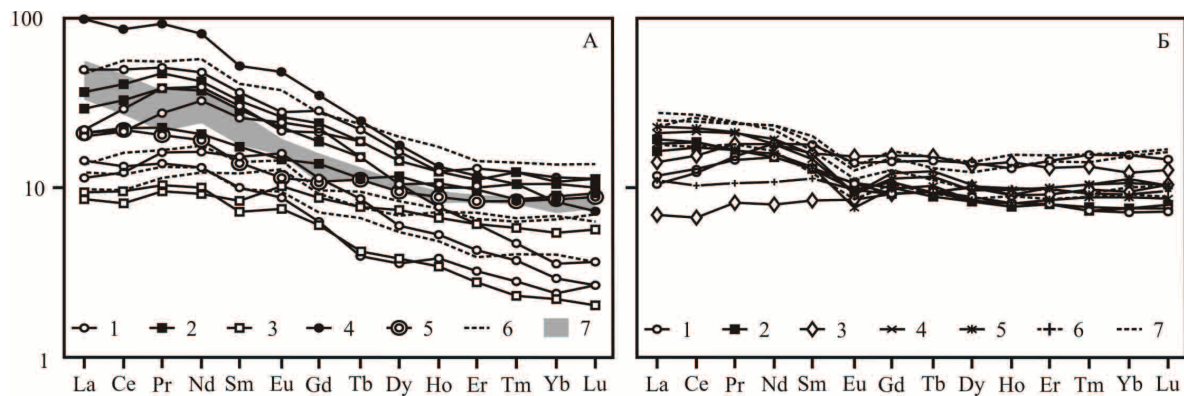


Рис. 5. Редкоземельная характеристика пород Щекуринского и Сертыньинско-Щекуринского массивов в сопоставлении с интрузивными породами Хорасюрской площади: А – полосчатые габбро: 1) роговообманковое габбро; 2) роговообманковое кварцевое габбро; 3) роговообманковое габбро меланократовое; 4) роговообманковое габбро лейкократовое; 5) роговообманковое габбро окварцованное; 6) габбронориты тагилокытлымского комплекса Хорасюрского массива по [3]; 7) габброиды Тагильского массива по [6]; Б – массивные габбро и диориты: 1) роговообманковое габбро; 2) роговообманковое кварцевое габбро; 3) пироксен-роговообманковое габбро; 4) роговообманковый диорит; 5) роговообманковый диорит кварцевый; 6) роговообманковый гранит; 7) диориты верхнетагильского комплекса Хорасюрской площади по [3]. Нормирование по хондриту [9]

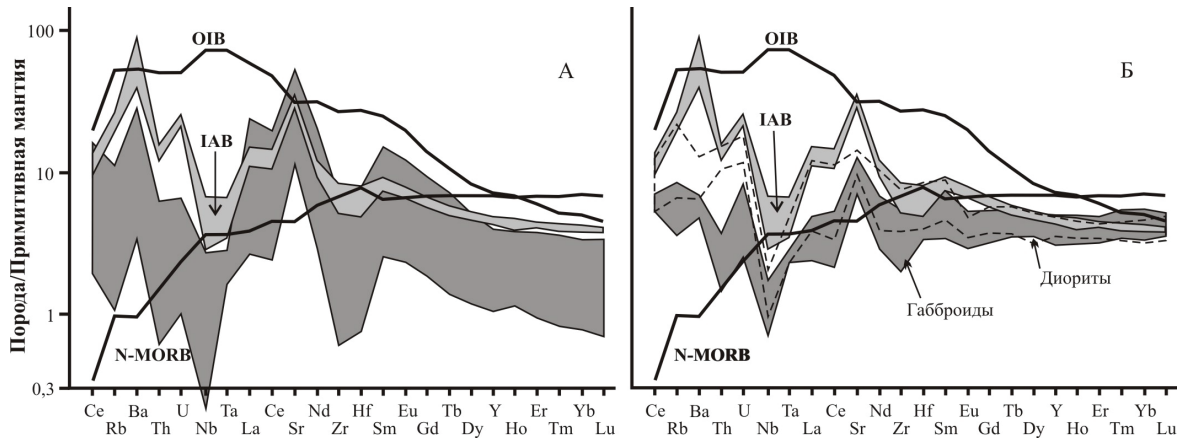


Рис. 6. Микроэлементный состав интрузивных пород, нормированный по составу примитивной мантии [10]: А – полосчатые габбро Щекурьинского массива; Б – массивные габбро Щекурьинского массива и диориты Щекурьинско-Сертыньинского массива. OIB – базальты океанических островов; IAB – островодужные базальты; N-MORB – базальты срединно-океанических хребтов N-типа

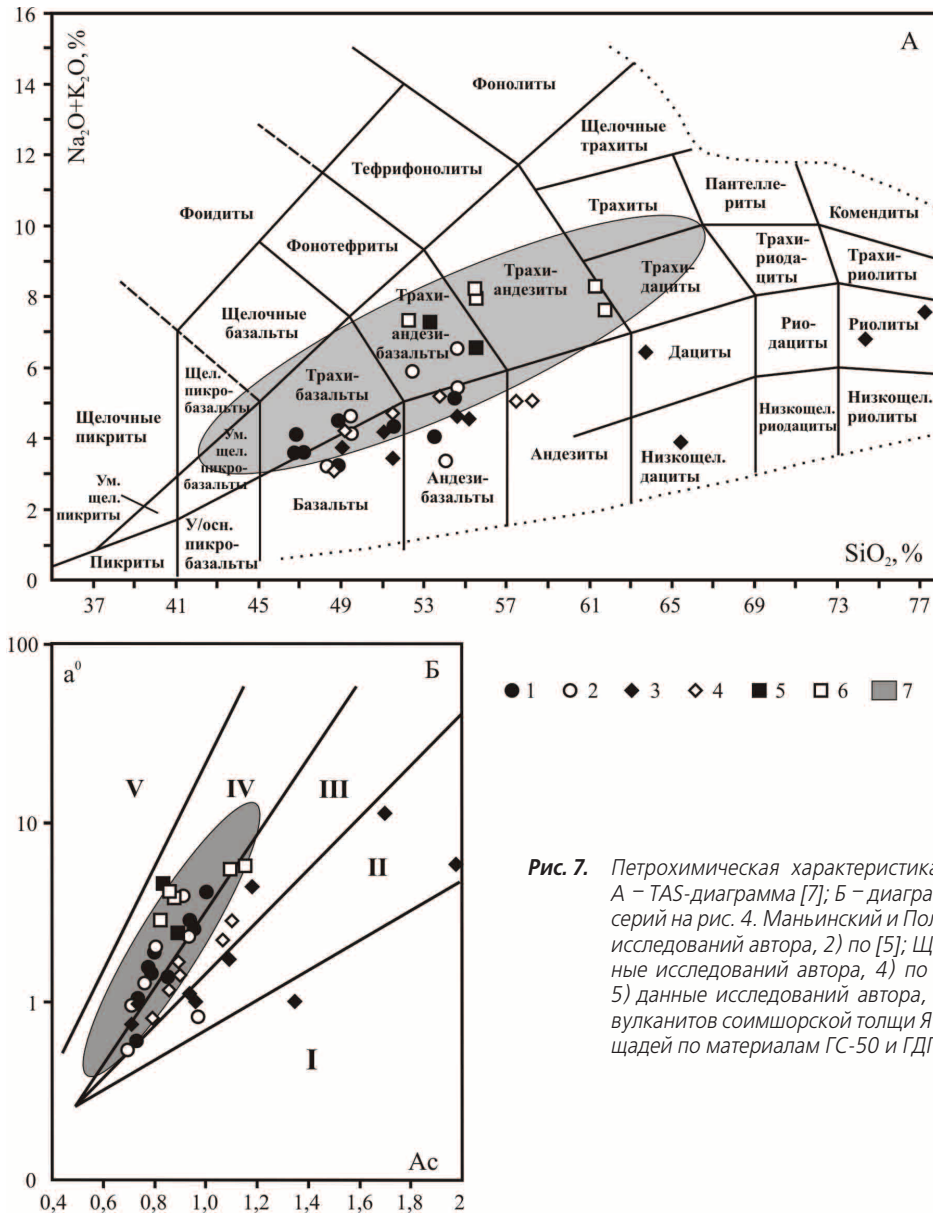


Рис. 7. Петрохимическая характеристика вулканогенных разрезов: А – TAS-диаграмма [7]; Б – диаграмма Л.С. Бородина [8]. Поля серий на рис. 4. Маньинский и Польинский разрезы: 1) данные исследований автора, 2) по [5]; Щекурьинский разрез: 3) данные исследований автора, 4) по [5]; Сертыньинский разрез: 5) данные исследований автора, 6) по [5]; 7) поля составов вулканитов соимшорской толщи Ятринской и Пуйвинской площадей по материалам ГС-50 и ГДП-50 [1]

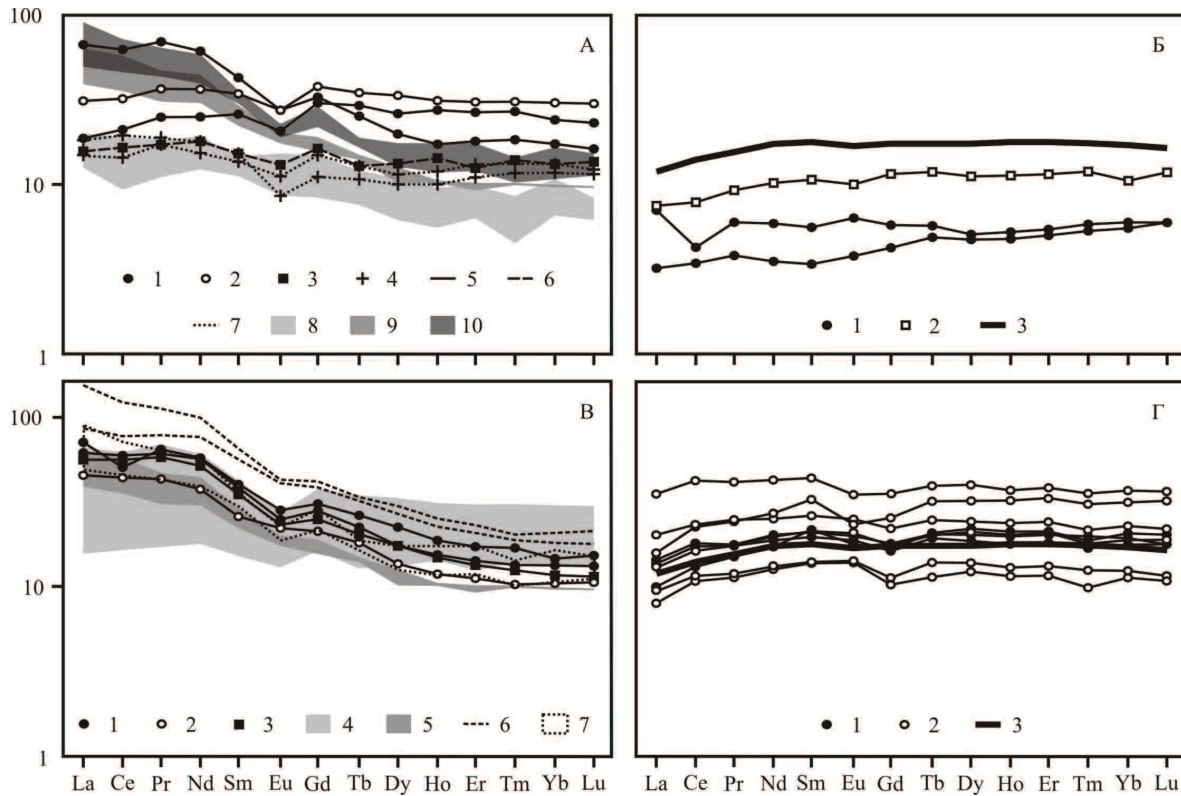


Рис. 8. Редкоземельная характеристика вулканитов в сопоставлении с эталонными разрезами: А – Щекуринский разрез: 1) базальты; 2) андезибазальты; 3) андезиты; 4) риолиты; 5) нижняя пачка; 6) вторая пачка; 7) верхняя пачка; 8) базальты и андезибазальты павдинского комплекса по [11]; 9) К-Na базальты именновского комплекса по [6]; 10 – андезиты и трахиандезибазальты гороблагодатского комплекса по [11]. Б – Щекуринский разрез, третья пачка: 1) базальты; 2) дациты; 3) базальт N-MORB типа. В – Сертыньинский разрез: 1) базальты; 2) андезибазальты; 3) андезиты; 4) базальтоиды Щекуринского разреза; 5) К-Na базальты именновского комплекса по [6]; 6) трахибазальты и трахиты вулканогенно-осадочного комплекса разреза р. Бол. Люлья по [3]; 7) андезиты и трахиандезибазальты гороблагодатского комплекса по [11]. Г – Маньинский и Польинский разрезы: 1) базальты; 2) долериты; 3) базальт N-MORB типа. Нормирование по хондриту [9]

руют особенности, присущие магматическим образованиям, продуцируемым в условиях островных дуг.

Вулканиты, слагающие Сертыньинский разрез, выделяются на петрохимических диаграммах отчетливым щелочным уклоном, группируясь в полях трахиандезитов и трахиандезибазальтов (рис. 7, А) и субщелочных серий (рис. 7, Б), имея при этом натриевый тип щелочности. Данное обстоятельство интерпретируется нами как проявление на этом участке кремне-натриевых наложенных процессов (альбитизация), что не противоречит петрографическим наблюдениям.

По характеру распределения редкоземельных элементов вулканиты Сертыньинского разреза сопоставимы с эффузивами, вскрытыми южнее в бассейне р. Бол. Люлья (отнесены в [3] к люльинской свите нижнего девона), отличаясь несколько меньшим суммарным содержанием РЗЭ (рис. 8, В). Аналогичным спектром РЗЭ обладают андезиты и трахиандезибазальты гороблагодатского комплекса Тагильской зоны Среднего Урала [11] позднего силура.

Микроэлементный состав вулканитов Сертыньинского разреза, нормированный по составу примитивной мантии (рис. 10, В), демонстрируют особенности, присущие магматическим образованиям, продуцируемым в условиях островных дуг.

Обсуждение результатов и выводы

Прежде всего, следует отметить, что приводимые минералогические и геохимические характеристики пород Щекуринского и Сертыньинско-Щекуринского массивов и вулканогенных разрезов по рекам Манья, Поля, Щекурья и Сертынья получены нами для описываемой территории впервые (приводимые в препринте В.В. Бочкарева геохимические данные далеко неполные).

По результатам работ можно сформулировать следующие обобщения.

1. В строении Щекуринского массива принимают участие два типа габброидов, их существование подтверждено всеми данными: полевыми наблюдениями и аналитическими исследованиями. Прежде всего, это интрузивный контакт, задокументированный в береговых обнажениях р. Сертынья.

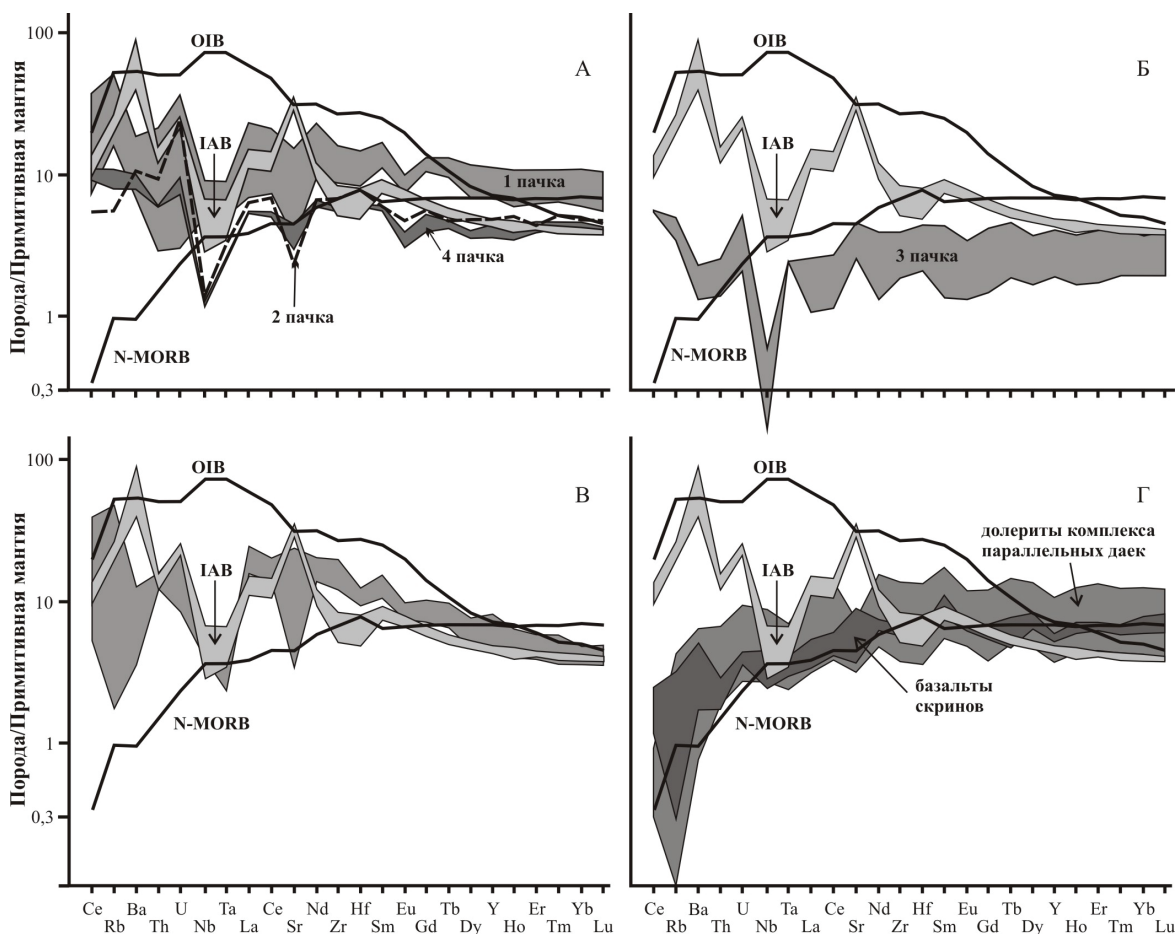


Рис. 9. Микроэлементный состав вулканогенных пород, нормированный по составу примитивной мантии [10]: А – Щекуринский разрез, первая, вторая и четвертая пачки; Б – Щекуринский разрез, третья пачка; В – Сертыньинский разрез; Г – Маньинский и Польинский разрезы. OIB – базальты океанических островов; IAB – островодужные базальты; N-MORB – базальты срединно-океанических хребтов N-типа

Присутствие двух типов габбро в строении Хорасюрского массива, восточные из которых имеют возможную офиолитовую природу, обсуждалось еще в 80-х гг. XX в. [13–15]. На карте, охватывающей северное окончание Щекуринского массива (ГДП-50, Н.А. Петенин, 1994), в его восточной части отмечена полоса распространения офиолитовых габбро с возрастом поздний силур – ранний девон, что моложе габброидов западной части массива, возраст которых указан раннесилурийским. На карте Западной площади, составленной по результатам геологоразведочных работ, проведенных ОАО «УГСЭ» в 2006–2009 гг. (С.Ю. Батурин, 2009), отмечены также два типа габброидов: слагающие западную часть Хорасюрского массива отнесены к раннесилурийскому тагилыктыльскому комплексу, восточные – к позднесилурийскому северорудничному комплексу. К сожалению, обоснование данной точки зрения автором отчета не приводится.

2. В сопоставлении с ранее изученной территорией Хорасюрского массива и обрамляющими его с востока структурно-вещественными комплек-

сами, а также магматитами восточного склона Среднего и Северного Урала по петрогеохимическим характеристикам рассматриваемые нами магматические образования обнаруживают следующие соответствия:

- а) полосчатые амфиболовые габброиды Щекуринского массива идентичны габброноритам Хорасюрского массива (рис. 5; 6, А), рассматриваемым в рамках тагилыктыльского комплекса [3], и сопоставимы с габброидами петротипического Тагильского массива [6];
- б) массивные пироксен-амфиболовые габброиды Щекуринского массива и пироксен-амфиболовые диориты Сертыньинско-Щекуринского массива обнаруживают полное геохимическое сходство и общие закономерности изменения петрохимических характеристик, что позволяет их считать единой генетической ассоциацией в рамках становления многофазного интрузивного комплекса. В целом они идентичны диоритам Хорасюрской площади, рассматриваемым в

- рамках верхнетагильского комплекса [3]. Следует отметить, что в соответствии с [12] верхнетагильский комплекс для данного района соответствует северорудничному интрузивному комплексу;
- в) аналоги пород, вскрытых в Маньинском и Польинском разрезах, на восточном склоне Приполярного Урала к настоящему времени не установлены. По петрогеохимическим характеристикам и структурно-геологической позиции наиболее близким им аналогом является комплекс параллельных долеритовых даек Тагило-Магнитогорской зоны Среднего Урала, описанный в ряде публикаций [16–18]. Породно-структурные ассоциации, представленные в этих разрезах, имеют петрогеохимические особенности, характерные для задугово-спрединговых офиолитовых комплексов;
- г) в силу слабой геохимической изученности пород восточного склона Приполярного Урала точными методами не установлены и геохимические аналоги вулканитов Щекуринского разреза. Тем не менее, следует отметить, что микроэлементный состав эффузивов весьма близок микроэлементному составу пород северорудничного комплекса: особенно четко эта близость наблюдается для диоритов второй фазы и вулканитов второй и верхней пачек. Этот факт, по нашему мнению, свидетельствует в пользу возможного генетического родства вулканогенных пород разреза и интрузивных образований. С другой стороны, геохимические особенности вулканитов Щекуринского разреза сопоставимы с гороблагодатским вулканогенным комплексом Тагильской зоны Среднего Урала [11] верхнеименовского стратиграфического уровня позднего силура [12]. Следует отметить, что эволюция вулканической активности при формировании эффузивов Щекуринского разреза выражается в постепенном раскислении продуктов вулканизма, но при этом имело место излияние более глу-

- бинных выплавов (третья пачка Щекуринского разреза), интенсивность эксплозивной составляющей вулканизма в целом низкая;
- д) вулканиты Сертыньинского разреза являются единственными эффузивами, для которых известны «местные» геохимические аналоги: они сопоставимы с породами, вскрытыми южнее в бассейне р. Бол. Люля (отнесены в [3] к люльинской свите нижнего девона), отличаясь несколько меньшим суммарным содержанием РЗЭ (рис. 9, В). Аналогичным спектром РЗЭ обладают андезиты и трахиандезибазалты гороблагодатского комплекса Тагильской зоны Среднего Урала [11] позднего силура.
3. На основании наблюдений в естественных и искусственных обнажениях мы имеем следующие взаимоотношения:
- а) полосчатые габбро прорываются массивными габбро (р. Сертынья, данные исследований автора);
- б) диориты прорывают все типы габброидов (по результатам ГС-50 (Б.Ф. Костюк, 1967) и ГДП-50 (М.М. Павлов, 1990));
- в) массивные габбро прорывают эффузивы (р. Щекурья) и комплекс параллельных даек (р. Манья, Польша) (по результатам ГС-50 (Б.Ф. Костюк, 1967), ГДП-50 (М.М. Павлов, 1990ф; Н.А. Петенин, 1994); данные исследований автора);
- г) взаимоотношения вулканитов, слагающих Маньинско-Польинский, Щекуринский и Сертыньинский разрезы, не установлены;
- д) взаимоотношения между полосчатыми габбро и вулканитами не установлены – как правило, они тектонические или их тела пространственно разобщены.
- Таким образом, получаем следующую предполагаемую последовательность геологических событий: полосчатые габбро → вулканиты → массивное габбро → диориты.

Работы выполнены в НОЦ «Поиск» в рамках государственных работ в сфере научной деятельности (задание № 2014/505).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин К.Ю. Петрохимическая типизация силурийских магматитов междуречья Турупья–Щекурья // Литосфера. – 2011. – № 2. – С. 84–93.
2. Полевые геологические и научно-исследовательские практики: вклад в изучение геологического строения восточного склона Приполярного Урала / К.Ю. Кудрин, М.М. Шагеев, И.П. Сабия и др. // Полевые практики в системе высшего профессионального образования: Матер. Междунар. конф. – Симферополь: ДИАИПИ, 2012. – С. 178–180.
3. Шмелев В.Р. Магматические комплексы зоны Главного Уральского разлома (Приполярный сектор) в свете новых геохимических данных // Литосфера. – 2005. – № 2. – С. 41–59.
4. Цымбалюк А.В., Мезенцев М.П. Геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Северо-Уральская. Лист Q-41-XXXI. – М.: Тюменское территориальное геологическое управление, 1975. – 91 с.
5. Бочкарев В.В. Магматические формации северной части Приполярного Урала. Препринт. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – 67 с.
6. Каретин Ю.С., Иванов К.С. Новые данные о РЗЭ в вулканических формациях района Уральской сверхглубокой скважины СГ-4 // Ежегодник-2000. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – С. 140–143.
7. Петрографический кодекс. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования / В.В. Жданов, А.Е. Костин, Е.А. Кухаренко и др. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. – 200 с.
8. Бородин Л.С. Эталонные петрохимические тренды и оценка состава верхней континентальной коры // Геохимия. – 1996. – № 1. – С. 3–14.
9. Evensen N.M., Hamilton P.J., O’Nions R.K. Rare earth abundances in chondritic meteorites // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1978. – V. 42. – P. 1199–1212.

10. McDonough W.F., Sun S.S. The composition of the Earth // *Chem. Geol.* – 1995. – V. 120. – P. 223–253.
11. Позднеордовикско-силурийские вулканические комплексы Тагильской зоны (восточный склон Среднего Урала): вещественный состав, возраст, уточненная схема расчленения / Л.И. Десятниченко, И.Ф. Фадеичева, В.Н. Смирнов, Т.Ю. Медведева, Г.Н. Бороздина // *Литосфера.* – 2005. – № 2. – С. 68–96.
12. Основные черты геологического строения и минерально-сырьевой потенциал Северного, Приполярного и Полярного Урала / А.Н. Мельгунов, В.П. Водолазская, А.В. Жданов и др. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. – 273 с.
13. Петров Г.А. Условия формирования комплексов зоны Главного Уральского разлома на Северном Урале. – Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного горного университета, 2007. – 181 с.
14. Пучков В.Н. Важнейшие закономерности и индивидуальные черты геологической эволюции Урала и сопредельных территорий // *Литосфера.* – 2001. – № 1. – С. 15–31.
15. Семенов И.В. Палеоокеанический спрединговый вулканизм Урала и реконструкция параметров Уральского палеозойского океана. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. – 362 с.
16. Иванов К.С., Берзин С.В. Первые данные о U-Pb возрасте цирконов из реликтовой зоны задугового спрединга горы Азов (Средний Урал) // *Литосфера.* – 2013. – № 2. – С. 92–104.
17. Иванов К.С., Берзин С.В., Ерохин Ю.В. Первые данные об U-Pb возрасте цирконов из реликтовых зон спрединга на Среднем Урале // *Доклады АН.* – 2012. – Т. 443. – № 1. – С. 78–83.
18. Офиолитовые комплексы Среднего Урала / К.С. Иванов, С.В. Берзин, Ю.В. Ерохин, В.Н. Смирнов // *Геодинамика, рудные месторождения и глубинное строение литосферы: Путеводитель геологической экскурсии Всеросс. научной конф. с междунар. участием (XV Чтения памяти академика А.Н. Заварицкого).* – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012. – 39 с.

Поступила 18.03.2014 г.

UDC 552.11 (470.5)

GEOCHEMICAL CLASSIFICATION OF MAGMATIC FORMATIONS OF THE PREPOLAR URALS EASTERN SLOPE IN SERTYNIA–MANYA INTERFLUVE

Konstantin Yu. Kudrin,

Cand. Sc., Yugra State University, 16, Chekhova street, Khanty-Mansiysk,
Russia, 628011. E-mail: kudringeo@inbox.ru

The urgency of work is caused by insufficient level of knowledge of the area, the imperfection magmatism schemes both intrusive and effusive.

The main aim of the study: the refinement of the territory magmatism schemes on the basis of geological observations complex and the results of the analytical research.

The methods used in the study: analysis of the carried out works (geological survey and thematic); field work (documentation, testing); analytical research: petrographic, X-ray fluorescence (IGM SB RAS, the device ARα9900XP, analyst is N.M. Glukhova), X-ray (IGG, UrB RAS, the device CPM-18, analysts are N.P. Gorbunov and L.A. Tatarinova), ICP-MS (IGM SB RAS, the device Finnegan Element I, analyst is N.P. Nikolaeva; IGG, UrB RAS, the device ELAN-9000, analysts are N.N. Adamovich and D.V. Kiseleva).

The results: The paper introduces the results of the research of magmatites in paleoarc sector of the Prepolar Urals Eastern slope, dissected by the rivers Shchekurya, Sertynya, Polya and Manya valleys from the Main Ural deep fault zone to the Western border of the development of West Siberian plate cover sedimentary complexes. New data allowed the author to understand the presence of two types of gabbroids in Shchekurinsky massif structure and to compare them with tagiloktylmsky and severorudnichy complexes; to classify diorites of Sertyninsk–Shchekurinsky massif to the second phase of north-mine complex; to assume the back-arc-spreading nature of parallel dikes complex of Maninsky and Polinsky sections; to compare volcanogenic sections of the rivers Shchekurya and Sertynya with goroblagodatsky and lyulinsky complexes respectively.

Key words:

Prepolar Urals, paleoarc sector, magmatism, petrochemistry, geochemistry.

REFERENCES

1. Kudrin K.Yu. Petrokhimicheskaya tipizatsiya siluriyskikh magmatitov mezhdurechya Turupya–Shchekurya [A petrochemical typification of Silurian magmatic rocks in interstream area of Turupya and Shekurya rivers (Prepolar Urals)]. *Litosfera – Lithosphere*, 2011, no. 2, pp. 84–93.
2. Kudrin K.Yu., Shageev M.M., Sabia I.P. Polevye geologicheskie i nauchno-issledovatel'skie praktiki: vklad v izuchenie geologicheskogo stroeniya vostochnogo sklona Pripolyarnogo Urala [Field geological and research practices: the contribution to studying of geology of the east slope of Subpolar Urals]. *Polevye praktiki v sisteme vysshego professional'nogo obrazovaniya: Materialy mezhdunarodnoy konferentsii* [Proc. Int. Conf. Field practice in the system of higher professional education]. Simferopol, DIAYPI Publ., 2012. pp. 178–180.
3. Shmelev V.R. Magmaticheskie komplekсы zony Glavnogo Ural'skogo razloma (Pripolyarnyy sektor) v svete novykh geokhimicheskikh dannykh [Magmatic complexes of the Main Urals Fault zone (Prepolar sector) in light of new geochemical data]. *Litosfera – Lithosphere*, 2005, no. 2, pp. 41–59.
4. Tsymbalyuk A.V., Mezenthev M.P. *Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200000. Seriya Severo-Uralskaya. List Q-41-XXXI* [Geological map of the USSR with the scale 1:200000. North-Ural Series. Sheet Q-41-XXXI]. Moscow, Tyumen territorial geological Departmen, 1975. 91 p.

5. Bochkarev V.V. *Magmatic formations of the Northern Subpolar Urals* [Magmatic formations of the Northern Subpolar Urals]. Preprint. Sverdlovsk, UB USSR, 1990. 67 p.
6. Karetin Yu.S., Ivanov K.S. Novye dannye o RZE v vulkanicheskikh formatsiyakh rayona Uralskoy sverkhglubokoy skvazhiny SG-4 [New data on REE in the volcanic formations district of the Ural super-deep wells SG-4]. *Ezhegodnik-2000*. Ekaterinburg, UB RAS, 2001. pp. 140–143.
7. Zhdanov V.V., Kostin A.E., Kukhareno E.A. *Petrograficheskiy kodeks. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya* [Petrographic code. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact rocks]. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2009. 200 p.
8. Borodin L.S. Etalonnnye petrokhimicheskie trendy i otsenka sostava verkhney kontinentalnoy kory [Evolutionary petrochemical trends and estimation of the composition of the upper continental crust]. *Geokhimiya – Geochemistry International*, 1996, no. 1, pp. 3–14.
9. Evensen N.M., Hamilton P.J., O’Nions R.K. Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 1978, vol. 42, pp. 1199–1212.
10. McDonough W.F., Sun S.S. The composition of the Earth. *Chem. Geol.*, 1995, vol. 120, pp. 223–253.
11. Desyatnichenko L.I., Fadeicheva I.F., Smirnov V.N., Medvedeva T.Yu., Borzdina G.N. Pozdneordoviksko-siluriyskie vulkanicheskie komplekсы Tagil'skoy zony (vostochnyy sklon Srednego Urala): veshchestvennyy sostav, vozrast, utochennaya schema raschleneniya [Late ordovician-silurian volcanic rocks association of Tagil zone (eastern slope of Middle Urals): composition of rocks, age, amplified scheme of division]. *Litosfera – Lithosphere*, 2005, no. 2, pp. 68–96.
12. Melgunov A.N., Vodolazskaya V.P., Zhdanov A.V. *Osnovnye cherty geologicheskogo stroeniya i mineralno-syrevoy potentsial Severnogo, Pripolyarnogo i Polyarnogo Urala* [The main features of geological structure and mineral and raw material potential of the Northern, Prepolar and Polar Urals]. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2010. 273 p.
13. Petrov G.A. *Usloviya formirovaniya kompleksov zony Glavnogo Uralskogo razloma na Severnom Urale* [Conditions for complex formation in the Main Urals fault zone in the Northern Urals]. Ekaterinburg, Ural state mining University Publ., 2007. 181 p.
14. Puchkov V.N. Vazhneyshie zakonomernosti i individualnye cherty geologicheskoy evolyutsii Urala i sopredelnykh territoriy [The main regularities and individual features of geological evolution of the Urals and adjacent regions]. *Litosfera – Lithosphere*, 2001, no. 1, pp. 15–31.
15. Semenov I.V. *Paleookeanicheskiy spredingovyy vulkanizm Urala i rekonstruktsiya parametrov Uralskogo paleozoyskogo okeana* [Paleoceanic spreading volcanism of the Urals and reconstruction of the parameters of the Ural Paleozoic ocean]. Ekaterinburg, IGG UB RAS, 2000. 362 p.
16. Ivanov K.S., Berzin S.V. Pervye dannye o U-Pb vozraste tsirkonov iz reliktovoy zony zadugovogo spredinga gory Azov (Sredniy Ural) [The first data on U-Pb age of zircons from dolerites of the relic zone in Azov Mountain back-arc spreading (Middle Urals)]. *Litosfera – Lithosphere*, 2013, no. 2, pp. 92–104.
17. Ivanov K.S., Berzin S.V., Erokhin Yu.V. Pervye dannye ob U-Pb vozraste tsirkonov iz reliktovykh zon spredinga na Srednem Urale) [The first data about U-Pb age of zircons from relic spreading zones in the Middle Urals]. *Doklady Akademii Nauk*, 2012, vol. 443, no. 1, pp. 78–83.
18. Ivanov K.S., Berzin S.V., Erokhin Yu.V., Smirnov V.N. Ofiolitovyye komplekсы Srednego Urala [Ophiolite complexes of the Middle Urals]. *Geodinamika, rudnye mestorozhdeniya i glubinnoe stroenie litosfery: Putevoditel geologicheskoy ekskursii Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (XV Chetniya pamyati akademika A.N. Zavaritskogo)* [Geodynamics, ore deposits and deep structure of the lithosphere: Guide geological excursions of All-Russian scientific Conf. with the Int. participation (XV Readings in memory of academician A.N. Zavaritsky)]. Ekaterinburg, UB RAS, 2012. 39 p.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГОЛОЦЕНОВОГО РАЗРЕЗА САПРОПЕЛЯ ОЗЕРА МИНЗЕЛИНСКОЕ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

Мальцев Антон Евгеньевич,

аспирант, мл. науч. сотр. Института геологии и минералогии
им. В.С. Соболева СО РАН, Россия, 630090, г. Новосибирск,
пр. ак. Коптюга, 3. E-mail: maltsev@igm.nsc.ru

Леонова Галина Александровна,

д-р геол.-минерал. наук, ведущ. науч. сотр. Института геологии
и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Россия, 630090, г. Новосибирск,
пр. ак. Коптюга, 3. E-mail: leonova@igm.nsc.ru

Бобров Владислав Андреевич,

канд. геол.-минерал. наук, ведущ. науч. сотр. Института геологии
и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Россия, 630090, г. Новосибирск,
пр. ак. Коптюга, 3. E-mail: bobr@igm.nsc.ru

Кривоногов Сергей Константинович,

д-р геол.-минерал. наук, ведущ. науч. сотр. Института геологии
и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Россия, 630090, г. Новосибирск,
пр. ак. Коптюга, 3. E-mail: s_krivanogov@mail.ru

Сапропель, озерный биогенный осадок, преимущественно состоит из остатков фотосинтезирующих водных растений и является важным хранилищем углерода. Поэтому исследование сапропелевых озер имеет не только теоретическое, но и прикладное (сельское хозяйство, химическая промышленность, медицина) значение.

Цель работы: изучить вещественный и химический состав пятиметрового керна оз. Минзелинское (Новосибирская область), полученного в центральной его части.

Методы исследования: атомно-абсорбционная спектрометрия, масс-спектрометрический метод с индуктивно связанной плазмой, рентгенофлуоресцентный анализ, элементный термический CHNS-анализ, посев и подсчет микроорганизмов, радиоуглеродное датирование, силикатный рентгенофлуоресцентный анализ, рентгеноструктурный (рентгенофазовый) анализ, метод высоко-разрешающей полупроводниковой гамма-спектрометрии с использованием HPGe детектора, потеря при прокаливании (зольность), растворение карбонатов, титриметрический, турбидиметрический и фотометрический методы.

Результаты: Установлено, что в течение последних 6000 лет (голоцен) в озере Минзелинское формировались органико-минеральные отложения, состоящие из двух слоев: макрофитогенный сапропель (0–290 см) и торфянистый сапропель (290–460 см). Озеро развивалось в два этапа: оно образовывалось как заболоченная низина и лишь позднее стало озером. Отношение органики к минеральной части составляет: 40 и 60 % в интервале 0–25 см, 30 и 70 % – в интервале 25–400 см и 20 и 80 % – в интервале 400–460 см, соответственно. За 6000 лет накоплено 13,8 г/см² углерода: в макрофитовом слое – 6,7 г/см², в торфянистом – 7,07 г/см², со средней годовой скоростью накопления углерода 23 мг/см². Неодинаковое обогащение горизонтов осадка химическими элементами отражает изменения типов растительности и проходящих в них биохимических реакций. Несмотря на различия слоев, их химический состав показывает пригодность сапропелей оз. Минзелинское для хозяйственного использования.

Ключевые слова:

Сапропель, макрофиты, торф, микроэлементы, органическое вещество.

Введение

Сапропелевые отложения привлекают внимание исследователей в связи с возможностями их использования в практических целях [1, 2] и из-за теоретического интереса к этим органогенным осадкам, давшим, по мнению ряда ученых, в далеком прошлом материал для образования углеродистых осадочных пород [3, 4].

Сапропели – это современные или субфоссильные, тонкоструктурные, коллоидальные отложения континентальных водоемов [5]. Они в основном состоят из мелкодисперсного органического вещества и небольшого количества слабо разложившихся остатков микроскопических водных

организмов, неорганических компонентов биогенного происхождения и терригенных минеральных примесей. Генетически близки к сапропелям торфа, но сапропели отличаются от торфов тонкой структурой. Существуют также биогенные отложения, переходные между торфами и сапропелями – торфянистые сапропели, характерные для неглубокой зарастающей макрофитами литорали озер и содержащие значительное количество остатков не вполне разложившейся растительности.

Накопление сапропелей является характерной чертой бессточных озер умеренного пояса [6, 7]. Физико-географические условия юга Западной Сибири также благоприятны для сапропелеобразования

ния: плоский слаборасчлененный рельеф, относительно теплый климат, избыток влаги и интенсивный поверхностный сток. Большинство сапропелевых озер юга Западной Сибири небольших размеров, мелководные, слабопроточные или непроточные. В 70–80-е гг. XX в. была проведена геологическая съемка и разведка запасов торфяных и сапропелевых месторождений Западной Сибири [8]. Органическое вещество оценивалось как сельскохозяйственное удобрение по агрохимическим параметрам. Вопросы формирования сапропелевых залежей, их геологической истории и элементный химический состав сапропелей не рассматривались. На сегодняшний день существуют немногочисленные публикации по исследованию сапропелей озер Западной Сибири, посвященные палеоклиматическим проблемам [9, 10], а также геохимии озерных сапропелей [11–13].

Целью данной работы явилось исследование геохимической характеристики пятиметрового керна сапропеля оз. Минзелинское.

Объекты и методы

Озеро Минзелинское расположено на террасе левого берега р. Оби (рис. 1) в северо-восточной части Кольванского района Новосибирской области. Длина озера 12 км, наибольшая ширина 2,2 км, средняя глубина менее 1 м (наибольшая 3,5 м), площадь озера 12,5 км², запасы сапропеля около 8159 тыс. т [8]. Питание озера осуществляется за

счет весенних паводков и атмосферных осадков. Притоков озеро не имеет, но из него вытекает река Крутишка, которая впадает в р. Обь. На водосборной площади распространены серые лесные почвы. Озеро расположено среди кедровых, сосновых, березовых лесов и обширных болот. Тип зарастания водоема смешанный – сочетание сплавин и обширных зарослей. Дно озера покрыто ковром макрофитов (в основном уруть), в прибрежной зоне обильны телорез алоэвидный, гидрилла мутовчатая и водокрас лягушачий, а вдоль берега – тростник, рогоз широколистный, различные виды осок.

В августе 2012 г. в озере пробурена скважина (координаты 55°53' с.ш., 83°23' в.д.) глубиной 5 м вибрационным методом поршневым пробоотборником. КERN диаметром 7,5 см непрерывный и имеет ненарушенную структуру. При отборе керна предварительно описывали и фотографировали, упаковывали в полиэтилен и пластиковые пеналы целиком, и в ненарушенном состоянии транспортировали. В лабораторных условиях выполняли детальное описание керна и послыный отбор проб с шагом 5 см на радиоуглеродное датирование и различные виды анализов.

В пятисантиметровых интервалах керна были определены: веса влажного и высушенного образца, и его зольность. Пробу сушили в течение суток при температуре ~80 °С. Озольность проводилось при температуре 450 °С в течение 5 часов. Для определения содержания карбонатов сухую пробу зали-

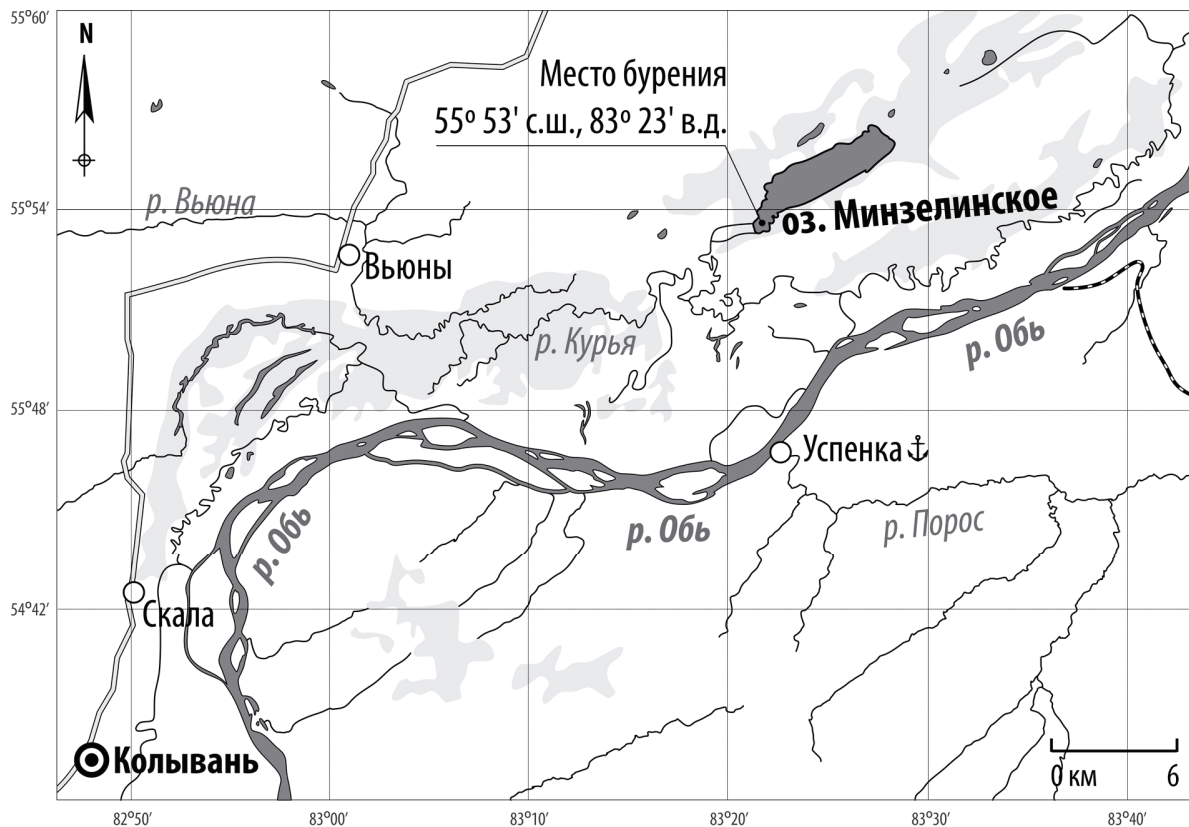


Рис. 1. Карта-схема расположения оз. Минзелинское и координаты точки бурения

вали 10 % HCl, оставляли на сутки, затем проба фильтровалась, и фильтрат высушивался. Далее, для удаления остатков HCl, пробу заливали дистиллированной водой, фильтровали, высушивали и взвешивали. По разности масс пробы до и после заливки кислотой определялось содержание карбонатов в пробе.

Отбор проб озерной воды для общего химического анализа проводили с глубины 1 м в пластиковую посуду объемом 1 л. В пробах на месте производили измерение pH, растворенного кислорода, температуры при помощи pH-анализатора АНИОН 4100.

Исследование макрокомпонентного состава воды выполнено в аккредитованной лаборатории контроля качества природных и сточных вод Федерального государственного учреждения «ВЕРХНЕОБЬРЕГИОНВОДХОЗ» (аналитик Т.М. Булычева).

Определения макро- (Na, Mg, Al, K, Ca, Fe) и микроэлементов (Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, As, Cd, Sb, Hg, Pb) проведено в образцах сухого сапропеля атомно-абсорбционным методом (ААС) в лаборатории геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии ИГМ СО РАН (аналитики В.Н. Ильина, Ж.О. Бадмаева, Н.В. Андросова). Элементный анализ органического вещества сапропеля выполнен на автоматическом CHNS-анализаторе в лаборатории микроанализа НИОХ СО РАН (аналитик В.Д. Тихова). Посев и подсчет микроорганизмов проводился под руководством д.б.н., профессора Л.М. Кондратьевой (Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск). Определены основные породообразующих оксидов выполнено рентгено-флуоресцентным анализом в лаборатории рентгеноспектральных методов анализа

ИГМ СО РАН (аналитик Н.Г. Карманова). Минеральный состав сапропеля исследован рентгеноструктурным анализом в лаборатории геологии кайнозоя, палеоклиматологии и минералогических индикаторов климата ИГМ СО РАН (аналитик Л.В. Мирошниченко). Возраст керна сапропеля определен методом радиоуглеродного датирования в радиоуглеродной лаборатории ЦКП СО РАН «Геохронология кайнозоя» (аналитик Л.А. Орлова). Радиоактивность верхних слоев керна сапропеля определена на низкофононом гамма-спектрометре с колодезным коаксиальным детектором HPGe, объемом 200 см³ с чувствительностью определения радионуклидов ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁸U, ¹³⁷Cs, ⁴⁰K на уровне 0,05 Бк (аналитик М.С. Мельгунов [14]).

Результаты исследований и обсуждение

Воды оз. Минзелинское являются гидрокарбонатными кальциевыми, слабощелочными (pH – 8,3), маломинерализованными (0,23 г/л). Концентрации основных анионов и катионов воды составляют: HCO₃⁻ – 158, Cl⁻ – 24,4, SO₄²⁻ – 2,3, Ca²⁺ – 20, Mg²⁺ – 8, Na⁺ – 12, K⁺ – 0,2 мг/л, содержание растворенного O₂ в воде – 4,3 мг/л.

Детальное изучение керна (рис. 2) показало неоднородность вещественного состава его стратиграфических горизонтов, обусловленное различными источниками органического вещества (ОВ). Верхний слой озерных отложений представлен макрофитогенным сапропелем с содержанием ОВ 20–44 %. Ниже залегает разложившийся торфянистый сапропель, содержание ОВ в котором изменяется от 24 до 32 %. Его подстилает слой торфа, переходящий снова в торфянистый сапропель с большим количеством раковин остракод и гастро-

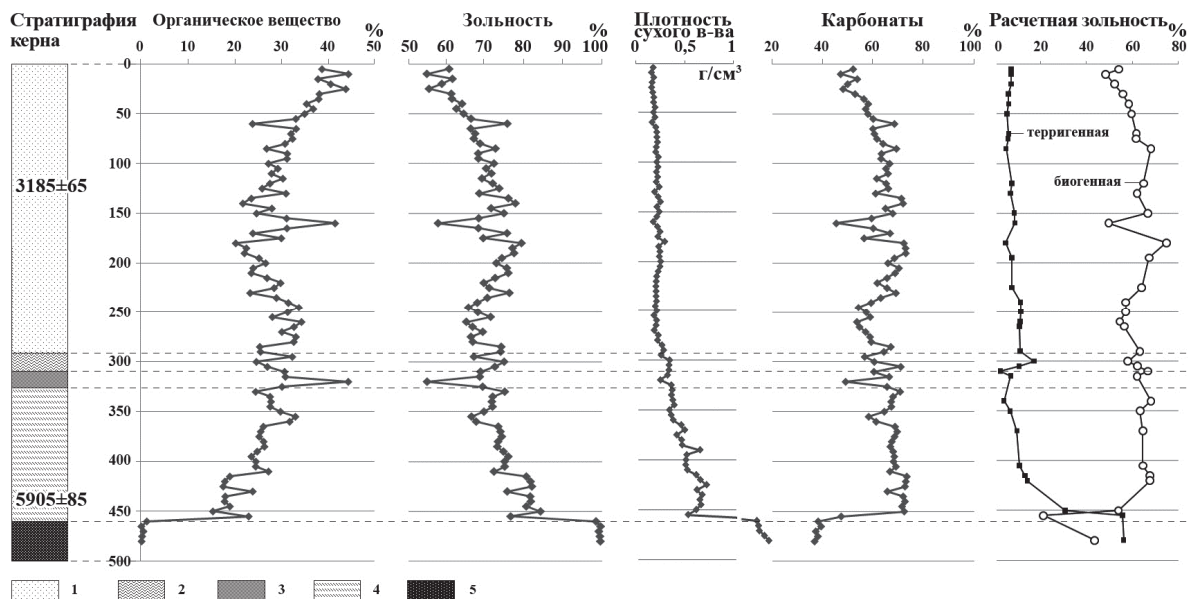


Рис. 2. Стратиграфия и основные компоненты донных отложений оз. Минзелинское: 1 – макрофитогенный сапропель (0–290 см); 2 – торфянистый сапропель (290–310 см); 3 – торф (310–320 см); 4 – торфянистый сапропель (320–460 см); 5 – песок (460–500 см)

под. Содержания ОВ в торфе и торфянистом сапропеле изменяются в интервалах 31–44 и 15–33 %, соответственно. Озерные отложения подстилаются песком.

По данным радиоуглеродного датирования длительность накопления сапропеля оценивается в 6000 лет.

Озерные отложения образовывались в разных условиях (снизу вверх): мелководного водоема типа заболоченного займища, низинного болота, прибрежной части мелкого озера и удаленной от берега части более глубокого озера. Их образование шло с участием разных источников биогенного вещества: болотных и прибрежноводных растений торфообразователей для трех нижних слоев, и водных макрофитов для верхнего слоя. Разные биологические типы сапропеля (макрофитогенного и торфянистого), очевидно, образовались при разных условиях обводненности озерной котловины, что, возможно, отражает изменения климатических условий.

В настоящее время в озере макрофитами продуцируется от 1500 до 1900 г/м² ОВ в год. Основной вклад в первичную продукцию ОВ вносят полупогруженные макрофиты – тростник, рогоз, от 1185 до 1280 г/м² в год. Значительный вклад в образование ОВ в водоеме вносит также гидрилла, хотя ее первичная продукция составляет 122 г/м² в год, площади, занимаемые ее сообществами, составляют 20 % от площади акватории озера. Вклад телореза и водокраса составляет до 512 г/м² ОВ в год [15]. На основании этих данных можно заключить, что ведущую роль в образовании сапропелей играют макрофиты.

Плотность сухого вещества сапропеля постепенно уменьшается снизу вверх, изменяясь от 0,5 до 0,15 г/см³ (рис. 2), что отражает естественное уплотнение осадка в нижних горизонтах. Об уменьшении содержания минеральной компоненты однозначно свидетельствует изменение зольности от 84 до 61 %. Содержание карбонатов высокое по всей толще озерных отложений и изменяется в пределах от 73 до 46 %.

На основе данных по содержанию Al, определенным методом атомной абсорбции, рассчитана терригенная зольность согласно выражению:

$$Z_{\text{тер.}} = (Al_{\text{обр.}} / Al_{\text{вкк}}) \times 100 \%, \quad (1)$$

где $Z_{\text{тер.}}$ – доля терригенного материала в отдельном пятисантиметровом образце керна; $Al_{\text{обр.}}$ – содержание алюминия в этом же образце; $Al_{\text{вкк}}$ – содержание алюминия в верхней континентальной коре [16].

Биогенная зольность рассчитана согласно выражению:

$$Z_{\text{био}} = Z_{\text{обр.}} - Z_{\text{тер.обр.}}, \quad (2)$$

где $Z_{\text{био}}$ – биогенная зольность; $Z_{\text{обр.}}$ – общая зольность; $Z_{\text{тер.обр.}}$ – зольность, полученная из выражения (1).

Результаты расчета приведены на рис. 2 (расчетная зольность).

Значения зольности 55–75 % сопоставимы со значениями карбонатной составляющей 50...65 % по данным рентгеноструктурного анализа. В зольном веществе сапропеля преобладающим минералом является кальцит ($CaCO_3$), на который приходится 80 % зольного вещества, на долю остальных минералов (арагонит, Mg-кальцит, кварц, плагиоклаз, гипс, хлорит) приходится 10–15 %. Рассчитанная согласно выражению (1) терригенная зольность составляет сверху до глубины 250 см 5–7 %, ниже – 11 %, в песчанистых горизонтах – до 60 %. В торфянистом сапропеле в интервале 300–305 см зафиксирован максимум терригенной зольности 17 %, а в торфе в интервале 310–315 см – минимум 2,5 %. Биогенная зольность, вычисленная по выражению (2), составляет 80–90 % общей зольности, что совпадает со значением зольности, соответствующей содержанию кальцита, который в значительном количестве фиксируют макрофиты: гидрилла и рдест (табл. 2).

Таким образом, по содержанию ОВ (среднее ~30 %) и величине зольности (среднее ~70 %) отложения оз. Минзелинское отнесены к органо-минеральным известковистым сапропелям согласно [5, 17].

Распределение основных биогенных элементов (С, Н, N) по разрезу сапропеля однородно. Средние их содержания в макрофитогенном сапропеле (С 39,9±2,3; Н 4,7±0,6 и N 2,7±0,4 %) близки к таковым в торфянистом сапропеле (С 38,5±2,0; Н 4,2±1,6 и N 2,5±1,0 %), что можно объяснить сходством источников формирования ОВ – водная и околородная растительность. Выявлены очень низкие содержания серы по всему разрезу – менее 0,2 % (на пределе обнаружения элементного анализа). Исключение составляет интервал керна 420–425 см, где содержание S составило 0,96 %.

Накопление в 4,6-метровом керне сапропеля, с основанием 1 см² и объемом 460 см³, углерода составило 13,8 г/см²: в макрофитовом слое – 6,7 г/см², в торфянистом – 7,1 г/см². Средняя скорость депонирования углерода за 6000 лет составила 23 мг/см² в год. Например, в 2012 г. первичная продукция углерода макрофитами, по данным [15], составила 88,7 мг/см².

Значения содержаний U по разрезу шестидесятисантиметровой колонки находятся на уровне 0,2 г/т, и лишь в слое 50–55 см его содержания повышаются до 0,37 г/т (табл. 1). Содержания ²²⁶Ra в этом же горизонте относительно повышены по сравнению с вышележащими горизонтами: 11 Бк/кг на фоне 3–4 Бк/кг, и, возможно, это повышение вызвано сдвигом радиоактивного равновесия по отношению ²³⁸U в сторону ²²⁶Ra. Не связанный с ²²⁶Ra в осадке атмосферный ²¹⁰Pb на горизонте 50–55 см фактически распадается полностью. Активность (Бк) подошвы слоев (объемом 192 см³ и сечение 38,4 см²) рассчитана на основе удельных активностей ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra Бк/кг в отдельных пятисантиметровых слоях. Эти значения являются опорными для подсчета возраста слоев $t(x)$ по выражению:

$$t(x) = -\lambda^{-1} \times \ln(\Sigma A_h / \Sigma A_i),$$

где λ – постоянная радиоактивного распада ^{210}Pb , равная $\ln 2/T$; T – период полураспада ^{210}Pb (22,6 года); ΣA_h – интегральная активность неравновесного (атмосферного) ^{210}Pb в разрезе, подстилающем датруемый слой; ΣA_i – интегральная активность неравновесного ^{210}Pb , суммированная по всей колонке (активность подошвы нулевого слоя) [14].

Возраст горизонта 45–50 см на основе расчетов соответствует календарному периоду 1862–1907 лет. В распределении ^{137}Cs по слоям колонки керна не образуется повышения в слоях, сформировавшихся в период ядерных испытаний, т. е. в слое 25–30 см (1954–1965 гг.). Около 50 % сохранившегося ^{137}Cs находится в верхнем слое 0–5 см, сформировавшемся за последние 13 лет. Трансформация ^{137}Cs в поверхностные горизонты органогенного осадка, сформировавшегося из макрофитов, является закономерным явлением для ^{137}Cs , который участвует в фотосинтезе, как и К, Mg, Rb и др. Скорость накопления сапропеля в XX в. составила 4 мм в год, а в предыдущие годы (5600 лет) – 0,7 мм в год.

На рис. 3 представлено распределение в слоях сапропеля и подстилающих песках трех групп элементов: 1) Al, K, Na, составляющих терригенную (обломочную) часть донного осадка; 2) Ca, Mg, Sr, входящих в состав карбонатов; 3) Zn, Cu, Hg, связанных с антропогенным воздействием.

Содержание элементов первой группы стабильно в сапропеле и существенно увеличивается в песках. Al составляет 0,5–0,8 % в макрофитогенном сапропеле, 1,3 % в торфянистом сапропеле и 4,3 % в песчанистом горизонте. Содержание K и Na в сапропеле 0,1–0,3 и 0,08–0,15 %, а в песке 1,5 и 1,6 % соответственно.

Во второй группе содержания Ca в сапропеле меняются от 15 до 24 % с экстремальным значением 38 % в горизонте 70–75 см. Содержания Mg и Sr плавно увеличиваются книзу от 0,45 до 1,2 % и от 0,07 до 0,14 %, соответственно. В песке содержания Ca, Mg и Sr снижаются до значений 1,6, 0,36 и 0,02 % соответственно.

Третья группа элементов показывает большую неоднородность в их распределении. Наиболее высокие содержания Zn (824 мг/кг) и Cu (204 мг/кг) отмечаются в приповерхностном слое сапропеля (0–10 см), уменьшаясь до 300 и 58 мг/кг на глубине 90 см. Ниже содержания этих элементов на порядок меньше, чем в слое 0–10 см. Исключение составляют интервалы 180–185 см для Zn с пиком в 354 мг/кг и 180–200 см для Cu, где наблюдается увеличение до 54,8–79 мг/кг. Концентрации Hg в интервале 0–125 см составляют 0,056–0,019 мг/кг, ниже концентрации падают до 0,001–0,005 мг/кг, а с уровня 260 см опять увеличиваются.

Принимая Al в качестве опорного элемента, содержание которого в верхней континентальной коре составляет 7,74 %, а Ca – 2,94 % по [16], оценен процентный вклад терригенного Ca в сапропель оз. Минзелинское согласно выражению:

$$Ca_{\text{терр.}} = (Al_{\text{образец}} / Al_{\text{з.к.}}) \cdot Ca_{\text{з.к.}}$$

где $Al_{\text{образец}}$ – содержание Al в отдельном горизонте сапропеля; $Al_{\text{з.к.}}$ – содержание Al в верхней континентальной коре; $Ca_{\text{з.к.}}$ – содержание Ca в верхней континентальной коре [16].

Средний вклад терригенного Ca в сапропеле составляет 1,2 % (рис. 3). Максимальный вклад 2,82 % обнаружен в торфянистом сапропеле (300–305 см), минимальный 0,35 % – в торфе (310–315 см). Низкий вклад терригенного кальция свидетельствует о том, что основная его часть переходила в сапропель из воды или освобождалась при разложении кальций-фиксирующих сапропелеобразующих растений. Таким образом, основная минеральная масса сапропеля представлена биогенным карбонатом. Усредненный состав всего слоя озерных отложений: 30 % – органика, 60 % – биогенный карбонат, 10 % – терригенная компонента.

Проведено сравнение усредненного элементного состава, макрофитов (гидриллы, телорез, водокрас) макрофитогенного сапропеля (две выборки: интервал 0–90 и 90–290 см), торфянистого сапропеля (290–460 см) и песчаного осадка (460–480 см) с

Таблица 1. Радиоактивность верхних (0–60 см) слоев сухого вещества сапропеля оз. Минзелинское ($^{210}\text{Pb}_{\text{атм.}}$ – атмосферный свинец)

Горизонт, см	Радиоактивность						Активность			Коммул. нак. $^{210}\text{Pb}_{\text{атм.}}$, Бк	Календарный возраст	Накопление, г/см ² год
	U, ppm	Th, ppm	K ₂ O, %	²²⁶ Ra, Бк/кг	²¹⁰ Pb, Бк/кг	¹³⁷ Cs, Бк/кг	²¹⁰ Pb, Бк	²²⁶ Ra, Бк	²¹⁰ Pb _{атм.} , Бк			
0–5	0,20	3,14	0,26	3,3	168,9	57,6	4,9	0,09	4,81	4,81	2013–2000	0,058
5–10	0,13	2,84	0,08	3,0	89,5	20,3	2,22	0,08	2,15	6,96	2000–1993	0,093
10–15	0,21	2,36	0,20	2,8	78,5	19,8	2,17	0,09	2,08	9,04	1993–1983	0,076
15–20	0,25	1,78	0,19	2,8	54,1	19,2	1,46	0,08	1,38	10,42	1983–1975	0,088
20–25	0,25	1,50	0,19	3,0	45,0	16,0	1,30	0,09	1,21	11,63	1975–1965	0,063
25–30	0,24	1,25	0,18	4,1	39,2	13,8	1,13	0,12	1,01	12,64	1965–1954	0,069
30–35	0,22	1,45	0,17	3,7	31,0	10,0	0,90	0,09	0,81	13,45	1954–1940	0,058
35–40	0,20	1,69	0,15	3,4	22,9	7,6	0,66	0,09	0,57	14,02	1940–1926	0,076
40–45	0,21	1,60	0,17	4,0	20,4	6,0	0,60	0,12	0,48	14,50	1926–1907	0,045
45–50	0,22	1,69	0,17	4,7	19,8	4,5	0,58	0,15	0,44	14,93	1907–1862	0,017
50–55	0,37	1,54	0,21	11,0	16,4	5,8	0,50	0,35	0,15	15,08	–	–
55–60	0,23	2,91	0,09	6,7	6,0	<2	0,16	0,19	–0,03	15,05	–	–

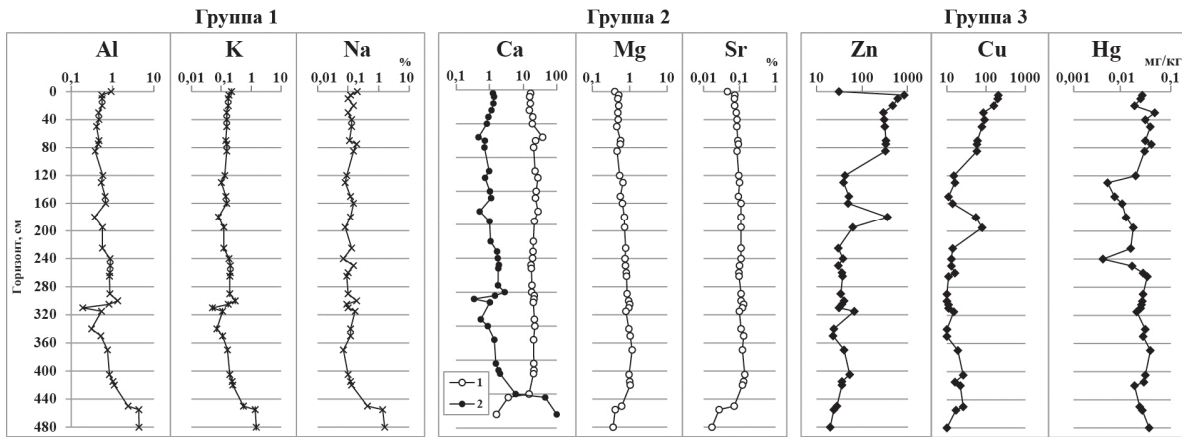


Рис. 3. Изменения концентраций основных элементов в сапропеле оз. Минзелинское по группам 1–3 (объяснения в тексте). Для Ca показаны биогенная (1) и терригенная (2) концентрации

кларковыми концентрациями элементов в верхней континентальной коре [16] с предварительным нормированием по алюминию, как наименее подвижному элементу в системе «озерная вода – осадок», согласно выражению [18]:

$$EF = (x_i / x_{Al})_{\text{образец}} / (x_i / x_{Al})_{\text{вкк}}$$

где $x_{i\text{образец}}$ – содержание i -го химического элемента в объекте исследования; x_{Al} – содержание алюминия в объекте исследования; $x_{i\text{вкк}}$ – содержание химического элемента в верхней континентальной коре; $x_{Al\text{вкк}}$ – содержание алюминия в верхней континентальной коре.

Органогенные слои существенно обогащены микроэлементами по сравнению с песками (рис. 4), коэффициенты обогащения (EF) которых близки к единице, за исключением Na, Ca и Sb. Обогащенность сурьмой органогенных слоев на 1 порядок выше, чем песков. Обогащение медью и цинком слоев 2 и 3 примерно одинаково и находится на уровне EF 7–65. Верхний слой 0–95 см имеет очень высокие EF для меди (35), цинка (65)

и кадмия (9,5). Для слоев 1–3 отмечаются высокие коэффициенты обогащения кальцием (EF 174–203). Слой торфянистого сапропеля (3) имеет более высокие EF для магния, марганца, мышьяка, стронция по сравнению с макрофитогенным сапропелем (1, 2). Обогащенность медью и цинком верхних горизонтов слоя 1, по всей вероятности, связано с загрязненностью атмосферы, которая резко возросла в последние два столетия, что иллюстрируется графиками содержания меди и цинка в верхних слоях сапропеля (рис. 3). В интервале 0–10 см содержание Zn 824 и Cu 204 мг/кг. Геохимическая специфика органогенных сапропелей выражается в аккумуляции подвижных элементов – Mg, Fe, V, Co, Ni, Cu, Zn. Обогащенность мышьяком озерных отложений, возрастающая сверху вниз от EF 17 до EF 38, мы связываем с поступлением мышьяка в озерную воду из окружающих болот. Также обогащение сапропеля элементами может быть связано с растениями сапропелеобразователями, которые, отмирая, обра-

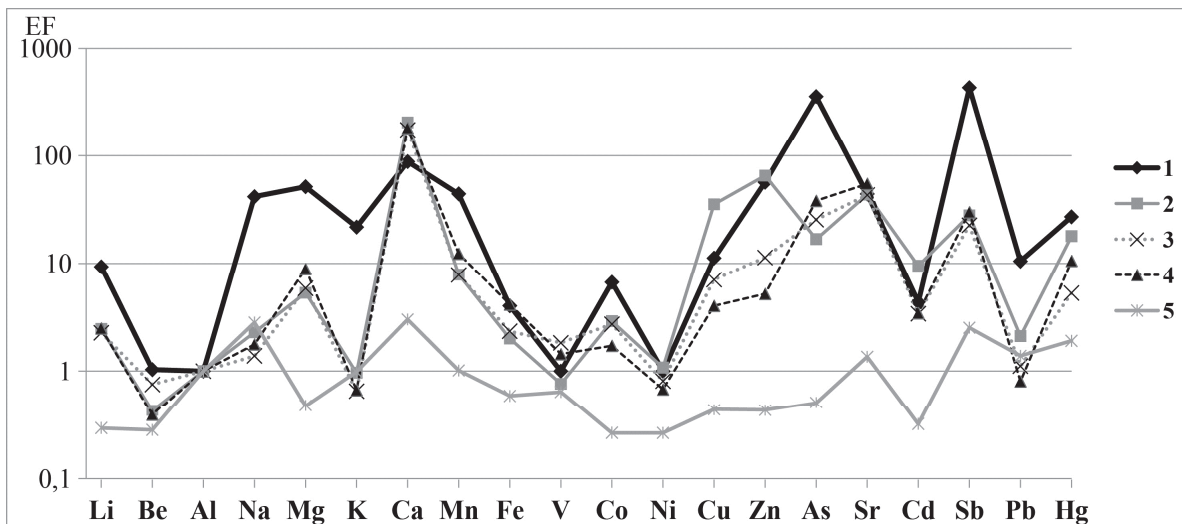


Рис. 4. Коэффициенты обогащения (EF) химическими элементами: 1 – макрофитов (гидриллы, телорез, водокрас); 2 (0–90 см) и 3 (90–290 см) – макрофитогенного; 4 – торфянистого сапропеля (290–460 см); 5 – песчаного горизонта (460–480 см) оз. Минзелинское. Нормирование проведено по Al и кларкам верхней континентальной коры [16]

зуют органогенный осадок, обогащая его элементами, накопленными при жизни.

Аккумулятивные растения Na и K (EF ~41-22) не обогащают осадок. Обогащенность осадка такими элементами, как Cu, Zn, Ca, выдерживается на одном уровне с макрофитами. Более высокие значения коэффициентов обогащения As, Sb и Hg у макрофитов отражают загрязненность атмосферы (близость крупного поселка Колывань и Обского пароходства).

В химическом составе сапропеля (табл. 2) преобладает оксид кальция (CaO). Его содержание варьирует от 18 до 40 % в органогенной части осадка (интервал 0–455 см). Содержание оксида кремния (терригенная компонента) в органогенной части значительно ниже, от 4 до 11,5 %, и увеличивается с глубиной. Стоит отметить увеличение оксида железа в интервале керна 420–450 см до 4 %. В этом интервале по результатам рентгенофазового анализа отмечается наличие пирита.

Таблица 2. Породообразующие оксиды в отложениях и растениях оз. Минзелинское (все данные приведены в % сухой массы, для растений – в % в золе)

Горизонт, см	ППП	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃
Растения											
Гидрилла	32,3	7,5	1,2	3,8	3,0	32,2	6,1	4,7	3,4	1,3	6,1
Рдест	37,3	3,3	0,19	0,58	11,6	37,4	1,9	0,8	3,7	1,8	17,6
Телорез	24,1	4,9	0,27	0,44	16,2	17,1	10,2	18,6	2,9	1,6	18,6
Осадок											
0–2	67,9	9,1	1,7	1,2	0,7	17,9	0,2	0,3	0,3	0,3	5,4
15–20	63,5	5,1	1,0	1,1	0,9	27,3	0,2	0,2	0,2	0,3	5,1
55–60	60,1	3,9	0,8	0,8	1,0	32,4	0,2	0,1	0,3	0,3	4,6
80–85	58,5	3,3	0,7	0,8	1,1	34,9	0,2	0,1	0,2	0,3	4,4
135–140	53,1	3,6	0,8	1,1	1,2	39,6	0,1	0,1	0,2	0,2	4,4
155–160	61,7	5,3	1,2	1,4	0,9	28,2	0,2	0,2	0,2	0,3	4,3
215–220	56,2	4,6	1,1	1,5	1,5	34,1	0,2	0,1	0,2	0,3	4,3
255–260	56,3	8,7	1,0	1,8	1,5	28,2	0,3	0,3	0,2	0,4	4,9
290–295	54,6	7,5	1,6	1,7	1,7	31,4	0,3	0,2	0,2	0,3	4,9
300–305	50,6	11,6	2,3	2,0	1,8	29,4	0,4	0,3	0,3	0,3	5,0
305–310	55,4	5,7	1,2	1,5	1,9	32,7	0,3	0,2	0,2	0,4	4,8
315–320	63,6	3,7	0,9	1,8	1,6	27,1	0,2	0,1	0,2	0,5	4,1
350–355	59,3	3,6	0,9	1,8	2,1	31,0	0,2	0,1	0,2	0,6	4,1
415–420	43,8	7,5	1,6	4,0	1,9	33,6	0,4	0,2	0,2	5,7	4,6
450–455	35,0	25,7	3,6	3,6	1,2	23,4	0,8	0,7	0,2	5,1	7,1
455–460	9,2	67,8	7,2	2,4	0,9	7,4	1,7	1,6	0,1	1,4	9,4
475–480	1,7	82,1	7,6	1,9	0,6	2,3	1,9	1,9	0,1	0,4	10,8

Содержание SiO₂ между отдельными пятисантиметровыми слоями меняется в 3 раза (табл. 2). Отношение SiO₂ к Al₂O₃ выдерживается на уровне 4,6±0,3, что близко к отношению этих оксидов в верхней части земной коры: SiO₂ – 65 %, Al₂O₃ – 15,1 %. На основании этого совпадения можно сделать вывод об источнике терригенного материала в сапропеле. Это эоловая транспортировка, происшедшая равномерно в течение всех 6000 лет формирования осадка. Натрий и калий поступали в озеро только из терригенного источника (табл. 3). Щелочноземельные кальций и магний, а также марганец и железо, поступали не только из

терригенного вещества, но и имели иной путь поступления в осадок: из воды через ассимиляцию водными растениями и освобождение при их разложении. Сера и фосфор имеют автохтонное происхождение – они накапливались при жизни растениями сапропелеобразователями, и при их отмирании поступали в осадок. Очень низка терригенная доля для CaO (около 1 %), что свидетельствует об автохтонной природе CaO [17].

Таблица 3. Биогенный и терригенный вклады оксидов в осадок (собственно сапропель, 0–420 см) оз. Минзелинское (%)

Среднее значение вкладов	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Σ
Суммарный	6,0	1,3	1,6	1,4	30,6	0,2	0,2	0,2	0,7	42,2
Терригенный	5,4	1,3	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,01	0,02	8
Биогенный	0,6	0	1,2	1,3	30,2	0	0	0,2	0,7	34,2
Отношение вкладов	0,1	0	3,4	6,7	88,7	0	0	16,7	36,3	4,3

Принимая Al₂O₃ в качестве основного окисла терригенного материала и используя соотношения в нем кальция и алюминия, сходные для верхней континентальной коры Al – 7,74, Ca – 2,94 % [16], получаем величину терригенного вклада CaO в сапропеле на уровне 0,21–0,65 %.

Минеральный состав сапропеля оз. Минзелинское по данным рентгенофазового анализа из отдельных интервалов керна показан на рис. 5. На рентгенограммах в интервале 55–60 см, как и во всем макрофитогенном сапропеле (0–290 см), хорошо выражена рентгеноаморфная фаза, основную долю которой составляет органическое вещество. Помимо рентгеноаморфного вещества хорошо диагностируются пики, соответствующие кальциту. Кварца и плагиоклаза крайне мало. Сходный минеральный состав наблюдается в торфянистом сапропеле (415–420 см). В нем много кальцита, в меньшей степени Mg-кальцита. Мало гипса, арагонита кварца, пирита. В песчаном слое (475–480 см) содержится много кварца, содержание плагиоклаза и калиевого полевого шпата (КПШ) среднее, хлорита и кальцита мало.

Кальций в сапропеле присутствует в виде кальцита, реже арагонита, и составляет основную массу (до 90 %) зольного вещества, полученного при температуре 450 °С, не более 10 % от которого составляет терригенная компонента (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, SO₃). Присутствие арагонита в некоторых горизонтах керна связано с наличием раковин гастропод, которые наблюдались в этих горизонтах при препарировании керна. Наличие пирита в нижних горизонтах керна указывает на деятельность сульфат-редуцирующих бактерий [19].

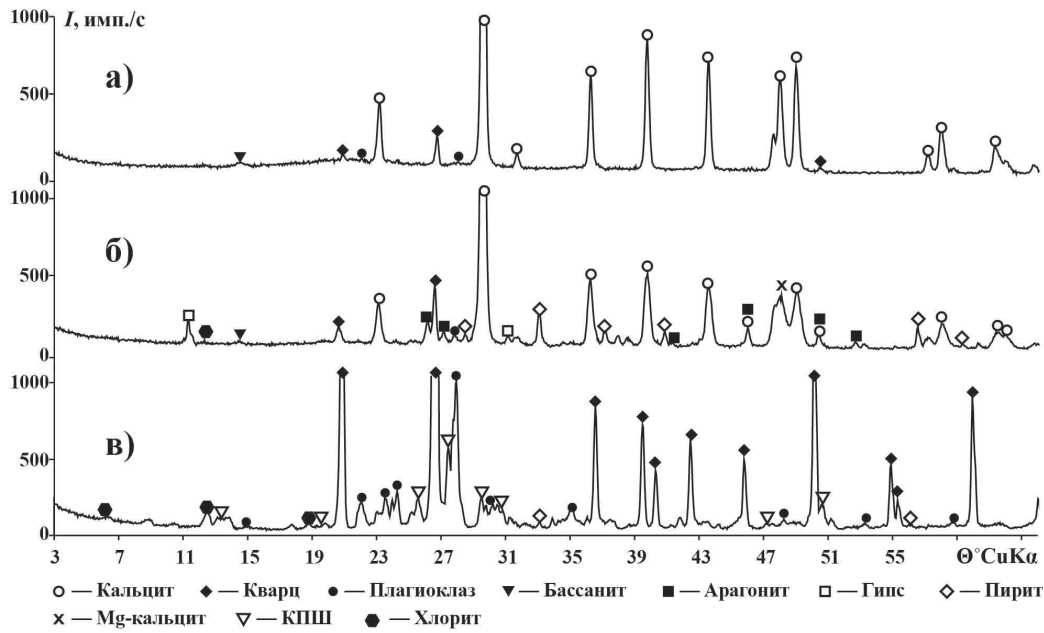


Рис. 5. Рентгенограммы для разных слоев отложений оз. Минзелинское: а) макрофитогенный сапропель (55–60 см); б) торфянистый сапропель (415–420 см); в) песчаный горизонт (475–480 см)

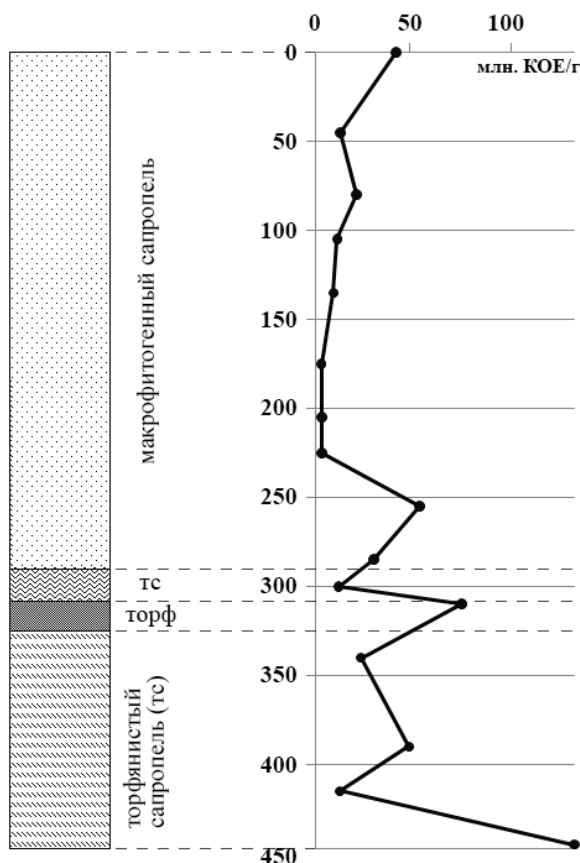


Рис. 6. Распределение и общая численность микроорганизмов в сапропеле оз. Минзелинское

Обычно в работах по геохимии озерных органических отложений редко приводятся данные по микроорганизмам, участвующим в диагенезе. Рассматривая сапропель озера Минзелинское как среду

обитания микроорганизмов, мы выявили различия в распределении группировок микроорганизмов в керне [20] (рис. 6). Максимум общей численности микроорганизмов – 130,1 млн КОЕ/г (величина, исчисляемая в миллионах колониеобразующих единиц на грамм) зафиксировано в торфянистом сапропеле (440–445 см). На этом же участке зольность минерального вещества (преимущественно кальцит) составила 80 %, а органики – 20 %. По всей вероятности, здесь происходит интенсивное разложение органики под влиянием бактерий и высвобождаются микроэлементы. Также пики концентраций микроорганизмов имеются в верхней (0–5 см) и нижней (255–260 см) частях макрофитогенного сапропеля и торфе, 40,6, 52,4 и 73,2 млн КОЕ/г соответственно. Минимум (3,3 млн КОЕ/г) отмечен в слое макрофитогенного сапропеля на участке 175–180 см. Минимумы и максимумы в численности микроорганизмов могут быть обусловлены различием абиотических условий на разных горизонтах, в том числе присутствием необходимых источников углерода и азота [20].

Заключение

Таким образом, оз. Минзелинское развивались в два этапа. Оно образовывалось как заболоченная низина и лишь позднее стало озером. На первом этапе основными источниками ОБ для формирования отложений были водные, прибрежно-водные и болотные макрофиты, давшие довольно грубое по степени разложения органическое вещество. На втором этапе источниками ОБ вещества были водные макрофиты, фито- и зоопланктон самого озера. На начальных стадиях формирования озера накапливался слой торфянистого сапропеля с раковинами гастропод и остракод. Он, по-видимому,

отражает кратковременную фазу мелководного эвтрофного водоема.

По данным распределения ^{210}Pb в керне, скорость накопления сапропеля в XX в. составила 4 мм в год, а в предыдущие годы (5600 лет) – 0,7 мм в год. За весь период (5700 лет) накопление в сапропеле углерода составило 13,8 г/см²: в макрофитовом слое – 6,7 г/см², в торфянистом – 7,1 г/см². Таким образом, скорость депонирования углерода в озере в голоцене (вторая половина) оценивается как 23 мг/см² в год.

Достаточно однородный вещественный состав и соотношение углерода с азотом выдерживается по всему разрезу сапропеля оз. Минзелинское, несмотря на то, что его нижняя часть образовывалась в болотных условиях (торфообразующая растительность), а верхняя – в озерных (водная макрофитная растительность). Заселенность сапропеля бактериальными сообществами, по-видимому, сказалась на содержании объемов органического веще-

ства от 40 до 20 %, при среднем 30 %. При этом минеральная зольность, соответственно, от 60 до 80 %, по составу является известковистой. Процент терригенного вклада в общую зольность относительно низкий от 5–7 % в верхних и до 10–15 % в нижних частях сапропеля.

Высокое содержание карбонатов является важной геохимической характеристикой сапропеля оз. Минзелинское.

Примененный комплекс аналитических методов позволил выявить обогащенность сапропеля химическими элементами по всему разрезу. Высокая степень обогащения микроэлементами позволяет рекомендовать сапропель озера в качестве удобрения для выращивания сельскохозяйственных культур на черноземных и серых лесных почвах Западной Сибири.

Работа выполнена при финансовой поддержке Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 125.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штин С.М. Озерные сапропели и их комплексное освоение. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 373 с.
2. Плаксин Г.В., Кривонос О.И. Термохимическая переработка озерных сапропелей: состав и свойства продуктов // Российский химический журнал. – 2007. – Т. LI. – № 4. – С. 140–147.
3. Залесский М.Д. О силурийской водоросли, образующей кукуерсит – горючий сланец // Журнал микробиологии. – 1916. – Т. III. – № 3–4. – С. 444–449.
4. О роли скелетного и бесскелетного биогенного материала в формировании органического вещества баженской свиты / Ю.Н. Занин, А.Г. Замирайлова, В.Р. Лившиц, В.Г. Эдер // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49. – № 4. – С. 357–366.
5. Кордэ Н.В. Биостратификация и типология русских сапропелей. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 219 с.
6. Особенности формирования вещественного состава сапропеля органического типа в озерах различных регионов Беларуси / Б.В. Курзо, О.М. Гайдукевич, И.В. Кляуззе, П.А. Зданович // Природопользование. – 2012. – Вып. 21. – С. 183–191.
7. Топачевский И.В. Сапропели пресноводных водоемов Украины // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2011. – № 1. – С. 66–72.
8. Алтухов В.М., Бгатов В.И., Ван А.В. Органо-минеральное сырье сельскохозяйственного назначения Новосибирской области. – Новосибирск: Изд-во СНИИГиМС, 1990. – 169 с.
9. Blyakharchuk T.A. Four new pollen sections tracing the Holocene vegetational development of the southern part of the West Siberian Lowland // The Holocene. – 2003. – V. 13. – № 5. – P. 715–731.
10. Regional to local environmental changes in southern Western Siberia: evidence from biotic records of mid to late Holocene sediments of Lake Beloye / S.K. Krivonogov, H. Takahara, M. Yamamoto, Yu.I. Preis, I.V. Khazina, L.B. Khazin, I.Yu. Safonova, N.V. Ignatova // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2012. – V. 331–332. – P. 177–193.
11. Биогенный вклад микроэлементов в органическое вещество современных озерных сапропелей (на примере оз. Кирек) / Г.А. Леонова, В.А. Бобров, Е.В. Лазарева, А.А. Богуш, С.К. Кривоногов // Литология и полезные ископаемые. – 2011. – № 2. – С. 115–131.
12. Исследование элементного состава образцов сапропеля озера Кирек (Западная Сибирь) методом РФА СИ / В.А. Бобров, М.А. Федорин, Г.А. Леонова, Ю.Н. Маркова, Л.А. Орлова, С.К. Кривоногов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2012. – № 5. – С. 90–96.
13. An abrupt ecosystem change in Lake Beloye, southern Western Siberia: palaeoclimate versus local environment / S.K. Krivonogov, M. Yamamoto, H. Takahara, A.Yu. Kazansky, M.A. Klimin, V.A. Bobrov, I.Yu. Safonova, M.A. Phedorin, S.B. Bortnikova // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2012. – V. 331–332. – P. 194–206.
14. Аномалии радиоактивности на южном побережье озера Иссык-Куль (Кыргызстан) / М.С. Мельгунов, В.М. Гавшин, Ф.В. Сухорук, И.А. Калугин, В.А. Бобров, Дж. Клеркс // Химия в интересах устойчивого развития. – 2003. – № 11. – С. 869–880.
15. Зарубина Е.Ю. Первичная продукция макрофитов трех разнотипных сапропелевых озер юга Западной Сибири (в пределах Новосибирской области) в 2012 году // Мир науки, культуры и образования. – 2013. – № 5 (42). – С. 441–444.
16. Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1995. – V. 59. – № 7. – P. 1217–1232.
17. Геохимия озерно-болотного литогенеза / К.И. Лукашев, В.А. Ковалев, А.Л. Жуховицкая, А.А. Хомич, В.А. Генералова. – Минск: Изд-во «Наука и техника», 1971. – 284 с.
18. Two thousand years of atmospheric arsenic, antimony and lead deposition in an ombrotrophic bog profile, Jura Mountains, Switzerland / W. Shotyk, A.K. Cheburkin, P.G. Appleby, A. Fankhauser, Ya.D. Kramers // Earth and Planetary Science Letter. – 1996. – V. 145. – P. 1–7.
19. Геохимия диагенеза осадков Тихого океана (трансокеанский профиль) / А.Г. Розанов, И.И. Волков, В.С. Соколов, З.В. Пушкина. – М.: Наука, 1980. – 288 с.
20. Геохимия голоценового разреза сапропеля озера Минзелинское / А.Е. Мальцев, Г.А. Леонова, Л.М. Кондратьева, В.А. Бобров, С.К. Кривоногов // Геология морей и океанов: Матер. XX Междунар. науч. конф. (школы) по морской геологии. – М.: ГЕОС, 2013. – Т. IV. – С. 102–106.

Поступила 14.03.2014 г.

GEOCHEMICAL FEATURES OF HOLOCENE SECTION OF MINZELINSKOE LAKE SAPROPEL (WESTERN SIBERIA)

Anton E. Maltsev,

Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of Russian
Academy of Science, 3, Akademika Kaptyuga avenue, Novosibirsk, 630090,
Russia. E-mail: maltsev@igm.nsc.ru

Galina A. Leonova,

Dr. SC., Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of Russian
Academy of Science, 3, Akademika Kaptyuga avenue, Novosibirsk, 630090,
Russia. E-mail: leonova@igm.nsc.ru

Vladislav A. Bobrov,

Cand. Sc., Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of Russian
Academy of Science, 3, Akademika Kaptyuga avenue, Novosibirsk, 630090,
Russia. E-mail: bobr@igm.nsc.ru

Sergey K. Krivonogov,

Dr. Sc., Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of Russian
Academy of Science, 3, Akademika Kaptyuga avenue, Novosibirsk, 630090,
Russia. E-mail: s_krivonogov@mail.ru

Sapropel is biogenic lake sediment. It mainly consists of photosynthetic aquatic plants residues, and it is the important carbon storage. Therefore, the study of sapropelic lakes has not only theoretical but also applied value (agriculture, chemical industry, medicine).

The main aim of the study: investigation of the matter and chemical composition of the five-meter long sediment core of Lake Minzelinskoe, Novosibirsk region, obtained in the central part of the lake.

Methods used in the study: atomic absorption analysis, atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma, X-ray fluorescence analysis, CHNS elemental analysis, sowing and counting microorganisms, radiocarbon dating, silicate X-ray fluorescence and X-ray diffraction analysis, high-resolution gamma-spectrometry a semiconductor using a HPGe detector, loss on ignition, dfissolution of carbonates, titrimetric, turbidimetric and photometric methods.

Results: It was ascertained that during the last 6000 years organic-mineral deposits of Lake Minzelinskoe have been formed (the Holocene). They consist of two layers: macrofitogenic sapropel (0–290 cm) and peaty sapropel (290–460 cm). The lake developed in two stages: first, it was formed as swampy lowland and then became a lake. The ratios of mineral to organic portions of the sediment are 40 and 60 % (interval 0–25 cm), 30 and 70 % (25–400 cm), and 20 and 80 % (400–450 cm), respectively. For 6000 years 13,8 g/cm² of carbon was accumulated: in macrophyte layer – 6,7 g/cm², in peaty – 7,07 g/cm², with an average speed of carbon receipt 23 mg/cm² per year. Unequal enrichment of different sediment layers by chemical elements reflects the changes in vegetation types and related biochemical reactions. Despite the layer differences, their chemical composition is rather stable, and it shows economic usability of the Lake Minzelinskoe sapropels.

Key words:

Sapropel, macrophytes, peat, microelements, organic matter.

REFERENCES

1. Shtin S.M. *Ozernye sapropeli i ikh kompleksnoe osvoenie* [Lake sapropels and their complex exploration]. Moscow, MGGU Publ., 2005. 373 p.
2. Plaksin G.V., Krivonos O.I. Termokhimicheskaya pererabotka ozernykh sapropeley: sostav i svoystva produktov [Thermochemical treatment of lake sapropels: their structure and features]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*, 2007, vol. LI, no. 4, pp. 140–147.
3. Zalesky M.D. O siluriyskoy vodorosli, obrazuyushchey kukersit – goryuchiy slanets [Silurian water plant which forms kukersite – shale coal]. *Zhurnal mikrobiologii*, 1916, vol. III, no. 3–4, pp. 444–449.
4. Zanin Yu.N., Zamiraylova A.G., Livshits V.R., Eder V.G. O roli skeletnogo i besskeletnogo biogenno materiala v formirovani organicheskogo veshchestva bazhenovskoy svity [The role of skeletal and nonskeletal biogenic material in formation of organic substance of Bazhenov group]. *Geologiya i geofizika*, 2008, vol. 49, no. 4, pp. 357–366.
5. Korde N.V. *Biostratigrafiya i tipologiya russkikh sapropeley* [Biostratigraphy and typology of Russian sapropels]. Moscow, AN SSSR Publ., 1960. 219 p.
6. Kurzo B.V., Gaydukevich O.M., Klyauzze I.V., Zdanovich P.A. Osobennosti formirovaniya veshchestvennogo sostava sapropelya organicheskogo tipa v ozerakh razlichnykh regionov Belarusi [Features of formation of organic type sapropel material composition in lakes of Belorussia regions]. *Prirodopolzovanie*, 2012, Iss. 21, pp. 183–191.
7. Topachevsky I.V. Sapropeli presnovodnykh vodoemov Ukrainy [Sapropels of freshwater habitats in Ukraine]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*, 2011, no. 1, pp. 66–72.
8. Altukhov V.M., Bgatov V.I., Van A.V. *Organo-mineralnoe syre selskoho-zajstvennogo naznachenija Novosibirskoy oblasti* [Organic mineral raw materials for agricultural use in Novosibirsk region]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1990. 169 p.
9. Blyakharchuk T.A. Four new pollen sections tracing the Holocene vegetational development of the southern part of the West Siberia.

- an Lowland. *The Holocene*, 2003, vol. 13, no. 5, pp. 715–731.
10. Krivonogov S.K., Takahara H., Yamamuro M., Preis Yu.I., Khazina I.V., Khazin L.B., Safonova I.Yu., Ignatova N.V. Regional to local environmental changes in southern Western Siberia: evidence from biotic records of mid to late Holocene sediments of Lake Beloye. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2012, vol. 331–332, pp. 177–193.
 11. Leonova G.A., Bobrov V.A., Lazareva E.V., Bogush A.A., Krivonogov S.K. Biogeny vklad mikroelementov v organicheskoe veshchestvo sovremennykh ozernykh sapropel'ey (na primere oz. Kirek) [Biogenic contribution of microelements into organic substance of current lake sapropels (by the example of the lake Kirek)]. *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 2011, no. 2, pp. 115–131.
 12. Bobrov V.A., Fedorin M.A., Leonova G.A., Markova Yu.N., Orlova L.A., Krivonogov S.K. Issledovanie elementnogo sostava obraztsov sapropelya ozera Kirek (Zapadnaya Sibir) metodom RFA SI [Studying the elemental composition of sapropel sample in the lake Kirek (Western Siberia) by the XRF analysis]. *Poverhnost. Rentgenovskie, sinkhrotronnye i neytronnye issledovaniya*, 2012, no. 5, pp. 90–96.
 13. Krivonogov S.K., Yamamuro M., Takahara H., Kazansky A.Yu., Klimin M.A., Bobrov V.A., Safonova I.Yu., Phedorin M.A., Bortnikova S.B. An abrupt ecosystem change in Lake Beloye, southern Western Siberia: palaeoclimate versus local environment. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2012, vol. 331–332, pp. 194–206.
 14. Melgunov M.S., Gavshin V.M., Sukhorukov F.V., Kalugin I.A., Bobrov V.A., Klerkx J. Anomalii radioaktivnosti na yuzhnom poberezhye ozera Issyk-Kul (Kyrgyzstan) [Anomalies of radioactivity in the south coast of the lake Issyk-Kul]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 2003, no. 11, pp. 869–880.
 15. Zarubina E.Yu. Pervichnaya produktsiya makrofitov trekh raznotipnykh sapropelevykh ozer yuga Zapadnoy Sibiri (v predelakh Novosibirskoy oblasti) v 2012 godu [Primary production of macrophytes of three different type saptopel lakes in the south of Western Siberia (within Novosibirsk region)]. *Mir nauki, kultury i obrazovaniya*, 2013, no. 5 (42), pp. 441–444.
 16. Wedepohl K.H. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, vol. 59, no. 7, pp. 1217–1232.
 17. Lukashev K.I., Kovale, V.A., Zhukhovitskaya A.L., Khomich A.A., Generalova V.A. *Geokhimiya ozerno-bolotnogo litogeneza* [Geochemistry of lake-swamp lithogenesis]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1971. 284 p.
 18. Shotyk W., Cheburkin A.K., Appleby P.G., Fankhauser A., Kramers Ya.D. Two thousand years of atmospheric arsenic, antimony and lead deposition in an ombrotrophic bog profile, Jura Mountains, Switzerland. *Earth and Planetary Science Letter*, 1996, vol. 145, pp. 1–7.
 19. Rozanov A.G., Volkov I.I., Sokolov V.S., Pushkina Z.V. *Geokhimiya diageneza osadkov Tikhogo okeana (transokeanskiy profil)* [Geochemistry of diagenesis of the Pacific ocean sediments (transocean profile)]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 288 p.
 20. Maltsev A.E., Leonova G.A., Kondrateva L.M., Bobrov V.A., Krivonogov S.K. Geokhimiya golotsenovogo razreza sapropelya ozera Minzelinskoe [Geochemistry of Holocene section of Minzelinsk lake sapropel]. *Geologiya morey i okeanov. Materialy XX Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (shkoly) po morskoy geologii* [Geology of seas and oceans. Proc. XX International scientific conference in marine geology]. Moscow, GEOS Publ., 2013. Vol. IV, pp. 102–106.

В задачу авторов входило изучить общие гидрогеологические и гидрогеохимические особенности территории, условия питания и разгрузки подземных вод, их зональности и генезиса (с использованием данных по изотопному составу).

Фактический материал и методы исследования

Томский филиал ИНГГ СО РАН, начиная с 2002 г., ведет совместные работы с ООО «Газпром добыча Кузнецк» по гидрогеологии, гидрогеохимии и экологии территорий потенциальной промышленной добычи угольного метана Кузбасса. В 2012 г. наши исследования были сосредоточены на территории Нарыкско-Осташкинской площади Ерунаковского района Кемеровской области. С 2009 по 2012 гг. здесь были пробурены 41 скважина глубиной от 100 до 1200 м. За 2012 г. было отобрано 35 проб воды из 29 скважин. Всего имеются данные по 112 пробам из 41 скважины (рис. 1).

В каждой точке гидрогеохимического опробования *in situ* (непосредственно на месте отбора) определены параметры быстроизменяющихся компонентов, таких как Eh, pH, температура, ионы NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Fe²⁺ и Fe³⁺. Макрокомпонентный и микрокомпонентный составы вод исследовались в Проблемной научно-исследовательской гидрогеохимической лаборатории Томского политехнического университета, зарегистрированной в Системе аналитических лабораторий Госстандарта России. Для проведения полного химического анализа вод использовались традиционные методы, а также методы спектрального, атомно-абсорбционного анализа и др.

Изотопный анализ воды проводился в лаборатории изотопных методов Томского филиала «Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья» (ТФ ФГУП «СНИИГГИМС»), аккредитованной в системе аккредитации аналитических лабораторий. Измерение ¹⁸O и ²H (D) проб воды осуществляется методом изотопного уравнивания с использованием универсальной системы подготовки и ввода проб газов GasBenchII на масс-спектрометре DELTAVANTAGE. Всего было отобрано 13 проб воды на δ¹⁸O и на δD.

Геология и гидрогеология района

Нарыкско-Осташкинская площадь представляет собой брахисинклинальную структуру, осложненную тектоническими нарушениями. Подавляющая часть разреза сложена в основном угленосно-терригенными отложениями кольчугинской серии (P₂-P₃), представленной песчаниками, алевролитами и аргиллитами с включением до 50 угольных пластов. Эта серия делится на ерунаковскую (мощность 1,2–1,6 км) и ильинскую (мощность 0,8–1,2 км) подсерии. Угольные пласты рабочей мощности в основном располагаются в пределах ерунаковской подсерии. Выше по разрезу распространены триасовые (мальцевская серия) и юрские (конгломератовая серия) отложения.

Первые из них безугольные, вторые содержат невыдержанные маломощные пласты угля [10]. Сверху коренные породы покрыты маломощными рыхлыми отложениями кайнозойского возраста, представленными глинами, суглинками и гравийно-галечниками (рис. 2).

В гидрогеологическом отношении Нарыкско-Осташкинскую площадь в свое время исследовали Г.М. Рогов, Д.С. Покровский, В.К. Попов, Г.А. Плевако и др. [11–17]. Однако с бурением новых скважин на территории появилась возможность более детального гидрогеологического и, прежде всего, гидрогеохимического описания.

Гидрогеологические условия исследуемой территории определяются инфильтрационным характером питания подземных вод, степенью закрытости гидрогеологической системы безугольными отложениями, обладающими низкими фильтрационными свойствами. Области питания находятся на северной границе площади. Территория характеризуется прямой гидродинамической зональностью. Мощность зоны активного водообмена уменьшается в меридиональном направлении от 250–300 м на северном крыле структуры до 150–200 м на южном.

По литолого-стратиграфическим и гидродинамическим признакам здесь выделяются четыре водоносных комплекса.

Водоносный комплекс четвертичных аллювиальных отложений связан с рыхлыми осадками четвертичного возраста, мощность которых в границах участка колеблется от 0,7 до 53,2 м, в среднем 5–10 м. Литологически осадки представлены суглинками и глинами. Фильтрационные свойства этого водоносного комплекса весьма изменчивы.

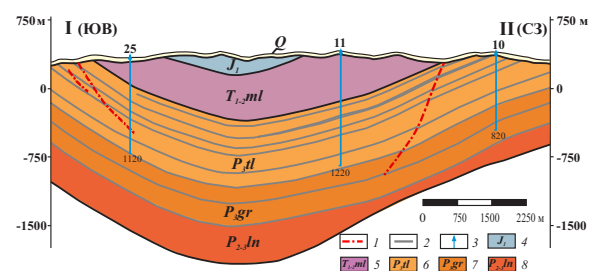


Рис. 2. Геологический разрез по линии I–II (по материалам ОАО «Газпром промгаз»): 1 – разрывные нарушения; 2 – угольные пласты; 3 – скважина (вверху – номер, внизу – глубина, м); 4 – нерасчлененные отложения нижнего и среднего отделов юры; 5 – нерасчлененные отложения нижнего и среднего отделов триаса (мальцевская серия); 6–8 – пермские отложения кольчугинской серии P₂₋₃k1, ерунаковской подсерии P₂₋₃eg: 6 – тайлуганской свиты, 7 – грамотеинской свиты; 8 – ленинской свиты

Водоносный комплекс нерасчленённых юрских отложений распространен в юго-западной части района работ. Водовмещающие породы – трещиноватые, фациально невыдержанные по площади и в разрезе слабосцементированные песчаники, алевролиты, конгломераты, реже аргиллиты. Мощность отложений 270 м, глубина залегания ком-

плекса 2–40 м. Подземные воды комплекса, как правило, напорные. Водообильность комплекса довольно высокая и обусловлена, прежде всего, наличием и интенсивностью открытой трещиноватости и степенью выветрелости пород. Питание подземных вод осуществляется путём инфильтрации атмосферных осадков на склонах и водоразделах, разгрузка происходит в местную гидросеть.

Водоносный комплекс нерасчленённых триасовых отложений мальцевской серии. Эффузивно-осадочные отложения комплекса распространены незначительно на востоке территории и представлены в большинстве своём туфогенными алевролитами, песчаниками, алевролитами и песчаниками обычного вида. Подземные воды безнапорны на водоразделах, слабонапорны в нижней части склонов и в долинах. Водообильность комплекса неравномерна как по площади, так и по разрезу.

Водоносный комплекс средне-верхнепермских отложений ерунаковской подсерии в пределах района работ пользуется самым широким распространением и занимает почти всю площадь. Разрез комплекса представлен чередованием мощных пластов песчаников с алевролитами, аргиллитами и углями. По водопроницаемости в толще пород выделяется две зоны: верхняя, с интенсивно трещиноватыми породами и нижняя – зона затухающей трещиноватости. По условиям залегания и характеру водовмещающих пород в верхних частях разреза преобладает трещинный тип подземных вод, ниже, в условиях затухания трещиноватости и наличия мощных пластов песчаников, возрастает роль трещинно-пластового, трещинно-жильного типов вод. Трещиноватость пород в разрезе неравномерна. Глубина залегания водоносного комплекса колеблется от 1 до 25 м, редко до 50 м на водоразделах. Подземные воды комплекса, как правило, напорные в долинах рек, подножьях склонов и безнапорные на водоразделах. Водообильность комплекса в целом невелика. Питание подземных вод преимущественно местное за счет инфильтрации атмосферных осадков, в меньшей степени за счет напорных вод глубоких горизонтов. Разгрузка происходит в местную гидросеть [11, 12].

Химический состав подземных вод

Анализ ранее известной информации и нового материала по гидрогеологии и гидрогеохимии показывает, что на исследуемой территории прослеживается прямая вертикальная гидродинамическая зональность, в соответствии с которой по интенсивности водообмена выделяются две зоны: активного и замедленного водообмена. Воды обеих зон различаются по химическому и газовому составу и подчиняются прямой вертикальной гидрогеохимической зональности [1, 2].

Воды зоны активного водообмена распространены в верхней части разреза, сложенной рыхлыми мезо-кайнозойскими (преимущественно четвертичными) отложениями, и в зоне интенсивной трещиноватости юрских отложений. Это пресные

воды (минерализация от 0,4 до 0,8 г/л), которые распространяются до глубины ориентировочно 150 м, хотя эта граница условна, т. к. на отдельных участках она поднимается до 30–50 м (скв. 13), на других опускается до 400 м (скв. 12). Это обусловливается интенсивностью водообмена и проницаемостью отложений. Наибольшая мощность этой зоны связана с участками максимального развития экзогенной трещиноватости, а также зависит от структурных особенностей территории.

Всего отобрано 15 проб из 12 скважин. По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциевые и кальциево-натриевые (табл. 1). Содержание HCO_3^- изменяется от 317 до 580 мг/л, Ca^{2+} от 60 до 120 мг/л, доля Na^+ в составе вод увеличивается к низам зоны активного водообмена от 8–30 до 40–50 мг/л. Концентрации Cl^- и SO_4^{2-} невысокие, в среднем составляют 6 и 5 мг/л. Подземные воды в основном нейтральные, реже слабощелочные, pH не превышает 8.

Основным источником химических элементов в подземных водах зоны активного водообмена являются в первую очередь атмосферные осадки и почвенно-растительный слой, затем водовмещающие породы. Сложившиеся гидрогеологические условия на рассматриваемых площадях: чередование разнопроницаемых и моноклиально залегающих отложений, равнинный рельеф, а также распространение верхнего хорошо проницаемого горизонта, способствующего быстрому проникновению атмосферных осадков на такую глубину, при которой исключается испарение и, следовательно, развитие процессов континентального засоления, все это способствует формированию пресных подземных вод, иногда до глубин 1060 м (скв. 33).

Таблица 1. Химический состав подземных вод зоны активного водообмена, мг/л

№ скв.	Глубина отбора, м	pH	Na^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Общая минерализация
1	–	7,2	8	87	10,4	342	1,6	8,6	459
31	100	7,2	71	77	24,6	451	4,3	3,2	633
2	150	7,7	27	96	14,4	425	1,0	5,2	569
3	150	8,1	22	68	26,8	358	0,9	6,8	483
4	150	7,6	37	80	29,3	464	1,9	10,0	625
6	150	7,3	47	93	28,4	535	4,1	1,5	711
7	150	7,4	12	96	20,7	410	2,8	5,4	548
8	150	7,0	28	104	15,9	427	7,3	16,9	601
9	150	7,2	11	100	17,7	415	1,7	5,5	552
10	150	7,4	29	120	30,5	580	2,5	5,1	768
11	150	7,6	31	70	13,4	342	1,4	3,8	463
12	334	7,4	28	74	13,4	317	16,0	4,9	467
12	362	7,6	50	66	12,6	378	24,0	2,9	545
12	396	7,6	44	60	14,6	329	14,0	5,4	483
12	417	7,5	40	78	12,2	390	14,0	2,1	545

Газовый состав вод этой зоны характеризуется наличием газов воздушного происхождения, т. е. N_2 , CO_2 и O_2 . При этом в водорастворенном газе резко преобладает N_2 (71–80), в меньших количествах

распространен O_2 (17–22 %) и еще меньше CO_2 (доли %). В небольших количествах иногда встречается CH_4 .

Ниже зоны активного водообмена (пресных вод) распространяется *зона солоноватых вод, приуроченная к зоне замедленного водообмена*, распространённая на данной площади в песчаных средне-верхнепермских отложениях, частично в эффузивно-осадочных отложениях триаса. Зона отличается не только более высокой минерализацией (от 1 реже от 0,4–1,2 и до 10–19 г/л), но и составом вод (табл. 2). Здесь практически повсеместно развиты содовые воды (HCO_3^-Na), характерные для всего Кузбасса [3, 5, 17, 18] с pH от 7,5 до 9,9. Для этой зоны характерны достаточно сложные гидрогеохимические условия. Химический состав вод в первую очередь определяется стадией взаимодействия воды с горными породами, для которого требуется определенное время взаимодействия, определяемое интенсивностью водообмена [18, 19].

В верхней части зоны (с интенсивно трещиноватыми породами) воды еще пресные или слабominерализованные (0,5–5 г/л), гидрокарбонатные кальциево-натриевые либо натриево-кальциевые, pH 7,5–9,3. Увеличивается содержание Cl^- до 182 мг/л, иногда SO_4^{2-} до 186 мг/л. При этом, если концентрации хлора растут и дальше по глубине, концентрации сульфат-иона с глубиной уменьшаются (рис. 3). Источником последнего скорее всего служат сульфиды (пирит), окисление которых и приводит к появлению в водах этого иона. Содержание Ca^{2+} наоборот уменьшается до 3 мг/л (табл. 2). В составе водорастворенного газа появляется метан (85–95 %).

Схема формирования содовых вод в Кузбассе уже была описана [3, 18], в том числе совместно с авторами статьи [1, 4]. Они формируются в условиях замедленного водообмена в результате выветривания алюмосиликатов, но только в том случае, когда они насыщены относительно кальцита и монтмориллонита. Именно замедленный водообмен способствует относительно длительному взаимодействию воды с горными породами и установлению равновесия воды с кальцитом. В этом случае катионы, переходящие в водный раствор за счет гидролиза алюмосиликатов, ведут себя по-разному: Са в основном связывается в виде кальцита и частично монтмориллонита, Mg и K – в виде глинистых минералов, а Na в основном концентрируется в водном растворе. Ион HCO_3^- , образующийся при гидролизе алюмосиликатов, формируется за счет CO_2 и OH^- . Тем самым на изученной территории бассейна создаются благоприятные условия для накопления в подземных водах Na и HCO_3^- за счет растворения первичных алюмосиликатов, с которыми все подземные воды неравновесны. Карбонаты Na в этой геохимической среде не встречаются геохимических барьеров и формируют содовые воды. В связи с этим содовые воды – результат строго определенного этапа взаимодействия воды с

горными породами, вполне закономерно заполняют нижнюю часть разреза. С глубиной содержание соды в воде возрастает (рис. 3), т. к. важнейшим фактором содообразования является водообмен, интенсивность которого уменьшается с глубиной, а значит, время взаимодействия воды с горными породами увеличивается. Что мы и наблюдаем на территории Нарыкско-Осташкинской площади. Более того, установлено, что с содовыми водами в этом регионе связано формирование давсонитового оруденения [20].

Таблица 2. Химический состав некоторых проб подземных вод зоны замедленного водообмена, мг/л

№ скв.	Глубина отбора, м	pH	Na ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Общая минерализация
13	30	7,5	190	34	16,5	677	3,1	7,3	929
5	150	7,7	78	76	14,6	488	1,1	3,6	663
10	150	7,4	29	120	30,5	580	2,5	5,1	769
21	150	8,6	40	72	14,7	366	4,2	5,3	503
25	150	7,9	107	20	3,1	342	1,5	0,2	475
32	211	8,2	440	8	2,4	1232	14,0	2,1	1717
37	348	7,9	380	3	3,0	1049	6,0	2,5	2288
23	437	8,5	4912	61	27,9	9326	2893,0	4,7	17320
33	440	8,0	180	8	9,7	900	6,0	185,6	1299
34	500	7,9	175	34	4,9	484	18,0	110,0	844
38	500	9,6	2250	54	20,7	2806	170,0	48,1	6892
16	548	7,8	2833	12	4,9	6447	710,0	4,6	10019
12	565	7,6	440	26	14,6	1037	182,0	2,9	1717
39	613	7,6	1932	44	24,3	5319	30,0	2,1	7359
35	617	8,2	480	34	17,0	1476	34,0	10,7	2081
24	670	8,2	5662	33	12,2	12600	1242,0	6,9	19575
39	678	8,0	1097	42	24,3	3160	14,0	1,6	4349
19	682	7,9	357	3	0,8	1055	53,6	4,6	1474
38	693	9,9	1357	19	5,5	903	124,0	69,5	3806
38	735	9,0	1600	16	15,8	3199	94,0	56,4	5616
30	776	8,0	750	34	19,5	2294	14,0	4,5	3130
41	787	7,8	1100	60	24,3	1476	130,0	1,6	4272
17	794	7,8	4839	21	12,2	12163	302,0	4,8	17355
35	863	9,3	920	4	9,1	2159	102,9	101,6	3863
20	959	8,2	5325	12	7,9	13064	586,0	9,6	19081
14	1040	8,2	3120	8	10,3	7403	298,0	5,5	10990
33	1060	8,4	90	40	5,0	310	10,0	2,1	484
18	1063	8,3	3000	17	9,8	8453	266,0	6,7	11946
22	1110	8,4	3032	18	8,6	7569	337,0	9,5	11074

В нижней части зоны замедленного водообмена (зона затухающей трещиноватости), на глубине примерно более 400–500 м, развиты уже солоноватые и даже слабосоленые (до 19,6 г/л) содовые воды. Минерализация увеличивается за счет продолжающегося увеличения содержания HCO_3^- от 3 до 7–13 г/л, Na^+ до 5,6 г/л, Cl^- до 2,9 г/л (рис. 3). При этом содержания SO_4^{2-} незначительные, 4–10 мг/л. Таким образом, воды остаются гидрокарбонатными, реже гидрокарбонатно-хлоридными, хлоридно-гидрокарбонатными натриевыми. В составе водорастворенного газа продолжает накапливаться метан.

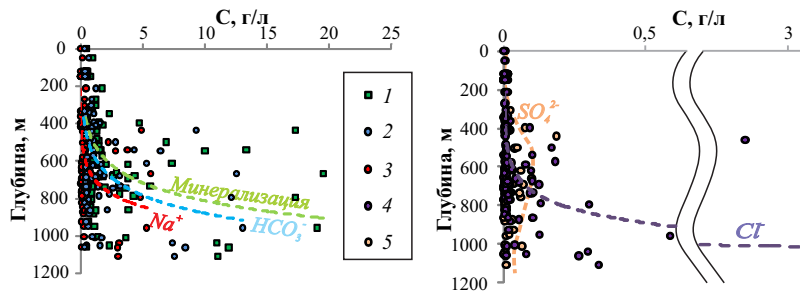


Рис. 3. Изменение минерализации вод (1), содержания HCO_3^- (2), Na^+ (3), SO_4^{2-} (4), Cl^- (5) с глубиной

Повышенное содержание хлор-иона (скв. 12, 35, 38, 16, 23) возможно при подтоке более глубоких вод с высоким его содержанием, однако на данный момент при отсутствии данных мы этого утверждать не можем.

Воды в низах зоны замедленного водообмена обогащены еще и рядом микрокомпонентов, например Sr, J, Br (0,5–9 мг/л), но в более низких концентрациях, чем для *зоны весьма замедленного водообмена* (Br 9,5–43,3 мг/л). Последняя может быть выделена предположительно на глубинах более 2000 м, поскольку данных по ней на данной площади нет. Практически она изучена только на Абашевской структуре в двух глубоких скважинах, где в интервале глубин 2270–2502 м встречены хлоридно-гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные натриевые воды с минерализацией 32,0–35,7 г/л.

Неравномерное изменение солености вод с глубиной (рис. 3) связано с неодинаковой, как это было показано выше, проницаемостью геологического разреза. Соответственно в более проницаемых зонах, где водообмен выше, соленость воды ниже, и наоборот.

Отмеченные изменения в величине общей минерализации и pH носят естественный характер и подчиняются прямой вертикальной зональности, которая свидетельствует о том, что изученные воды являются инфильтрационного генезиса, а источником их поступления являются атмосферные осадки, проникающие в систему из областей питания. Для доказательства отсутствия (или наличия) глубинной составляющей в изученных водах был проведен изотопный анализ кислорода и водорода.

Изотопный состав водорода и кислорода

Количественные определения ^2H (дейтерий, D) и ^{18}O позволяют различать первоисточники подземных вод (метеогенные, седиментогенные, магматогенные, а отчасти и метаморфогенные воды) и оценить долю каждого генетического типа в изучаемой смеси [21]. Как видно, изученные пробы попадают в следующий диапазон вариаций значений δD : от $-144,6$ до $-101,8$ ‰, и $\delta^{18}\text{O}$: от $-17,7$ до $-11,9$ ‰. Для интерпретации генетического типа воды, как правило, используется уравнение Крейга [22–24] – линия метеорных поверхностных вод мира, за исключением областей с аридным климатом, которая имеет вид:

$$\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10 \text{ ‰} \quad (1)$$

Таблица 3. Изотопный состав водорастворенного водорода и кислорода

№ скв.	Глубина отбора, м	δD , ‰	$\delta^{18}\text{O}$, ‰	Примечание
1	–	-101,8	-15,0	I
13	30	-113,5	-17,0	
10	150	-110,0	-16,0	
19	682	-125,6	-17,7	
21	150	-124,4	-12,4	II
23	437	-139,4	-13,6	
16	548	-132,2	-14,9	
24	670	-140,8	-12,8	
17	794	-144,6	-13,1	
20	959	-134,6	-12,2	
14	1040	-144,3	-12,4	
22	1110	-140,1	-11,8	
18	1063	-132,8	-11,9	

Локальная прямая соотношений $\delta^{18}\text{O}$ и δD метеорных вод региона (рис. 4) по данным В.А. Полякова с соавторами [25] соответствует уравнению:

$$\delta\text{D} = 7,8\delta^{18}\text{O} + 6 \text{ ‰} \quad (2)$$

Как видно из рис. 4, по изотопным данным δD и $\delta^{18}\text{O}$ воды делятся на две группы. Первая группа вод (I), фигуративные точки которой располагаются или близки к линии метеорных вод, относится к пресным подземным водам зоны активного водообмена и к содовым слабоминерализованным (до 5 г/л) подземным водам [2] верхней части зоны замедленного водообмена. Эти воды по своему генезису являются инфильтрационными, т. е. формируются за счет местных атмосферных осадков.

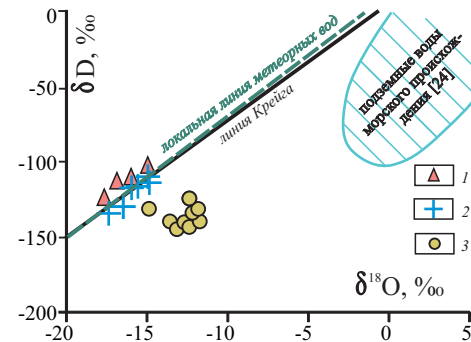


Рис. 4. Распределение изотопов водорода и кислорода в подземных водах Нарыкско-Осташкинской площади: 1 – пресные воды; 2 – содовые воды верхней части зоны замедленного водообмена [2]; 3 – содовые воды нижней части зоны замедленного водообмена

Вторая группа вод (II) несколько обогащена ^{18}O относительно первой группы. Фигуративные точки сдвинуты на графике вправо. Это содовые воды нижней части зоны замедленного водообмена с минерализацией более 5 г/л (на границе с зоной весьма замедленного водообмена). По генезису они также инфильтрационные, но в результате большего времени взаимодействия в системе вода–порода наблюдается «кислородный сдвиг» за счет кислородного изотопного обмена с породой [26, 27]. По такому же принципу (большого времени взаимодействия с минералами вмещающих пород) растет и минерализация вод.

Выводы

1. В пределах Нарыкско-Осташкинской площади Кузнецкого угольного бассейна по данным химического и изотопного анализов развиты только инфильтрационные воды с местными и отдаленными областями питания, разной степени солености.
2. Прослеживается прямая вертикальная гидродинамическая зональность, в соответствии с которой по интенсивности водообмена можно выделить две зоны: активного и замедленного водообмена, что, в свою очередь, обуславливает прямую гидрогеохимическую зональность. Зона активного водообмена характеризуется более высокой проницаемостью отложений и наличием нейтральных и слабощелочных пресных вод гидрокарбонатного кальциевого состава. Зона замедленного водообмена – меньшей проницаемостью и развитием содовых вод ($\text{HCO}_3\text{-Na}$) с минерализацией 0,5–19 г/л и pH от 7,5 до 9,9. В составе водорастворенного газа преобладает метан. Распространена зона замедленного водо-

обмена на данной площади в основном в песчаных средне-верхнепермских отложениях, содержащих многочисленные угольные пласты.

3. В пределах зоны замедленного водообмена дополнительно можно выделить верхнюю и нижнюю части. Верхняя характеризуется наличием пресных или слабоминерализованных содовых вод (0,5–5 г/л), с повышенными концентрациями Cl^- , иногда SO_4^{2-} . Диапазон вариаций значений δD : от $-125,6$ до $-101,8$ ‰, и $\delta^{18}\text{O}$: от $-17,7$ до $-15,0$ ‰, что близко к метеорным водам региона.
4. Нижняя часть зоны замедленного водообмена характеризуется наличием уже солоноватых и даже слабосоленых (до 19,6 г/л) содовых вод с повышенным содержанием Cl^- , а также таких микрокомпонентов, как Sr, J, Br. В составе водорастворенного газа продолжает накапливаться метан. В результате большего времени взаимодействия в системе вода–порода за счет кислородного изотопного обмена с породой наблюдается «кислородный сдвиг», вода обогащается ^{18}O до значений $\delta^{18}\text{O}$ от $-14,9$ до $-11,9$ ‰, но остается инфильтрационной.
5. Рост минерализации вод с глубиной происходит в основном за счет ионов HCO_3^- и Na^+ , реже за счет SO_4^{2-} (только в верхней части зоны замедленного водообмена) и Cl^- ионов. Сода – это продукт растворения водой алюмосиликатов на определенной стадии их взаимодействия с подземными водами в условиях относительно невысокого концентрирования солей и замедленного водообмена. Наличие сульфатов в воде предположительно объясняется окислением сульфидов (пирита), хлора – подтоком более глубоких вод с высоким его содержанием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Домрочева Е.В. Гидрогеохимические особенности угольных районов Кузбасса: автореф. дис... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2005. – 22 с.
2. Шварцев С.Л., Хрюкин В.Т., Домрочева Е.В., Кузеванов К.И., Рассказов Н.М., Попова Т.С., Лепокурова О.Е., Швачко Е.В. Гидрогеология Ерунаковского района Кузбасса в связи с проблемой образования ресурсов и добычи угольного метана // Геология и геофизика. – 2006. – Вып. 47. – № 7. – С. 878–889.
3. Шварцев С.Л., Рыженко Б.Н., Алексеев В.А., Дутова Е.М., Кондратьева И.А., Копылова Ю.Г., Лепокурова О.Е. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода: в 5 т. Т. 2: Система вода–порода в условиях зоны гипергенеза. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 389 с.
4. Шварцев С.Л., Домрочева Е.В., Рассказов Н.М. Геохимия и формирование содовых вод Кузбасса // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 1. – С. 128–134.
5. Аникин А.И., Людвиг В.М., Шварцев С.Л. Геохимия подземных вод давсонитоносных пород Березовоярского участка (Кузбасс) // Обской вестник. – 2001. – № 1. – С. 65–69.
6. Копылова Ю.Г., Лепокурова О.Е., Токаренко О.Г., Шварцев С.Л. Химический состав и генезис углекислых минеральных вод Терсинского месторождения (Кузбасс) // Доклады академии наук. – 2011. – Т. 436. – № 6. – С. 1–5.
7. Токаренко О.Г. Подземные воды центральной части Кузбасса: химический состав в пределах различных ландшафтных областей // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 169–174.
8. Андреева М.П., Домрочева Е.В. Эколого-геохимическое состояние природных вод зоны активного водообмена юга Кузбасса // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 123–133.
9. Кузнецкий бассейн – крупнейшая сырьевая база промышленной добычи метана из угольных пластов / А.М. Карасевич, В.Т. Хрюкин, Б.М. Зимаков, Н.Г. Матвеев, С.С. Золотых, В.Г. Натура, Т.С. Попова. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. – 64 с.
10. Геология угольных месторождений СССР / под ред. А.К. Матвеевой. – М.: Изд-во Московского университета, 1990. – 352 с.
11. Гидрогеология СССР. Т. XVII. Кемеровская область и Алтайский край / под ред. М.А. Кузнецова, О.В. Постникова. – М.: Недра, 1972. – 398 с.
12. Гидрогеология СССР. Т. XVI. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области) / под ред. Нуднера В.А. – М.: Недра, 1970. – 368 с.
13. Покровский Д.С. К вопросу режима подземных вод Ерунаковского района Кузбасса // Известия Томского политехнического института. – 1967. – Т. 167. – № 1. – С. 32–35.
14. Покровский Д.С., Плевако Г.А. Гидрогеохимические условия зоны пологих брахиструктур Кузбасса на примере Ерунаков-

- ского угленосного района // Известия Томского политехнического института. – 1975. – Т. 297. – № 1. – С. 57–63.
15. Попов В.К. Особенности формирования и использование подземных вод угленосных образований Кузбасса (на примере центральных и южных районов): автореф. дис... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 1975. – 23 с.
 16. Рогов Г.М. Гидрогеология Кузнецкого угольного бассейна: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – Томск, 1966. – 647 с.
 17. Рогов Г.М., Попов В.К. Гидрогеология и катагенез пород Кузбасса. – Томск: Изд-во Томского университета, 1985. – 191 с.
 18. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1998. – 288 с.
 19. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология. – М.: Недра, 2012. – 424 с.
 20. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия процессов образования давсонита // Доклады академии наук. – 2004. – Т. 394. – № 6. – С. 818–821.
 21. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы. – М.: Наука, 1983. – 277 с.
 22. Craig H. Isotopic variations in meteoric waters // Science. – 1961. – V. 133. – P. 1702–1703.
 23. Craig H. Standard for Reporting Concentrations of Deuterium and Oxygen-18 in Natural Waters // Science. – 1961. – V. 133. – P. 1833–1834.
 24. Craig H., Gordon L.I. Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere // Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures. – 1965. – P. 9–130.
 25. Изотопные исследования подземных вод на полигоне «Томский» / В.А. Поляков, В.Т. Дубинчук, Е.В. Голубкова, В.А. Лыготин, Ю.В. Макушин, К.М. Макарова // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 11. – С. 47–52.
 26. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Гидрогеохимия. – М.: Недра, 1992. – 463 с.
 27. Пиннекер Е.В., Писарский Б.И., Шварцев С.Л. Основы гидрогеологии. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах. – Новосибирск: Наука, 1982. – 239 с.

Поступила 18.11.2013 г.

UDC 556.314

GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF UNDERGROUND WATER OF THE NARYKSKO-OSTASHKINSKAYA AREA (KUZBASS)

Evgeniya V. Domrocheva,

Cand. Sc., Tomsk Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the RAS, 4, Akademicheskii avenue, Tomsk, 634055, Russia. E-mail: DomrochevaYV@ipgg.sbras.ru

Olesya E. Lepokurova,

Cand. Sc., Tomsk Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the RAS, 4, Akademicheskii avenue, Tomsk, 634055, Russia; Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: LepokurovaOY@ipgg.sbras.ru

Dmitry A. Sizikov,

OAO «Gazprom promgaz» 6, Nametkina street, Moscow, 117420, Russia. E-mail: D.Sizikov@promgaz.gazprom.ru

The relevance of the study is caused by the need to research hydrogeochemistry of the territory because of the planned large-scale production of coalbed methane.

The main aim of the research is to study general hydrogeological and hydrogeochemical features of Naryksko-Ostashkinskaya area, conditions of groundwater supply and unloading, to pay special attention to ash value of water chemistry and genesis (using data on the isotopic composition).

The methods used in the study: To carry out a complete chemical analysis of water the authors have used traditional methods as well as methods of spectral, atomic absorption analysis, etc. ^{18}O and $^2\text{H}(\text{D})$ of water samples were measured by isotope equilibration applying universal system of preparation and introduction of GasBench II gas samples on mass spectrometer DELTA V ADVANTAGE.

The results: The chemical and isotopic analyzes have shown that only infiltration water with local supply areas, with different salinity degrees are developed over the area. The active and slow water exchange zones were singled out. Within the first (top) neutral zone fresh Ca-HCO_3 water is developed. Within the area of slow water exchange (including coals) alkaline $\text{HCO}_3\text{-Na}$ (soda) water with salinity to 19 g/l is developed. Water salinity grows with depth mainly due to HCO_3^- and Na^+ ions, rare due to SO_4^{2-} and Cl^- ions. In water of a lower part of the slow water exchange the «oxygen shift» is observed due to isotopic exchange with the rock as a result of greater interaction time in the system water–rock.

Key words:

Groundwater, Kuzbass, Naryksko-Ostashkinskaya area, chemical and isotopic composition, vertical zonation, genesis of water.

REFERENCES

- Domrocheva E.V. *Gidrogeokhimiicheskie osobennosti ugolnykh rayonov Kuzbassa*. Avtoref. Kand. Diss. [Hydrogeochemical features of the coal Areas of Kuzbass. Cand. Dis. Abstarct]. Tomsk, 2005. 22 p.
- Shvartsev S.L., Khryukin V.T., Domrocheva E.V., Kuzevanov K.I., Rasskazov N.M., Popova T.S., Lepokurova O.E., Shvachko E.V. *Gidrogeologiya Erunakovskogo rayona Kuzbassa v svyazi s problemoy obrazovaniya resursov i dobychi ugolnogo metana* [Hydrogeology of the Erunakovo region of the Kuznetsk basin in the context of coal methane formation and mining]. *Geologiya i geofizika – Geology and geophysics*, 2006, vol. 47, no. 7, pp. 878–889.
- Shvartsev S.L., Ryzhenko B.N., Alekseev V.A., Dutova E.M., Kondrateva I.A., Kopylova Yu.G., Lepokurova O.E. *Geologicheskaya evolyutsiya i samoorganizatsiya sistemy voda–poroda: v 5 tomakh. T. 2: Sistema voda–poroda v usloviyakh zony gipergeneza* [Geological evolution and self-organization of water–rock system: 5 v. vol. 2: Water–rock system in the conditions of a hypergenesis zone]. Novosibirsk, SO RAN, 2007. 389 p.
- Shvartsev S.L., Domrocheva E.V., Rasskazov N.M. *Geokhimiya i formirovanie sodovykh vod Kuzbassa* [Geochemistry and formation of soda waters of Kuzbass]. *Bulletin of Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 318, no. 1, pp. 128–134.
- Anikin A.I., Lyudvig V.M., Shvartsev S.L. *Geokhimiya podzemnykh vod davsonitonoynykh porod Berezoveryarskogo uchastka (Kuzbass)* [Geochemistry of groundwater davsonitonoynykh rocks of the Berezoveryarsky site (Kuzbass)]. *Obskoi vestnik*, 2001, no. 1, pp. 65–69.
- Kopylova Yu.G., Lepokurova O.E., Tokarenko O.G., Shvartsev S.L. *Khimicheskiy sostav i genezis uglekislykh mineralnykh vod Tersinskogo mestorozhdeniya (Kuzbass)* [Chemical composition and genesis of carbon mineral waters of the Tersinsky deposit (Kuzbass)]. *Doklady Akademii Nauk*, 2011, vol. 436, no. 6, pp. 1–5.
- Tokarenko O.G. *Podzemnye vody tsentralnoy chasti Kuzbassa: khimicheskiy sostav v predelakh razlichnykh landshaftnykh oblastey* [Ground waters of Kuzbas central part: chemical composition within various landscape regions]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 321, no. 1, pp. 169–174.
- Andreeva M.P., Domrocheva E.V. *Ekologo-geokhimiicheskoe sostoyanie prirodnykh vod zony aktivnogo vodoobmena yuga Kuzbassa* [Ecologic-geochemical condition of natural waters of the active water exchange zone of the south of Kuzbas]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2007, vol. 311, no. 1, pp. 123–133.
- Karasevich A.M., Khryukin V.T., Zimakov B.M., Matvienko N.G., Zolotykh S.S., Natura V.G., Popova T.S. *Kuznetskiy basseyn – krupneyshaya syrevaya baza promyslovoy dobychi metana iz ugolnykh plastov* [The Kuznetsk basin is the largest resource base of commercial production of methane from coal layers]. Moscow, Akademiya gornykh nauk, 2001. 64 p.
- Geologiya ugolnykh mestorozhdeniy SSSR* [Geology of coal deposits in the USSR]. Ed. A.K. Matveeva. Moscow, Moscow University Press, 1990. 352 p.
- Gidrogeologiya SSSR. T. XVII. Kemerovskaya oblast i Altaiskii krai* [Hydrogeology of the USSR. T. XVII. Kemerovo region and Altai territory]. Eds. M.A. Kuznetsova, O.V. Postnikova. Moscow, Nedra Publ., 1972. 398 p.
- Gidrogeologiya SSSR. T. XVI. Zapadno-Sibirskaya ravnina (Tyumenskaya, Omskaya, Novosibirskaya i Tomskaya oblasti)* [Hydrogeology of the USSR. T. XVI. The West Siberian Plain (Tyumen, Omsk, Novosibirsk and Tomsk regions)]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 368 p.
- Pokrovskiy D.S. *K voprosu rezhima podzemnykh vod Erunakovskogo rayona Kuzbassa* [On the question of the groundwater regime of the Erunakovsky Area of Kuzbass]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 1967, vol. 167, no. 1, pp. 32–35.
- Pokrovskiy D.S., Plevako G.A. *Gidrogeokhimiicheskie usloviya zony pologikh brakhistruktur Kuzbassa na primere Erunakovskogo ugleznogo rayona* [Hydrogeochemical conditions of shallow zone of brahistruktur on the example of the Erunakovsky carboniferous area]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 1975, vol. 297, no. 1, pp. 57–63.
- Popov V.K. *Osobennosti formirovaniya i ispolzovanie podzemnykh vod ugleznovykh obrazovaniy Kuzbassa (na primere tsentralnykh i yuzhnykh rayonov)*. Avtoref. Kand. Diss. [Features of formation and use of groundwater of carboniferous formations of Kuzbass (on the example of the central and southern regions)]. Cand. Diss. Abstract]. Tomsk, 1975. 23 p.
- Rogov G.M. *Gidrogeologiya Kuznetskogo ugolnogo basseyna*. Dokt. diss. [Hydrogeology of Kuznetsk coal basin. Dr. Diss.]. Tomsk, 1966. 647 p.
- Rogov G.M., Popov V.K. *Gidrogeologiya i katagenez porod Kuzbassa* [Hydrogeology and katagenesis rocks of Kuzbass]. Tomsk, Tomsk university Press, 1985. 191 p.
- Shvartsev S.L. *Gidrogeokhimiya zony gipergeneza* [Hydrogeochemistry of the hypergenesis zone]. Moscow, Nedra Publ., 1998. 288 p.
- Shvartsev S.L. *Obshchaya gidrogeologiya* [General hydrogeology]. Moscow, Nedra Publ., 2012. 424 p.
- Shvartsev S.L. *Gidrogeokhimiya protsesov obrazovaniya davsonita* [Hydrogeochemistry of processes of the formation of dawsonite]. *Doklady Akademii Nauk*, 2004, vol. 394, no. 6, pp. 818–821.
- Ferronskii V.I., Polyakov V.A. *Izotopiya gidrosfery* [Isotopy of hydrosphere]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 277 p.
- Craig H. *Isotopic variations in meteoric waters*. *Science*, 1961, vol. 133, pp. 1702–1703.
- Craig H. *Standart for Reporting Concentrations of Deuterium and Oxygen-18 in Natural Waters*. *Science*, 1961, vol. 133, pp. 1833–1834.
- Craig H., Gordon L.I. *Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere*. *Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*, 1965, pp. 9–130.
- Polyakov V.A., Dubinchuk V.T., Golubkova E.V., Lgotin V.A., Makushin Yu.V., Makarova K.M. *Isotopnyye issledovaniya podzemnykh vod na poligone «Tomskii»* [Underground waters isotopic investigation at the testing ground «Tomsky»]. *Razvedka i Zokhrana nedr – Prospect and protection of mineral resources*, 2008, no. 11, pp. 47–52.
- Krainov S.R., Ryzhenko B.N., Shvets V.M. *Gidrogeokhimiya* [Hydrogeochemistry]. Moscow, Nedra Publ., 1992. 463 p.
- Pinneker E.V., Pisarskii B.I., Shvartsev S.L. *Osnovy gidrogeologii. Geologicheskaya deyatelnost i istoriya vody v zemnykh nedrakh* [Basics hydrogeology. Geological activity and the history of water in the bowels of the earth]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1982. 239 p.

Гидрогеология

УДК 556.551

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ВТОРИЧНОГО МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ В ОЗЕРАХ ЗАПАДНОЙ МОНГОЛИИ

Колпакова Марина Николаевна,

ассистент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30; аспирант, мл. науч. сотр. Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Россия, 634055, Томск, Академический пр., 4.
E-mail: marina.kolpakova@gmail.com

Исупов Виталий Петрович,

д-р хим. наук, ведущ. науч. сотр., зав. лабораторией Института химии твердого тела и механохимии, Россия, 630128, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18. E-mail: isupov@solid.nsc.ru

Шварцев Степан Львович,

д-р. геол.-минерал. наук, профессор, зав. кафедрой гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30; зав. лабораторий Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Россия, 634055, Томск, Академический пр., 4.
E-mail: tomsk@igng.tsc.ru

Подробное изучение состава озер с использованием современных методов физико-химических расчетов взаимодействия озерных вод с различными минералами дает возможность с качественно новых позиций подойти к вопросу о вторичном минералообразовании и его роли в формировании состава вод.

Цель исследования: установить степень равновесия озерных вод с простыми солями (карбонатными, сульфатными, хлоридными) и алюмосиликатными минералами.

Методы: вычисление квотанта реакции и активных концентраций компонентов определялись с использованием программного комплекса Hydro Geo по методу Питцера для высокоминерализованных вод и рассолов.

Результаты: Представлено состояние равновесия озерных вод Западной Монголии с карбонатными, сульфатными, хлоридными и алюмосиликатными минералами. Поскольку соленые озера подвержены интенсивному испарению и соленость их может достигать 300 г/л и более, равновесие озерных вод с различными минералами носит своеобразный характер, достигая насыщения вод относительно кальцита, доломита, тенардита, галита, реже соды, альбита, мусковита и Mg-хлорита. Установлено, что каждый химический тип озер характеризуется определенным набором минералов во вторичной фазе, который зависит не только от химического состава самих озер, но и от состава горных пород, расположенных на территории их водосборных бассейнов. Сравнительный анализ реальных донных осадков озер с расчетными данными показал достоверность полученных результатов.

Ключевые слова:

Физико-химическое моделирование, равновесие в системе «вода–порода», соленые озера, Монголия, донные осадки.

Взаимодействие воды с горными породами с позиций равновесной и неравновесной термодинамики для природных сред является в последние годы объектом повышенного внимания, поскольку позволяет более полно изучать природу геохимической специализации озер, механизмы их формирования, источники химических элементов [1–5], процессы озерной седиментации [6, 7], механизмы вторичного минералообразования [8, 9], распределение микрокомпонентов в озерах [10] и роль различных факторов в формировании состава озер [11]. В этом плане большой интерес представляют озерные воды Западной Монголии, где на относительно небольшой территории в схожих климатических и ландшафтно-геоморфологических условиях расположены различные геохимические типы озер: содовые, сульфатные и хлоридные. Поскольку формирование состава озер начинается еще на водоразделах и продолжается на всей территории водосбора, где происходит постоянное взаимодействие жидкой и твердой фаз, то выявление механизма этого взаимодействия невозможно без детального изучения системы «вода–порода».

Геологическое строение района исследования

Территория Западной Монголии входит в состав средней части Центрально-Азиатского складчатого пояса и включает два основных района: Алтайскую горную область и Котловину больших озер. Территория объединяет разновозрастные складчатые сооружения, в которых «заключены» древние континентальные массивы и блоки фундамента. В геологическом строении Алтайской горной области принимают участие блоки палеозойского фундамента и смятые в складки породы мезозойско-кайнозойского возраста. Современный рельеф останцовых гор, мелкосопочников и межгорных равнин Котловины Больших озер (КБО), в различной степени расчлененных эрозией, выработан на древних осадочных и интрузивных образованиях, а сложная система впадин Котловины Больших озер является унаследованной от мезозойских структур. Оживление новейших тектонических движений особенно резко проявилось в плиоцен-четвертичное время и обусловило рост высоких гор, ограничивающих КБО, расчленение ее на части и прогибание в центральных частях [12].

Методы исследования

Начиная с 2008 г. наш коллектив занимается изучением проблем формирования состава и накопления различных химических элементов в озерных водах Западной Монголии. За это время нами исследовано более 100 различных водных объектов на данной территории, свыше 40 из которых принадлежат соленым озерам. Подробная методика отбора проб и химико-аналитических определений, выполненных в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии научно-образовательного центра «Вода» ИПР ТПУ (г. Томск) и в лаборатории Института химии твер-

дого тела и механохимии СО РАН (ИХТТМ СО РАН), уже была представлена нами ранее [13, 14]. Расчет равновесия воды с горными породами проводился по методике, изложенной в работе Р.М. Гаррелса и Ч.Л. Крайста [15] для температуры 25 °С и давления 0,1 МПа. Расчеты необходимых для вычисления квотанта реакций и активных концентраций компонентов определялись с использованием программного комплекса Hydro Geo, разработанного М.Б. Букаты [16] по методу Питцера [17] для высокоминерализованных вод и рассолов. При настройке модели в данном программном комплексе учитывались минералы, наиболее часто встречающиеся на исследуемой территории, т. е. карбонатные (кальцит, магнезит, доломит), сульфатные (гипс, тенардит), хлоридные (галит, сильвин), а также некоторые алюмосиликатные минералы. Решение вопроса о направлении преобразования минерального вещества в сложившихся гидрогеохимических условиях проводилось с использованием индекса неравновесности (SI), равного $SI = \lg \frac{Q}{K}$, где K – термодинамическая константа реакции растворения породы или минерала; Q – квотант реакции, представляющий собой фактическое значение произведения активностей продуктов реакции, отнесенного к произведению активностей исходных веществ [15, 18]. По мере насыщения вод относительно какого-либо соединения индекс неравновесности уменьшается, стремясь к нулю, при пересыщении вод его значения становятся положительными; нулевое значение характеризует равновесное состояние.

Рентгенофазовый анализ донных осадков озер осуществлялся в лаборатории ИХТТМ СО РАН с использованием дифрактометра ДРОН-4, $\text{Cu-K}\alpha$ излучение, скорость съемки 2 °/мин, интервал углов съемки $2\Theta = 5\text{--}70^\circ$ (донные отложения), $20\text{--}60^\circ$ (солевые осадки). Анализ фазового состава осуществлялся на основе программы Search-Match.

Химический состав исследуемых озер

В настоящее время, геохимическая классификация озерных вод не разработана. Поэтому нами за основу была взята система Курнакова–Валяшко [19] с добавлением некоторых параметров. Мы выделили три геохимических типа озер:

- 1) содовые, к которым отнесли все озера с $\text{pH} \geq 9,0$;
- 2) хлоридные, если $\text{pH} < 9,0$, а среди анионов преобладает хлор;
- 3) сульфатные, если $\text{pH} < 9,0$, но среди анионов доминирует сульфат.

Исследуемые озера достаточно многообразны по химическому составу, солёности воды, pH, а также содержанию SiO_2 (табл. 1). Высокая минерализация характерна для сульфатных и хлоридных озер, высокая щёлочность – для содовых. Преобладающим анионом в большинстве изученных озер является хлор (его содержание достигает 192 при среднем значении – 20 г/л), а катионом – натрий

(до 105, среднее – 18 г/л). По солености исследуемые озерные воды варьируют от умеренно солоноватых до сверхкрепких рассолов: минерализация воды хлоридного типа озер достигает 363 г/л. Более подробное описание состава озерных вод представлено в работах [13, 14].

Таблица 1. Средние значения макрокомпонентного состава (мг/л), pH и общей минерализации (г/л) для озер Западной Монголии

Химические типы озер	Содовые			Хлоридные			Сульфатные		
	мин	макс	среднее	мин	макс	среднее	мин	макс	среднее
pH	9,0	9,9	9,4	6,90	9,0	8,2	7,1	8,9	8,0
(CO ₃) ²⁻	103	1207	530	1,9	545	139	0,6	492	149
(HCO ₃) ⁻	884	7101	2482	445	4697	901	403	1696	821
(SO ₄) ²⁻	510	4800	3084	92	56393	15537	802	116616	39146
Cl ⁻	640	6300	3686	234	191700	51783	231	75550	4906
Ca ²⁺	8,3	100	80	4,8	2213	57	32	728	224
Mg ²⁺	15	626	205	42	26750	5362	134	24140	1332
Na ⁺	557	8026	4659	239	105160	29519	374	57977	20211
K ⁺	18	307	175	16	21575	205	31	1562	419
M	4,0	28,5	31,2	1,1	363	105	2,0	278	83,0
SiO ₂	12,0	42,8	15,1	1,1	43,3	10,8	2,3	42,0	15,7
Количество озер	15			20			7		

Равновесие озерных вод с простыми солями и глинистыми минералами

В соответствии с растворимостью минералов соляных озер первыми в ходе испарения воды кристаллизуются карбонаты щелочно-земельных металлов. Среди них наиболее широким распространением пользуется кальцит, поэтому рассмотрим, прежде всего, состояние его равновесия с озерными водами Западной Монголии. На рис. 1 видно, что подавляющая часть озерных вод пересыщена этим минералом, поэтому концентрирование Са в этих водах невозможно без изменения характера геохимической среды. Исключением являются

только несколько хлоридных и сульфатных озер, в которых наблюдаются довольно низкие концентрации кальция (51–225 мг/л) и значения pH (6,9–7,4). Содовые озера при этом все без исключения насыщены к кальциту. Активность иона CO₃²⁻ в этих водах намного выше, чем при более низких pH, и его содержания достаточно для достижения равновесия с кальцитом даже при низких содержаниях кальция.

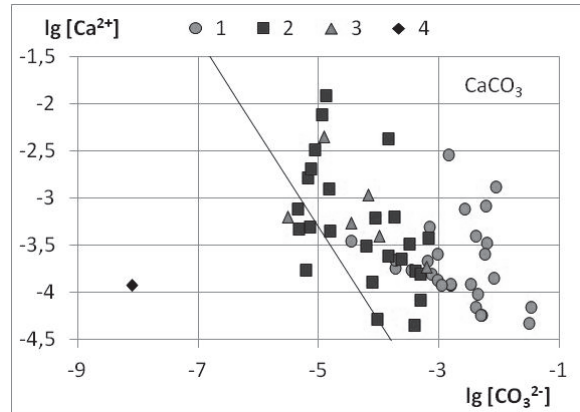


Рис. 1. Степень насыщения содовых (1), сульфатных (2) и хлоридных (3) озерных вод, а также атмосферных осадков (4) относительно кальцита в зависимости от значений pH

При определенных концентрациях карбонат-ионов и магния в растворе возможно образование магнезита или доломита. Диаграммы равновесия, представленные на рис. 2, показывают полное насыщение озерных вод этими минералами. Соответственно, озерные воды наряду с кальцитом способны высаживать и магнезит, и доломит в донных осадках в условиях имеющей место геохимической среды. При этом накопление магния в растворе прекращается, а доминирующим становится ион натрия, у которого в этих геохимических условиях нет контролирующего минерала.

При изучении состояния равновесия озерных вод с содой (Na₂CO₃·10H₂O, рис. 3) зафиксировано, что в сравнении с другими геохимическими типами именно содовые озера наиболее близки к дости-

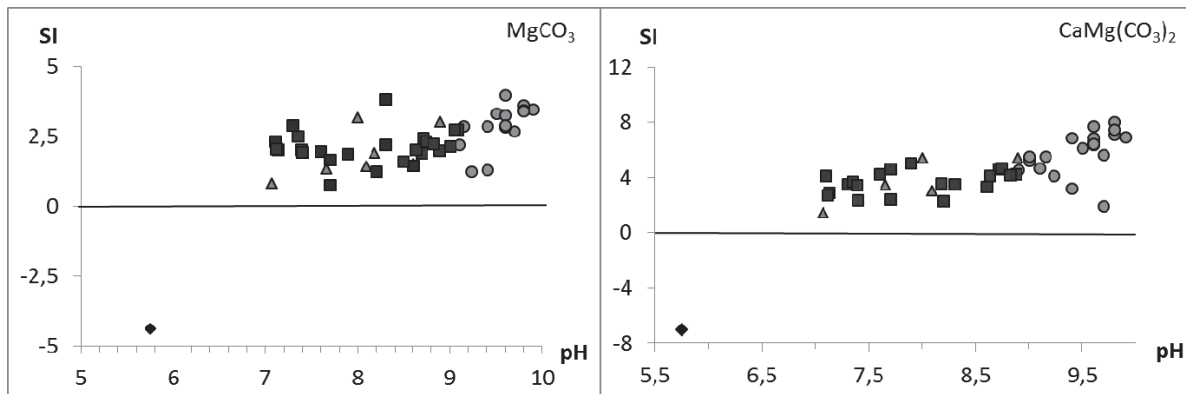


Рис. 2. Степень насыщения озерных вод и атмосферных осадков относительно магнезита и доломита в зависимости от значений pH вод (условные обозначения – на рис. 1)

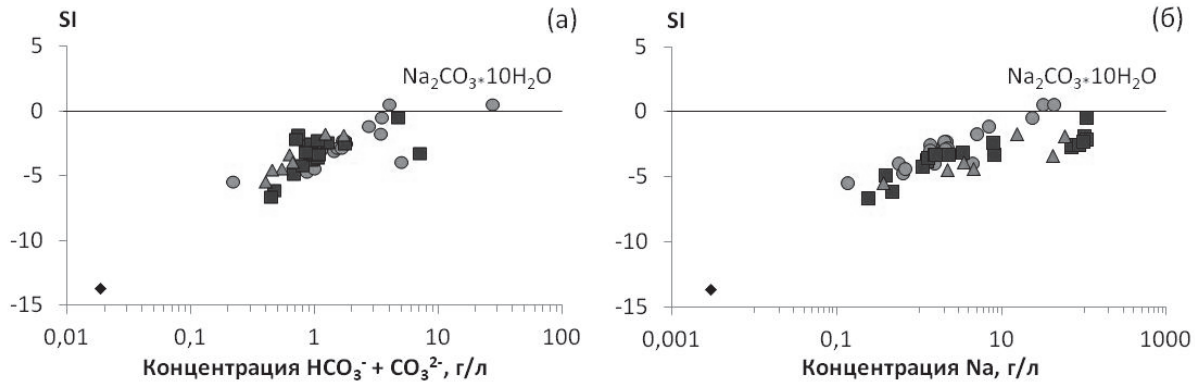


Рис. 3. Степень насыщения озерных вод и атмосферных осадков относительно соды в зависимости от содержаний в них суммы карбонат- и гидрокарбонат-ионов (а) и натрия (б) (условные обозначения – на рис. 1)

жению равновесия с этим минералом. Кроме того, содовые озера Цохор-Нуур и Бага-Нуур 2, в которых, при содержании карбонат- и гидрокарбонат-ионов 5 и 28 г/л, наблюдаются еще и самые высокие концентрации натрия – более 30 г/л. Из озер хлоридного типа лишь одно озеро Бага-Гашун-Нуур находится близко к линии насыщения вод содой. Это связано с максимальной среди озер этого типа долей карбонатных солей, достигающей среднего значения для содовых озер (218 мг-экв/л).

В отличие от карбонатов, в подавляющем большинстве озер нет равновесия вод с сульфатными минералами. Пересыщение относительно гипса (рис. 4) зафиксировано в 10 озерах, из которых три – сульфатных, шесть – хлоридных и одно – содовое. Во всех этих озерах содержание сульфат-иона более 12 г/л, кальция – 160 мг/л, а минерализация превышает 130 г/л. Помимо этих озер, есть также и другие, в которых также зафиксированы высокие концентрации сульфат-иона (19–52 г/л), однако в них наблюдаются очень маленькие концентрации Са (12–50 мг/л), которых недостаточно для насыщения воды гипсом. Неравновесно большинство озерных вод и с тенардитом (рис. 4). Точки, приближающиеся к этому равновесию, принадлежат в основном хлоридному типу озер с повышенным содержанием натрия и сульфат-ионов и при уменьшении температуры характер равновесия может сдвинуться в сторону образования солей.

С галитом равновесие наблюдается только в хлоридных оз. Давсан-Нуур, Бага-Гашун-Нуур и Дэвтэрийн-Давст-Нуур, соленость которых выше 300 г/л и является максимальной среди всех изученных нами озер (рис. 5).

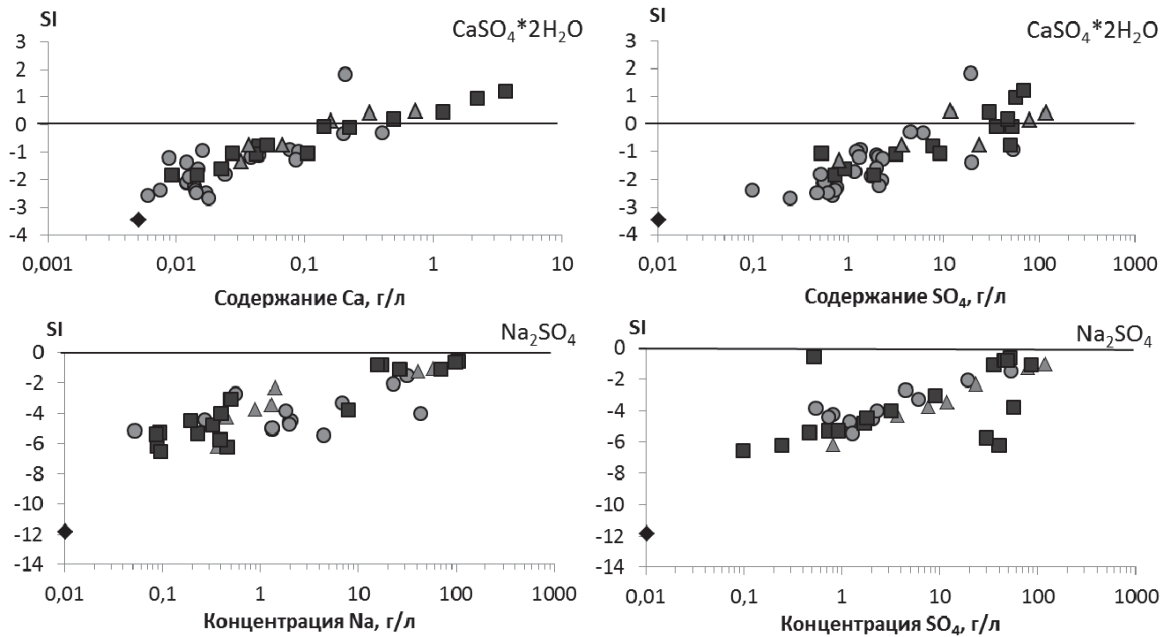


Рис. 4. Степень насыщения озерных вод и атмосферных осадков относительно гипса и тенардита в зависимости от содержаний в них сульфатов, кальция и натрия (условные обозначения – на рис. 1)

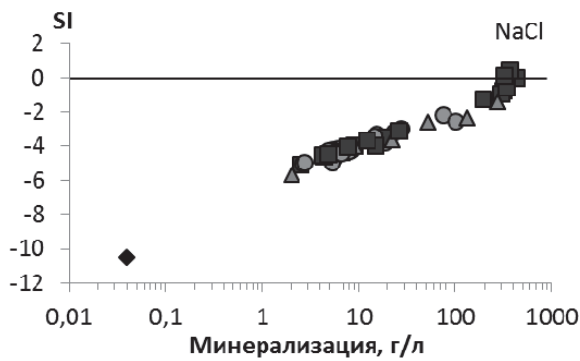


Рис. 5. Степень насыщения озерных вод и атмосферных осадков относительно галита в зависимости от их минерализации (условные обозначения – на рис. 1)

В результате проведенных расчетов установлено, что большинство озерных вод Западной Монголии насыщены относительно кальцита, доломита, магнезита, реже относительно соды, гипса, тенардита, галита, то есть способны высаживать их из раствора, формируя новообразованную вторичную твердую фазу, которая сохраняется на протяжении всего времени взаимодействия в системе вода–порода. При этом формирование на протяжении всего времени карбонатных, сульфатных и хлоридных солей носит закономерный характер, который определяется такими параметрами геохимической среды, как pH, температура и минерализация озерных вод.

Другой тип взаимодействия характерен для алюмосиликатов, растворение которых протекает по механизму гидролиза [9]. Многокомпонентный характер реакций гидролиза не позволяет решать проблемы равновесия алюмосиликатов с водным раствором путем построения простых диаграмм как это принято для простых солей. Для них используются более сложные диаграммы полей устойчивости [15], с помощью которых нам удалось проанализировать закономерности химического равновесия некоторых глинистых минералов (рис. 6).

Анализ полученных данных показал, что большая часть содовых вод оказалась сосредоточена в области устойчивости Са-монтмориллонита, меньшее количество – в полях каолинита и гиббсита (рис. 6). Кроме того, основная их масса пересыщена относительно кварца. Такое поведение точек объясняется тем, что при высоких значениях pH растворимость кремнекислоты тоже повышается, что и способствует перемещению точек вод содового типа в сторону насыщения монтмориллонитом, который является более затратным при процессе минералообразования в отношении кремния. На диаграмме полей устойчивости минералов в зависимости от активностей в воде ионов кремнекислоты, pH, а также калия, натрия или магния, содовые воды ложатся исключительно в поле мусковита, альбита и Mg-хлорита,

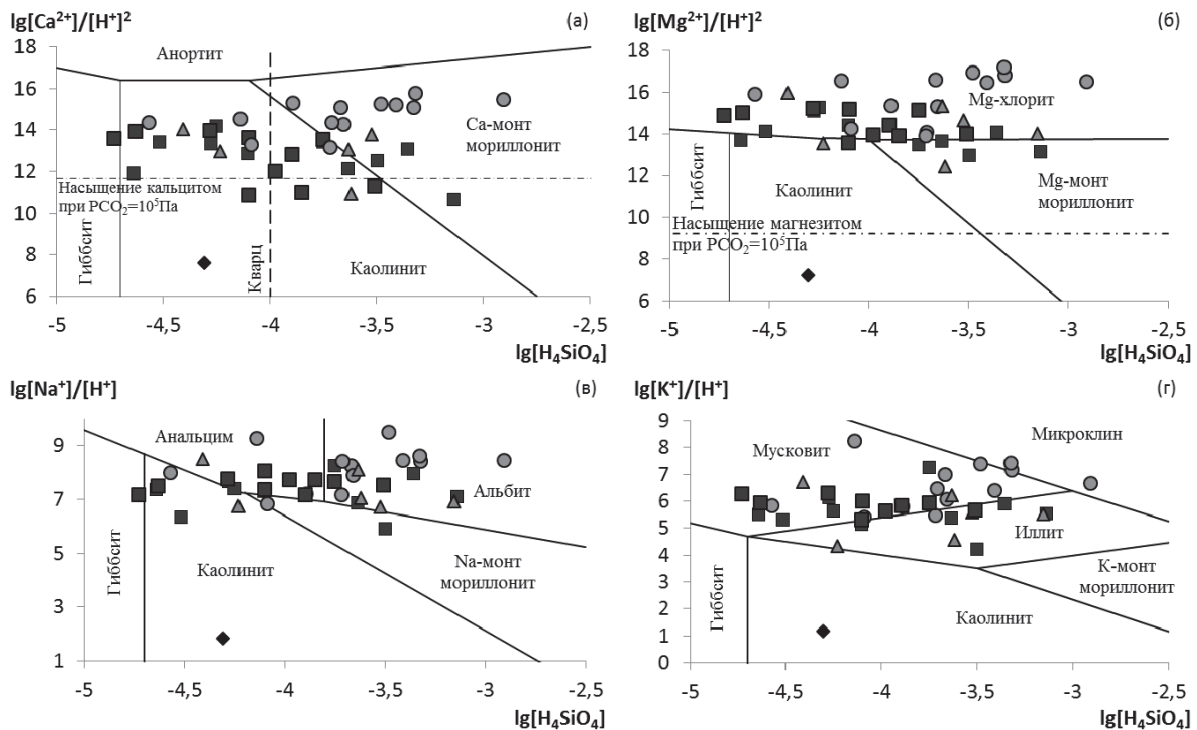


Рис. 6. Равновесие озерных вод с алюмосиликатными минералами при температуре 25 °С в различных системах: а) HCl-H₂O-Al₂O₃-CaO-CO₂-SiO₂; б) HCl-H₂O-Al₂O₃-MgO-CO₂-SiO₂; в) SiO₂-Al₂O₃-Na₂O-CO₂-H₂O; г) SiO₂-Al₂O₃-K₂O-CO₂-H₂O. Штриховыми линиями показано насыщение вод кварцем и аморфным кремнеземом. Штрихпунктирная линия указывает на насыщение вод кальцитом (а) и магнезитом (б) при соответствующем парциальном давлении P_{CO₂} (условные обозначения – на рис. 1)

соответственно (рис. 6). Следует обратить внимание, что в любой рассматриваемой системе на рис. 6 точки содовых озер расположены значительно выше хлоридных. Это связано с более высокими значениями в них рН.

Сульфатные воды имеют более низкие активности катионов по сравнению с содовыми водами, поэтому точки располагаются ниже, хотя основная масса их все также находится в области устойчивости с альбитом, мусковитом, Mg-хлоритом и Самонтмориллонитом (рис. 6).

Активности кремнекислоты в озерах хлоридного типа очень разнообразны и воды находятся в равновесном состоянии со многими минералами. Низкие концентрации Са и относительно низкое рН хлоридных озер, совместно с низким содержанием в них кремнезема, в отдельных случаях приводит к равновесию их вод с каолинитом, который иногда встречается в озерах среди глинистых минералов. Кроме того, некоторые точки находятся на границе полей устойчивости этого минерала с Са-монтмориллонитом, что может указывать на образование смешанных глин. Поскольку большинство точек равновесны также и относительно Mg-хлорита (рис. 6), то не исключаются случаи образования каолинит-монтмориллонитовых смешанных глин с хлоритовыми слоями.

Поскольку озерные воды насыщаются карбонатными минералами раньше, чем алюмосиликатными [9], то подавляющая часть поступающих в раствор из горных пород Са и Mg связывается именно карбонатными минералами. Иллит и разные по составу монтмориллониты также связывают часть Na, Mg, K и Si, растворенных в озерной воде, и выступают геохимическими барьерами на пути формирования минералов, расположенных в верхней части рис. 6 – альбита, мусковита. Однако глинистые минералы, в отличие от карбонатных, не способны связать весь поступающий в озерную воду Na, K, Si, поэтому равновесие с альбитом, анальцимом, мусковитом достигается.

Обсуждение результатов

Для проведения анализа достоверности полученных результатов нами были изучены донные осадки некоторых из опробованных нами озер. Полученные результаты приведены в табл. 2. Сравнение результатов численных расчетов с реальными природными осадками соленых озер подтверждает наличие большей части описанных выше минералов в донных отложениях. Так, например, основной формой выпадения карбонатов во вторичной минеральной фазе являются карбонаты кальция и кальция-магния, а вот магнезита в большинстве донных осадков не обнаружено (табл. 2).

Такое распределение карбонатных минералов зависит от соотношения концентраций Ca^{2+} и Mg^{2+} в растворе. В исследуемых озерах происходит в основном образование доломита, поскольку отношение $Mg/Ca > 7$, а вот при достижении $Mg/Ca > 40$ (что встречается редко) доломит уже переходит в

магнезит [20]. В донных осадках оз. Давсан-Нуур и Бага-Гашун-Нуур, соленость которых превышает 300 г/л, нами обнаружены такие минералы, как тенардит и галит, что также совпадает с результатами численных расчетов.

Таблица 2. Наличие твердых фаз в изученных донных и солевых отложениях некоторых озер Западной Монголии

Название озера	Давсан-Нуур	Бага-Гашун-Нуур	Их-Гашун-Нуур	Хиргис-Нуур	Шаазгай-Нуур
Твердая фаза					
Геохим. тип озера	Хлоридный	Хлоридный	Содовый	Содовый	Содовый
Глубина отбора, см	0–5	0–5	0–5	0–5	0–5
Кальцит	н. опр.	+	–	+	+
Магнезит	н. опр.	+	–	–	–
Карбонаты*	н. опр.	+	+	+	+
Тенардит	+	+	н. опр.	н. опр.	н. опр.
Галит	+	+	н. опр.	н. опр.	н. опр.
Каолинит	н. опр.	+	+	+	+
Монтмориллонит*	н. опр.	–	–	–	+
Альбит	н. опр.	+	+	+	+
Анортит	н. опр.	+	+	+	–
Кварц	н. опр.	+	+	+	+
Мусковит	н. опр.	+	+	+	+

*формулы твердой фазы: Монтмориллонит – $Na_{0,3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_{2,4}H_2O$, Карбонаты кальция и магния: Твердый раствор на основе кальцита (низкое содержание магния) – $Mg_{0,03}Ca_{0,97}CO_3$, Хюнтит (двойной карбонат магния-кальция) – $Mg_3Ca(CO_3)_4$.

Выпадение алюмосиликатных минералов в виде вторичных минералов также подтверждается данными РФА (табл. 2). Поскольку образование глин в изученных озерах по результатам расчетов должно быть в основном кальциевого состава, Na-монтмориллонита в донных осадках большинства озер не обнаружено. Каолинит также представлен в основном минералом кальциевого состава, а образование слюд представлено в данном случае К-мусковитом. Альбит и анортит также обнаружены в донных осадках озер, причем первый в большинстве своем в содовых озерах, второй – в хлоридных. Такое распределение натриевых минералов в озерах разного типа связано с содержанием кремнезема, преобладание которого свойственно для содовых озер.

Таким образом, система «озерная вода – вторичное минералообразование» является весьма многообразной по составу вторичных минералов. Каждый геохимический тип озерных вод при этом характеризуется определенным набором минералов во вторичной фазе, который определяется не только химическим составом самих озер, но составом горных пород, расположенных на территории водосборных бассейнов озер. В рассматриваемой нами системе происходит постоянное взаимодей-

ствие воды с минералами: она одновременно растворяет те, с которыми она неравновесна, и осаждает те, с которыми равновесна. Однако, поскольку соленые озера подвержены интенсивному испарению и соленость их может достигать 360 г/л, равновесие озерных вод с различными минералами носит своеобразный характер, достигая насыщения относительно альбита, мусковита, что не

типично для речных или подземных вод даже в условиях аридного климата.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ – Монг_а 09–05–90210, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 99 (2006–2008 гг.), № 38 (2009–2011 гг.), № 110 (2012–2014), проекта совместных работ СО РАН И АНМ № 6 (2011–2013), а также проектов СО РАН по поддержке экспедиционных работ 2008–2009 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fritz B., Zins-Pawlas M.-P., Gueddari M. Geochemistry of silica-rich brines from lake Natron (Tanzania) // *Sci. Geol.* – 1987. – V. 40. – P. 97–110.
2. Risacher F., Fritz B. Geochemistry of Bolivian salars, Lipiez, southern Altiplano: Origin of solute and brine evolution // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* – 1991. – V. 55. – P. 687–705.
3. Geochemistry of acid brines: Lake Tyrrell, Victoria, Australia / D.T. Long, N.E. Fegan, W.B. Lyons, M.E. Hines, P.G. Macumber, A.M. Giblin // *Chem. Geol.* – 1992. – V. 96. – P. 33–52.
4. Risacher F., Alonso H., Salazar C. Hydrogeochemistry of two adjacent acid saline lakes in the Andes of northern Chile // *Chem. Geol.* – 2002. – V. 187. – P. 39–57.
5. Pellicori D.A., Gammons C.H., Poulson S.R. Geochemistry and stable isotope composition of the Berkley pit lake and surrounding mine waters, Butte, Montana // *Appl. Geoch.* – 2005. – V. 11. – P. 2116–2137.
6. Eugster H.P. Geochemistry and sedimentology of marine and nonmarine evaporates // *Eclog. geol. Helv.* – 1984. – V. 77. – № 2. – P. 237–248.
7. Manega P.C., Bieda S. Modern sediments of lake Natron, Tanzania // *Sci. Geol.* – 1987. – V. 40. – P. 83–95.
8. Bowell R.J., Parshley J.V. Control of pit-lake water chemistry by secondary minerals, Summer Camp pit, Getchell mine, Nevada // *Chem. Geol.* – 2005. – V. 215. – P. 373–386.
9. Геологическая эволюция и самоорганизация системы «вода–порода». Т. 2. Система вода–порода в условиях зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев, Б.Н. Рыженко, В.А. Алексеев, Е.М. Дутова, И.А. Кондратьева, Ю.Г. Копылова, О.Е. Лепкурова. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 389 с.
10. The trace-metal geochemistry of the Lake Tyrrell system brines (Victoria, Australia) / W.B. Lyons, S. Welch, D.T. Long, M.E. Hines, A.M. Giblin, A.E. Carey, P.G. Macumber, R.M. Lent, A.L. Herczeg // *Chem. Geol.* – 1992. – V. 96. – P. 115–132.
11. Thermodynamic constraints of Dead Sea evaporation: can the Dead Sea dry up? / B.S. Krumgalz, A. Hecht, A. Starinsky, A. Katz // *Chem. Geol.* – 2000. – V. 165. – P. 1–11.
12. Маринов Н.А. Геологические исследования МНР. – М.: Недра, 1967. – 843 с.
13. Химический состав и гидроминеральные ресурсы соленых озер Северо-западной Монголии / В.П. Исупов, А.Г. Владимиров, С.Л. Шварцев, Н.З. Ляхов, С.С. Шацкая, Л.Э. Чупахина, Л.В. Куйбида, М.Н. Колпакова, С. Ариунбилэг, С.Л. Кривоногов // *Химия в интересах устойчивого развития.* – 2011. – Т. 19. – № 2. – С. 141–150.
14. Ураноносность высокоминерализованных озер Северо-Западной Монголии / В.П. Исупов, А.Г. Владимиров, Н.З. Ляхов, С.Л. Шварцев, С. Ариунбилэг, М.Н. Колпакова, С.С. Шацкая, Л.Э. Чупахина, Л.В. Куйбида, Е.Н. Мороз // *Вестник ДАН.* – 2011. – Т. 437. – № 1. – С. 85–89.
15. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. – М.: Мир, 1968. – 368 с.
16. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения в области нефтегазовой гидрогеологии // *Разведка и охрана недр.* – 1997. – № 2. – С. 37–39.
17. Питтцер К.С. Термодинамическая модель плотных водных растворов // *Термодинамическое моделирование в геологии (минералы, флюиды, расплавы).* – М.: Мир, 1992. – С. 110–153.
18. Surface and groundwater, weathering, and soils / Ed. J.I. Drever // *Treatise on geochemistry.* V. 5. – Oxford: Elsevier-Perгамон, 2005. – 605 p.
19. Валяшко М.Г. Закономерности формирования месторождений солей. – М.: МГУ, 1962. – 397 с.
20. Келлер У.Д. Основы химического выветривания // *Геохимия литогенеза.* – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – С. 85–197.

Поступила 10.09.2013 г.

PHYSICAL AND CHEMICAL CALCULATIONS OF SECONDARY MINERALOGENESIS IN LAKES OF WESTERN MONGOLIA

Marina N. Kolpakova,

Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia;
Tomsk Branch of the Trofimuk Institute of Oil and Gas Geology and Geophysics,
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 4, Akademicheskii avenue,
Tomsk, 634055, Russia. E-mail: marina.kolpakova@gmail.com

Vitaly P. Isupov,

Dr. Sc., Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry,
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 18, Kutateladze street,
Novosibirsk, 630128, Russia. E-mail: isupov@solid.nsc.ru

Stepan L. Shvartsev,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050,
Russia; Tomsk Branch of the Trofimuk Institute of Oil and Gas Geology and
Geophysics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 4, Akademicheskii
avenue, Tomsk, 634055, Russia. E-mail: tomsk@igng.tsc.ru

The detailed research of lakes chemical composition using modern methods of physical and chemical calculations of lake water interaction with various minerals gives the chance to approach from qualitatively new positions to the issue of secondary mineralogenesis and its role in water composition formation.

The main aim of the study is to determine balance degree of lake water with simple salts (carbonate, sulphate, chloride) and aluminosilicate minerals.

The methods used in the study: Activity of components of aqueous solutions was determined by the «HydroGeo» software package by the method of Pitzer for highly mineralized water and brines.

The results: The paper introduces the equilibrium state of lake waters of Western Mongolia with carbonate, sulfate, chloride and aluminosilicate minerals. As salty lakes are subject to intensive evaporation and their salinity can reach 300 g/l and more the balance of lake waters with various minerals has a peculiar character, reaching water saturation concerning calcite, dolomite, tenardite, halite, rare soda, albite, white mica and Mg-chlorite. It was ascertained that each chemical type of lakes is characterized by a certain set of minerals in secondary phase which depends not only on lake chemical composition, but also on composition of the rocks located within their catchment basins. The comparative analysis of real ground precipitation of lakes with settlement data showed the reliability of the received results.

Key words:

Physical and chemical modeling, equilibrium in the system «water-rock», salt lakes, Mongolia, bottom sediments.

REFERENCES

1. Fritz B., Zins-Pawlas M.-P., Gueddari M. Geochemistry of silica-rich brines from lake Natron (Tanzania). *Sci. Geol.*, 1987, vol. 40, pp. 97–110.
2. Risacher F., Fritz B. Geochemistry of Bolivian salars, Lipez, southern Altiplano: Origin of solute and brine evolution. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1991, vol. 55, pp. 687–705.
3. Long D.T., Fegan N.E., Lyons W.B., Hines M.E., Macumber P.G., Giblin A.M. Geochemistry of acid brines: Lake Tyrrell, Victoria, Australia. *Chem. Geol.*, 1992, vol. 96, pp. 33–52.
4. Risacher F., Alonso H., Salazar C. Hydrogeochemistry of two adjacent acid saline lakes in the Andes of northern Chile. *Chem. Geol.*, 2002, vol. 187, pp. 39–57.
5. Pellicori D.A., Gammons C.H., Poulson S.R. Geochemistry and stable isotope composition of the Berkley pit lake and surrounding mine waters, Butte, Montana. *Appl. Geoch.*, 2005, vol. 11, pp. 2116–2137.
6. Eugster H.P. Geochemistry and sedimentology of marine and nonmarine evaporates. *Eclog. geol. Helv.*, 1984, vol. 77, no. 2, pp. 237–248.
7. Manega P.C., Bieda S. Modern sediments of lake Natron, Tanzania. *Sci. Geol.*, 1987, vol. 40, pp. 83–95.
8. Bowell R.J., Parshley J.V. Control of pit-lake water chemistry by secondary minerals, Summer Camp pit, Getchell mine, Nevada. *Chem. Geol.*, 2005, vol. 215, pp. 373–386.
9. Shvartsev S.L., Ryzhenko B.N., Alekseev V.A., Dutova E.M., Kondrateva I.A., Kopylova Yu.G., Lepokurova O.E. *Geologicheskaya evolyutsiya i samoorganizatsiya sistemy «voda-poroda»*. *Sistema voda-poroda v usloviyakh zony gipergeneza* [Geological evolution and self-organization of the system water-rock. The system water-rock within hypergenesis zone]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2007. Vol. 2, 389 p.
10. Lyons W.B., Welch S., Long D.T., Hines M.E., Giblin A.M., Carey A.E., Macumber P.G., Lent R.M., Herczeg A.L. The trace-metal geochemistry of the Lake Tyrrell system brines (Victoria, Australia). *Chem. Geol.*, 1992, vol. 96, pp. 115–132.
11. Krungalz B.S., Hecht A., Starinsky A., Katz A. Thermodynamic constraints of Dead Sea evaporation: can the Dead Sea dry up? *Chem. Geol.*, 2000, vol. 165, pp. 1–11.
12. Marinov N.A. *Geologicheskie issledovaniya MNR* [Geological investigations of MPR]. Moscow, Nedra Publ., 1967. 843 p.
13. Isupov V.P., Vladimirov A.G., Shvartsev S.L., Shatskaya S.S., Chupahina L.E., Kuybida L.V., Kolpakova M.N., Ariunbileg S., Krivonogov S.L. *Khimichesky sostav i gidromineralnye resursy solenykh ozer Severo-Zapadnoy Mongolii* [Chemical composition

- and hydrothermal resources of salty lakes of north-west Mongolia]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 2011, vol. 19, no. 2, pp. 141–150.
14. Isupov V.P., Vladimirov A.G., Lyakhov N.Z., Shvartsev S.L., Ariunbileg S., Kolpakova M.N., Shatskaya S.S., Chupakhina L.E., Kuybida L.V., Moroz E.N. Uranonosnost vysokomineralizovannykh ozer severo-zapadnoy Mongolii [Uranium-bearing feature of high-mineralized lakes of north-west Mongolia]. *Vestnik DAN*, 2011, vol. 437, no. 1, pp. 85–89.
 15. Garrels R.M., Krayst Ch.L. *Rastvory, mineraly, ravnovesiya* [Solutions, minerals, equilibrium]. Moscow, Mir Publ., 1968. 368 p.
 16. Bukaty M.B. Razrabotka programmnogo obespecheniya v oblasti neftegazovoy gidrogeologii [Development of software in oil and gas hydrogeology]. *Razvedka i okhrana nedr*, 1997, no. 2, pp. 37–39.
 17. Pitser K.S. *Termodinamicheskaya model plotnykh vodnykh rastvorov* [Thermodynamic model of solid water solutions]. *Termodinamicheskoe modelirovanie v geologii (mineraly, flyuidy, rasplavy)* [Thermodynamic modeling in geology (minerals, fluids, melts)]. Moscow, Mir Publ., 1992. pp. 110–153.
 18. *Surface and groundwater, weathering, and soils. Treatise on geochemistry*. Vol. 5. Ed. J.I. Drever. Oxford, Elsevier-Pergamon, 2005. 605 p.
 19. Valyashko M.G. *Zakonornosti formirovaniya mestorozhdeniy soley* [Salt field formation laws]. Moscow, MGU Publ., 1962. 397 p.
 20. Keller U.D. *Osnovy khimicheskogo vyvetrivivaniya* [Bases of chemical weathering]. *Geokhimiya litogeneza* [Geochemistry of lithogenesis]. Moscow, Izdatelstvo inostrannoy literatury, 1963. pp. 85–197.

УДК 553.78; 553.79 (574)

ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ГИДРОГЕОТЕРМАЛЬНЫХ И ГИДРОГЕОМИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ КАЗАХСТАНА

Абсаметов Малис Кудысович,

д-р геол.-минерал. наук, профессор, академик, директор ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина», Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова, д. 94. E-mail: mabsametov@mail.ru

Муртазин Ермек Жамшитович,

канд. геол.-минерал. наук, зам. директора ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина», Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова, д. 94. E-mail: ye_murtazin@list.ru

Касымбеков Даут Азыханович,

канд. геол.-минерал. наук, член-корреспондент Академии минеральных ресурсов РК, зам. директора ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина», Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова, д. 94. E-mail: dkassymbekov@mail.ru

Актуальность исследований обусловлена необходимостью комплексного освоения термальных и промышленных подземных вод Казахстана как нетрадиционных источников энергии и минерального сырья.

Цель исследований заключается в оценке потенциала и обосновании перспектив хозяйственного освоения гидрогеотермальных и гидрогеоминеральных ресурсов Казахстана.

Методы исследований включают анализ и обобщение зарубежного и отечественного опыта оценки потенциала и направлений использования гидрогеотермальных и гидрогеоминеральных ресурсов применительно к гидрогеологическим условиям Казахстана.

Результаты: Представлен потенциал гидрогеотермальных и гидрогеоминеральных ресурсов Казахстана. Рекомендованы перспективные площади для комплексного освоения термальных и промышленных подземных вод Казахстана как нетрадиционных источников энергии и минерального сырья. Обоснована необходимость практической реализации проектов освоения термальных и промышленных подземных вод на перспективных площадях Западного и Южного Казахстана.

Выводы: Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку научно-обоснованных технологических схем и технологий комплексного освоения термальных и промышленных подземных вод, технико-экономических обоснований их использования и бизнес-планов для привлечения отечественных и зарубежных инвестиций. Имеется возможность без больших капитальных затрат начать эксплуатацию существующих самоизливающих геотермальных скважин. В зависимости от минерализации и химического состава термальные воды можно использовать для получения электроэнергии (геотермальные электростанции с бинарным циклом), отопления и горячего водоснабжения жилых и производственных помещений, бальнеологии, теплично-парниковых комплексов и прудовых хозяйств.

Практическое использование промышленных подземных вод целесообразно осуществлять в комплексе с освоением ресурсов углеводородного сырья. Извлечение ценных компонентов и соединений из попутных пластовых рассолов повысит эффективность эксплуатации месторождений нефти и газа.

Ключевые слова:

Гидрогеотермальные ресурсы, гидрогеоминеральные ресурсы, термальные подземные воды, промышленные подземные воды, прогнозные эксплуатационные запасы.

За многолетний период научных исследований учеными Института гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина выявлены основные закономерности формирования и распределения водных ресурсов недр Казахстана. При ограниченном и неравномерном распределении поверхностных водных ресурсов подземные воды отнесены к наиболее ценным полезным ископаемым, рациональное и комплексное освоение которых представляется важным для дальнейшего социально-экономического развития государства.

Актуальность комплексного освоения ресурсов подземных вод Казахстана возрастает при решении проблем острого дефицита воды, глобальной энергетической безопасности и исчерпаемости природных ресурсов, которые выделены в числе 10 основных глобальных вызовов в Послании Президента Республики Казахстан Н.А. Назарбаева – Стратегия «Казахстан-2050». Новый политический курс для нового Казахстана в быстро меняющихся исторических условиях. [1].

Наиболее ценными для решения проблем водного дефицита представляются пресные и слабосоленоватые подземные воды, пригодные для хозяйственно-питьевого и производственно-технического водоснабжения, орошения земель и обводнения пастбищ [2].

Для обеспечения энергетической безопасности государства в Стратегии «Казахстан-2050» отмечена необходимость развивать производство альтернативных видов энергии. Среди нетрадиционных источников энергии геотермальная энергия – тепло, образующееся естественным путем в недрах Земли, занимает второе место, уступая лишь солнечной радиации.

Теоретический потенциал геотермальной энергии планеты до глубины 3 км при среднем геотермальном градиенте 25 °С/км оценивается в 41,7·10⁶ ЕДж, то есть этих запасов при современном уровне мирового потребления энергии в 500 ЕДж/год может хватить на 100 тыс. лет [3].

Выделяется два вида ресурсов геотермальной энергии: гидрогеотермальные – тепло внутриземных вод, и петрогеотермальные – тепло горных пород. Освоение последних в настоящее время находится на начальной экспериментальной стадии.

Основное значение имеют гидрогеотермальные ресурсы, включающие термальные воды (40...100 °С) и пароводяные смеси (свыше 100 °С).

Геотермальные ресурсы разведаны в 80 странах мира и в 58 из них активно используются. По данным Всемирного Геотермального конгресса (WGC2010) отмечается быстрый рост использования геотермальной энергии [3]. Так, для 18 регионов мира (по классификации Глобальной энергетической оценки – Global Energy Assessment (GEA)) – на конец 2010 г. производство геотермальной электроэнергии составило 67 ТВт·ч/год, и по сравнению с 2005 г. возросло на 20 %. По прогнозным оценкам на 2015 г. ожидается получение 116 ТВт·ч/год геотермальной электроэнергии, при максимально достижимом уровне для 2050 г. 1167 ТВт·ч/год геотермальной электроэнергии.

В целом мировой технический потенциал геотермальной энергии оценивается в 61,4 ЕДж/год при прямом использовании и в 657 ЕДж/год для производства электроэнергии, что соответствует эквивалентной мощности 5000 ГВт (по теплу) и 1200 ГВт (по электроэнергии) (табл. 1) [3]. Данные значения сопоставимы с величиной естественного пополнения из недр геотермального тепла, что показывает важность геотермальных ресурсов для мировых энергетических потребностей. Экономический потенциал геотермальной энергии, то есть та часть технической ресурсной базы, которая может быть извлечена в условиях рыночной конкуренции на какой-то определенный момент времени в будущем, оценен на 2050 г. в 10,1 ЕДж/год при прямом использовании и в 65,6 ЕДж/год для производства электроэнергии, что соответствует эквивалентной мощности 800 ГВт (по теплу) и 140 ГВт (по электроэнергии). Производство геотермальной электроэнергии оценивается на 2050 г. в 1167 ТВт·ч/год (табл. 1) [3].

По экспертным оценкам [3], для территории бывшего Советского Союза теоретический потенциал геотермальной энергии составляет 6,6·10⁶ ЕДж, технический потенциал геотермальной энергии оценивается в 9,9 ЕДж/год при прямом использовании и в 104 ЕДж/год для производства электроэнергии, что соответствуют эквивалентной мощности 780 ГВт (по теплу) и 190 ГВт (по электроэнер-

Таблица 1. Геотермальный потенциал мира и территории бывшего Советского Союза [3]

Регион	Теоретический потенциал, 10 ⁶ ЕДж	Технический потенциал			Экономический потенциал	
		ЕДж/год				
		Тепло для прямого использования	Тепло для электричества	Тепло для прямого использования	Тепло для электричества	Производимая электроэнергия, ТВт*ч/год
Мировой	41,742	61,4	657,4	10,092	65,582	1167,3
Эквивалентная мощность		5000 ГВт (по теплу)	1200 ГВт (по электроэнергии)	800 ГВт (по теплу)	140 ГВт (по электроэнергии)	
Бывший Советский Союз	6,607	9,9	104	0,508	3,097	67
Эквивалентная мощность		780 ГВт (по теплу)	190 ГВт (по электроэнергии)	40 ГВт (по теплу)	6 ГВт (по электроэнергии)	

гии), а экономический потенциал геотермальной энергии на 2050 г. – в 0,51 ЕДж/год при прямом использовании и в 3,1 ЕДж/год для производства электроэнергии, что соответствуют эквивалентной мощности 40 ГВт (по теплу) и 6 ГВт (по электроэнергии) при производстве геотермальной электроэнергии на 2050 г. в 67 ТВт·ч/год (табл. 1) [3].

По результатам более чем сорокалетних исследований гидрогеотермальных ресурсов в Казахстане, пробурено более сотни поисково-разведочных скважин, вскрывших термальные воды с кондиционными характеристиками по дебитам, температуре и минерализации, газовому и химическому составу, и выявлена перспективность использования геотермального энергетического потенциала [4–10].

Для территории Казахстана характерны пять геотермальных зон:

- до 20 °С – холодные воды;
- 20...40 °С – термальные, пригодные в бальнеологии, в парниковых и тепличных хозяйствах;
- 40...75 °С – термальные воды, пригодные для централизованного теплоснабжения;
- 75...100 °С – термальные воды, пригодные для централизованного теплоснабжения, а при больших напорах и расходах – для выработки электроэнергии;
- >100 °С – термальные воды, пригодные для комплексного использования пара и горячей воды.

По условиям залегания и циркуляции термальных вод выделяются два района:

- расположенные в складчатых областях, испытавших интенсивное воздействие новейших тектонических движений. Термальные воды имеют локальное развитие и относятся к трещинно-жильному типу;
- эпипалеозойских платформ, краевых прогибов и межгорных впадин, выполненных мезозойскими и кайнозойскими отложениями с площадным распространением пластово-поровых и пластово-трещинных вод с минерализацией, не превышающей 35 г/л.

Естественные запасы гидрогеотермальных ресурсов Казахстана с температурой от 40 до более 100 °С сопоставимы с ресурсами традиционных топливных источников и оцениваются в $10,3 \cdot 10^{12}$ м³ по воде и в $680 \cdot 10^9$ Гкал, или 2846 ЕДж, по теплу, что эквивалентно $97 \cdot 10^9$ ТУТ (тонна условного топлива) (табл. 2).

Для сравнения: прогнозные запасы углеводородного сырья Казахстана составляют около 12 млрд т нефти и конденсата (17,2 млрд ТУТ) и около 6–8 трлн м³ газа (7–9,2 млрд ТУТ). Общие геологические запасы и прогнозные ресурсы угля в республике оцениваются в 150 млрд т (101,0 млрд ТУТ) [11].

Наиболее перспективными для добычи термальных подземных вод с температурой от 40 до 100 °С и выше являются площади южного, юго-восточного и западного Казахстана. Потенциаль-

ные эксплуатационные запасы для Мангышлак-Устюртской системы артезианских бассейнов, Илийского и Сырдарьинского артезианских бассейнов оцениваются по воде в 339 тыс. м³/сут. при фонтанной эксплуатации скважин (на самоизливе) и в 6788 тыс. м³/сут. при насосной эксплуатации скважин, а по теплу, соответственно, в 20,3 и в 289,5 тыс. ТДж/год (табл. 3).

Таблица 2. Естественные запасы гидрогеотермальных ресурсов Казахстана

Гидрогеологические области	Естественные запасы гидрогеотермальных ресурсов по температурным зонам:			
	по воде 10 ⁹ м ³		по теплу: 10 ⁶ Гкал 10 ⁶ ТУТ 10 ⁶ ТДж	
	40...75	75...100	>100	Итого 40...>100
	°С			
Область горноскладчатых сооружений с интенсивным проявлением неотектонических движений	250	55	74	379
	5260	3690	6650	15600
	751	528	950	2229
Область платформенных территорий	7290	1805	801	9896
	394180	155310	114730	664220
	56310	22186	16390	94886
Всего оцененных запасов гидрогеотермальных ресурсов по Казахстану	1650	650	480	2781
	7540	1860	875	10275
	399440	159000	121380	679820
	57061	22714	17340	97115
	1672	666	508	2846

Мангышлак-Устюртская система артезианских бассейнов приурочена к Арало-Каспийскому водоразделу и занимает западную часть Туранской плиты. Перспективные для эксплуатации гидрогеотермальные ресурсы связаны с меловыми и юрскими образованиями. В составе термальных вод нередко устанавливаются промышленно значимые концентрации йода, бора, брома и других микрокомпонентов.

Меловой термоводоносный комплекс пользуется почти повсеместным распространением и залегает на глубине до 2000 м и более в прогибах Мангышлака и Устюрта. Воды пластовые, напорные. Пьезометрические уровни устанавливаются от 160...250 м ниже до первых десятков метров выше поверхности земли. Дебиты скважин варьируют в пределах 140...3500 м³/сут. Минерализация воды колеблется от 1...10 г/дм³ в районе поднятий до 6...35 г/дм³ в Жетыбай-Узекской зоне и до 50...100 г/дм³ в прогибах Мангышлака и Устюрта, при преобладающем хлоридном натриевом составе.

Пластовая температура подземных вод изменяется от 50...65 °С в Жетыбай-Узекской зоне до 100...120 °С в Северо-Устюртском прогибе и до 120...150 °С во впадинах Южного Мангышлака и Южного Устюрта. Температура воды на устье самоизливающих скважин составляет 40...60 °С.

Таблица 3. Потенциальные эксплуатационные запасы термальных подземных вод наиболее перспективных артезианских бассейнов Казахстана

Артезианский бассейн	Температурный потенциал (°С)	Фонтанная эксплуатация (на самоизливе)			Насосная эксплуатация (при принудительной откачке)		
		по воде	по теплоэнергии		по воде	по теплоэнергии	
		тыс. м ³ /сут	тыс. Гкал/год	ТДж/год	тыс. м ³ /сут	тыс. Гкал/год	ТДж/год
Илийский	Всего	114	2126	8901	515	7950	33264
	40...75	37	318	1331	254	2064	8640
	75...100	37	697	2919	135	2510	10498
	более 100	40	1111	4651	126	3376	14126
Сырдарьинский	Всего	171	2092	8754,18	4748	41642	174351
	40...75	113	1166	4880	3625	25132	105229
	75...90	58	926	3874	1123	16510	69122
Мангышлак-Устюртская система	40...100	54	641	2685	1525	19555	81885

Потенциальные эксплуатационные запасы гидрогеотермальных ресурсов мелового термоводоносного комплекса для температурной зоны 40...100 °С оценены по воде в 54 тыс. м³/сут. при фонтанной эксплуатации скважин (на самоизливе) и в 1472 тыс. м³/сут. при насосной эксплуатации скважин, а по теплу, соответственно, в 641 тыс. Гкал/год (91,6 тыс. ТУТ/год) и в 18 млн Гкал/год (2576 тыс. ТУТ/год).

Юрский термоводоносный комплекс также широко развит и вскрывается на глубине до 1650...3200 м и более. Воды пластовые, напорные. Уровни устанавливаются на глубине от 10...60 до 240...290 м. Дебиты скважин варьируют в пределах 8...260 м³/сут. Воды рассольные (100...195 г/дм³) с хлоридным натриевым составом. Пластовая температура воды достигает в наиболее погруженных частях 130...175 °С, а на устье скважин температура воды колеблется от 40...60 до 80...110 °С.

Потенциальные эксплуатационные запасы гидрогеотермальных ресурсов юрского термоводоносного комплекса для температурной зоны 40...100 °С оценены при насосной эксплуатации скважин по воде в 53 тыс. м³/сут., а по теплу в 1522 тыс. Гкал/год (218 тыс. ТУТ/год).

Сырдарьинский артезианский бассейн расположен в пределах Южно-Казахстанской и Кызылординской областей. В его разрезе термальные воды приурочены к меловым термоводоносным комплексам. Глубина вскрытия термальных вод достигает до 2000 м, минерализация их не выше 3 г/дм³. Производительность эксплуатационных скважин до 2000 м³/сут.

Потенциальные запасы термальных вод при фонтанной эксплуатации оценены в 171 тыс. м³/сут. по воде и 2,1 млн Гкал/год по теплу (0,3 млн ТУТ/год), а при насосной эксплуатации 4748 тыс. м³/сут. по во-

де и 41,6 млн Гкал/год по теплу (5,9 млн ТУТ/год). Специальные работы на термальные воды проведены для тепловодоснабжения отдельных городов и районных центров. Выявлены два месторождения термальных вод: Шаульдерское и Арыское [7].

Шаульдерское месторождение термальных вод расположено в 149 км на северо-запад от г. Шымкента. Разведанный участок расположен на территории райцентра Шаульдер, являющегося основным потребителем термальных вод: теплоснабжение и горячее водоснабжение, организация теплично-парникового хозяйства.

Подземные воды месторождения характеризуются как высокотермальные с температурой воды на устье скважин 60...70 °С. Эксплуатационные запасы термальных вод месторождения утверждены в количестве 12,0 тыс. м³/сут. (245,3 тыс. Гкал/год) по категории С₁.

Арыское месторождение термальных вод приурочено к г. Арысь, являющемуся районным центром и одной из крупных железнодорожных станций юга Казахстана.

Термальные воды характеризуются как высокотермальные, по подошве сеноманского водоносного комплекса температура 90 °С, а на устье скважин 75 °С. Эксплуатационные запасы термальных вод месторождения утверждены в количестве 17,3 тыс. м³/сут. (353,6 тыс. Гкал/год) по категории С₁.

Илийский артезианский бассейн представляет собой одноименную межгорную впадину, расположенную в пределах Алматинской области. Потенциальные (технически доступные) запасы термальных вод с температурой от 40 до 100 °С и выше для четырех термоводоносных комплексов оцениваются при фонтанной эксплуатации в 114 тыс. м³/сут. по воде и 2,1 млн Гкал/год по теплу (0,3 млн ТУТ/год), а при насосной эксплуатации в 515 тыс. м³/сут. по воде и 7,95 млн Гкал/год по теплу (1,1 млн ТУТ/год).

Алматинский артезианский бассейн занимает западную часть впадины. В его разрезе вскрыты неогеновый и палеогеновый термоводоносные комплексы, глубины залегания которых в осевой части соответственно до 650 и 1500...2600 м.

Воды пластовые, напорные. Скважины обычно самоизливают с производительностью от 10...500 до 800...2200 м³/сут. Минерализация воды от <3 до 10...15 и более г/дм³ при сульфатно-хлоридном и хлоридном натриевом составе. Температура воды на глубине 700...800 м до 40 °С, а на глубине до 2600...3000 м – 75...84 °С.

Потенциальные запасы термальных вод с температурой 50...75 °С неогенового термоводоносного комплекса оценены при насосной эксплуатации в 62 тыс. м³/сут. по воде и 518 тыс. Гкал/год по теплу (74 тыс. ТУТ/год).

Жаркентский артезианский бассейн приурочен к одноименной депрессии в восточной части Илийской впадины. Термальные подземные воды здесь связаны с образованиями от мелового до триасового возраста.

Меловой термоводоносный комплекс является наиболее перспективным для эксплуатации. Глубина залегания его кровли увеличивается от предгорий к осевой части впадины от 20...150 до 3300 м и более.

На предгорной равнине хр. Кетмень (ур. Карадала) термальные воды залегают на глубине 300...600 м. Воды пластовые, напорные. Уровни устанавливаются на 20...70 м выше поверхности земли. Производительность скважин на самоизливе 900...12000 м³/сут. Воды обычно пресные (до 1 г/дм³), а их химический состав варьирует от гидрокарбонатного кальциевого до смешанного треханионного натриевого и натриево-кальциевого. Пластовая температура воды 20...60 °С.

В центральной части артезианского бассейна термоводоносный комплекс опробован на глубине 1400...2900 м. Воды высоконапорные, пьезометрические уровни устанавливаются на 70...240 м выше поверхности земли, расходы скважин на самоизливе 1900...5200 м³/сут. Минерализация воды менее 1 г/дм³ при гидрокарбонатно-сульфатном и хлоридно-гидрокарбонатном натриевом составе. Температура воды на устье скважины составляет 47...96 °С. В наиболее погруженных частях впадины температура воды ожидается 100...125 °С.

Потенциальные запасы термальных вод с температурой 40...120 °С при фонтанной эксплуатации оценены в 51 тыс. м³/сут. по воде и 927 тыс. Гкал/год по теплу (132 тыс. ТУТ/год), а при насосной эксплуатации – 206 тыс. м³/сут. по воде и 3,4 млн Гкал/год по теплу (485 тыс. ТУТ/год).

В центральной части бассейна по двум эксплуатационным участкам (Приильский и Усекский) оперативные эксплуатационные запасы термоминеральных вод утверждены в количестве 4500 м³/сут.

Триасовый и юрский термоводоносные комплексы опробованы в южной половине Жаркентского бассейна. Глубина их залегания варьирует от 250...400 м в предгорьях до 4000...4500 м в центральной части. Водообильность комплекса довольно изменчива, дебиты скважин на самоизливе изменяются от 110 до 4700 м³/сут. Минерализация воды колеблется от менее 1 до 3 г/дм³, а химический состав – от гидрокарбонатного кальциевого и хлоридно-гидрокарбонатного кальциево-натриевого до хлоридного натриевого.

Температура воды триасового и юрского термоводоносных комплексов на изливе составляет 38...78 °С. По расчетам температура по подошве термоводоносных комплексов в зависимости от глубины залегания варьирует от 40...75 до 155...165 °С.

Потенциальные запасы термальных вод с температурой 40...150 °С при фонтанной эксплуатации оценены в 63 тыс. м³/сут. по воде и 1,2 млн Гкал/год по теплу (171 тыс. ТУТ/год), а при насосной эксплуатации – 247 тыс. м³/сут. по воде и 4,0 млн Гкал/год по теплу (576 тыс. ТУТ/год).

Перспективы и эффективность использования термальных вод Сырдарьинского и Жаркентского артезианских бассейнов были обоснованы и подтверждены многочисленными научно-производственными

исследованиями ряда научно-исследовательских и производственных организаций, таких как Институт гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина, ВСЕГИНГЕО, ВНИПИГЕОТЕРМ и др. [12].

В настоящее время в Казахстане есть возможность без больших капитальных затрат начать эксплуатацию существующих самоизливающих геотермальных скважин. В зависимости от минерализации и химического состава термальные воды можно использовать для получения электроэнергии (геотермальные электростанции с бинарным циклом), отопления и горячего водоснабжения жилых и производственных помещений, бальнеологии, теплично-парниковых комплексов и прудовых хозяйств [13, 14].

Лидером Нации Н.А. Назарбаевым в Стратегии «Казахстан-2050» отмечена необходимость внедрения принципиально новой системы управления природными ресурсами. Одним из таких видов природных ресурсов являются гидрогеоминеральные ресурсы – промышленные подземные воды, которые представляют собой природные рассолы, содержащие отдельные компоненты или их соединения в количествах, обеспечивающих по технико-экономическим показателям их рентабельную добычу и переработку.

Целесообразность и экономическая эффективность переработки гидрогеоминерального сырья подтверждается длительной добычей во многих странах лития, йода, брома, калия. По экспертным оценкам, в настоящее время в природных водах сосредоточено 55 % мировых запасов лития, 40 % – рубидия, 35 % – цезия. Основной объем производства и потребления стратегически важного лития приходится на США. Давно используется рапа оз. Сирлс Лейк (штат Калифорния), в которой хлорид лития находится совместно с солями натрия, калия и бора. В результате переработки рапы литий извлекается попутно с добычей поташа, буры и других солей.

На территории бывшего СССР йод из природных вод добывали на следующих заводах: Бакинском йодном, Ново-Нефтечалинском йодобромном (Азербайджан), Челекенском химическом, Небид-Дагском йодном (Туркмения), Троицком йодном и в Уральском ПО «Галоген» (Россия).

Анализ результатов исследований на территории Казахстана позволил выделить перспективные территории, в числе которых (табл. 4): Прикаспийская провинция с четырьмя областями промышленных вод, Мангышлак-Устюртская провинция с двумя областями промышленных вод и Шу-Сарысуйская провинция с тремя областями промышленных вод [4, 15, 16].

Прикаспийская провинция приурочена к одноименной впадине в составе древней Русской платформы и представляет собой крупнейшую в мире соляно-купольную структуру с глубоко погруженным докембрийским фундаментом. В осадочной толще выделяются надсолевой, солевой и подсолевой структурные и гидрогеологические этажи.

В пределах Северо-Каспийской области поликомпонентных вод систематизированы данные по 9 площадям, в разрезе которых выявлены перспективные промышленные рассолы терригенно-карбонатных подсолевых отложений. Максимальные содержания редких элементов в рассолах составляют, мг/дм³: лития – 260, рубидия – до 34, цезия – до 2, стронция – 8500, калия – 22900, йода – 180, брома – 6900 и бора – 1000. Эксплуатационные запасы промышленных вод по данным площадям оценены в 14,2 тыс. м³/сут., при прогнозных эксплуатационных запасах промышленных вод Северо-Каспийской области в 116 тыс. м³/сут.

Восточно-Каспийская область промышленных вод пространственно совпадает с Жанажол-Кенкиакской зоной нефтегазонакопления, в пределах которой проанализированы данные по 3 площадям. Промышленные рассолы обнаружены в нижнепермских и каменноугольных отложениях. Концентрации редких элементов составляют (мг/дм³): I – 10–266, Br – 209–505, B – до 300, Li – 5–32, Sr – 300–625. Эксплуатационные запасы промышленных вод оценены в 28,35 тыс. м³/сут.

В пределах Южно-Эмбинской области промышленных вод оценка запасов проведена по Нсанов-

ской площади, запасы которой оценены в 0,67 тыс. м³/сут. Прогнозные эксплуатационные запасы промышленных вод Южной Эмбы оценены в 22,8 тыс. м³/сут.

Мангыстау-Устюртская провинция промышленных вод представляет собой сложный артезианский бассейн в западной части Туранской плиты. Зона рассолов распространяется на глубине от 800...1200 м до 4 км. Минерализация их колеблется в пределах 140–350 г/дм³. В рассолах содержатся (мг/дм³): йод (до 10–15), бром (до 200–360), бор (до 30–50), калий (до 500–1400), аммоний (до 100–170), стронций (до 250–300) и другие микроэлементы.

Наиболее перспективна Южно-Мангышлакско-Устюртская область йодо-бромных и стронциеносных вод, которая занимает Южный Мангышлак и южную часть Устюрта, пространственно совпадая с Южно-Мангышлакским тектоническим прогибом. Прогнозные эксплуатационные запасы промышленных вод области оценены в 406 тыс. м³/сут. По 4 площадям, расположенным в полосе Жетыбай-Узенских сводовых поднятий, величина эксплуатационных запасов промышленных вод составила 15,7 тыс. м³/сут.

Таблица 4. Содержание редких элементов в подземных водах провинций промышленных вод Казахстана

Провинция, область промышленных вод	Глубина залегания, м	Минерализация, г/дм ³	Дебит скважин, м ³ /сут	Содержание микрокомпонентов, мг/дм ³							
				Li	Rb	Cs	Sr	K	I	Br	B
Прикаспийская провинция											
Северо-Прикаспийская область редкометалльных и йодо-бромных вод	2500–5000	88–408	1–50	13–82	1,8–2,8	0,1–230	70–8100	до 10000	5–35	10–7470	–
Область йодных вод Актобинского Приаралья	1800–2600	16–23	до 25	0,1–2,75	0,1–0,5	0,05	1–29	–	10–45	20–95	до 20
Южно-Эмбинская область бромных вод	640–2800	117–252	до 17	1–16	0,2–3,7	0,1–165	68–900	195–460	0,8–2,8	50–370	1–165
Восточно-Прикаспийская область йодо-бромно-литиево-стронциевых вод	1200–4500	100–270	8–25	10–17	до 3,5	–	450–600	200–600	35–100	250–450	200–600
Мангыстау-Устюртская провинция											
Южно-Мангыстау-Устюртская область поликомпонентных вод	960–2800	120–200	8–17	5–11,3	1,5–3,1	0,04	320–560	–	3,5–7	180–370	–
Бузачинско-Северо-Устюртская область йодо-бромных вод	1000–2700	100–210	4–25	–	–	–	–	–	18–20	160–540	30–90
Шу-Сарысуйская провинция											
Кокпансорская область редкометалльных вод	570–3500	30–150	3–35	5–165	0,2–12,5	0,1–3	до 1500	до 3400	20–190	200–260	до 270
Моинкумская область редкометалльных вод	870–2500	130–320	2–25	30–67	до 3,2	0,1–0,9	540–3500	600–1750	6–90	340–2620	16–40
Терсбулакская область редкометалльных вод	2900–3500	300–320	–	–	–	–	–	до 3500	19	до 3000	–

Шу-Сарысуйская провинция промышленных вод приурочена к одноименной впадине. Пластовые рассолы развиты в палеозойских осадочных и осадочно-вулканогенных отложениях. Минерализация рассолов от 60,6 до 253,8 г/дм³. В составе рассолов содержатся (мг/дм³): йод (до 13,5), бром (до 300), борный ангидрид (до 65) и калий (до 1260).

Прогнозные эксплуатационные запасы промышленных вод Кокпансорской и Мойынкумской областей оценены, соответственно, в 101,3 и 59,6 тыс. м³/сут, а эксплуатационные запасы по пяти площадям – 2,0 тыс. м³/сут.

Таким образом, пластовые рассолы Западного и Южного Казахстана – как один из альтернативных видов гидроминерального сырья – являются перспективной сырьевой базой республики для широкомасштабного получения соединений лития, йода, брома, магния, кальция, а также других продуктов и соединений.

Выводы

1. В современных условиях, при переходе республики на рельсы «зеленой экономики» практическая реализация проектов освоения гидрогеотермальных ресурсов на перспективных площадях Южно-Казахстанской и Алматинской областей представляет возможность обоснования на конкретных примерах экономической, социальной и экологической эффективности и преимущества комплексного использования термальных вод. Необходимы разработка научно-обоснованных технологических схем

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назарбаев Н.А. Стратегия «Казахстан-2050». Новый политический курс состоявшегося государства. Послание Президента Республики Казахстан – Лидера нации народу Казахстана, 14.12.2012 г. URL: http://www.akorda.kz/ru/page/page_poslanie-prezidenta-respubliki-kazakhstan-n-nazarbaeva-narodu-kazakhstana-14-dekabrya-2012-g_1357813742 (дата обращения: 14.12.2012).
2. Абсаметов М.К., Касымбеков Д.А., Муртазин Е.Ж. Подземные воды – стратегический ресурс устойчивого развития Казахстана // Вестник Казахстанской Национальной Академии естественных наук. – 2013. – № 3. – С. 115–116.
3. Bertani R. Geothermal Power Generation in the World 2005–2010. Update Report. Proceedings World Geothermal Congress 2010. – Bali, Indonesia, 25–29 April 2010. – 41 p.
4. Водные ресурсы Казахстана (Поверхностные и подземные воды, современное состояние). Справочник / под ред. Б.С. Ужкенова. – Алматы: НИЦ «Гылым», 2002. – 596 с.
5. Геотермические условия Арало-Каспийского нефтеносного региона / под ред. Ж.С. Сыдыкова. – Алма-Ата: «Наука» КазССР, 1977. – 184 с.
6. Жеваго В.С. Геотермия и термальные воды Казахстана. – Алма-Ата: «Наука» КазССР, 1972. – 225 с.
7. Месторождения подземных вод Казахстана. Т. III. Минеральные лечебные и термальные (теплоэнергетические) подземные воды. Справочник / под ред. А.А. Абулина и др. – Алматы, 1999. – 180 с.
8. Подземные термальные воды Казахстана / под ред. С.М. Мухамеджанова. – Алма-Ата, 1990. – 92 с.

и выбор технологий для комплексного освоения термальных вод, технико-экономическое обоснование их использования и бизнес планы для привлечения отечественных и зарубежных инвестиций на базе национальной программы развития данного направления возобновляемых источников энергии.

2. Промышленное освоение гидрогеоминеральных ресурсов на перспективных площадях Западного и Южного Казахстана целесообразно осуществлять в комплексе с разработкой ресурсов углеводородного сырья. Как правило, пластовые рассолы сопутствуют месторождениям нефти и газа, и их переработка заметно повышает эффективность инвестиций, вложенных в освоение нефтегазоносных районов. Для комплексной безотходной переработки таких рассолов (с извлечением всех или большинства полезных компонентов) необходимы специальные технологические схемы.

В последние годы проведен ряд работ по адаптации наиболее прогрессивных технологий, применяемых при переработке гидроминерального сырья к пластовым водам нефтяных месторождений. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оценку конкретных площадей и участков для реализации опытно-промышленной технологии извлечения полезных компонентов и соединений из пластовых рассолов месторождений углеводородного сырья. Наибольший практический интерес представляет организация добычи таких компонентов, как йод, литий, бром и стронций.

9. Жеваго В.С. и др. Тепловой режим и геотермальная энергия недр Южного Казахстана. – Алма-Ата: «Наука» КазССР, 1976. – 168 с.
10. Термоаномалии подземных вод Казахстана / под ред. Сыдыкова Ж.С. – Алма-Ата: «Наука» КазССР, 1981. – 84 с.
11. Проект Концепции стратегии устойчивой энергетики будущего Казахстана до 2050 года / Н.А. Абыкаев, О.Л. Кузнецов, Н.С. Бектурганов и др. // Вестник Казахстанской Национальной Академии естественных наук. – 2013. – № 2. – С. 16–66.
12. Плеханов П.А. Исторические аспекты решения проблемы использования геотермальных вод в Казахстане // Ресурсы подземных вод – важнейший элемент устойчивого развития экономики Казахстана: Матер. Междунар. научно-теоретической конф. – Алматы, 14–15 сентября 2012. – С. 118–124.
13. Groundwater resources of the world and their use // IHP-VI, Series on groundwater no. 6. UNESCO / Eds. I.S. Zektser, L.G. Everet. – 2004. – P. 299–309.
14. Поваров О.А., Томаров Г.В. Развитие геотермальной энергетики в России и за рубежом // Теплоэнергетика. – 2006. – № 3. – С. 2–10.
15. Абсаметов М.К., Муртазин Е.Ж. Оценка ресурсов месторождений промышленных подземных вод Прикаспийской впадины // Наука и инженерное образование без границ: Труды международного форума. – Алматы, 13–14 ноября 2009. – С. 201–203.
16. Абсаметов М.К., Завалей В.А., Муртазин Е.Ж. Перспективы использования гидроминерального сырья при разведке и добычи нефти // Геология и охрана недр. – 2010. – № 1 (34). – С. 64–68.

Поступила 07.02.2014 г.

PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF HYDROGEO THERMAL AND HYDROGEO MINERAL RESOURCES OF KAZAKHSTAN

Malis K. Absametov,

Dr. Sc., U.M. Ahmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, 94, Valikhanova street, Almaty, 050010, Kazakhstan.
E-mail: mabsametov@mail.ru

Yermek Zh. Murtazin,

Cand. Sc., U.M. Ahmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, 94, Valikhanova street, Almaty, 050010, Kazakhstan.
E-mail: ye_murtazin@list.ru

Daut A. Kasymbekov,

Cand. Sc., U.M. Ahmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, 94, Valikhanova street, Almaty, 050010, Kazakhstan.
E-mail: dkassymbekov@mail.ru

The urgency of the research is caused by the need of multipurpose utilization of thermal and industrial groundwater of Kazakhstan as the alternative sources of energy and mineral resources.

The main aim of the research is to assess the potential and prospects for economic development of the multipurpose utilization of hydrogeothermal and hydrogeomineral resources of Kazakhstan.

Research methods include the analysis and synthesis of foreign and domestic evaluation experience of the potential and directions of use of hydrogeothermal and hydrogeomineral resources to the hydrogeological conditions in Kazakhstan.

The results: The paper introduces the potential of hydrogeothermal and hydrogeomineral resources of Kazakhstan. The authors recommend the perspective areas for integrated development of thermal and industrial groundwater of Kazakhstan as the alternative sources of energy and mineral resources and substantiate the need of practical project implementation for utilization of thermal and industrial groundwater in the perspective areas of Western and Southern Kazakhstan

Conclusions: Further research should be focused on the development of science-based technologies and technological schemes of multipurpose utilization of thermal and industrial groundwater, feasibility studies for their use and business plans to attract domestic and foreign investment. It is possible without large capital costs to start operation of the existing geothermal flowing wells. Depending on salinity and chemical composition the thermal water can be used to generate electricity (geothermal binary cycle power plant), heating and hot water supply of residential and industrial buildings, spa treatment, greenhouses and greenhouse complexes and fish farms. Practical use of industrial groundwater is expediently carried out in conjunction with the development of hydrocarbon resources. Recovery of valuable components and compounds from the passing reservoir brines increase the efficiency of oil and gas field exploitation.

Key words:

Hydrogeothermal resources, hydrogeomineral resources, thermal (heat power) groundwater, industrial groundwater, prospected exploitation reserves.

REFERENCES

- Nazarbayev N.A. *Strategiya «Kazakhstan-2050»*. *Novy politicheskij kurs sostoyavshegosya gosudarstva. Poslanie Prezidenta Respubliki Kazakhstan – Lidera natsii narodu Kazakhstana, 14.12.2012* [Strategy «Kazakhstan-2050». New policy of the fulfilled state. The public letter of the president of the Republic Kazakhstan – the leader of the Nation. 14.12.2012]. Available at: http://www.akorda.kz/ru/page/page_poslanie-prezidenta-respubliki-kazakhstan-n-nazarbaeva-narodu-kazakhstana-14-dekabrja-2012-g_1357813742 (accessed 14 December 2012).
- Absametov M.K., Kasymbekov D.A., Murtazin Ye.Zh. *Podzemnye vody – strategicheskij resurs ustoychivogo razvitiya Kazakhstana* [Underground water is the strategic resource of sustainable development of Kazakhstan]. *Vestnik Kazakhstanskoy Akademii Estestvennykh Nauk – Herald of the Kazakhstan Academy of Natural Sciences*, 2013, no. 3, pp. 115–116.
- Bertani R. Geothermal Power Generation in the World 2005–2010. Update Report. *Proceedings World Geothermal Congress 2010*. Bali, Indonesia, 25–29 April 2010. 41 p.
- Vodnye resursy Kazakhstana (Poverkhnostnye i podzemnye vody, sovremennoe sostoyanie)*. *Spravochnik* [Water resources of Kazakhstan (surface and underground waters, current state). Manual]. Ed. B.S. Uzhkenov. Almaty, Gylym, 2002. 596 p.
- Geotermicheskie usloviya Aralo-Kaspiyskogo neftenosnogo regiona* [Geothermal conditions of Aral-Caspian oil-and-gas area]. Ed. Zh.S. Sydykov. Alma-Ata, Nauka KazSSR Publ., 1977. 184 p.
- Zhevago V.S. *Geotermya i termalnye vody Kazakhstana* [Geothermy and thermal waters of Kazakhstan]. Alma-Ata, Nauka KazSSR, 1972. 225 p.
- Mestorozhdeniya podzemnykh vod Kazakhstana. Mineralnye lechebnye i termalnye (teploenergeticheskie) podzemnye vody. Spravochnik* [Ground water deposits in Kazakhstan. Mineral medicinal and thermal (thermal) underground waters. Manual]. Ed. A.A. Abdulin. Almaty, 1999. Vol. III, 180 p.
- Podzemnye termalnye vody Kazakhstana* [Underground thermal waters of Kazakhstan]. Ed. S.M. Mukhamedzhanov. Alma-Ata, 1990. 92 p.
- Zhevago V.S. *Teplovoy rezhim i geotermalnaya energiya nedr Yuzhnogo Kazakhstana* [Thermal conditions and geothermal energy of Southern Kazakhstan mineral resources]. Alma-Ata, Nauka KazSSR, 1976. 168 p.
- Termoanomalii podzemnykh vod Kazakhstana* [Thermal anomalies of underground waters of Kazakhstan]. Ed. Zh.S. Sydykov. Alma-Ata, Nauka KazSSR, 1981. 84 p.

11. Abykaev N.A., Kuznetsov O.L., Bekturganov N.S. Proekt Kontseptsii strategii ustoychivoy energetiki budushchego Kazakhstana do 2050 goda [The project of the concept of Kazakhstan future sustainable energy strategy to 2050]. *Vestnik Kazakhstanskoy Akademii Estestvennykh Nauk – Herald of the Kazakhstan Academy of Natural Sciences*, 2013, no. 2, pp. 16–66.
12. Plekhaov P.A. Istoricheskie aspekty resheniya problemy ispolzovaniya geotermalnykh vod v Kazkhstane [Historical aspects in solving the problem of using geothermal waters in Kazakhstan]. *Resursy podzemnykh vod – vazhneyshiy element ustoychivogo razvitiya ekonomiki Kazakhstana. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-teoreticheskoy konferentsii* [Proc. International research conference. Ground water deposits are the important element of sustainable development of Kazakhstan economy]. Almaty, 14–15 September 2012. pp. 118–124.
13. Groundwater resources of the world and their use. Eds. I.S. Zektser, L.G. Everet. *IHP-VI, Series on groundwater no. 6*, UNESCO. 2004. pp. 299–309.
14. Povarov O.A., Tomarov G.V. Razvitie geotermalnoy energetiki v Rossii i za rubezhom [Development of geothermal energy in Russia and abroad]. *Teploenergetika*, 2006, no. 3, pp. 2–10.
15. Absametov M.K., Murtazin Ye.Zh. Otsenka resursov mestorozhdeniy promyshlennykh podzemnykh vod Prikaspiyskoy vpadiny [Assessment of resources of industrial underground water deposits in Pre-Caspian depression]. *Nauka i inzhenernoe obrazovanie bez granits. Trudy mezhdunarodnogo foruma* [Proc. International Forum. Science and engineering education without borders]. Almaty, 13–14 November 2009. pp. 201–203.
16. Absametov M.K., Zavaley V.A., Murtazin Ye.Zh. Perspektivy ispolzovaniya gidromineralnogo syr'ya pri razvedke i dobyche nefiti [Prospects of using hydro-mineral raw materials at upstream]. *Geologiya i okhrana neдр*, 2010, no. 1 (34), pp. 64–68.

УДК 550.837.82

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КАЗАХСТАНЕ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЕЙШИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Паничкин Владимир Юрьевич,

д-р техн. наук, член-корреспондент Казахской Национальной Академии Естественных Наук; заведующий лабораторией моделирования гидродинамических и геоэкологических процессов Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина, Казахстан, 050010, Алматы, ул. Валиханова, 94. E-mail: v_panichkin@mail.ru

Мирошниченко Оксана Леонидовна,

канд. техн. наук, ведущ. науч. сотр. лаборатории моделирования гидродинамических и геоэкологических процессов Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина, Казахстан, 050010, Алматы, ул. Валиханова, 94. E-mail: o_mirosh@mail.ru

Актуальность: применение современных компьютерных технологий в гидрогеологических исследованиях.

Цель исследования: разработка, совершенствование методологии и методики применения информационных технологий при решении задач, связанных с использованием подземных вод, защитой их от истощения и загрязнения, а также защитой инженерных сооружений от вредного воздействия подземных вод.

Методы: совместное использование методов математического моделирования, геоинформационных систем, систем управления базами данных, методов дистанционного зондирования земли, систем глобального позиционирования при изучении гидрогеологических объектов и процессов.

Результаты: созданы геоинформационно-математические модели различных гидрогеологических объектов Казахстана для решения задач оценки запасов подземных вод, прогнозирования процессов подтопления в прибрежной зоне, загрязнения подземных вод особо токсичными веществами, засоления грунтов зоны аэрации вблизи массивов орошения в результате изменения гидрогеолого-мелиоративных условий.

Выводы: Использование разработанных методологии и методики применения информационных технологий значительно повышает эффективность гидрогеологических исследований – снижает трудоемкость подготовки и анализа исходных данных, увеличивает точность калибровки моделей и достоверность получаемых на них прогнозов, а также способствует выработке действенных рекомендаций по использованию подземных вод, защите их от истощения и загрязнения и защите инженерных сооружений от вредного воздействия подземных вод.

Ключевые слова:

Гидрогеология, математическое моделирование, геоинформационные системы, системы управления базами данных, методы дистанционного зондирования земли.

Одной из задач Государственной Программы по обеспечению населения Казахстана качественной питьевой водой «Ак булак» на 2011–2020 гг. является максимальное использование потенциала подземных вод. Месторождения пресных подземных вод представляют собой наиболее защищенный и надежный источник питьевой воды высокого качества. В Государственной Программе по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан на 2010–2014 гг. отмечается необходимость перехода на новые современные технологии экспертизы запасов на основе компьютерного моделирования месторождений полезных ископаемых, автоматизированных комплексов оценки и подсчета запасов.

В Институте гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина в течение ряда лет проводятся исследования по разработке методологии, методики применения современных компьютерных технологий в гидрогеологических исследованиях в Казахстане при решении задач, связанных с использованием подземных вод, защитой их от истощения и загрязнения, а также защитой инженерных сооружений от вредного воздействия подземных вод [1].

Разработанные в Институте теоретические концепции применения новейших информационных технологий в гидрогеологических исследованиях предусматривают комплексное использование систем математического моделирования, геоинформационных систем, систем управления базами данных, систем обработки данных дистанционного зондирования земли, систем глобального позиционирования и др. Состав комплекса инструментальных средств определяется спецификой решаемых гидрогеологических задач. Совместное применение различных инструментальных средств существенно повышает эффективность исследований [2–22]. Апробация теоретических, методических и программных разработок Института была успешно проведена в процессе создания систем разномасштабных взаимосвязанных моделей для решения различных прикладных гидрогеологических задач.

В процессе моделирования гидрогеологических систем использовались теоретические и методические разработки И.К. Гавич, В.М. Шестакова, В.А. Мироненко, В.Г. Румынина, Г.Е. Ершова, А.В. Лехова и др. [23–29].

Характерной чертой системы моделей Восточного Приаралья является значительный простран-

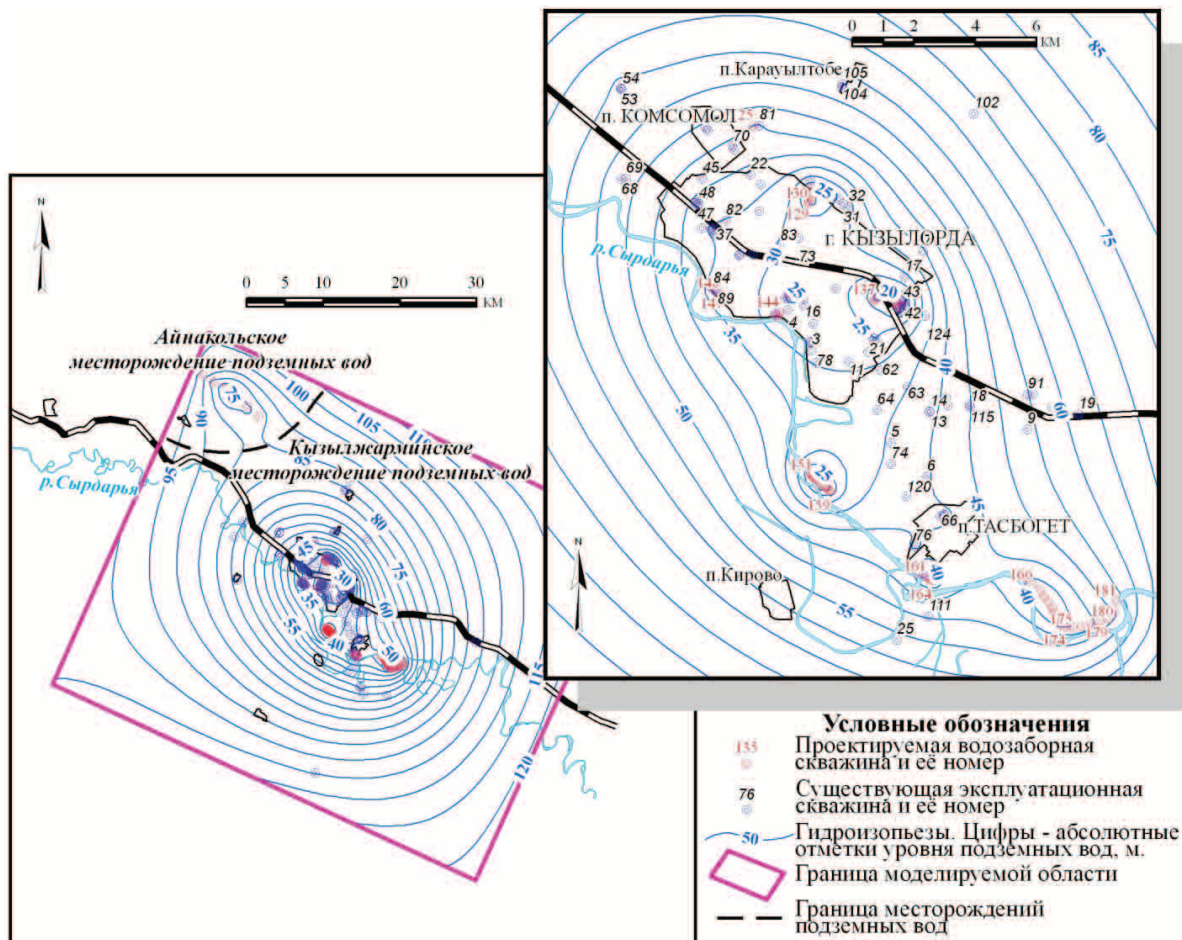


Рис. 1. Прогнозная карта гидроизоэпез верхнетуронского водоносного горизонта Кызылжарминского месторождения подземных вод (по состоянию на 16.02.2038 г.)

ственный охват. В нее входит региональная модель Восточного Приаралья и локальная модель Кызылжарминского месторождения подземных вод.

Региональная модель создавалась с целью повышения обоснованности решений по управлению водохозяйственной деятельностью в регионе, решения задач оценки эксплуатационных запасов подземных вод и прогнозирования изменения гидрогеологических условий для различных объемов отбора подземных вод. Цель создания локальной модели Кызылжарминского месторождения подземных вод – оценка запасов подземных вод верхнетуронского водоносного горизонта для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Кызылорды [1, 30].

Результаты решения прогнозной задачи изменения гидрогеологических условий под воздействием водоотбора доказали обоснованность эксплуатационных запасов Кызылжарминского месторождения подземных вод по гидродинамическим критериям. На рис. 1 показана прогнозная карта гидроизопьез верхнетуронского водоносного горизонта (по состоянию на 16.02.2038 г.). Максимальная глубина залегания динамических уровней воды в эксплуатационных скважинах на конец прогнозного периода в центре депрессионной воронки достигнет 130 м, но не превысит допустимых 150 м.

Ухудшение качества подземных вод эксплуатируемого верхнетуронского водоносного горизонта возможно в основном за счет перетекания соленоватых подземных вод из смежных горизонтов. Решение задачи переноса потоком подземных вод растворенных в ней компонентов позволило сделать вывод об обоснованности эксплуатационных запасов месторождения по критериям качества. Наибольшее увеличение минерализации подземных вод ($0,22 \text{ г/дм}^3$) произойдет в скважинах, для которых прогнозируется максимальная глубина залегания динамического уровня на конец прогнозного периода. Таким образом, эксплуатационные запасы Кызылжарминского месторождения подземных вод являются обоснованными и по критериям качества.

Моделирование гидрогеологических условий побережья Каспийского моря выполнялось для оценки влияния подъема уровня моря в 90-х гг. прошлого столетия на положение поверхности грунтовых вод. Была создана трехуровневая система взаимосвязанных моделей. На региональной модели рассчитывалась величина прогнозного повышения уровня грунтовых вод и положение зоны подтопления в плане в зависимости от прогнозного уровня воды в Каспии. Для оценки влияния нагонных явлений на грунтовые воды были созданы модели низовьев р. Урал и территории г. Атырау [31]. По результатам моделирования было установлено, что подпор подземных вод при подъеме уровня воды в море будет наблюдаться в узкой полосе шириной до 5–10 км. Подъем уровня Каспийского моря не оказывает существенного влияния на уровень

ный режим грунтовых вод на территории г. Атырау. Наблюдающийся подъем уровней на территории города обусловлен в первую очередь процессами самоподтопления за счет утечки из водопроводных и канализационных сетей города, поливов зеленых насаждений и фильтрации из ирригационных каналов. Полученные результаты подтверждаются современными исследованиями [32].

Система разномасштабных моделей гидрогеологических условий Павлодарского промышленного района была создана с целью прогнозирования распространения ореола ртутного загрязнения подземных вод для оценки опасности попадания ртути в р. Иртыш и в водозаборные скважины с. Павлодарское, а также разработки мероприятий по снижению риска [33]. Региональная модель с упрощенной схематизацией гидрогеологических условий была использована для получения приблизительной конфигурации ореола в плане и разрезе. На локальной модели, охватывающей только территорию распространения ореола ртутного загрязнения, детально воспроизведено литологическое строение гидрогеологического объекта и учтены процессы сорбции ртути водовмещающими породами. На ней выполнен прогноз распространения загрязненных ртутью подземных вод и рассчитано положение ореола в пространстве [34].

С целью доказательства адекватности системы моделей природным условиям выполнялась ее калибровка. Она заключалась в решении серии обратных задач – стационарной и нестационарной гидродинамических задач, а также эпигнозной задачи транспорта ртути потоком подземных вод. Результаты решения показаны на рис. 2.

Решение на системе моделей прогнозных задач позволяет говорить об отсутствии опасности попадания ртути в ближайшие десятилетия в р. Иртыш и скважины и колодцы с. Павлодарское при условии сохранения существующих гидрогеологических условий. К концу прогнозного периода большое количество ртути будет сорбировано глинистыми породами, но ореол загрязнения подземных вод сохранится. Результаты решения прогнозной задачи на системе моделей отображены на рис. 3. В результате испарения грунтовых вод с уровня поверхности ореол приподнимется вверх через «окна» в глинистых прослоях и концентрация ртути в воде вблизи зеркала грунтовых вод увеличится. Это создаст определенную опасность попадания ртути из грунтовых вод в почву и накопления ее в растительности.

Целью создания системы моделей Акдалинского массива орошения (Или-Балхашский регион) было получение прогноза изменения гидрогеологических условий массива в процессе его использования, оценка загрязнения подземных вод пестицидами, а также выбор оптимального режима эксплуатации земель [35]. Региональная модель охватывала всю территорию массива, локальная – небольшой участок, для которого имелись кондиционные исходные данные по загрязнению

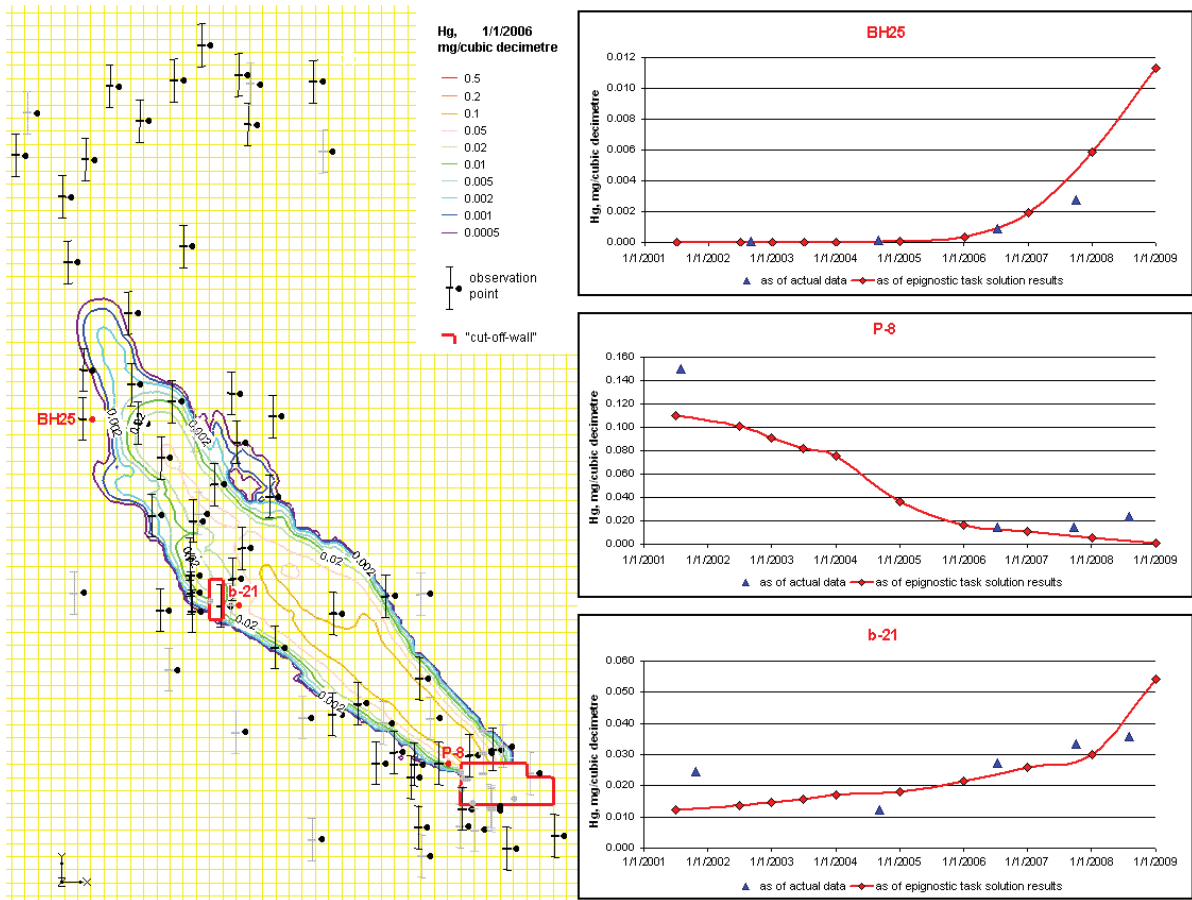


Рис. 2. Результаты решения эпигнозной транспортной задачи на системе моделей гидрогеологических условий северной части Павлодарского промышленного района

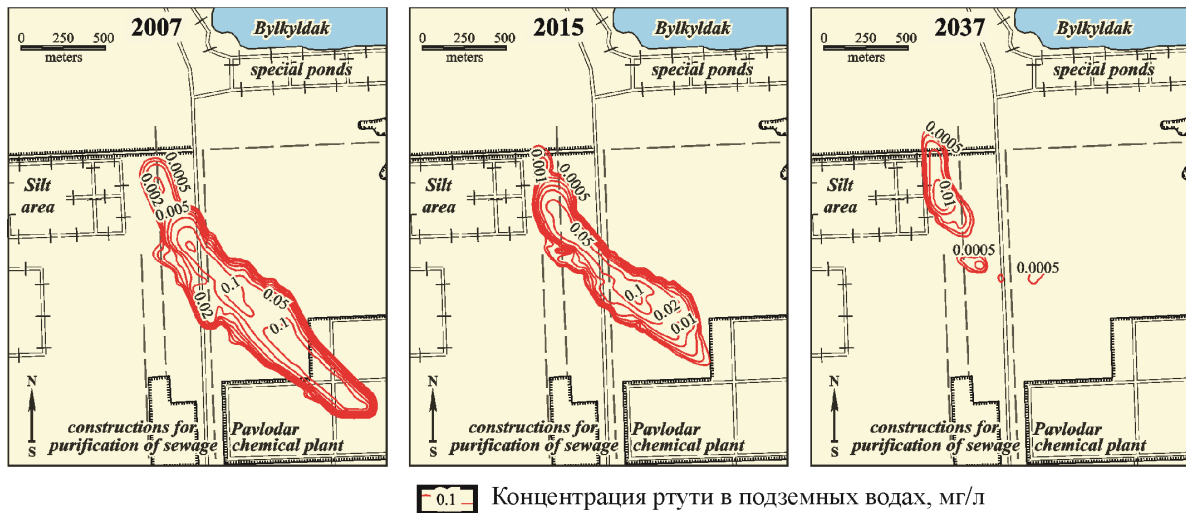


Рис. 3. Результаты решения прогнозной задачи на системе моделей гидрогеологических условий северной части Павлодарского промышленного района

пестицидами подземных вод. На региональной модели решены прогнозные задачи для различных вариантов использования земельных и водных ресурсов. На локальной модели имитировался перенос пестицидов потоком подземных вод.

Результаты моделирования показывают, что увеличение площади, занятой рисом, приведет к дальнейшему заболачиванию территории. С другой стороны, уменьшение доли рисовых полей приведет к увеличению глубины залегания уровня

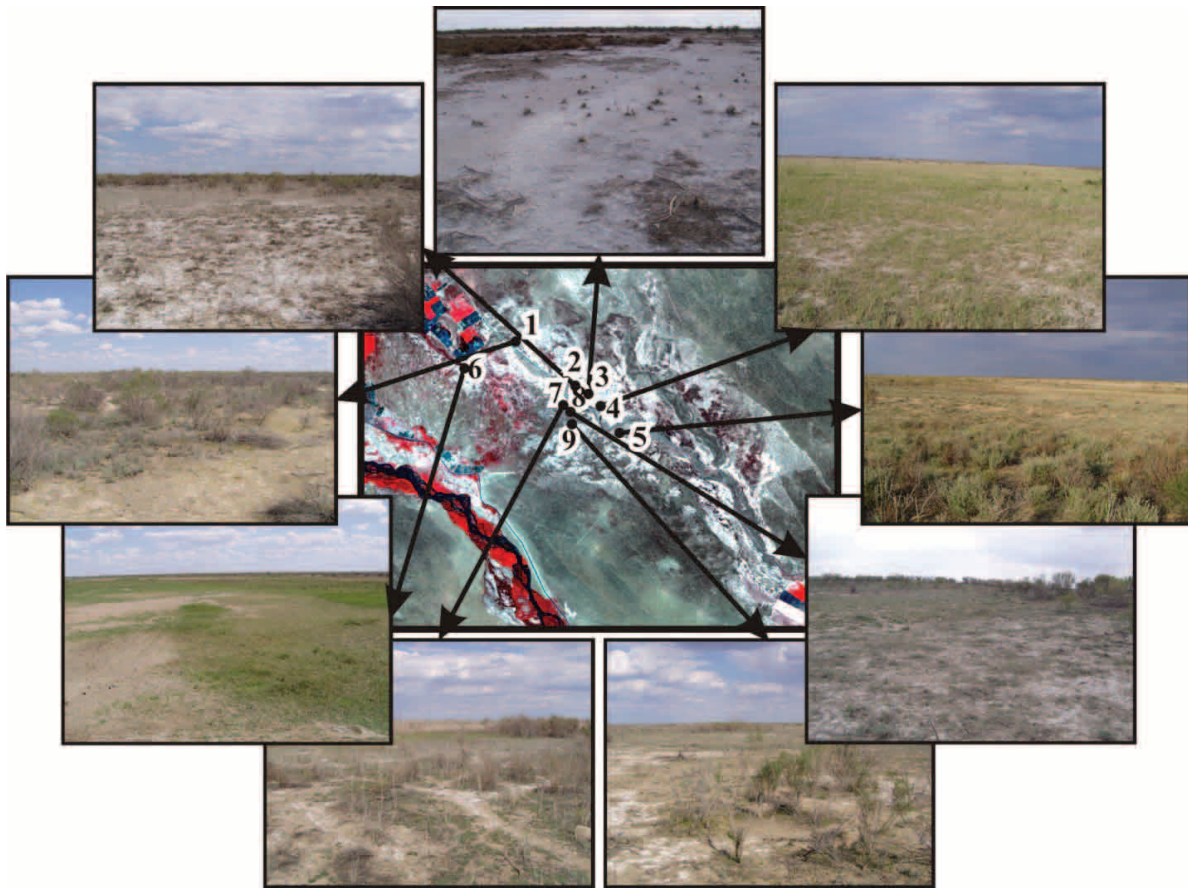


Рис. 4. Местоположение точек опробования в районе Акдалинского массива орошения: 1 – такыр, 2, 3, 8 – солончаки, 4, 5, 6, 7, 9 – покрытые растительностью пески

грунтовых вод до 3–5 м при критической глубине залегания 3,75 м, что может привести к вторичному засолению земель. Значение 4200–4500 га можно считать оптимальным для данной территории. Пестициды являются наиболее опасным загрязнителем подземных вод, поступающим со стороны рисовых массивов. Глубина их проникновения достигает 10–11 м. Для уменьшения их концентраций в поверхностных водах должен быть минимизирован сброс воды с рисовых полей. Кроме того, рекомендуется применение пестицидов с меньшим периодом полураспада. Применение пестицидов типа ДДТ должно быть запрещено. В ближайшем будущем Народная Республика Китай планирует увеличить водозабор из р. Или. Это приведет к уменьшению сброса воды в озеро Балхаш и ухудшению экологического состояния этого региона. Используя разработанные модели, можно воспроизводить различные сценарии использования земельных и водных ресурсов на Акдалинском ирригационном массиве. Разработанные модели фактически являются прототипом автоматизиро-

ванной системы управления водными ресурсами в этом регионе.

Для оценки динамики засоления почв вблизи Акдалинского массива орошения использованы данные дистанционного зондирования (космоснимки со спутника LANDSAT на 1990 и 2010 гг.) и результаты наземных маршрутных исследований. Был применен метод классификации, реализованный с помощью программы ERDAS Imagine [21]. Процесс его проведения представлен на рис. 4, 5 [36]. Результаты моделирования позволяют сделать вывод, что площадь солончаков в пределах выделенной области увеличилась с 1990 по 2010 гг. на 6 %. Солончаки заместили такырами, площадь которых уменьшилась примерно на 5 %. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что на массиве сохраняются риски засоления земель. Орошение продолжает оказывать негативное влияние на окружающую среду, в том числе на состояние земель вблизи массива.

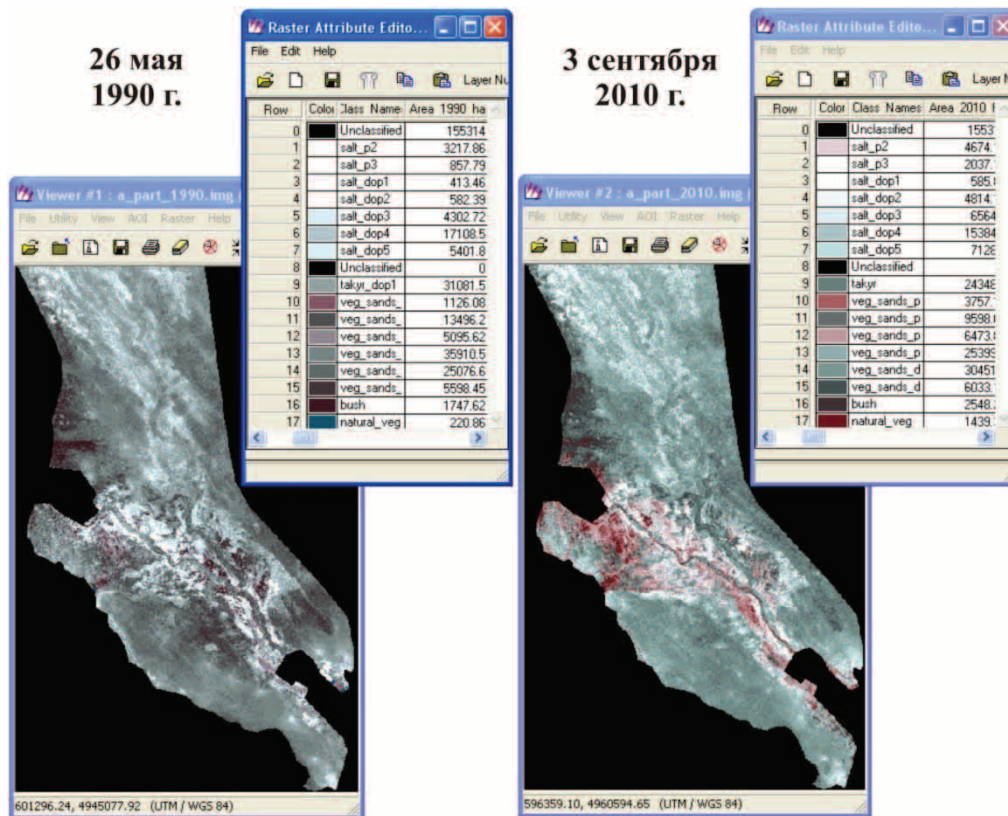


Рис. 5. Результаты классификации космоснимков для решения задачи оценки динамики засоления почв в районе Акдалинского массива орошения

Таким образом, многолетняя апробация разработанных методики и технологии геоинформационно-математического моделирования на ряде гидрогеологических объектов Казахстана продемонстри-

ровала их высокую эффективность. В будущем планируется продолжить работы в направлении совершенствования технологии с учетом возможностей новейших программно-инструментальных средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веселов В.В., Паничкин В.Ю. Геоинформационно-математическое моделирование гидрогеологических условий Восточного Приаралья. – Алматы: ТОО «Комплекс», 2004. – 428 с.
2. Паничкин В.Ю., Мирошниченко О.Л. Современные тенденции гидрогеологического моделирования в Казахстане // Известия НАН РК. Серия геологическая. – 2009. – № 3. – С. 97–103.
3. Application of a multimodel approach to account for conceptual model and scenario uncertainties in groundwater modelling / Rojas R., Kahunde S., Peeters L., Batelaan O., Feyen L., Dassargues A. // Journal of Hydrology. – 2010. – V. 394. – P. 416–435.
4. Numerically modelling groundwater in an arid area with ANN-generated dynamic boundary conditions / Z. Huo, S. Feng, S. Kang, X. Mao, F. Wang // Hydrological Processes. – 2010. URL: <http://www.potatoirrigate.com/upload/pdf/b55f492b15f8e48f9c8a28fe48189a10b.pdf> (дата обращения: 05.02.2014).
5. Strassberg G., Jones N.L., Maidment D.R. Arc Hydro Groundwater: GIS for Hydrogeology. – Redlands, California: ESRI Press, 2011. – 176 p.
6. Building a geodatabase for mapping hydrogeological features and 3D modeling of groundwater systems: Application to the Saguenay-Lac-St.-Jean region, Canada / R. Chesnaux, M. Lambert, J. Walter, U. Fillastre, M. Hay, A. Rouleau, R. Daigneault, A. Moisan, D. Germaneau // Computers & Geosciences. – 2011. – V. 37. – P. 1870–1882.
7. Modeling the impact of in-stream water level fluctuations on stream-aquifer interactions at the regional scale / F. Saleh, N. Flipo, F. Habets, A. Ducharne, L. Oudin, P. Viennot, E. Ledoux // Journal of Hydrology. – 2011. – V. 400. – P. 490–500.
8. Yang Q.C., Liang J., Yang Z. P. Numerical Modeling of Groundwater Flow in Daxing (Beijing), China // Energy Procedia. – 2012. – V. 14. – P. 1671–1676.
9. Implementation of a 3-D groundwater flow model in a semi-arid region using MODFLOW and GIS tools: The Zéramdine-Béni Hassen Miocene aquifer system (east-central Tunisia) / F. Lachal, A. Mlayah, M. Bédir, J. Tarhouni, C. Leduc // Computers & Geosciences. – 2012. – V. 48. – P. 187–198.
10. Abdalla F. Mapping of groundwater prospective zones using remote sensing and GIS techniques: A case study from the Central Eastern Desert, Egypt // Journal of African Earth Sciences. – 2012. – V. 70. – P. 8–17.
11. Mair A., El-Kadi A.I. Logistic regression modeling to assess groundwater vulnerability to contamination in Hawaii, USA // Journal of Contaminant Hydrology. – 2013. – V. 153. – P. 1–23.
12. Hartley L., Joyce S. Approaches and algorithms for groundwater flow modeling in support of site investigations and safety assessment of the Forsmark site, Sweden // Journal of Hydrology. – 2013. – V. 500. – P. 200–216.
13. Determining groundwater protection zones for the Quaternary aquifer of northeastern Nile Delta using GIS-based vulnerability map-

- ping / H.H. Elewa, R.E. Shohaib, A.A. Qaddah, A.M. Noursir // *Environmental Earth Sciences*. – 2013. – V. 68. – Iss. 2. – P. 313–331.
14. An efficient integrated approach for global sensitivity analysis of hydrological model parameters / C. Zhan, X. Song, J. Xia, C. Tong // *Environmental Modelling & Software*. – 2013. – V. 41. – P. 39–52.
 15. An integrated study of spatial multicriteria analysis and mathematical modelling for managed aquifer recharge site suitability mapping and site ranking at Northern Gaza coastal aquifer / M.A. Rahman, B. Rusteberg, M.S. Uddin, A. Lutz, M.A. Saada, M. Sauter // *Journal of Environmental Management*. – 2013. – V. 124. – P. 25–39.
 16. Using partial penetrating wells and curtains to lower the water level of confined aquifer of gravel / J. Wang, B. Feng, T. Guo, L. Wu, R. Lou, Z. Zhou // *Engineering Geology*. – 2013. – V. 161. – P. 16–25.
 17. Surface–groundwater interactions in hard rocks in Sardon Catchment of western Spain: An integrated modeling approach / S.M. Tanvir Hassan, M.W. Lubczynski, R.G. Niswonger, Z. Su // *Journal of Hydrology*. – 2014. – V. 517 – P. 390–410.
 18. Modelling the impacts of river stage manipulation on a complex river-floodplain system in a semi-arid region / S. Alaghmand, S. Beecham, I.D. Jolly, K.L. Holland, J.A. Woods, A. Hassanli // *Environmental Modelling & Software*. – 2014. – V. 59 – P. 109–126.
 19. Gharamti M.E., Valstar J., Hoteit I. An adaptive hybrid EnKF-OI scheme for efficient state-parameter estimation of reactive contaminant transport models // *Advances in Water Resources*. – 2014. – V. 71. – P. 1–15.
 20. Zhou H., Gémez-Hernández J.J., Li L. Inverse methods in hydrogeology: Evolution and recent trends // *Advances in Water Resources*. – 2014. – V. 63. – P. 22–37.
 21. Mahmoud S.H. Investigation of rainfall–runoff modeling for Egypt by using remote sensing and GIS integration // *Catena*. – 2014. – V. 120. – P. 111–121.
 22. Regional scale impact of tidal forcing on groundwater flow in unconfined coastal aquifers / P.S. Pauw, G.H.P. Oude Essink, A. Leijnse, A. Vandenbohede, J. Groen, S.E.A.T.M. van der Zee // *Journal of Hydrology*. – 2014. – V. 517. – P. 269–283.
 23. Гавич И.К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. – М.: Недра, 1980. – 358 с.
 24. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. – М.: КДУ, 2009. – 336 с.
 25. Шестаков В.М., Поздняков С.П. Геогидрология. – М.: Академкнига, 2003. – 176 с.
 26. Мироненко В.А., Румынин В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии. Теоретическое изучение и моделирование геомиграционных процессов. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 1998. – Т. 1. – 611 с.
 27. Румынин В.Г. Геомиграционные модели в гидрогеологии. – СПб.: Наука, 2011. – 1158 с.
 28. Ершов Г.Е. Особенности гидрогеологического моделирования на этапе проектирования водозаборных сооружений // Математическое моделирование, геоинформационные системы и базы данных в гидрогеологии: Матер. Всеросс. науч.-практ. конф. – М., 2013. – С. 32–36.
 29. Федорова Ю.В., Лехов А.В. Моделирование многокомпонентной диффузии при миграции протоктов в гетерогенно-блоковой среде // *Геоэкология*. – 2014. – № 2. – С. 179–187.
 30. Паничкин В.Ю., Мирошниченко О.Л. Концепции геоинформационно-математического моделирования гидрогеологических условий Сырдарьинского артезианского бассейна для оптимизации использования ресурсов подземных вод // *Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук*. – 2012. – № 6. – С. 82–87
 31. Веселов В.В., Паничкин В.Ю., Мирошниченко О.Л. Опыт применения автоматизированных технологий в гидрогеологическом моделировании // *Известия НАН РК. Серия геологическая*. – 2003. – № 3. – С. 117–124.
 32. Зверев В.П., Костикова И.А. Еще раз о возможности влияния подземных вод на изменение уровня Каспия // *Геоэкология*. – 2013. – № 4. – С. 316–322.
 33. Mercury contamination in the vicinity of a derelict chlor-alkali plant. P. I: Sediment and water contamination of Lake Balkyldak and the River Irtysh / S.M. Ullrich, M.A. Ilyushchenko, I.M. Kamberov, T.W. Tanton // *Science of The Total Environment*. – 2007. – V. 381. – Iss. 1–3. – P. 1–16.
 34. Former Chlor-alkali Factory in Pavlodar, Kazakhstan: Mercury Pollution, Treatment Options, and Results of Post-demercuration Monitoring / M.A. Ilyushchenko, V.Yu. Panichkin, P. Randall, R.I. Kamberov // *Bioremediation of Mercury: Current Research and Industrial Applications*. – Norfolk, UK, Caister Academic Press, 2012. – 144 p.
 35. Прогнозирование изменения гидрогеолого-мелиоративных условий на Акдалинском массиве орошения на системе разномасштабных математических моделей / В.Ю. Паничкин, Т.Н. Винникова, Н.М. Захарова, О.Л. Мирошниченко, Л.Ю. Трушель // *Геология и охрана недр*. – 2006. – № 4 (21). – С. 51–59.
 36. Применение методов дистанционного зондирования в гидрогеолого-мелиоративных исследованиях в Казахстане / В.Ю. Паничкин, О.Л. Мирошниченко, Н.М. Захарова, Л.Ю. Трушель // *Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук*. – 2012. – № 5. – С. 58–66.

Поступила 07.02.2014 г.

INCREASE OF HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION EFFICIENCY IN KAZAKHSTAN APPLYING THE NEWEST INFORMATIONAL TECHNOLOGIES

Vladimir Yu. Panichkin,

Dr. Sc., Institute of Hydrogeology and Geocology named after
U.M. Akhmedsafin, 94, Valikhanov street, Almaty, 050010, Kazakhstan.

E-mail: v_panichkin@mail.ru

Oksana L. Miroshnichenko,

Cand. Sc., Institute of Hydrogeology and Geocology named after
U.M. Akhmedsafin, 94, Valikhanov street, Almaty, 050010, Kazakhstan.

E-mail: o_mirosh_mail.ru

Relevance: modern computer technologies application in hydrogeological investigations.

Aim of the research: development, improvement of methodology and information technology application when solving the problems connected with ground water utilization and their protection from impoverishment and pollution, as well as with protection of engineering structures from poisonous impact of ground waters.

Methods: joint utilization of mathematical modeling methods, geoinformational systems, database management systems, earth remote sensing methods, Global Positioning Systems when studying hydrogeological objects and processes.

Results: The authors have developed the geoinformational-mathematical models of different hydrogeological objects of Kazakhstan to solve the following tasks: groundwater supply assessment; forecasting of flooding processes in coastal zone; groundwater contamination of very toxic substances; salinization of aeration zone soil near irrigated massifs as the result of hydrogeological and meliorative conditions change.

Conclusions: Use of the developed methodologies and methods of the informational technologies applications increases considerably the efficiency of hydrogeological investigations, lowers the labour expenditures of preparation and analysis of initial data, increases the accuracy of calibration of models and accuracy of the prognoses received from them; helps when preparing the effective recommendations for ground waters utilization, their protection from impoverishment and pollution and protects engineering structures from poisonous impact of ground waters.

Key words:

Hydrogeology, mathematical modeling, geoinformational systems, data base management systems, earth remote sensing methods.

REFERENCES

1. Veselov V.V., Panichkin V.Yu. *Geoinformatsionno-matematicheskoe modelirovanie gidrogeologicheskikh usloviy Vostochnogo Priaralya* [Geoinformational-mathematical simulation of hydrogeological conditions of Eastern Priaralye]. Almaty, Kompleks Publ., 2004. 428 p.
2. Panichkin V.Yu., Miroshnichenko O.L. *Sovremennye tendentsii gidrogeologicheskogo modelirovaniya v Kazakhstane* [Modern trends of hydrogeological modelling in Kazakhstan]. *Izvestiya NAN RK. Seriya geologicheskaya – Proceedings of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Geological series*, 2009, no. 3, pp. 97–103.
3. Rojas R., Kahunde S., Peeters L., Batelaan O., Feyen L., Dassargues A. Application of a multimodel approach to account for conceptual model and scenario uncertainties in groundwater modeling. *Journal of Hydrology*, 2010, vol. 394, pp. 416–435.
4. Huo Z., Feng S., Kang S., Mao X., Wang F. Numerically modeling groundwater in an arid area with ANN-generated dynamic boundary conditions. *Hydrological Processes*, 2010. Available at: <http://www.potatoirrigate.com/upload/pdf/b55f492b15f8e8f9c8a28fe48189a10b.pdf> (accessed 05 February 2014).
5. Strassberg G., Jones N.L., Maidment D.R. *Arc Hydro Groundwater: GIS for Hydrogeology*. Redlands, California, ESRI Press, 2011. 176 p.
6. Chesnaux R., Lambert M., Walter J., Fillastre U., Hay M., Rouleau A., Daigneault R., Moisan A., Germaneau D. Building a geodatabase for mapping hydrogeological features and 3D modeling of groundwater systems: Application to the Saguenay–Lac-St.-Jean region, Canada. *Computers & Geosciences*, 2011, vol. 37, pp.1870–1882.
7. Saleh F., Flipo N., Habets F., Ducharne A., Oudin L., Viennot P., Ledoux E. Modeling the impact of in-stream water level fluctuations on stream-aquifer interactions at the regional scale. *Journal of Hydrology*, 2011, vol. 400, pp. 490–500.
8. Yang Q.C., Liang J., Yang Z.P. Numerical Modeling of Groundwater Flow in Daxing (Beijing), China. *Energy Procedia*, 2012, vol. 14, pp. 1671–1676.
9. Lachaal F., Mlayah A., Bédir M., Tarhouni J., Leduc C. Implementation of a 3-D groundwater flow model in a semi-arid region using MODFLOW and GIS tools: The Zéramdine-Béni Hassen Miocene aquifer system (east-central Tunisia). *Computers & Geosciences*, 2012, vol. 48, pp. 187–198.
10. Abdalla F. Mapping of groundwater prospective zones using remote sensing and GIS techniques: A case study from the Central Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 2012, vol. 70, pp. 8–17.
11. Mair A., El-Kadi A.I. Logistic regression modeling to assess groundwater vulnerability to contamination in Hawaii, USA. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2013, vol. 153, pp. 1–23.
12. Hartley L., Joyce S. Approaches and algorithms for groundwater flow modeling in support of site investigations and safety assessment of the Forsmark site, Sweden. *Journal of Hydrology*, 2013, vol. 500, pp. 200–216.
13. Elewa H.H., Shohaib R.E., Qaddah A.A., Noursir A.M. Determining groundwater protection zones for the Quaternary aquifer of northeastern Nile Delta using GIS-based vulnerability mapping. *Environmental Earth Sciences*, 2013, vol. 68, Iss. 2, pp. 313–331.
14. Zhan C., Song X., Xia J., Tong C. An efficient integrated approach for global sensitivity analysis of hydrological model parameters. *Environmental Modelling & Software*, 2013, vol. 41, pp. 39–52.

15. Rahman M.A., Rusteberg B., Uddin M.S., Lutz A., Saada M.A., Sauter M. An integrated study of spatial multicriteria analysis and mathematical modelling for managed aquifer recharge site suitability mapping and site ranking at Northern Gaza coastal aquifer. *Journal of Environmental Management*, 2013, vol. 124, pp. 25–39.
16. Wang J., Feng B., Guo T., Wu L., Lou R., Zhou Z. Using partial penetrating wells and curtains to lower the water level of confined aquifer of gravel. *Engineering Geology*, 2013, vol. 161, pp. 16–25.
17. Tanvir Hassan S.M., Lubczynski M. W., Niswonger R.G., Su Z. Surface-groundwater interactions in hard rocks in Sardon Catchment of western Spain: An integrated modeling approach. *Journal of Hydrology*, 2014, vol. 517, pp. 390–410.
18. Alaghmand S., Beecham S., Jolly I.D., Holland K.L., Woods J.A., Hassanli A. Modelling the impacts of river stage manipulation on a complex river-floodplain system in a semi-arid region. *Environmental Modelling & Software*, 2014, vol. 59, pp. 109–126.
19. Gharamti M.E., Valstar J., Hoteit I. An adaptive hybrid EnKF-OI scheme for efficient state-parameter estimation of reactive contaminant transport models. *Advances in Water Resources*, 2014, vol. 71, pp. 1–15.
20. Zhou H., G3mez-Hern3ndez J.J., Li L. Inverse methods in hydrogeology: Evolution and recent trends. *Advances in Water Resources*, 2014, vol. 63, pp. 22–37.
21. Mahmoud S.H. Investigation of rainfall-runoff modeling for Egypt by using remote sensing and GIS integration. *Catena*, 2014, vol. 120, pp. 111–121.
22. Pauw P.S., Oude Essink G.H.P., Leijnse A., Vandenbohede A., Groen J., S.E.A.T.M. van der Zee. Regional scale impact of tidal forcing on groundwater flow in unconfined coastal aquifers. *Journal of Hydrology*, 2014, vol. 517, pp. 269–283.
23. Gavich I.K. *Teoriya i praktika primeneniya modelirovaniya v gidrogeologii* [Theory and practice of applying modeling in hydrogeology]. Moscow, Nedra Publ., 1980. 358 p.
24. Shestakov V.M. *Gidrogeodinamika* [Hydrogeodynamics]. Moscow, KDU Publ., 2009. 336 p.
25. Shestakov V.M., Pozdnyakov S.P. *Geogidrologiya* [Hydrogeology]. Moscow, Akademkniga Publ., 2003. 176 p.
26. Mironenko V.A., Rumynin V.G. *Problemy gidrogeologii. Teoreticheskoe izuchenie i modelirovanie geomigratsionnykh protsessov* [Theoretical study and modeling of geomigration processes]. Moscow, Moscow State Mining University Press, 1998. V. 1. 611 p.
27. Rumynin V.G. *Geomigratsionnye modeli v gidrogeologii* [Migration models in hydrogeology]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2011. 1158 p.
28. Ershov G.E. Osobennosti gidrogeologicheskogo modelirovaniya na etape proektirovaniya vodozabornykh sooruzheniy [Hydrogeological modeling features on diversion facility planning phase]. *Matematicheskoe modelirovanie, geoinformatsionnye sistemy i bazy dannykh v gidrogeologii. Materialy Vserossiiskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proc. All-Russian theor. and pract. Conf. Mathematical modeling, geoinformational systems and database in hydrogeology]. Moscow, 2013. pp. 32–36.
29. Fedorova Yu.V., Lekhov A.V. Modelirovanie mnogokomponentnoy diffuzii pri migratsii promstokov v geterogenno-blokovoy srede [Modeling of multicomponent diffusion under industrial waste migration in heterogeneously layered medium]. *Geokologiya*, 2014, no. 2, pp. 179–187.
30. Panichkin V.Yu., Miroshnichenko O.L. Kontseptsii geoinformatsionno-matematicheskogo modelirovaniya gidrogeologicheskikh usloviy Syrdarinskogo artzianskogo basseyna dlya optimizatsii ispolzovaniya resursov podzemnykh vod [A conceptions for geoinformational-mathematic modeling of hydrogeological conditions at the Syrdarya artesian basin for using optimization water underground resources]. *Izvestiya NAN RK. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk – News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of geology and technical sciences*, 2012, no. 6, pp. 82–87.
31. Veselov V.V., Panichkin V.Yu., Miroshnichenko O.L. Opyt primeneniya avtomatizirovannykh tekhnologiy v gidrogeologicheskoy modelirovani [Experience of applying computer-aided technology in hydrogeological modeling]. *Izvestiya NAN RK. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk – Proceedings of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, Geological series*, 2003, no.3, pp. 117–124.
32. Zverev V.P., Kostikova I.A. Eshche raz o vozmozhnosti vliyaniya podzemnykh vod na izmenenie urovnya Kaspiya [Once again about the possible influence of subsurface water on the Caspian sea level]. *Geokologiya*, 2013, no. 4, pp. 316–322.
33. Ullrich S.M., Ilyushchenko M.A., Kamberov I.M., Tanton T.W. Mercury contamination in the vicinity of a derelict chlor-alkali plant. P. I: Sediment and water contamination of Lake Balkyldak and the River Irtysh. *Science of The Total Environment*, 2007, vol. 381, Iss. 1–3, pp. 1–16.
34. Ilyushchenko M.A., Panichkin V.Yu., Randall P., Kamberov R.I. Former Chlor-alkali Factory in Pavlodar, Kazakhstan: Mercury Pollution, Treatment Options, and Results of Post-demercuration Monitoring. *Bioremediation of Mercury. Current Research and Industrial Applications*. Norfolk, UK, Caister Academic Press, 2012. 144 p.
35. Panichkin V.Yu., Vinnikova T.N., Zakharova N.M., Miroshnichenko O.L., Trushel L.Yu. Prognozirovaniye izmeneniya gidrogeologo-meliorativnykh usloviy na Akdalinskom massive orosheeniya na sisteme raznomasshtabnykh matematicheskikh modeley [Change forecast of hydrogeological-meliorative conditions of Akdalinski irrigation massif onto the system of differently scaled mathematical models]. *Geologiya i okhrana nedr*, 2006, no. 4 (21), pp. 51–59.
36. Panichkin V.Yu., Miroshnichenko O.L., Zakharova N.M., Trushel L.Yu. Primenenie metodov distantsionnogo zondirovaniya v gidrogeologo-meliorativnykh issledovaniyakh v Kazakhstane [Application of remote-sensing methods in hydrogeology-meliorative researches in Kazakhstan]. *Izvestiya NAN RK. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk – News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of geology and technical sciences*, 2012, no. 5, pp. 58–66.

УДК 575.3:550.4 (575.1–25)

ГЕОХИМИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИТАШКЕНТСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА (РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН)

Гусева Наталья Владимировна,

канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр. научно-образовательного центра «Вода», доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: guseva24@yandex.ru

Отакулова Юлия Александровна,

мл. науч. сотр. Государственного Предприятия «Институт Гидрогеологии и Инженерной Геологии имени О.К. Ланге», Республика Узбекистан, 100041, г. Ташкент, ул. Олимлар, д. 64. E-mail: yuliya_otakulova@mail.ru

Водные ресурсы играют значительную роль в экономическом развитии Ташкентской области Республики Узбекистан, подземные воды Приташкентского артезианского бассейна используются для питьевого водоснабжения городского и сельского населения, производственно-технических нужд и орошения земель. В этой связи, актуальными являются вопросы исследования особенностей формирования химического состава подземных вод Приташкентского артезианского бассейна для целей прогноза изменения их качества.

Цель работы: исследование особенностей формирования химического состава подземных вод Ташкентской области с позиций анализа эволюционного развития системы вода–порода.

Методы исследования: для комплексного исследования равновесия подземных вод с горными породами использованы методы равновесной термодинамики. Для определения химического состава подземных вод применялись классические методы анализа.

Результаты: Исследованы особенности химического состава подземных вод Приташкентского артезианского бассейна. Выявлены закономерности поведения основных ионов с ростом минерализации. Изучение степени равновесия подземных вод показало, что все рассматриваемые воды достигают насыщения монтмориллонитами, а часть вод – кальцитом. Не смотря на высокое содержание в водах сульфат-иона, насыщения сульфатными минералами не наблюдается. Эти результаты позволили в пределах Приташкентского артезианского бассейна выделить два геохимических типа вод: кремнисто-кальциевый (магниевый) и кремнистый карбонатно-кальциевый, отличающихся величиной рН и содержанием основных ионов.

Ключевые слова:

Подземные воды, химический состав, водоносный горизонт, равновесие, геохимия.

Введение

Ташкентская область – крупнейший индустриальный регион Республики Узбекистан, на долю которого приходится почти вся республиканская продукция черной и цветной металлургии (за исключением золота), строительной промышленности, здесь производится основная добыча угля, развита электроэнергетика и сельское хозяйство. Водные ресурсы играют значительную роль в экономическом развитии региона, так, например, подземные воды Приташкентского артезианского бассейна используются для питьевого водоснабжения городского и сельского населения, производственно-технических нужд и орошения земель. В этой связи, актуальными являются вопросы исследования особенностей формирования химического состава подземных вод Приташкентского артезианского бассейна.

Определяющим процессом в формировании природных вод разнообразного состава и солености согласно современным представлениям является взаимодействие воды с горными породами [1]. Различные аспекты этого процесса исследуются учеными всего мира [2]. При всем многообразии взглядов на обозначенную проблему особо заслуживающим внимание являются представления об

эволюционном характере взаимодействия вод с горными породами, согласно которым «вода такова, какова степень ее взаимодействия с горными породами, определяемая историей геологической эволюции этой системы» [1, 3, 4]. Таким образом, на каждой стадии взаимодействия в системе вода–порода формируется строго определенный состав вод.

Целью работы является исследование процессов формирования химического состава подземных вод Приташкентского артезианского бассейна с позиций эволюционного развития системы вода–порода.

Характеристика объекта и методы исследований

Ташкентская область расположена в северо-восточной части Республики Узбекистан, что показано на рис. 1. В геоморфологическом отношении район располагается на стыке горно-предгорных и равнинных территорий, обусловивших значительное разнообразие климатических условий. Рассматриваемая территория располагается в резко континентальном поясе. Среднегодовая температура составляет 14,8 °С. Количество ежегодно выпадающих осадков составляет от 300 до 800 мм в различных частях исследуемого района.



Рис. 1. Обзорная карта района исследований

Основной водной артерией района являются р. Чирчик и Ахангаран, крупные правобережные притоки р. Сырдарья, формирующиеся в условиях высокогорья за счет снегов и родникового питания.

В основу данной работы положены материалы гидрогеохимических исследований 8-ми водоносных горизонтов, получившие широкое распространение в пределах исследуемой территории. Массив гидрогеохимической информации включает данные по макрокомпонентному составу подземных вод, вскрытых 69-ю скважинами, находящимися в Ташкентской области вдоль долин рек Чирчик и Ахангаран как в равнинных частях долин рек, так и в предгорных районах. Анализ химического состава подземных вод выполнялся в лаборатории Государственного Предприятия «Институт ГИДРОИНГЕО» г. Ташкента. Общее количество точек наблюдения 144.

Для определения стадии взаимодействия подземных вод Ташкентской области была проведена оценка степени насыщенности вод к вторичным минеральным продуктам: гиббситу, каолиниту, монтмориллонитам, гидрослюде, кальциту, доломиту, магнезиту и гипсу. В основу изучения геохимических процессов в системе вода–порода положены методы равновесной термодинамики и анализ элементарных реакций, начальными продуктами которых являются основные породообразующие минералы и вода, конечными – вторичные ми-

нералы, а также ионы и нейтральные молекулы, которые перешли в жидкую фазу. В данной работе использовались реакции, приведенные в табл. 1.

Степень насыщенности вод относительно вторичных минералов оценивалась посредством индекса неравновесности, или, по терминологии В.П. Зверева, показателем А, который определяется по формуле (1) [5]:

$$A = \lg \frac{K}{Q}, \quad (1)$$

где K – константа реакции, Q – квотант реакции.

По мере насыщения вод относительно какого-либо минерала индекс неравновесности уменьшается, стремясь к нулю, при пересыщении вод его значения становятся отрицательными; нулевое значение характеризует равновесное состояние [5].

Способность компонентов водного раствора вступать в химическое взаимодействие, характеризующаяся активностью иона, вычислена согласно формуле (2) [6]:

$$a_{\text{иона}} = [\text{ион}] = \gamma_{\text{и}} \cdot m, \quad (2)$$

где $\gamma_{\text{и}}$ – коэффициент активности; m – молярность иона, г-моль/л.

Коэффициент активности рассчитан по уравнению Дебая–Хюккеля (3), используемому для низкоминерализованных растворов [6].

$$-\lg \gamma = (A \cdot z_i^2 \cdot \sqrt{I}) / (1 + a_i \cdot B \cdot \sqrt{I}), \quad (3)$$

Таблица 1. Уравнения взаимодействия вод с алюмосиликатными и карбонатными минералами и их основные термодинамические параметры

Реакция	lgKp [6]	Уравнение квотанта реакции
$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 5\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 2\text{H}_4\text{SiO}_4^0$	-8,44	$[\text{H}_4\text{SiO}_4^0]^2$
$6\text{Ca}_{0,17}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 23\text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 8\text{H}_4\text{SiO}_4^0 + \text{Ca}^{2+}$	-18,35	$([\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{H}_4\text{SiO}_4^0]^8) / [\text{H}^+]^2$
$6\text{Mg}_{0,17}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 23\text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 8\text{H}_4\text{SiO}_4^0 + \text{Ca}^{2+}$	-18,3	$([\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{H}_4\text{SiO}_4^0]^8) / [\text{H}^+]^2$
$3\text{K}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + \text{H}^+ + 11,5\text{H}_2\text{O} = 3,5\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 4\text{H}_4\text{SiO}_4^0 + \text{K}^+$	-8,9	$([\text{K}^+] \cdot [\text{H}_4\text{SiO}_4^0]^4) / [\text{H}^+]$
$3\text{Na}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + \text{H}^+ + 11,5\text{H}_2\text{O} = 3,5\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 4\text{H}_4\text{SiO}_4^0 + \text{Na}^+$	-8,4	$([\text{Na}^+] \cdot [\text{H}_4\text{SiO}_4^0]^4) / [\text{H}^+]$
$\text{CaCO}_3 = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	-8,34	$[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]$
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-}$	-17,09	$[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]^2$
$\text{MgCO}_3 = \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	-7,46	$[\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]$
$\text{CaSO}_4 = \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$	-4,36	$[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]$

где A и B – характеристические константы растворителя, зависящие от температуры и диэлектрической проницаемости воды; \hat{a}_i – множитель, зависящий от эффективного диаметра данного иона в растворе, преимущественно определяется экспериментальным путем [6]; z_i – заряд иона.

I – ионная сила вычисляемая по уравнению (4):

$$I = 0,5 \sum m_i z_i^2. \quad (4)$$

Для визуализации результатов расчета используются диаграммы полей устойчивости алюмосиликатных и карбонатных минералов.

Для расчета активности химических элементов в соленых водах использован программный продукт HydroGeo, разработанный в Томском политехническом университете.

Результаты исследований и их обсуждение

В гидрогеологическом отношении территория Ташкентской области представлена двумя структурами: Чаткало-Кураминской группой бассейнов трещинных вод на востоке, северо-востоке и При-ташкентским артезианским бассейном на юге, к которому в основном приурочены все рассматриваемые воды. В пределах исследуемой территории наиболее широкое распространение получили восемь водоносных горизонтов, которые используются для водоснабжения населенных пунктов Ташкентской области.

Водоносный горизонт верхнечетвертичных современных аллювиальных, аллювиально-пролювиальных отложений а-ар Q_{III-IV} развит в аллювиальных отложениях поймы рек Чирчик, Ахангаран, Дукента, Коксу и др. Ширина распространения водоносного горизонта от 1 до 2 м. Мощность изменяется от 8,0 до 10–15 м. Глубина залегания уровня подземных вод составляет 3,85–6,85 м. Коэффициент фильтрации водоносного горизонта в районе г. Ангрена от 10 до 43,2 м/сут., а в районе ручья Дукент 108,7–109 м/сут. В пределах приречной зоны наблюдаются самые высокие фильтрационные свойства водоносного горизонта, достигающие 200 м/сут. [7, 8].

По химическому составу воды преимущественно гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые, однако в трёх скважинах наблюдается увеличение доли сульфат-иона, и воды становятся сульфатными. Это отмечается лишь в скважинах, расположенных вблизи золотоизвлекательной фабрики. Воды пресные с минерализацией менее 500 мг/л, от слабокислых до нейтральных, реже слабощелочные. В основном содержание нитратов в водах горизонта не превышает 8 мг/л. Лишь в сельскохозяйственной орошаемой зоне в условиях близ поверхностного залегания водоносного горизонта в одной скважине встречены воды с очень высоким содержанием нитратов – 86 мг/л. Содержание кремния в среднем составляет 9,3 мг/л.

Водоносный горизонт верхнечетвертичных современных пролювиальных отложений р Q_{III-IV} сложен аллювиальными отложениями надпойменных

террас. Коэффициент фильтрации 10–40 м/сут. [9, 10]. Горизонт представлен гидрокарбонатно-сульфатным магниево-кальциевым типом вод. Минерализация вод в среднем составляет 541 мг/л, однако в некоторых точках наблюдается увеличение минерализации до 2000 мг/л. Содержание нитратов составляет в среднем 5,4 мг/л. Воды горизонта нейтральные, либо слабощелочные. Содержание кремния в среднем 9,3 мг/л.

Водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений ар Q_{III} приурочен к галечникам с песчано-гравийным заполнителем в нижней части горизонта. Наиболее проницаемыми являются аллювиальные галечники с коэффициентом фильтрации 30 м/сут. Ниже описываемого горизонта залегают галечники на песчано-глинистом цементе, и он является практически водоупором. Для последнего коэффициент фильтрации составляет 1,4–4,8 м/сут. [11]. Воды горизонта гидрокарбонатно-сульфатные натриевые, реже кальциевые. Минерализация в среднем составляет 964 мг/л, однако имеются точки с повышенными значениями более 1000 мг/л. Среда щелочная и слабощелочная. Содержание нитратов не превышает 8 мг/л.

Водоносный горизонт средне-верхнечетвертичных пролювиальных отложений р Q_{II-III} приурочен к галечникам с песчано-гравийным заполнителем. Ширина полосы его развития достигает 6–7 км. Водовмещающими породами верхнечетвертичного возраста являются лессы с маломощными прослоями грубообломочных коренных пород, крупно мелкозернистых песков, гравия, суглинков и супесей. Водовмещающими породами среднечетвертичного возраста являются суглинки с включением гравия, мелкой гальки, полимиктовые разнозернистые пески, супеси, мелкий галечник с включением гравия с песчаным заполнителем. Коэффициент фильтрации составляет от 45,8 до 86,4 м/сут. Глубина залегания уровня грунтовых вод водоносного горизонта изменяется в пределах 8–30 м с амплитудой колебания 2,18–2,43 м [12]. Воды данного водоносного горизонта гидрокарбонатно-сульфатные магниевые, либо сульфатно-гидрокарбонатные. Среднее значение минерализации 750 мг/л. Воды щелочные. Содержание кремния в среднем 9,3 мг/л, а нитратов не превышает 8 мг/л.

Водоносный горизонт среднечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений ар Q_{II} имеет наиболее широкое распространение, слагает до 80 % площади. Водовмещающими породами являются лессовидные породы с включениями и линзами грубообломочных пород (вблизи подножья Кураминских гор), мощность их довольно постоянна, 80–100 м. На большей части площади водоносный комплекс представлен напорными водами. Пьезометрические уровни располагаются на глубине от 1,0–5,0 до 10–14,0 м, на водоразделах глубина увеличивается до 22 м. В пониженных частях рельефа пьезометрические уровни располагаются

выше поверхности земли +0,44 м. Расход воды в пределах 1,7–10,0 л/с при понижениях уровня от 4,7 до 14,6 м. При опробовании в суглинках (до 30 м) расход воды от 0,03 до 0,06 л/с, а линз песка, мелкого гравия, залегающих среди мелкоземистых пород, от 0,7 до 2,0 л/с, при понижениях соответственно от 3,0 до 17,0 м и от 1,5 до 3,0–5,0 м [13].

Водоносный горизонт представлен сульфатно-гидрокарбонатным натриевым типом вод. Среднее значение минерализации 988 мг/л, однако иногда повышается до 5000 мг/л. Воды околонеутральные. Содержание кремния в среднем 10,2 мг/л. Содержание нитратов до 24 мг/л.

Водоносный горизонт ниже-среднечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений арQ_{II-II} представлен в основном галечниками с глинистым заполнителем, а питание его осуществляется за счет атмосферных осадков и притока подземных вод со стороны горного обрамления, в осевой части долины – перетекания из вышележащих горизонтов. В целом водоносный горизонт характеризуется слабой обводненностью и практически является для вышележащих водоносных горизонтов водоупором. Коэффициент фильтрации не превышает 1,2 м/сут. [14].

Представлен гидрокарбонатно-сульфатным натриевым типом вод. Значения минерализации не превышают 880 мг/л. Среда слабощелочная. Среднее содержание нитратов 16 мг/л, но наблюдается и повышенное до 47 мг/л. Содержание кремния в среднем 9,3 мг/л.

Водоносный горизонт нижнечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений арQ_I

вскрыт на глубине 78–165 м, на юге массива на глубине 200–249 м и представлен веерномелкоземистой зоной с хорошо промытым аллювием (галечник с гравийно-песчаным заполнителем). В центральной части представлен веерносмешанной зоной с хорошо различимыми толщами плотных суглинков и алевролитистых глин с прослоями, линзами веернорусловых гравийников и мелких галечников на супесчано-суглинистом заполнителе. Мощность водоносного горизонта от 60 до 100 м, наибольшая мощность, 197 м, вскрыта на глубине 88–285 м в пос. Катта Равот [15].

Водообильность водоносного горизонта довольно высокая, от 2,0–6,0 до 44,0–64,1 л/с, при понижениях от 1 до 11 м. Коэффициент фильтрации от 12 до 29 м/сут. Пьезометрические уровни по скважинам установлены в зависимости от гипсометрических отметок поверхности земли на глубинах от 1,0 до 52,0 м.

Горизонт представлен гидрокарбонатно-сульфатными кальциевыми водами. Воды околонеутральные с минерализацией до 500 мг/л. Среднее содержание кремния 9,3 мг/л. Содержание нитратов не превышает 6 мг/л.

Водоносный комплекс нижнечетвертичных-верхнеплейстоценовых отложений представлен в основном галечником с глинистым заполнителем, песчаниками и конгломератом. Коэффициент фильтрации до 1,5 м/сут. [16, 17]. Горизонт представлен водами гидрокарбонатно-сульфатными натриевыми. Среднее величина минерализации составляет 542 мг/л, однако в отдельных точка минерализация возрастает до 2000 мг/л. Максимальное содержание нитратов составляет 24 мг/л. Среда

Таблица 2. Химический состав подземных вод Приташкентского артезианского бассейна, мг/л

Показатели	Водоносные горизонты								Среднее
	a-ар Q _{IV-III}	pQ _{III-IV}	арQ _{III}	pQ _{II-III}	арQ _{II}	арQ _{I-II}	арQ _I	Q _{I-N₃}	
pH	4,8...8,2 7,3	6,9...8,2 7,4	7,2...13 6	7,4...11 8,3	6,7...8,4 7,5	7,5...9 8,2	6,7...8,4 7,4	6,8...7,8 7,3	7,5
Ca ²⁺	8...70 37	16...98 37	28...225 93	12...164 53	6...281 65	20...34 25	10...86 37	20...116 46	44
Mg ²⁺	2...34 12	15...79 42	8...80 51	16...157 75	1...365 51	18...83 41	5...55 22	12...170 43	38
Na ⁺	4...53 23	32...758 273	0,4...524 219	15...217 82	117...946 177	167...188 115	13...114 158	17...300 59	101
K ⁺	0,7...5 1,8	4...9 5,4	0,1...13 7	2...22 6,6	1...40 7	1...44 13	1...8 4,3	2...75 11	6
HCO ₃ ⁻	37...315 152	156...427 257	218...439 312	24...537 302	43...305 155	159...473 266	34...336 158	55...305 204	203
Cl ⁻	7...46 14	14...159 74	5...408 167	11...268 65	11...301 72	16...190 76	9...57 28	7...213 41	51
SO ₄ ²⁻	16...140 63	75...1465 522	16...653 303	13...834 292	26...3885 510	12...243 115	5...319 139	16...1411 210	245
NO ₃	1...86 8,5	2...30 12,7	4...6 4,6	1...8 3,75	1...24 7,5	2...47 16	2...6 4	1...24 5,4	8
Si	7...10,7 9,3	9,14...10,7 9,3	9,8...10,7 10,2	7,9...10,2 9,3	7,9...11,6 10,2	9,8...10,2 9,3	7,9...11,6 10,2	6,9...12,1 9,3	9,8
Сухой остаток	80...412 247	384...2170 1144	14...1910 64	244...1250 750	13...5680 988	370...880 567	6...580 322	190...2410 542	606
Число анализов	36	14	12	16	20	10	18	18	144

Примечание: числитель: слева – минимальное значение, справа – максимальное значение; знаменатель: среднее значение.

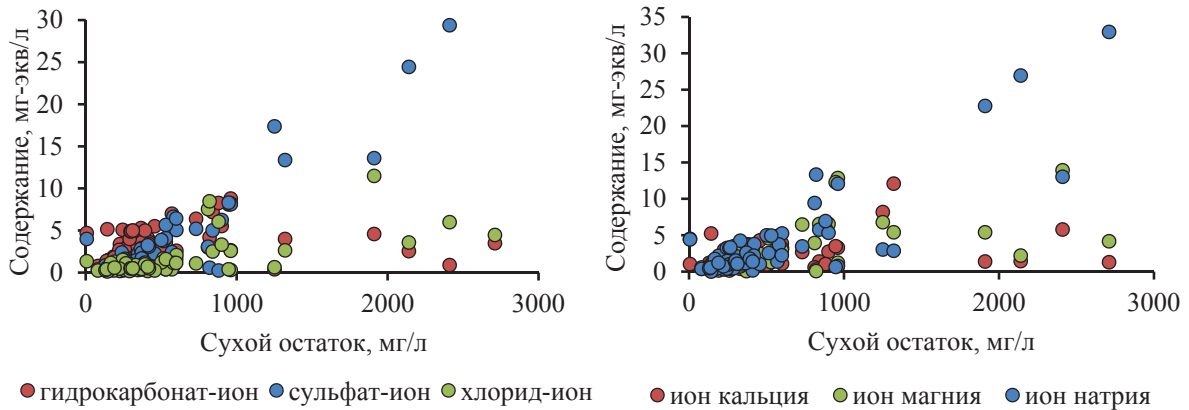


Рис. 2. Зависимость ионного состава подземных вод Приташкентского артезианского бассейна от степени и минерализации

околонейтральная, либо слабощелочная. Содержание кремния составляет в среднем 10,2 мг/л.

Согласно анализу закономерностей на рис. 2 поведения ионов в зависимости от степени минерализации, пресные воды с минерализацией до 1000 мг/л преимущественно гидрокарбонатные с высокой долей сульфат-иона. В более соленых водах возрастает доля сульфат-иона, и он становится ведущим анионом, при этом значительно снижается доля гидрокарбонат-иона. Накопление хлорид-иона в пресных водах не столь интенсивное, как у первых двух ионов, однако при более высокой минерализации, более 1000 мг/л, отмечается значительное увеличение его доли в анионном составе.

В пресных подземных водах Приташкентского артезианского бассейна в катионном составе доминируют кальций и натрий, в меньшей степени магний. При достижении вод минерализации 1000 мг/л и более отмечается явное преобладание в составе вод иона натрия.

В целом химический состав рассматриваемых подземных вод согласуется с приведенными ранее сведениями о водах этого региона [18, 19]. Исключение составляют хлорид-ион, сульфат-ион, концентрация которых в подземных водах Приташкентского артезианского бассейна значительно выше, что определяется интенсивным поступлением этих элементов в воды верхних водоносных горизонтов из-за активного антропогенного воздействия. Увеличение в составе вод этих ионов не мо-

жет быть связано с процессами испарительного концентрирования, о чем свидетельствует поведение элементов на рис. 3, а.

Поступление этих ионов в подземные воды происходит из разных источников и с разной интенсивностью. Согласно анализу рис. 3, б в качестве источника сульфат-иона в подземных водах Приташкентского артезианского бассейна нельзя рассматривать процессы растворения гипса, что часто наблюдается в подобных условиях [18, 19]. Вероятно, сульфат-ион поступает за счет процесса окисления сульфидов.

Равновесно-неравновесная система вода-порода

Для обоснования особенностей формирования химического состава подземных вод Приташкентского артезианского бассейна проведен анализ стадии взаимодействия вод с породообразующими минералами.

Равновесие вод с алюмосиликатными минералами показано на рис. 4.

Анализ диаграмм на рис. 4 показывает, что все подземные воды Приташкентского артезианского бассейна располагаются в полях устойчивости глинистых минералов. При этом последовательный анализ величин индекса неравновесности, рассчитанных по реакциям, приведенным в табл. 1, позволил установить, что все рассматриваемые воды проходят стадии насыщения гипсом, каолинитом, Са-монтмориллонитом, Mg-монтмориллони-

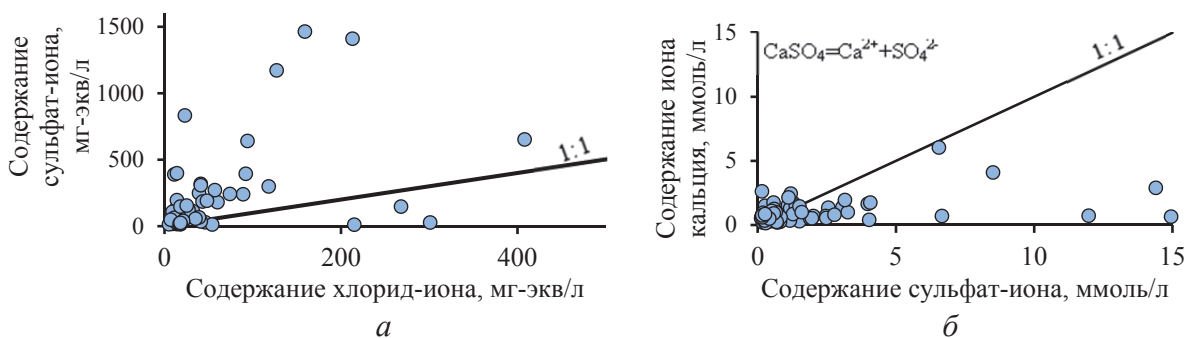


Рис. 3. Соотношение между: а) сульфат-ионом и хлорид-ионом; б) ионом кальция и сульфат-ионом

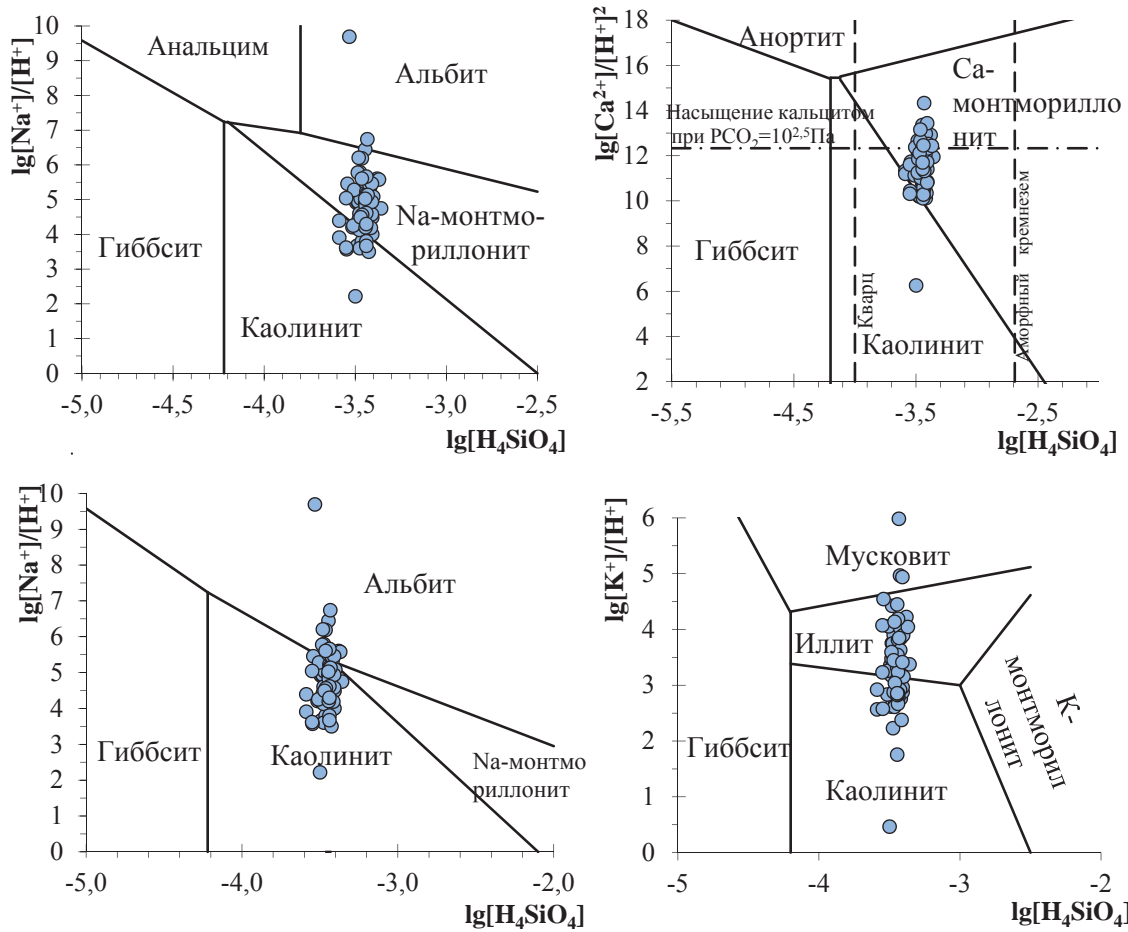


Рис. 4. Диаграммы равновесия подземных вод Приташкентского артезианского бассейна с алюмосиликатными минералами

том. На стадии насыщения Na-монтмориллонитом находятся подземные воды лишь в 18 точках из 69. Стадии насыщения K-монтмориллонитом достигли подземные воды лишь в 3 точках, приуроченных преимущественно к нижним водоносным горизонтам.

Согласно анализу рис. 5 с ростом pH подземных вод наблюдается уменьшение величины индекса неравновесности, а следовательно, увеличение степени насыщенности подземных вод Са-монтмориллонитом.

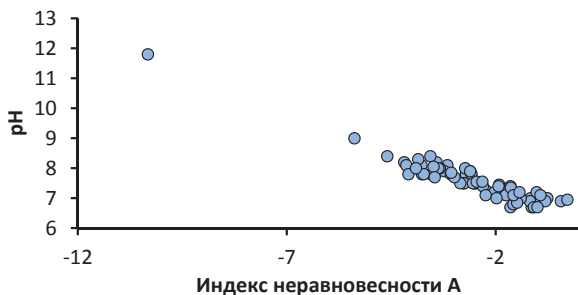


Рис. 5. График зависимости pH от индекса неравновесности для Са-монтмориллонита

Изучение равновесия подземных вод Приташкентского артезианского бассейна с карбонатными минералами, представленного на рис. 6, показало,

что примерно 30 % рассматриваемых вод находится в равновесии с карбонатом кальция.

Однако величины индексов неравновесности не велики, преимущественно десятые доли, что свидетельствует об околоравновесном состоянии подземных вод.

Согласно анализу рис. 6 в подавляющем большинстве наблюдается неравновесность систем вода-доломит и вода-магнезит. В состоянии насыщения указанными минералами находятся подземные воды нижних водоносных горизонтов Q_{II} и Q_I лишь в нескольких точках.

Из рис. 7, на котором показано равновесие подземных вод с ангидритом, видно, что рассматриваемые подземные воды даже с очень высоким содержанием сульфат-иона (до 3,8 г/л) не достигают равновесия с этим минералом.

Согласно анализу равновесия вод с вторичными алюмосиликатными и карбонатными минералами, среди подземных вод Ташкентской области большая часть вод находится на стадии насыщения Са- и Mg-монтмориллонитом, также отмечаются воды, насыщенные карбонатом кальция. Полученные результаты позволяют в пределах исследуемой территории выделить два геохимических типа вод: кремнисто-кальциевый (магниевый) и кремнистый карбонатно-кальциевый [3].

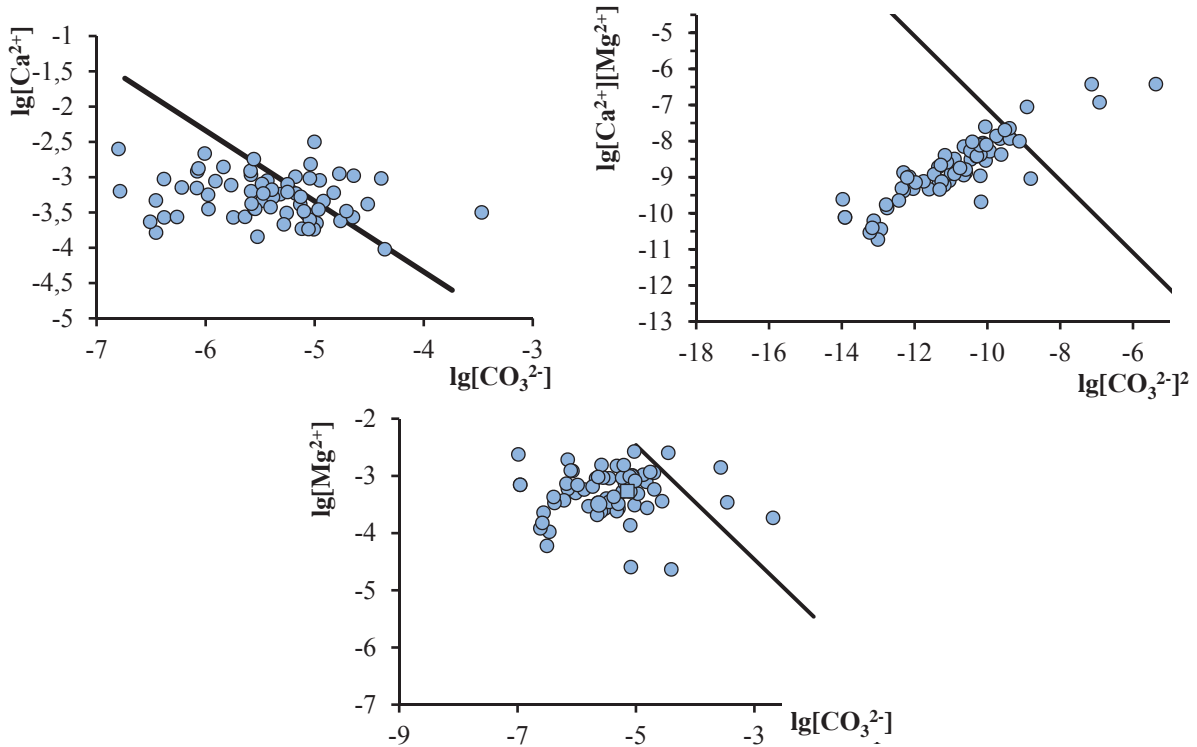


Рис. 6. Диаграммы равновесия подземных вод Приташкентского артезианского бассейна с карбонатными минералами

Таблица 3. Химический состав геохимических типов подземных вод Приташкентского артезианского бассейна

Тип вод	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Si	Сухой остаток	Число проб
Кремнисто-кальциевый (магниевый)	7,2	43,9	39,5	5,6	109	196	275	49,6	9,6	644	49
Кремнистый карбонатно-кальциевый	8,2	46,4	35,4	7,13	88,5	312	192	56,1	10,15	535	22

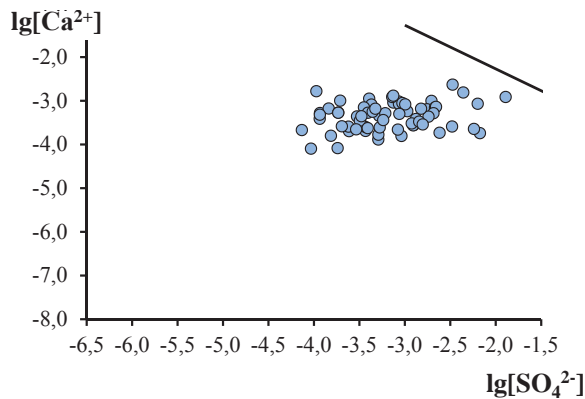


Рис. 7. Равновесие подземных вод Приташкентского артезианского бассейна с ангидритом

Характеристика выделенных геохимических типов вод приведена в табл. 3.

Выделенные геохимические типы вод различаются по основным показателям химического состава. Кремнистые карбонатно-кальциевые воды слабощелочные, характеризуются большим содержанием основных ионов и кремния. Исключением является сульфат-ион, концентрация которого в кремнисто-кальциевом типе выше, однако это является отражением не столько природных процессов, сколько последствием антропогенного воздей-

ствия. Вследствие этого, величина общей минерализации вод кремнисто-кальциевого типа несколько выше, чем кремнистого карбонатно-кальциевого, что не совсем согласуется с установленными закономерностями [3].

Выводы

Исследуемый район представляет собой сложную гидрогеологическую структуру с большим количеством водоносных горизонтов. Все водоносные горизонты приравнены пресными гидрокарбонатными водами, что связано с их местоположением в предгорных и горных частях Кураминских и Чаткальских гор, характеризующихся интенсивным водообменом. В отдельных точках равнинных участков встречаются воды сульфатного состава с минерализацией до 5680 мг/л.

Рост химических элементов в составе рассматриваемых подземных вод при увеличении их минерализации неравномерный. В подземных водах с минерализацией до 1000 мг/л преобладающими среди анионов являются гидрокарбонат-ион и сульфат-ион, а среди катионов – ион кальция и натрия. Иная ситуация складывается в водах с более высокой минерализацией (более 1000 мг/л), здесь преобладающую роль играют сульфат-ион и натрий.

Изучение степени равновесия подземных вод Приташкентского артезианского бассейна показало, что все рассматриваемые воды достигают насыщения монтмориллонитами, а часть вод – кальцитом. Несмотря на высокое содержание в водах сульфат-иона, насыщения сульфатными минералами не наблюдается. Эти результаты позволили в пределах Приташ-

кентского артезианского бассейна выделить два геохимических типа вод: кремнисто-кальциевый (магниевый) и кремнистый карбонатно-кальциевый, отличающихся по рН и содержанию основных ионов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ проект № 13-05-90914 мол_снг_нр и Госзадания «Наука».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода. Т. 1. Система вода–порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование / отв. ред. С.Л. Шварцев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 244 с.
2. Hellmann R., Pitsch H. *Procedia Earth and Planetary Science.* – 2013. – № 7. – 966 p.
3. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода. Т. 2: Система вода–порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование / С.Л. Шварцев и др. / отв. ред. тома Б.Н. Рыженко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 389 с.
4. Shvartsev S.L. Water as the Main Factor of Global Evolution // *Herald of the Russian Academy of Sciences.* – 2013. – V. 83. – № 1. – P. 78–85.
5. Зверев В.П. Роль подземных вод в миграции химических элементов. – М.: Недра, 1982. – 182 с.
6. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. – М.: Мир, 1968. – 368 с.
7. Хасанов А.С., Арипов К.М. Гидрохимический и гидродинамический режим грунтовых вод Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1983. – 74 с.
8. Стельмах А.Г. Палеомагнитные исследования лессовых отложений голоцена бассейна рек Чирчик и Ахангаран // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала* – Пермь. – 2012. – № 3. – С. 123–126.
9. Pachri H., Mitani Y. Development of water management modeling by using GIS in Chirchik river basin, Uzbekistan // *International Conference on Earth Science and Technology Proceedings.* – Tashkent, 2012. – pp. 169–176.
10. Результаты экологогидрогеологических и инженерно-геологических исследований и картографирования в масштабе 1:25000 территории Ангренойской промзоны и г. Ангрена в его перспективных границах (отчет Ангренойской геоэкологической партии) / А. Нурадилов и др. // Фонды ГП «Институт ГИДРОИНГЕО». – Ташкент: ГП «НИИМР», 2006. – 201 с.
11. The formation of loess deposits in the Tashkent region and parts of Central Asia; and problems with irrigation, hydrocollapse and soil corrosion / I.J. Smalley, N.G. Mavlyanova, Kh.L. Rakmatul-
laev, M.Sh. Shermatov, B. Macholett, K. O'Hara Dhand, I.F. Jefferson // *Quaternary International.* – 2006. – V. 152–153. – P. 59–69.
12. Переоценка региональных эксплуатационных запасов подземных вод месторождений Приташкентского района в связи с усилением техногенного воздействия на подземные воды и изменением их качества / Г. Мжельская и др. // Фонды ГП «Институт ГИДРОИНГЕО». – Ташкент: ГП «НИИМР», 2000. – 154 с.
13. Утабаев Н., Умаров Ш.Ф. Ведение Государственного мониторинга подземных вод и контроля за их рациональным использованием в пределах Ахангаранского бассейна и Дальверзинской степи на территории Ташкентской области // Фонды ГП «Институт ГИДРОИНГЕО». – Ташкент: ГП «НИИМР», 2004. – 189 с.
14. Утабаев Н., Гергель Н. Ведение Государственного мониторинга подземных вод в пределах Ахангаранского бассейна и Дальверзинской степи на территории Ташкентской области г. Ташкент // Фонды ГП «Институт ГИДРОИНГЕО» – Ташкент: ГП «НИИМР», 2007. – 175 с.
15. Мирзаев С.Ш. Запасы подземных вод Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1974. – 63 с.
16. Отакулова Ю.А. Техногенные факторы, влияющие на гидрогеохимический режим территории Ахангаранской долины // *Современные методы и технологии в решении гидрогеохимических, инженерно-геологических и геоэкологических задач: Труды Республ. научно-техн. конф.* – Ташкент: ГП НИИМР, 2013. – С. 216–219.
17. Утабаев Н. Ведение государственного мониторинга подземных вод в пределах Ахангаранского бассейна Приташкентской области // Фонды ГП «Институт ГИДРОИНГЕО» – Ташкент: ГП «НИИМР», 2012. – 123 с.
18. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. 2-е изд., исправл. и доп. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
19. Shvartsev S.L. Geochemistry of Groundwater in the Main Landscape Zones of the Earth // *Geochemistry International.* – 2008. – V. 46. – № 13. – P. 1285–1398.

Поступила 29.11.2013 г.

GEOCHEMISTRY OF GROUNDWATER IN TASHKENT ARTESIAN BASIN (REPUBLIC OF UZBEKISTAN)

Natalya V. Guseva,

Cand. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: guseva24@yandex.ru

Yuliya A. Otakulova,

O.K. Lange Institute of Hydro geology and Engineering Geology, 64, Olimlar
Street, Tashkent, 100041, Uzbekistan. E-mail: yuliya_otakulova@mail.ru

Water resources play a significant role in the economic development of Tashkent oblast (Republic of Uzbekistan), groundwater is used for drinking water supply in urban and rural population, production and technical needs and irrigation. In this regard, the research of features of groundwater chemical composition formation in Tashkent artesian basin is of great importance for forecasting the changes in its quality.

The main aim of the study: to investigate the features of groundwater chemical composition formation in Tashkent artesian basin according to the analysis of water–rock interaction evolution.

The methods used in the study: Methods of equilibrium thermodynamics were used for comprehensive study of the groundwater–rock equilibrium conditions. Traditional methods were used to determine the groundwater chemical composition.

The results: The authors have studied the features of groundwater chemical composition in Tashkent artesian basin and have determined the regularities in behavior of the basic ions at mineralization increase. The investigation of groundwater equilibrium showed that all examined waters achieve montmorillonite saturation and some waters are saturated with calcite. Despite the high sulfate content in waters the saturation with sulfate minerals is not observed. These results allowed the authors to distinguish two geochemical water types such as siliceous-calcium (magnesium) and calcium carbonate-siliceous, differ in pH and basic ions content.

Key words:

Underground water, chemical composition, aquifer, equilibrium, geochemistry.

REFERENCES

1. *Geologicheskaya evolyutsiya i samoorganizatsiya sistemy voda–poroda. Sistema voda–poroda v zemnoy kore: vzaimodeystvie, kinetika, ravnovesie, modelirovanie* [Geological evolution and self-organization of the water–rock system. Water–rock system in the earth crust: interaction, kinetics, equilibrium, modeling]. Ed. S.L. Shvartsev. Novosibirsk, INGG SO RAN Publ., 2005. Vol. 1, 244 p.
2. Hellmann R., Pitsch H. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2013, no. 7, 966 p.
3. Shvartsev S.L. *Geologicheskaya evolyutsiya i samoorganizatsiya sistemy voda–poroda. Sistema voda–poroda v zemnoy kore: vzaimodeystvie, kinetika, ravnovesie, modelirovanie* [Geological evolution and self-organization of the water–rock system. Water–rock system in the earth crust: interaction, kinetics, equilibrium, modeling]. Novosibirsk, INGG SO RAN Publ., 2007. Vol. 2, 389 p.
4. Shvartsev S.L. Water as the Main Factor of Global Evolution. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2013, vol. 83, no. 1, pp. 78–85.
5. Zverev V.P. *Rol podzemnykh vod v migratsii khimicheskikh elementov* [Role of groundwater in the migration of chemical elements]. Moscow, Nedra Publ., 1982, 182 p.
6. Garrels R.M., Kravtsov Ch.L. *Rastvory, mineraly, ravnovesiya* [Solutions, Minerals, Equilibrium]. Moscow, Mir Publ., 1968, 368 p.
7. Khasanov A.S., Aripov K.M. *Gidrokhimicheskii i gidrodinamicheskii rezhim podzemnykh vod Uzbekistana* [Hydrogeochemical and hydrodynamic groundwater regime in Uzbekistan]. Tashkent, Fan Publ., 1983, 74 p.
8. Stelmakh A.G. Paleomagnetnye issledovaniya lessovykh otlozheniy golotsena basseyna rek Chirchik i Akhangaran [Paleomagnetic study of Holocene loess of Chirchik and Akhangaran rivers basins]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala – Perm*, 2012, no. 3, pp. 123–126.
9. Pachri H., Mitani Y. Development of water management modeling by using GIS in Chirchik river basin, Uzbekistan. *International Conference on Earth Science and Technology Proceedings*. Tashkent, 2012, pp. 169–176.
10. Nuradilov A. *Rezultaty ekologogidrogeologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh issledovaniy i kartografirovaniya v masshtabe 1:25000 territorii Angrenskoy promzony i g. Angrena v ego perspektivnykh granitsakh (otchet Angrenskoy geokologicheskoy partii)* [Results of ecogohydrogeological, engineering geological and mapping research in the Angrensk industrial area and Angrena City (the report of Angrensk geological party)]. Tashkent, 2006, 201 p.
11. Smalley I.J., Mavlyanova N.G., Rakmatullaev Kh.L., Shermatov N.Sh., Macholett B., K. O'Hara Dhand, Jefferson I.F. The formation of loess deposits in the Tashkent region and parts of Central Asia; and problems with irrigation, hydrocollapse and soil corrosion. *Quaternary International*, 2006, vol. 152–153, pp. 59–69.
12. Mzhelskaya G. *Pereotsenka regionalnykh ekspluatatsionnykh zapasov podzemnykh vod mestorozhdeniy Pritashkentskogo rayona v svyazi s usileniem tekhnogennogo vozdeystviya na podzemnye vody i izmeneniy ikh kachestva* [Reassessment of regional groundwater storage fields of Tashkent area due to the increased anthropogenic impact on groundwater quality and change]. Tashkent, 2000, 154 p.
13. Utabaev N., Umarov Sh.F. *Vedenie Gosudarstvennogo monitoringa podzemnykh vod i kontrolya za ikh ratsionalnym ispolzovaniem v predelakh Akhangaranskogo basseyna i Dalverzinskoy stepi na territorii Tashkentskoy oblasti* [State monitoring of groundwaters and control over their rational use within Akhangaran basin and Dalverzin steppes in the surrounding regions]. Tashkent, 2004, 189 p.
14. Utabaev N., Gergel N. *Vedenie Gosudarstvennogo monitoringa podzemnykh vod v predelakh Akhangaranskogo basseyna i Dalverzinskoy stepi na territorii Tashkentskoy oblasti g. Tashkent* [State monitoring of groundwaters and control over their rational use within Akhangaran basin and Dalverzin steppes in the surrounding regions]. Tashkent, 2007, 175 p.

15. Mirzaev S.Sh. *Zapasy podzemnykh vod Uzbekistana* [Groundwater reserves in Uzbekistan]. Tashkent, Fan Publ., 1974. 63 p.
16. Otakulova Yu.A. Tekhnogennye faktory, vliyayushchie na gidrogeokhimicheskiy rezhim territorii Akhangaranskoj doliny [Tectonic factors, influencing hydrogeochemical regime in the Akhangaran valley territory]. *Trudy Respublikanskoj konferentsii «Sovremennye metody i tekhnologii v reshenii gidrogeokhimicheskikh, inzhenerno-geologicheskikh i geoekologicheskikh zadach»* [Proc. Resp. Conf. Modern methods and technology to solve the hydrogeochemical, geological-engineering and geoecological problems]. Tashkent, 2013, pp. 216–219.
17. Utabaev N. *Vedenie gosudarstvennogo monitoringa podzemnykh vod v predelakh Akhangaranskogo basseyna Pritashkentskoj oblasti* [State monitoring of groundwaters within the Akhangaran basin of Tashkent region]. Tashkent, 2012. 123 p.
18. Shvartsev S.L. *Gidrogeokhimiya zony gipergeneza* [Hydro geochemistry of hypergenesis zone]. Moscow, Nedra Publ., 1998. 2^d ed., 366 p.
19. Shvartsev S.L. Geochemistry of Groundwater in the Main Landscape Zones of the Earth. *Geochemistry International*, 2008, vol. 46, no. 13, pp. 1285–1398.

Геология и полезные ископаемые

УДК 553.411.071:550.4

СТРУКТУРА ГЕОХИМИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕЗОТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПАДНОЕ (ЛЕНСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН)

Гаврилов Роман Юрьевич,

канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры геологии и разведки
полезных ископаемых Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050,
г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: GavrilovRY@ignd.tpu.ru

Хряпин Данил Александрович,

геолог ООО «Разрез «Березовский», Россия, 653039, г. Прокопьевск,
ул. Ленина, д. 22. E-mail: danil-khryapin@yandex.ru

Актуальность проведенного исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности прогнозно-поисковых работ на рудное золото на основе применения современных методов обработки и интерпретации геохимической информации.

Цель работы: изучение геохимической зональности и выявление аномальной структуры геохимического поля на золоторудном месторождении Западное с целью выработки дополнительных поисковых критериев для прогнозирования золоторудных объектов.

Методы исследования: расчеты статистических параметров методами непараметрической статистики и их обработка программными продуктами Surfer, Statistica, Corel Draw; эмиссионный спектральный полуколичественный анализ, пробирный анализ.

Результаты: на основе изучения результатов опробования керн скважин по пяти разведочным линиям проведено исследование геохимической зональности месторождения Западное. Установлено, что аномальная структура геохимического поля месторождения Западное характеризуется концентрически зональным строением. Контрастные геохимические ореолы ассоциаций рудогенных элементов оконтуривают центральную часть (As-Au) и периферию минерализованной зоны (Pb-Zn-Cu-Au и Co-Ni). Выделенные геохимические ассоциации и их пространственное положение согласуются со стадийностью минералообразования, разработанной для Сухоложского рудного поля. На основе расшифровки аномальной структуры геохимического поля месторождения проведено выделение границ минерализованной зоны, вычленение минеральных и геохимических ассоциаций процесса рудообразования. Полученные результаты позволили существенно уточнить представление о строении крупнообъемного геохимического ореола месторождения Западное.

Ключевые слова:

Золото, Сухоложское рудное поле, черносланцевая формация, непараметрические методы математической статистики, аномальная структура геохимического поля.

Постановка задачи

В последнее десятилетие крупнообъемные золоторудные месторождения черносланцевой формации с уникальными запасами, но низкими содержаниями полезного компонента (первые граммы на тонну) становятся объектом повышенного интереса геологов-производственников, научных работников и инвесторов [1–4]. Такое пристальное внимание объясняется несколькими причинами.

Во-первых, это связано с огромным количеством запасов, содержащихся в месторождениях подобного типа (Мурунтау, Наталкинское, Олим-

пиадинское, Сухой Лог и др.), что делает их очень привлекательными для долгосрочного вложения капитала, так как срок отработки данных объектов составляет несколько десятков лет. *Во-вторых*, комплексность руд данных месторождений при наличии разработанных схем их обогащения существенно увеличивает их аукционную стоимость. *В-третьих*, это связано с относительно простыми и уже отработанными на многих объектах технологическими схемами переработки руд. *В-четвертых*, несмотря на доминирование добычи золота из рассыпных месторождений в советское вре-

мя, золоторудные объекты, залегающие в черносланцевом субстрате, изучены достаточно детально. Это позволяет успешно проводить прогнозно-поисковые работы для локализации перспективных площадей ранга рудный район, рудный узел с целью выявления новых крупнообъемных залежей и вовлечения их в отработку. Таким образом, перспективы выявления новых рудных объектов подобного типа в настоящее время далеко не исчерпаны.

Одним из критериев выделения перспективных объектов на ранних стадиях изучения площадей, локализации рудных тел на последующих этапах работ является исследование поведения элементов-спутников и элементов-индикаторов оруденения (геохимический критерий). Он успешно применяется при проведении площадных литогеохимических съемок [5, 6] и при оконтуривании рудных тел в объеме недр с помощью горно-буровых работ [7–9].

Целью данной работы является выявление геохимической зональности и аномальной структуры геохимического поля (АСГП) золотого оруденения месторождения Западное.

Методика исследования

Золоторудное месторождение Западное расположено в западной части Сухоложского рудного поля. Оно вскрыто поверхностными горными выработками и скважинами колонкового бурения. В западной части разведочное бурение проведено по сети 50×50 м, в восточной – по сети 100×50 м и реже. Подсчитаны запасы и оценены прогнозные ресурсы соответствующих категорий. В основу изучения геохимической зональности месторождения положены результаты опробования керна скважин по пяти буровым линиям (БЛ 82, 76,5, 64, 60, 54). Для определения содержания золота отбирались секционные керновые пробы, средняя длина которых составляла 1 м. Содержание элементов-спутников золотого оруденения определялось по пробам, отобраным способом пунктирной борозды, средняя длина борозды составляла 3 м.

Золото анализировалось пробирным методом: в период с 1989 по 1995 гг. в химической лаборатории Бодайбинской экспедиции, а в 2007–2008 гг. – в пробирно-аналитической лаборатории ООО «Ленгео», входящей в состав ООО «Ленская золоторудная компания». Чувствительность метода составляла 0,1 г/т. На момент проведения аналитических исследований обе лаборатории были аттестованы.

Для выявления геохимической зональности, аномальной структуры геохимического поля оруденения эмиссионным спектральным полуколичественным методом по сколковым пробам на спектрографе ДФС-8 методом просыпки был проведен анализ на 28 элементов в лаборатории Бодайбинской геологоразведочной экспедиции в 2007–2008 гг.

При расчете ранговой корреляции, статистических показателей, характеризующих интенсив-

ность процессов рудообразования, было использовано 23 элемента. Лантан, сурьма, висмут, иттербий, таллий характеризуются содержаниями ниже чувствительности анализа.

Несмотря на широкий спектр определенных элементов, точность анализа не позволила использовать большинство из них для выделения геохимических ассоциаций. Было выбрано 7 наиболее информативных элементов-спутников золотого оруденения: Ag, As, Pb, Co, Cu, Ni, Zn. Это позволило уменьшить помехи, создаваемые целым рядом элементов и существенно усилить полезный сигнал, получаемый при обработке геохимических данных.

Для расчета статистических показателей по элементам-спутникам золотого оруденения было использовано более 7000 анализов секционных сколковых проб. Расчет фоновых содержаний элементов проводился по стандартной методике с использованием результатов анализов 198 проб, отобранных из керна трех скважин, расположенных на периферии месторождения.

При составлении объемной геолого-геохимической модели использовались статистические расчеты энергии рудообразования, дисперсии и вариации геохимического спектра, методы непараметрической статистики: ранговая корреляция, кластерный и факторный анализы.

Краткий очерк геологического строения месторождения

Изучением геологического строения и вещественного состава пород и руд Сухоложского рудного поля, в западной части которого расположено месторождение, занималось не одно поколение исследователей [10–18]. Приведем лишь краткие сведения о его строении.



Рис. 1. Схема расположения месторождения Западное

Месторождение Западное находится на севере Иркутской области в центральной части Бодайбинского района в пределах Витимо-Патомского нагорья (рис. 1). Оно приурочено к западной части

Сухоложской антиклинали, сложенной терригенно-осадочными породами верхней подсвиты холмхинской свиты и нижней подсвиты имняхской свиты (рис. 2). Рудовмещающая складка вытянута в субширотном направлении, имеет асимметричное строение и запрокинута на юг. Северное и южное крылья антиклинали падают под углами 15...20° и 30...45° соответственно. Складка осложнена мелкими флексурами, нарушениями высоких порядков (взбросы, надвиги и др.), которые и яв-

ляются структурами, вмещающими основную часть оруденения. Рудные тела Западного месторождения залегают в обрамлении Кадали-Сухоложского глубинного разлома и являются продолжением центральной залежи Сухоложского рудного поля.

Терригенно-осадочные породы, содержащие в своем составе углеродистое вещество до 3,5 мас. %, подверглись региональному метаморфизму и гидротермально-метасоматическим преобразова-

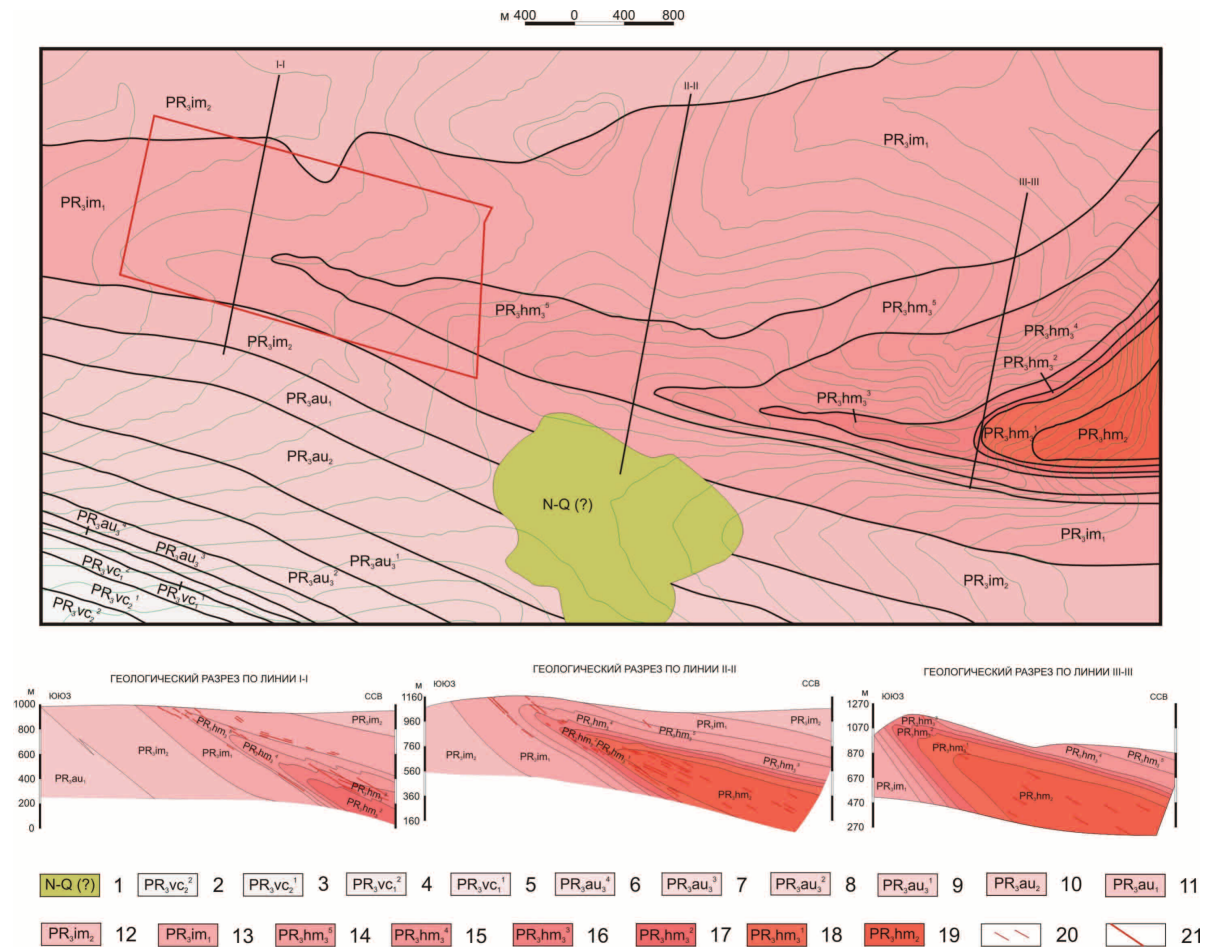


Рис. 2. Схема геологического строения Сухоложского рудного поля (Мартыненко, 2009). 1 – неоген-четвертичный отдел, корово-карстовые (?) глинистые отложения; вачская свита (2–5): 2 – верхняя подсвита, второй горизонт, сланцы серицит-кварцевые высокоуглеродистые; 3 – верхняя подсвита, первый горизонт, кварцитовидные песчаники; 4 – нижняя подсвита, второй горизонт, сланцы серицит-кварцевые высокоуглеродистые и филлитовидные; 5 – нижняя подсвита, первый горизонт, кварцитовидные песчаники серого цвета; аунакитская свита (6–11): 6 – верхняя подсвита, четвертый горизонт, тонко-средне-ритмичное переслаивание сланцев филлитовидных, алевролитов слабоуглеродистых, песчаников; 7 – верхняя подсвита, третий горизонт, грубое переслаивание песчаников известковистых, кварцитовидных, алевролитов известковистых и сланцев филлитовидных; 8 – верхняя подсвита, второй горизонт, тонкоритмичное переслаивание сланцев углеродистых филлитовидных и серицит-кварцевых, песчаников серицит-кварцевых; 9 – верхняя подсвита, первый горизонт, углеродистые известняки; 10 – средняя подсвита, прослои кварцитовидных песчаников; 11 – нижняя подсвита, переслаивание сланцев углеродистых, песчаников кварцевых, известковистых и известняков; имняхская свита (12, 13): 12 – верхняя подсвита, известняки белые, кремновые с зеленоватым оттенком, слои сланцев известковистых; 13 – нижняя подсвита, ритмичное переслаивание сланцев, песчаников известковистых, слои известняков; холмхинская свита (14–19): 14 – пятый горизонт, сланцы филлитовидные, углеродистые прослои алевролитов и песчаников кварцево-слюдистых; 15 – четвертый горизонт, алевролиты кварцево-слюдистые; 16 – третий горизонт, ритмичное переслаивание сланцев углеродистых, алевролитов и песчаников кварцево-слюдистых; 17 – второй горизонт, сланцы высокоуглеродистые; 18 – первый горизонт, ритмичное переслаивание сланцев углеродистых, песчаников кварцево-слюдистых; 19 – средняя подсвита, песчаники кварцитовидные; 20 – рудовмещающие мелкие разрывные нарушения; 21 – контур Западного участка

ниям. Основная масса золота связана с жильно-прожилково-вкрапленной кварц-сульфидной минерализацией. Сульфиды представлены пиритом, пирротином, реже арсенопиритом. Также руды содержат микропримеси нескольких десятков минералов [12].

Рудные тела характеризуются субслоистым залеганием и приурочены, как правило, к горизонтам тонкоритмичного переслаивания углеродистых кварц-серпичитовых, иногда слабоизвестковистых, сланцев с известковистыми породами. Они имеют сложную конфигурацию с частыми раздувами, достигающими десятков метров, пережимами, выклиниванием и разветвлением на несколько тел. От осевой части антиклинали к ее крыльям прослеживается закономерное снижение содержания золота от промышленных концентраций до фоновых значений. Распределение золота в рудных телах крайне неравномерно. Средняя проба золота на месторождении составляет 879 ‰.

Основные результаты исследования и их обсуждение

Поведение золота и его элементов-спутников характеризуется различной степенью информативности для целей прогнозирования и поисков месторождений.

Распределение золота в объеме минерализованной зоны контролируется, прежде всего, структурным и литологическим факторами (рис. 3). В западной и крайней восточной частях месторождения оруденение приурочено к крыльям антиклинальной складки и ядру (БЛ 76,5, БЛ 70,5 и др.), а по большинству восточных БЛ – к ее крыльям.

Ореолы золота представлены лентовидной, линзовидной и седловидной формами. Контуры промышленных рудных тел практически полностью совпадают с ореолами распространения золота. Наиболее богатое оруденение приурочено к западной части месторождения (за исключением ее периферии), где оно детально изучено по густой сети разведочных буровых скважин, а также к периферии восточного фланга месторождения.

Наибольшее совпадение в пространстве с ореолами золота характерно для высококонтрастных ореолов *серебра* и *кобальта*. Ореолы *мышьяка* не всегда совпадают с контурами рудных тел, образуя отдельные точечные высококонтрастные аномалии по периферии антиклинальной складки, при этом в ее осевой плоскости отмечаются субфоновые концентрации. Контрастные ореолы *меди* приурочены в основном как к над-, так и к подрудной частям минерализованной зоны, за редким исключением совмещаясь с ореолами золота >1 г/т. Ореолы никеля расположены в различных частях крупнообъемного метасоматического ореола, не проявляя существенной пространственной связи с ореолами золота. Элементы полиметаллической ассоциации ведут себя идентично, образуя ореолы различной формы, частично коррелирующие с положением рудных тел. Распределение высококонтрастных содержаний всех рудогенных элементов подчиняется структурным элементам антиклинальной складки (крыльям, замку, оси).

По результатам *рангового корреляционного анализа*, проведенного с участием всех проанализированных элементов, почти все элементы имеют

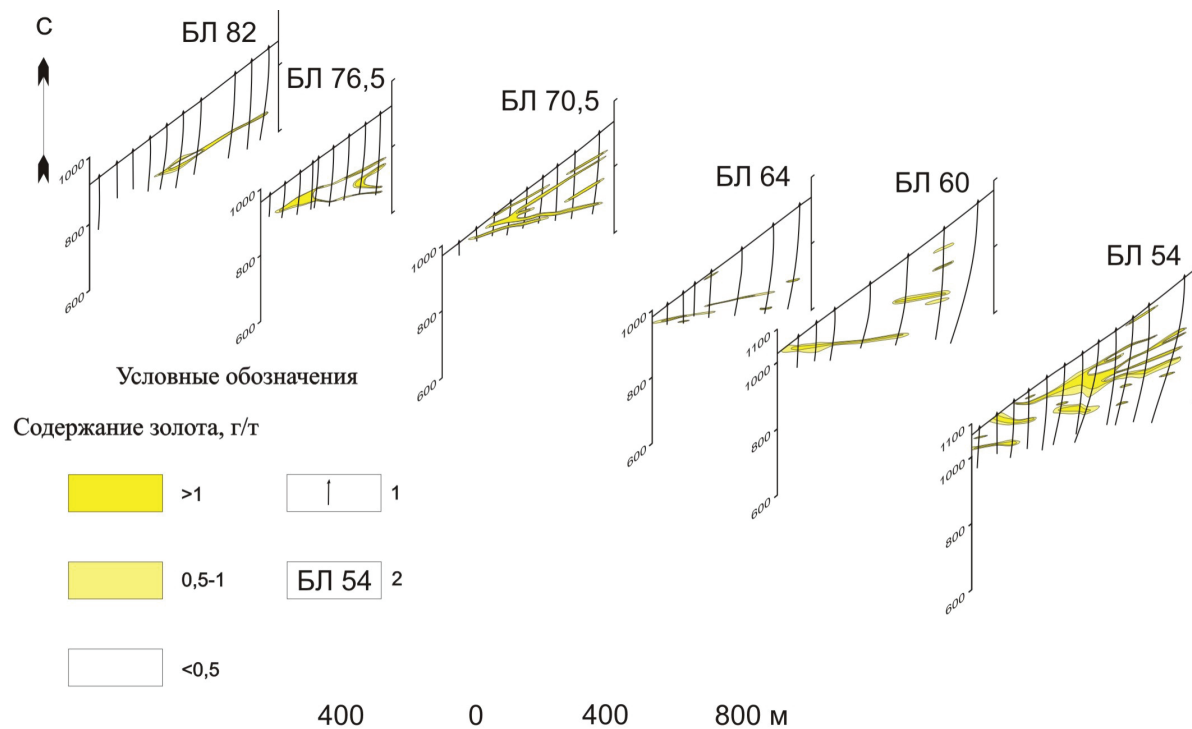


Рис. 3. Блок-диаграмма распределения золота в рудовмещающем метасоматическом ореоле месторождения: 1) разведочные скважины; 2) буровые линии и их номера

значимую корреляционную связь между собой. Золото проявляет положительную корреляционную связь с W, Ag, Co, P, Ti, Sn, B, V, Ge, Mo, Zn, Ni, Cu, Mn, значимую отрицательную корреляционную связь с Li и Y. Остальные элементы (As, Ba, Be, Cr, Pb, Sr) характеризуются корреляцией с золотом ниже порога значимости. Наличие значимых корреляционных связей между большинством химических элементов не позволяет выделить устойчивые геохимические ассоциации, отвечающие различным стадиям минералообразования.

Показатель *энергии рудообразования*, отражающий интенсивность процессов массопереноса вещества, предложен Н.И. Сафроновым для характеристики руд сложного состава и комплексных ореолов [19].

Расчет производился по всем проанализированным элементам, кроме золота, характеризующегося высоким коэффициентом накопления и оказывающим существенное влияние на значения показателя. Величина показателя существенно изменяется в различных частях месторождения. По периферии рудных тел значения показателя редко опускаются ниже 40 усл. ед. Наибольшие значения отмечаются на восточных профилях (БЛ 64, 60 и 54), достигая 150–160 усл. ед., а в единичных случаях – 2000–3000 усл. ед. На этих профилях наблюдается пространственное совмещение ореолов показателя со значением более 100 усл. ед. с ареалом распространения рудных тел. На центральных и западных профилях значения показателя редко превышают 600–800 усл. ед., занимая как промежуточное положение между ореолами золота, так и совпадая с ними.

Таким образом, высококонтрастные значения показателя энергии рудообразования на профилях хорошо коррелируют с ореолами распространения золота различной интенсивности.

Показателями, характеризующими степень нарушения геохимического поля и интенсивность процессов перераспределения вещества, в том числе и при образовании гидротермальных месторождений, являются *дисперсия и вариация геохимического спектра (ДГС и ВГС)*, которые рассчитываются по нормированному содержанию элементов [20]. При этом может быть использован весь спектр проанализированных химических элементов. Таким образом, точность проведенных аналитических исследований и количество определяемых элементов существенно влияют на результаты интерпретации степени нарушения геохимического поля.

Большое количество проанализированных элементов ($n > 10$) в пробе обеспечивает статистическую устойчивость данным показателям.

Показатели ДГС и ВГС, как и энергия рудообразования, рассчитывались по всем проанализированным элементам, кроме золота. Ореолы показателя ДГС хорошо коррелируют с площадью распространения ореолов Au и рудных тел на разре-

зах. Значения ДГС напрямую связаны с контрастностью оруденения и площадью рудных тел на разведочных разрезах. Чем выше контрастность и больше площадь, занимаемая рудными телами, тем выше значения показателя. Рудная залежь уверенно оконтуривается ореолами со значениями от 10 до 50–100 усл. ед. и выше.

Ореолы показателя ВГС совпадают с высококонтрастными ореолами Au на всех профилях и хорошо коррелируют с площадью распространения рудных тел. Рудная залежь уверенно оконтуривается ореолами со значениями 200–300 % и выше.

Распределение показателя ВГС, как и ДГС, зависит от степени интенсивности гидротермально метасоматических процессов рудообразования.

Таким образом, высококонтрастные ореолы золота проявляют устойчивую пространственную связь с аномальными ореолами показателей дисперсии и вариации геохимического спектра. По аналогии со схемами распределения содержаний химических элементов, контрастные ореолы показателей повторяют форму залегания антиклинальной складки.

При помощи *кластер-анализа* была проведена иерархическая классификация с построением дендрограмм по методу Варда для восьми рудогенных элементов. По характеру взаимосвязи элементы объединились в следующие ассоциации: 1) Au-As; 2) Zn-Cu, Pb-Ni-Co 3) Ag, при этом наибольшей связью среди рудогенных элементов отличаются Ni и Co.

При проведении кластер-анализа методом К-средних (таблица) в объеме месторождения было установлено доминирование во всех классах серебра и золота, что, прежде всего, связано с низким кларком этих элементов в земной коре и, как следствие, значительным разбросом содержаний в пределах месторождения. Целью выделения классов проб было установление геохимической зональности месторождения. Полученные результаты сопоставлялись со стадийностью минералообразования, разработанной Ю.В. Ляховым и др. (Исследование ..., 1982).

Таблица. Результаты кластер-анализа наблюдений по геохимическому спектру рудогенных элементов ($n > 7000$)

Элементы	Кластер				
	1	2	3	4	5
Ag	15,3	12,1	9,4	1593,3	12,8
As	8,7	1,9	1,5	1,7	1,7
Co	2,4	1,7	2,4	1,9	1,5
Cu	1,6	1,7	5,9	1,7	1,5
Ni	2,3	2,1	3,6	2,5	2,1
Pb	1,6	1,5	1,1	1,8	1,6
Zn	1,6	1,8	2,7	1,8	1,5
Au	1244,1	442,5	25,0	12,8	7,0

По отличительным особенностям геохимического спектра рудогенных элементов было выделе-

но 5 классов проб. Пробы, характеризующиеся наибольшими значениями Au и As – 1 кластер, являются единичными и не образуют ореолов в пределах разведочных разрезов.

Кластеры 2–5 образуют концентрически зональную структуру. В геохимический спектр кластера 2 основной вклад вносят Au и As, уступая по своим значениям лишь 1 классу проб. Площадь его распространения на разрезах совпадает с наиболее мощными и высококонтрастными участками рудных тел и отвечает кварц-пирит-арсениопиритовой с золотом стадии минералообразования.

Кластер 3 отличается средним значением Au по сравнению с другими кластерами, но более высоким вкладом Co, Cu, Ni, Zn. Он хорошо сопоставляется с общим ореолом Au и соответствует золото-кварц-полисульфидной стадии минералообразования.

Расположенный по периферии ореолов Au 4 кластер характеризуется пробами с наивысшими значениями Pb и Ag и различным вкладом остальных рудогенных элементов относительно других классов проб. Этот кластер картирует объем минерализованной зоны, заполненной ранними сульфидами.

Периферийную часть месторождения занимает кластер 5, характеризующийся пробами с наиболее низкими значениями большинства рудогенных элементов.

В результате проведенного анализа было установлено, что выделенные классы проб по особенностям поведения геохимического спектра рудогенных элементов согласуются со стадийностью минералообразования месторождения Западное.

Для выделения ассоциаций рудогенных элементов и выявления геохимической зональности был проведен *факторный анализ*. Среди рудогенных элементов выделено три ассоциации:

- 1 фактор – Co, Cu, Ni, Zn, Pb (полиметаллическая ассоциация);
- 2 фактор – Au, As (золото-мышьяковистая ассоциация);
- 3 фактор – Ag, Pb (серебро-свинцовая ассоциация).

Эти ассоциации оказывают наибольшее влияние на первые три фактора соответственно. Все три фактора с суммарной дисперсией 57 % являются рудными, то есть элементы, характеризующиеся максимальными нагрузками на эти факторы, участвовали в процессе рудообразования.

Первый фактор, с вкладом в общую дисперсию 26 %, в большинстве случаев накладывается на ореолы золота и рудные тела, занимая существенный объем минерализованной зоны.

Вкладом в общую дисперсию в размере 14 % характеризуется фактор 2. Ореолы фактора образуют преимущественно прерывистые линейно вытянутые формы, характеризуясь наименьшей площадью распространения на разведочных разрезах в сравнении с 1 и 3 факторами. Во всех разрезах значения фактора распределены в пределах минерализованной зоны, проявляя устойчивую корреляционную связь с ореолами золота, преимущественно совпадая с местоположением богатых рудных тел, а в ряде случаев – рядовых руд.

Зависимости в расположении рудных тел и значений фактора 3, составляющего 17 % от общей дисперсии, установлено не было. Отмечается, что ореолы фактора тяготеют к более периферийным частям разреза при эпизодическом наложении на ареалы распространения золотой минерализации.

Анализ поведения рудогенных ассоциаций, выделенных по результатам факторного анализа, позволил соотнести их со стадийностью гидротермального минералообразования (в порядке образования).

Стадия отложения ранних сульфидов (кварц-пиритиновая ассоциация, кварц-пирит-сидеритовая ассоциация) допродуктивного этапа выражена в ассоциации элементов, вносящих основной вклад в 3 фактор. Здесь, несмотря на основную долю в нагрузке фактора Ag и Pb, также участвуют Co, Cu, Ni. Меньшая степень нагрузки последних элементов на этот фактор, очевидно, связана с воздействием более поздних мощных процессов рудообразования и их перераспределением в крупномасштабном метасоматическом ореоле.

Продуктивный (гидротермальный) этап рудообразования отражен в ассоциациях элементов, выделенных в 1 и 2 факторах.

В кварц-пирит-арсениопиритовую с золотом стадию минералообразования из растворов золото-мышьяковистого состава кристаллизовались две минеральные ассоциации (фактор 2): кварц-пирит-арсениопиритовая и кварц-сидерит-анкеритовая.

Геохимическая ассоциация рудогенных элементов 1 фактора (Co, Cu, Ni, Zn, Pb) характеризует наиболее интенсивную золото-кварц-полисульфидную стадию (кварц-сфалерит-галенитовая ассоциация, кварц-пирит-халькопирит-блеклорудная с золотом ассоциация, кварц-пирит-анкерит-кальцитовая ассоциация) гидротермально-метасоматического процесса рудообразования.

Таким образом, геохимические ассоциации рудогенных элементов, установленные с помощью факторного анализа, также отвечают стадиям гидротермально-метасоматического процесса рудообразования на месторождении. Это обстоятельство позволяет по результатам геохимического опробования картировать не только геохимические, но и минеральные парагенетические ассоциации в объеме месторождения.

На основе результатов, полученных при обработке геохимической информации методами математической статистики, установлены геохимические ассоциации элементов, принимавшие непосредственное участие в формировании минеральных парагенетических ассоциаций в процессе гидротермально метасоматического рудообразования. Полученные данные позволили составить обобщенную модель геохимической зональности

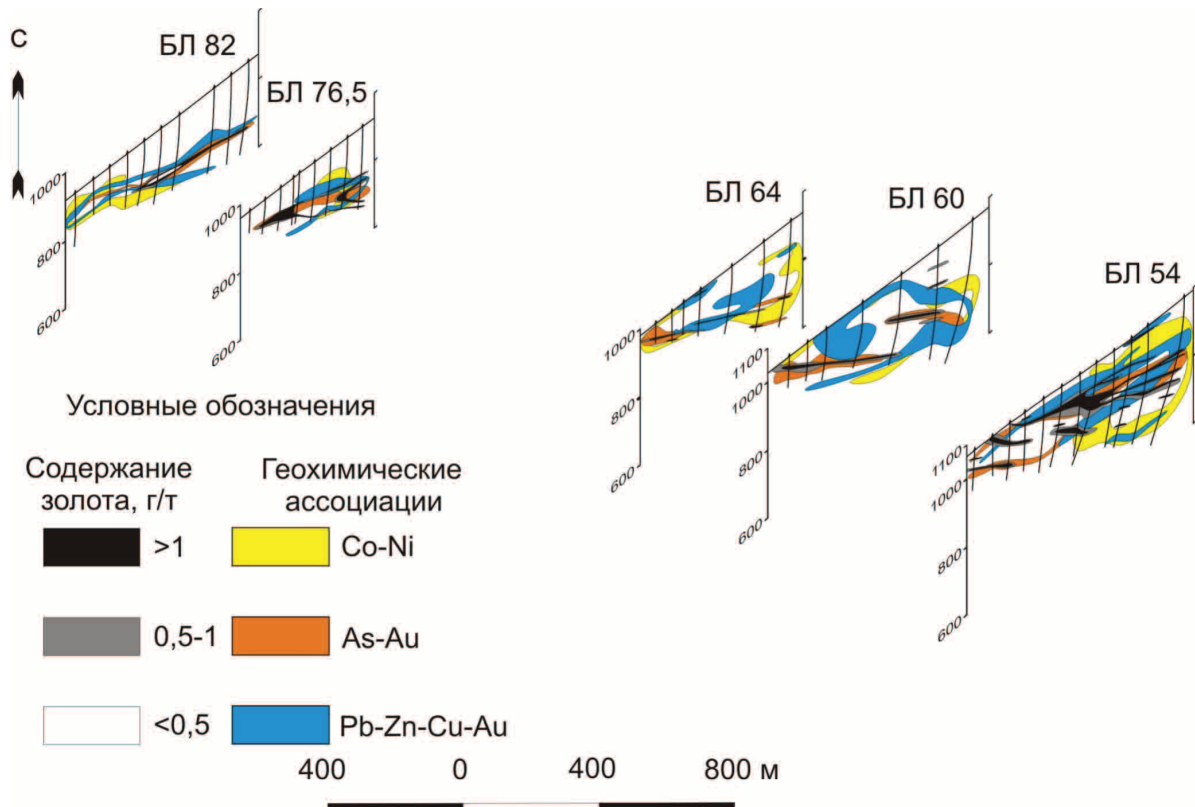


Рис. 4. Объемная структурно-геохимическая модель золоторудного месторождения Западное. 1 – геохимические ассоциации, 2 – контур рудного тела

мезотермального золоторудного месторождения черносланцевой формации (рис. 4).

Стадия отложения ранних сульфидов (кварц-пирротиновая ассоциация, кварц-пирит-сидеритовая ассоциация) допродуктивного этапа выражена в Co-Ni ассоциации элементов, распространенной по периферии минерализованной зоны, в основном за пределами контуров рудных тел.

В кварц-пирит-арсенопиритовую с золотом стадию минералообразования продуктивного этапа (кварц-пирит-арсенопиритовая ассоциация, кварц-сидерит-анкеритовая ассоциация) отлагались растворы золото-мышьяковистого состава, которые локализовались в центральной части минерализованной зоны, преимущественно в пределах рудных тел.

В заключительную золото-кварц-полисульфидную стадию продуктивного этапа (кварц-сфалерит-галенитовая ассоциация, кварц-пирит-халькопирит-блеклорудная с золотом ассоциация, кварц-пирит-анкерит-кальцитовая ассоциация) выделяется геохимическая ассоциация рудогенных элементов Pb-Zn-Cu-Au, которая в целом распространена по периферии рудной минерализации.

Выводы

1. Аналогично изученным золоторудным объектам в [5, 9, 21] АСГП месторождения Западное характеризуется концентрически зональным строением. Контрастные геохимические ореолы ассоциаций рудогенных элементов оконтурива-

ют центральную часть (Au-As) и периферию минерализованной зоны (Pb-Zn-Cu-Au и Co-Ni).

2. Выделенные геохимические ассоциации и их пространственное положение согласуются со стадийностью минералообразования, разработанной для Сухоложского рудного поля: Co-Ni – стадия отложения ранних сульфидов допродуктивного этапа (кварц-пирротиновая ассоциация, кварц-пирит-сидеритовая ассоциация), Au-As – кварц-пирит-арсенопиритовая с золотом стадия минералообразования продуктивного этапа (кварц-пирит-арсенопиритовая ассоциация, кварц-сидерит-анкеритовая ассоциация), Pb-Zn-Cu-Au – золото-кварц-полисульфидная стадия продуктивного этапа (кварц-сфалерит-галенитовая ассоциация, кварц-пирит-халькопирит-блеклорудная с золотом ассоциация, кварц-пирит-анкерит-кальцитовая ассоциация)
3. Результаты обработки геохимических данных, полученные с применением методов непараметрической статистики, позволили существенно уточнить представление о строении крупнообъемного геохимического ореола месторождения Западное.
4. Расшифровка АСГП месторождения дает возможность проводить выделение минерализованных зон, выделять минеральные и геохимические ассоциации процесса рудообразования, определять уровень эрозионного среза орудене-

ния как при проведении площадных геохимических съемок, так и в изучаемом объеме недр по результатам горно-буровых работ на площадях с аналогичным типом оруденения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Условия формирования и основы прогноза крупных золоторудных месторождений / М.М. Константинов, В.В. Аристов, М.Е. Вакин, Р.Ф. Данковцев, В.О. Кобышев, Т.Н. Косовец, Н.П. Остроумова, В.К. Политов, Г.С. Симкин, С.Ф. Стружков, В.А. Изотенкова, Н.А. Фогельман, В.М. Яновский // Руды и металлы. – 1999. – № 6. – С. 72b–73.
2. Крупнотоннажные месторождения – ресурс добычи золота в России / М.М. Константинов, С.В. Волков, С.Ф. Стружков, Н.В. Цымбалюк // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 6. – С. 5–11.
3. Геолого-геохимические особенности гигантских месторождений золота в черных сланцах Центральной Азии / М.С. Рафаилович, И.М. Голованов, О.А. Федоренко и др. // Поисквая геохимия: теоретические основы, технологии, результаты. – Алматы: НИИ природных ресурсов ЮГГЕО, 2004. – С. 67–83.
4. Этапы формирования крупномасштабной благороднометаллической минерализации месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь): результаты изотопно-геохронологического изучения / Н.П., Лаверов И.В. Чернышов, А.В. Чугаев, Э.Д. Баирова, Ю.В. Гольцман, В.В. Дистлер, М.А. Юдовская // Доклады РАН. – 2007. – Т. 415. – № 2. – С. 236–241.
5. Ворошилов В.Г. К вопросу о геометризации аномальных структур геохимических полей гидротермальных рудных месторождений // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 84–89.
6. Структура геохимического поля мезотермального золоторудного месторождения Чертово Корято (Северное Забайкалье) / Р.Ю. Гаврилов, И.В. Кучеренко, В.Г. Мартыненко, А.В. Верховин // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 11. – С. 19–24.
7. Григоров С.А. Основы структурной интерпретации геохимических полей рудных объектов для целей их локализации и оценки // Отечественная геология. – 2007. – № 4. – С. 45–52.
8. Чекваидзе В.Б., Милаев С.А. Эндеогенные ореолы сидерофильных элементов золоторудных месторождений // Руды и металлы. – 2009. – № 6. – С. 15–20.
9. Геохимическая зональность рудовмещающего ореола мезотермального золоторудного месторождения Чертово Корято (Патомское нагорье) / Р.Ю. Гаврилов, И.В. Кучеренко, В.Г. Мартыненко, А.В. Верховин // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 1. – С. 42–47.
10. Шер С.Д. Околорудные изменения, сопутствующие золото-кварцевым жилам в Ленском золотоносном районе // Метасоматические изменения боковых пород и их роль в рудообразовании / под ред. Н.И. Наковника. – М.: Недра, 1966. – С. 282–291.
11. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. – М.: Недра, 1982. – 256 с.
12. Новые данные об условиях рудоотложения и составе рудообразующих флюидов золото-платинового месторождения Сухой Лог / Н.П. Лаверов, В.Ю. Прокофьев, В.В. Дистлер и др. // Доклады РАН. – 2000. – Т. 371. – № 1. – С. 88–92.
13. Гаврилов А.М., Кряжев С.Г. Минералого-геохимические особенности руд месторождения Сухой Лог // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 8. – С. 3–16.
14. Околорудный метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе / В.Л. Русинов, О.В. Русина, С.Г. Кряжев и др. // Геология рудных месторождений. – 2008. – Т. 50. – № 1. – С. 3–46.
15. Соотношение процессов метаморфизма и рудообразования на золотом черносланцевом месторождении Сухой Лог по данным U-Th-Pb-изотопного SHRIMP-датирования акцессорных минералов / М.А. Юдовская, В.В. Дистлер, Н.В. Родионов и др. // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53. – № 1. – С. 32–64.
16. Петролого-геохимические черты околорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 1. Обзор петролого-геохимических исследований рудовмещающего субстрата / И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко, А.В. Верховин // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 1. – С. 35–41.
17. Петролого-геохимические черты околорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 2. Петрология околорудного метасоматизма / И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко, А.В. Верховин // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 1. – С. 28–37.
18. Петролого-геохимические черты околорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 3. Геохимия золота и серебра / И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко, А.В. Верховин // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 33–40.
19. Сафронов Н.И., Мещеряков С.С., Иванов Н.П. Энергия рудообразования и поиски полезных ископаемых / под общ. ред. Н.И. Марочкина. – Л.: Недра, 1978. – 215 с.
20. Выборов С.Г., Быстров И.И. Опыт использования комплексного показателя нарушенности геохимического поля для прогнозирования оруденения // Известия вузов. Геология и разведка. – 1990. – № 4. – С. 102–110.
21. Ворошилов В.Г. Аномальные структуры геохимических полей гидротермальных месторождений золота: механизм формирования, методика геометризации, типовые модели, прогноз масштабов оруденения // Геология рудных месторождений. – 2009. – Т. 51. – № 1. – С. 3–19.

Поступила 12.12.2013 г.

STRUCTURE OF GEOCHEMICAL FIELD OF MESOTHERMAL GOLD ORE DEPOSIT ZAPADNOE (LENSK ORE AREA)

Roman Yu. Gavrilov,

Cand. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: GavrilovRY@ignd.tpu.ru

Danil A. Khryapin,

Berezovsk Mine Ltd., 22, Lenin street, Prokopevsk, 653039, Russia.
E-mail: danil-khryapin@yandex.ru

The described research is now becoming even more relevant due to the efficiency improvement of expected gold ore exploration based on sophisticated geochemical information processing and interpretation methods.

The main aim of the study is to investigate geochemical zoning and to identify anomalous geochemical deposit structure within Zapadnoe gold ore deposit for working out addition search criteria to predict gold objects.

The methods used in the study: statistic parameter calculation by nonparametric mathematical statistic method and their further processing through software programs Surfer, Statistica, Corel Draw; semiquantative emission spectral analysis; assay testing.

The results: The authors have studied geochemical zoning of Zapadnoe deposit based on core sampling results from five well exploratory lines. It was ascertained that anomalous structure of geochemical Zapadnoe deposit is of concentric zonal structure. The central area (As-Au) and mineralized periphery (Pb-Zn-Cu-Au и Co-Ni) are contoured by contrasting geochemical haloes of ore-element associations. The identified geochemical associations and their spatial position correlate to mineral formation staging developed for Sukholozhskoe ore deposit. Based on interpretation of deposit geochemical field abnormal structure the authors detected mineralized zone boundaries, selected mineral and geochemical associations of ore formation. The data obtained allowed defining more precisely the structure of bulk geochemical Zapadnoe deposit halo.

Key words:

Gold, Sukholozhskoe ore field, black-shale formation, nonparametric mathematical statistic method, anomalous geochemical field structure.

REFERENCES

1. Konstantinov M.M., Aristov V.V., Vakin M.E., Dankovtsev R.F., Konyshov V.O., Kosovets T.N., Ostroumova N.P., Politov V.K., Simkin G.S., Struzhkov S.F., Izotenkova V.A., Fogelman N.A., Yanovsky V.M. Usloviya formirovaniya i osnovy prognoza krupnykh zolotorudnykh mestorozhdeniy [Formation conditions and fundamentals of predicting large gold-ore deposit]. *Rudy i metall – Ores and metals*, 1999, no. 6, pp. 72b–73.
2. Konstantinov M.M., Volkov S.V., Struzhkov S.F., Tsybalyuk N.V. Krupnotonnazhnye mestorozhdeniya – resurs dobychi zolota v Rossii [Large-capacity deposit is the resource of gold mining in Russia]. *Razvedka i okhrana nedr – Exploring and protection of resources*, 2007, no. 6, pp. 5–11.
3. Rafailovich M.S., Golovanov I.M., Fedorenko O.A. Geologo-geokhimicheskie osobennosti gigantских mestorozhdeniy zolota v chernykh slantsakh Tsentralnoy Azii [Geological and geochemical features of giant gold deposits in black slate]. *Poiskovaya geokhimiya: teoreticheskie osnovy, tekhnologii, rezultaty* [Search geochemistry: theory, technologies, results]. Almaty, NII prirodnnykh resursov JuGGEO, 2004. pp. 67–83.
4. Laverov N.P., Chernyshov I.V., Chugaev A.V., Bairova E.D., Goltzman Yu.V., Distler V.V., Yudovskaya M.A. Etapy formirovaniya krupnomasshtabnoy blagorodnometalnoy mineralizatsii mestorozhdeniya Sukhoy Log (Vostochnaya Sibir): rezultaty izotopno-geokhronologicheskogo izucheniya [Stages of forming large-capacity noble metal mineralization of Sukhoy Log deposit (East Siberia): results of isotopic and geochronological study]. *Doklady RAN*, 2007, vol. 415, no. 2, pp. 236–241.
5. Voroshilov V.G. K voprosu o geometrizaratsii anomalnykh struktur geokhimicheskikh poley gidrotermalnykh rudnykh mestorozhdeniy [Geometrization of anomalous structures of hydrochemical fields of hydrothermal deposits]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2007, vol. 311, no. 1, pp. 84–89.
6. Gavrilov R.Yu., Kucherenko I.V., Martynenko V.G., Verkhovzin A.V. Struktura geokhimicheskogo polya mezotermalnogo zolotorudnogo mestorozhdeniya Chertovo Koryto (Severnoe Zabaykale) [Geochemical field structure of mesothermal gold-ore deposit Chertovo Koryto (North Transbaikal)]. *Razvedka i okhrana nedr – Exploring and protection resources*, 2010, no. 11, pp. 19–24.
7. Grigorov S.A. Osnovy strukturnoy interpretatsii geokhimicheskikh poley rudnykh obektov dlya tseyey ikh lokalizatsii i otsenki [Fundamentals of structural interpretation of ore object geochemical fields for their localization and evaluation]. *Otechestvennaya geologiya*, 2007, vol. 4, pp. 45–52.
8. Chekvaizhe V.B., Milyaev S.A. Endogennyye oreoly siderofilnykh elementov zolotorudnykh mestorozhdeniy [Endogenous aureole of siderophilic elements of gold deposits]. *Rudy i metall – Ores and metals*, 2009, no. 6, pp. 15–20.
9. Gavrilov R.Yu., Kucherenko I.V., Martynenko V.G., Verkhovzin A.V. Geokhimicheskaya zonalnost rudovmeshchayushchego oreola mezotermalnogo zolotorudnogo mestorozhdeniya Chertovo Koryto (Patomskoe nagore) [Geochemical zonality of ore-containing halo of Chertovo Koryto mesothermal gold-ore deposit (Patom upland)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 319, no. 1, pp. 42–47.
10. Sher S.D. Okolorudnyye izmeneniya, sopuststvuyushchie zolotokvartsevym zhilam v Lenskom zolotonosnom rayone [Wallrock alteration, associating gold-quartz veins in Lena gold district]. *Metasomaticheskie izmeneniya bokovykh porod i ikh rol v rudoobrazovanii* [Metasomatic changes of wall rocks and their part in ore formation]. Ed. N.I. Nakovnik. Moscow, Nedra Publ., 1966. pp. 282–291.
11. Buryak V.A. *Metamorfizm i rudoobrazovanie* [Metamorphism and ore formation]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 256 p.
12. Laverov N.P., Prokofev V.Yu., Distler V.V. Novyye dannyye ob usloviyakh rudootlozheniya i sostave rudoobrazuyushchikh flyuidov zoloto-platinovogo mestorozhdeniya Sukhoy Log [Up-to-

- date information on ore deposition condition and ore-forming fluid composition of gold-platinum deposit Sukhoy Log]. *Doklady RAN*, 2000, vol. 371, no. 1, pp. 88–92.
13. Gavrilov A.M., Kryazhev S.G. Mineralogo-geokhimicheskie osobnosti rud mestorozhdeniya Sukhoy Log [Ore mineral-geochemical features of Sukhoy Log deposit]. *Razvedka i okhrana nedr – Exploring and protection resources*, 2008, no. 8, pp. 3–16.
 14. Rusinov V.L., Rusinova O.V., Kryazhev S.G. Okolorudnyy metasomatizm terrigennykh uglerodistykh porod v Lenskom zolotorudnom rayone [Wall-rock metasomatism of carbonaceous terrigenous rocks in the Lena gold district]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of ore deposit*, 2008, vol. 50, no. 1, pp. 3–46.
 15. Yudovskaya M.A., Distler V.V., Rodionov N.V. Sootnoshenie protsessov metamorfizma i rudoobrazovaniya na zolotom chernoslantsevom mestorozhdenii Suhoy Log po dannym U-Th-Pb-izotopnogo SHRIMP-datirovaniya aktsessornykh mineralov [Therate of metamorphism and ore formation at the Sukhoi Log gold deposit hosted in black slates according to the data of U-Th-Pb isotopic SHRIMP-dating of accessory minerals]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of ore deposit*, 2011, vol. 53, no. 1, pp. 32–64.
 16. Kucherenko I.V., Gavrilov R.Yu., Martynenko V.G., Verhozin A.V. Petrologo-geokhimicheskie cherty okolorudnogo metasomatizma v zolotorudnom mestorozhdenii Sukhoy Log (Lenskiy rayon). [Petrology-geochemical features of wall-rock metasomatism in gold deposit Sukhoy Log (Lena district)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 319, no. 1, pp. 35–41.
 17. Kucherenko I.V., Gavrilov R.Yu., Martynenko V.G., Verhozin A.V. Petrologo-geokhimicheskie cherty okolorudnogo metasomatizma v zolotorudnom mestorozhdenii Suhoy Log (Lenskiy rayon) [Petrology-geochemical features of wall-rock metasomatism in gold deposit Sukhoy Log (Lena district)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 320, no. 1, pp. 28–37.
 18. Kucherenko I.V., Gavrilov R.Yu., Martynenko V.G., Verhozin A.V. Petrologo-geokhimicheskie cherty okolorudnogo metasomatizma v zolotorudnom mestorozhdenii Suhoy Log (Lenskiy rayon) [Petrology-geochemical features of wall-rock metasomatism in gold deposit Sukhoy Log (Lena district)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. no. 1, pp. 33–40.
 19. Safronov N.I., Meshcheryakov S.S., Ivanov N.P. *Energiya rudoobrazovaniya i poiski poleznykh iskopaemykh* [Ore formation energy and mineral exploration]. Ed. N.I. Marochkin. Leningrad, Nedra Publ., 1978, 215 p.
 20. Vyborov S.G., Bystrov I.I. Opyt ispolzovaniya kompleksnogo pokazatelya narushennosti geokhimicheskogo polya dlya prognozirovaniya orudneniya [Experience in using composite indicator of geochemical field fracturing to predict mineralization]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 1990, no. 4, pp. 102–110.
 21. Voroshilov V.G. Anomalnye struktury geokhimicheskikh poley gidrotermalnykh mestorozhdeniy zolota: mekhanizm formirovaniya, metodika geometrizatsii, tipovye modeli, prognoz masshtabnosti orudneniya [Anomalous structures of geochemical fields of hydrothermal gold deposits: formation mechanism, methods of geometrization, typical models, and forecasting of ore mineralization]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of ore deposit*, 2009, vol. 51, no. 1, pp. 3–19.

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНАЯ СТРАТЕГИЯ ПОИСКОВ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ В ДЮОРСКОМ ОСНОВАНИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Сунгурова Ольга Геннадьевна,

геолог Управления поддержания пластового давления
ООО «Газпромнефть-Хантос», Россия, 628012, г. Ханты-Мансийск,
ул. Ленина, 5. E-mail: sungurovaog88@gmail.com

Мазуров Алексей Карпович,

д-р геол.-минерал. наук, профессор, зав. кафедрой геологии и разведки
полезных ископаемых Института природных ресурсов ТПУ,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: akm@tpu.ru

Исаев Валерий Иванович,

д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры геофизики
Института природных ресурсов ТПУ,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: isaevvi@tpu.ru

В результате исследований в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям научно-технического комплекса России на 2007–2013 годы» разработана и предложена стратегия поисков нефтеперспективных объектов в доюрском комплексе центральной части Западной Сибири, определены основы технологии поисков. С целью анализа конкурентной среды, определения потребителей и оценки эффективности, выработки рекомендаций по внедрению выполнены маркетинговые исследования. В качестве метода исследований применен анализ внешней документации, технико-экономический анализ результатов НИР. На примере трех месторождений Ханты-Мансийского АО показано, что новая стратегия обеспечивает прирост осваиваемых ресурсов до 60 %, уменьшение объемов капитальных затрат на 16 %, снижение геологоразведочного риска. Сфера применения стратегии – региональные исследования, поисковые работы и переоценка ресурсов районов нефтепромыслов, лицензирование участков недр. Потенциальными потребителями являются компании, разрабатывающие нижнеюрские месторождения и залежи. Ресурсоэффективность стратегии состоит в возможности наращивании ресурсной базы на землях уже действующих нефтепромыслов с развитой инфраструктурой, за счет сокращения затрат на промысловое обустройство и исключение затрат на внешние коммуникации.

Ключевые слова:

Доюрский комплекс, нефтеперспективный объект, стратегия поисков, маркетинговые исследования, капитальные затраты, геологоразведочный риск, потенциальные потребители, месторождения Ханты-Мансийского АО.

Введение

Результаты геоплотностного моделирования, выполненного по данным сейсморазведки, гравиразведки и бурения на траверсе Красноленинского свода, выявили в пределах Рогожниковской группы месторождений Ханты-Мансийского АО (ХМАО) масштабную зону разуплотнения доюрского комплекса пород, отождествленную с вторичными коллекторами – резервуарами [1].

Послойное изучение в разрезах Северо-Рогожниковского и Рогожниковского месторождений концентраций и молекулярно-массового распределения ароматических и алкановых углеводородов (УВ) [2, 3], системный анализ геохимических и литолого-петрографических данных [4] установили миграцию нефтяных УВ из юрских в нижележащие триасовые отложения. Последнее согласуется с «осадочной» концепцией «главного источника» – юрским генезисом нефтей в резервуарах доюрского основания [5–8].

Результаты исследований в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям научно-технического комплекса России на 2007–2013 го-

ды», выполненные на Рогожниковской группе месторождений, позволили рекомендовать следующую стратегию поисков залежей нефти в доюрском основании центральной части Западной Сибири [9, 10]. Первоочередными участками поисков являются территории сосредоточения уже известных залежей в нижних этажах осадочного чехла. Именно на этих территориях необходимо ставить работы по выявлению возможных зон разуплотнения в доюрском комплексе. Если здесь зона разуплотнения выявляется, то это первоочередной объект детализации поисков залежей в фундаменте. Ресурсоэффективность стратегии состоит в возможности наращивания ресурсной базы, прежде всего, на землях уже действующих нефтепромыслов с развитой инфраструктурой.

Предложенная стратегия поисков залежей нефти в доюрском разрезе Западной Сибири обеспечивает выполнение следующих геолого-экономических показателей:

- 1) комплексное освоение недр месторождений УВ с приростом осваиваемых ресурсов за счет расширения стратиграфического диапазона поисков и освоения;

- 2) уменьшение объемов капитальных затрат за счет прироста осваиваемых ресурсов на землях нефтепромыслов с уже обустроенной инфраструктурой;
- 3) снижение геологоразведочного риска.

Ниже приводится количественная оценка названных показателей, полученная в результате патентных и маркетинговых исследований. В качестве метода маркетинговых исследований применен анализ публикаций ученых и специалистов, материалов официальных сайтов издательств, организаций и компаний. Проведен технико-экономический анализ результатов НИР «Теоретическое и экспериментальное обоснование стратегии и комплекса методов поисков залежей нефти в доюрском основании Западной Сибири (на примере Рогожниковской группы месторождений Красноленинского свода)» (В.И. Исаев, Г.А. Лобова, А.А. Жильцова и др., 2013, ГК № 14.515.11.0073).

Прирост ресурсов УВ за счет залежей в доюрском комплексе

Эксперты оценивают, что за последние 6 лет снижение добычи нефти в Западной Сибири составило 1,6 % [11]. Вместе с тем Западная Сибирь и в долгосрочной перспективе остается основным нефтедобывающим регионом России. Время «легкой» юрско-меловой нефти в регионе заканчивается, приходит время трудноизвлекаемых запасов и расширения стратиграфического диапазона поисков.

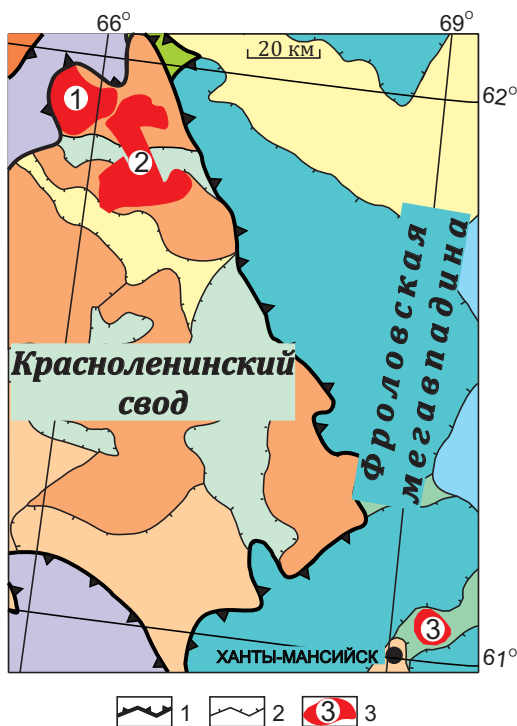


Рис. 1. Обзорная схема территории исследований (на основе [12]): 1 – границы тектонических элементов I порядка; 2 – границы внутреннего районирования; 3 – месторождение нефти и его условный номер: 1 – Северо-Рогожниковское, 2 – Рогожниковское, 3 – Хантымансийское

Для оценки прироста ресурсов за счет освоения залежей в доюрском основании нами проведен оценочный расчет извлекаемых запасов для каждого нефтегазоносного комплекса (НГК) на Северо-Рогожниковском, Рогожниковском и Хантымансийском месторождениях ХМАО (рис. 1). Запасы определяются как произведение объема коллекторов, средних значений коэффициента пористости, коэффициента нефтенасыщенности и коэффициента извлечения нефти.

Запасы условно рассчитываются в м³ по формуле

$$Q = F \cdot h_n \cdot k_n \cdot k_n \cdot \eta,$$

где Q – извлекаемые запасы нефти, м³; F – площадь нефтеносности, м²; h_n – средняя эффективная мощность НГК (пласта), м; k_n – коэффициент открытой пористости, отн. ед.; k_n – коэффициент нефтенасыщенности, отн. ед.; η – коэффициент извлечения нефти, отн. ед.

Нефтегазоносность на Северо-Рогожниковском месторождении (рис. 2) выявлена в доюрских отложениях (Tr), среднеюрском (пласты ЮК₂₋₄), верхнеюрском (ЮК₁, ЮК₀) и меловом (ВК₁₋₂) НГК [12, 13]. Залежи в основном пластово-сводового типа, залежь в доюрских отложениях с элементами тектонического экранирования. Исходные данные и результаты оценки извлекаемых запасов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные и оценка извлекаемых запасов нефти по Северо-Рогожниковскому месторождению

НГК	F, тыс. м ²	h _n , м	отн. ед.			Q, тыс. м ³	Q, %
			k _n	k _n	η		
Меловой	360000	32	0,10	0,50	0,25	144000	94,4
Юрские	5760	10	0,16	0,50	0,25	1152	0,8
Доюрский	6750	51	0,17	0,50	0,25	7315	4,8
Итого						152467	100,0

Из табл. 1 следует, что запасы доюрского НГК по Северо-Рогожниковскому месторождению составляют заметный вклад (порядка 5 %) в общий объем извлекаемых запасов.

На Рогожниковском месторождении (рис. 3) установлена нефтеносность в образованиях триаса (Tr), томенской (пласты ЮК₂₋₆), абалакской (ЮК₁), тутлеймской (ЮК₀) свит, в отложениях викуловской (ВК₁) свиты [12, 14]. Также непромышленные притоки нефти получены из отложений пласта АК₃ фроловской свиты. Исходные данные и результаты оценки извлекаемых запасов представлены в табл. 2

Таблица 2. Исходные данные и оценка извлекаемых запасов нефти по Рогожниковскому месторождению

НГК	Пласт	F, тыс. м ²	h _n , м	отн. ед.			Q, тыс. м ³	Q, %
				k _n	k _n	η		
Меловой		424000	5	0,10	0,50	0,25	26 500	8,4
	ЮК ₇	93	4	0,10	0,50	0,25		
	ЮК ₅	93	10	0,10	0,50	0,25		
	ЮК ₄	152449	6	0,10	0,50	0,25		
Юрские	ЮК ₂₋₃	93	10	0,10	0,50	0,25	11460	3,6
Доюрский		441911	50	0,10	0,50	0,25	276194	87,9
Итого						314154	100,0	

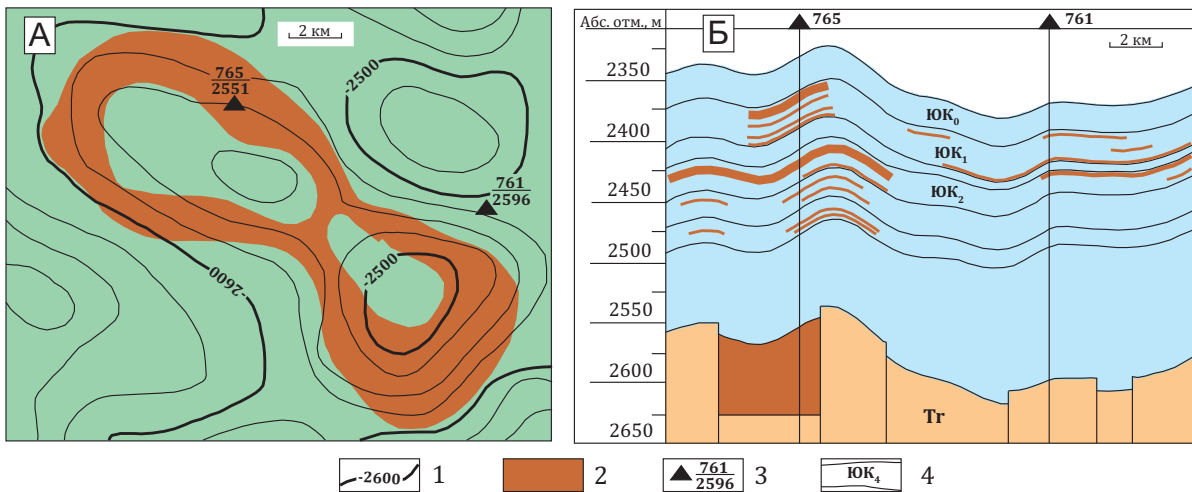


Рис. 2. Северо-Рогожниковское месторождение. Схемы контура залежи в доюрских отложениях (А), геологического разреза по линии скважин 765–761 (Б): 1 – изогипсы по кровле доюрских отложений, м; 2 – залежь нефти; 3 – скважина, ее номер, отметка забоя, м; 4 – нефтегазоносный комплекс

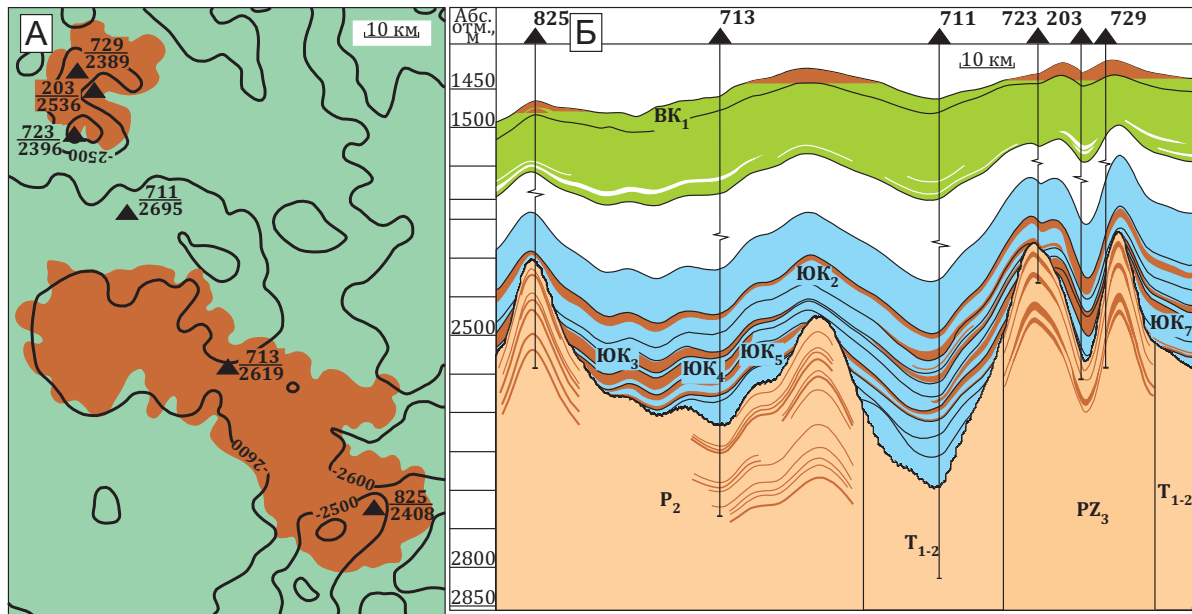


Рис. 3. Рогожниковское месторождение. Схемы контура залежи в доюрских отложениях (А), геологического разреза по линии скважин 825–713–711–723–203–729 (Б). Условные обозначения те же, что на рис. 2

На Рогожниковском месторождении основная доля извлекаемых запасов (порядка 88 %) приходится на ресурсы залежей доюрского основания.

В доюрском НГК на Хантымансийском месторождении (рис. 4) открыто три нефтяные залежи: две – в пределах Хантымансийской структуры и одна – в пределах Нижнегаляновского поднятия. Нефтеносность доюрского комплекса приурочена к карбонатным породам. Особенностью этих пород является наличие в них пустотного пространства, связанного не только с порами, но и с трещинами, кавернами, обеспечивающими высокодебитные притоки нефти из этого объекта [12, 15]. Исходные данные и результаты оценки извлекаемых запасов представлены в табл. 3.

Таблица 3. Исходные данные и оценка извлекаемых запасов нефти по Хантымансийскому месторождению

НГК	F, тыс. м ²	h _n , м	отн. ед.			Q, тыс. м ³	Q, %
			k _n	k _n	η		
Юрские	760	3	0,10	0,50	0,25	24	0,3
Доюрский	16796	40	0,10	0,50	0,25	8398	99,7
Итого						8422	100,0

На Хантымансийском месторождении практически все извлекаемые запасы приходятся на ресурсы доюрского НГК.

Таким образом, оценка средней величины прироста ресурсов УВ на месторождениях центральной части Западной Сибири (на примере 3-х представительных месторождений), за счет залежей в доюрском основании, дает величину порядка 60% (табл. 4).

Таблица 4. Оценка извлекаемых запасов нефти по Северо-Рогожниковскому, Рогожниковскому и Хантымансийскому месторождениям

Месторождение	Меловой и юрские НГК		Доюрский НГК		Итого, %
	Q, тыс. м ³	Q, %	Q, тыс. м ³	Q, %	
Северо-Рогожниковское	145152	95,2	7315	4,8	100
Рогожниковское	37960	12,1	276194	87,9	100
Хантымансийское	24	0,3	8398	99,7	100
Всего	183136	38,6	291908	61,4	100

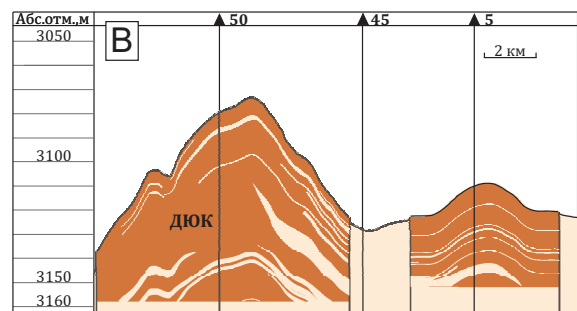
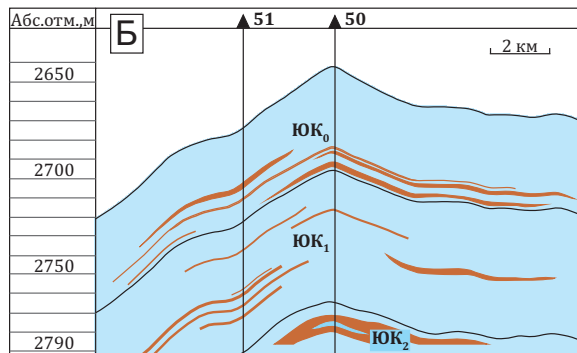
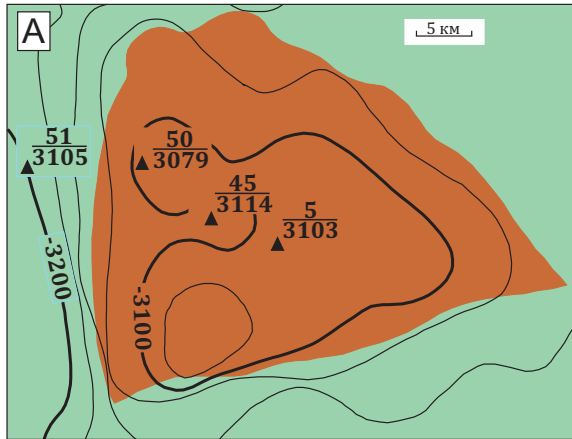


Рис. 4. Хантымансийское месторождение. Схемы контура залежи в доюрских отложениях (А), геологического разреза по линии скважин 5–50–45–5 юрских (Б) и доюрских (В) отложений. Условные обозначения те же, что на рис. 2

Уменьшение объемов капитальных затрат

Нефтегазовая отрасль традиционно считается капиталоемкой, требующей значительных инвестиций. По данным российских нефтегазовых компа-

ний в структуре инвестиций в 2012 г. транспортировка составила 823,9 млрд р. – 26,1 % [16]. В свою очередь, и освоение новых мелких и средних месторождений УВ сопряжено со значительными трудностями организационно-экономического характера, капитальные вложения в создание транспортной инфраструктуры могут превысить 70 % от затрат на обустройство месторождения [17]. Это, как правило, приводит к нецелесообразности освоения месторождения по причине экономической неэффективности.

По мере уменьшения размеров месторождений значение удельных капитальных вложений увеличивается (табл. 5). Высокое значение удельных капитальных вложений (в особенности для групп I и II месторождений) вызвано очень большой долей затрат на строительство внешних коммуникаций (до 45 %), что объясняется значительной удаленностью большинства месторождений от районов с развитой инфраструктурой.

Снизить величину капитальных вложений можно путем реализации комплексного инфраструктурного проекта [18]. Сущность этого проекта в том, что при освоении группы мелких и средних месторождений, расположенных в одном районе, строится единый коридор коммуникаций, включающий автодорогу, нефтепровод, газопровод и другие объекты. Либо при освоении новых мелких и средних месторождений используется инфраструктура уже эксплуатируемого месторождения.

Опираясь на разработанную стратегию поисков [10], недропользователи, которые уже эксплуатируют месторождения, приуроченные к юрским НГК, могут провести дополнительные исследования на объектах в доюрском НГК. За счет этого увеличение ресурсов может составить до 60 % (табл. 4). При этом эксплуатационные расходы вырастут пропорционально извлекаемым запасам, а капитальные затраты возрастут существенно меньше, так как промысел обустроен, транспортная сеть развита.

Таким образом, за счет сокращения затрат на промышленное обустройство и исключения затрат на внешние коммуникации, недропользователь, осуществляя прирост запасов за счет залежей доюрского НГК, снижает капитальные затраты не менее чем на 16 % (табл. 5).

Таблица 5. Структура капитальных вложений в освоение мелких и средних месторождений [17]

Группа месторождений по величине извлекаемых запасов, млн т	Удельные капитальные вложения, р/т	Строительство скважин	Промысловое обустройство	Оборудование для нефтедобычи	Внешние коммуникации	Итого
I (менее 1)	3600	30	20	5	45	100
II (1–3)	2500	40	20	5	35	100
III (3–10)	1800	53	18	4	25	100
IV (10–30)	1300	65	15	4	16	100

Снижение геологоразведочного риска

Сфера применения стратегии поисков залежей нефти в доюрском основании – региональные исследования, поисковые работы и переоценка ресурсов районов нефтепромыслов, лицензирование участков недр Западной Сибири.

Согласно концепции «главного источника» [2–4] нефть, генерируемая материнскими юрскими отложениями, из юры поступает в резервуары триаса и палеозоя. Поэтому потенциальными «потребителями» стратегии поисков являются, прежде всего, компании, которые разрабатывают нижнеюрские залежи и месторождения с залежами в доюрском комплексе пород.

Освоение новых месторождений УВ нередко экономически выгодно лишь при минимальных затратах на создание транспортной инфраструктуры. Вместе с тем затраты включают не только затраты на выполнение геологоразведочных работ и подсчет запасов на одном участке, но и затраты геологоразведочных работ на других участках, на которых промышленные залежи не выявлены. То есть это затраты геологоразведочного риска [19].

Теоретически обосновано и экспериментально доказано, что основным источником УВ для залежей фундамента является материнские породы/залежи УВ отложений юрских горизонтов. Поэтому разработанную стратегию могут эффективно применять недропользователи, которые уже имеют месторождения с нефтегазоносными объектами в юре. Если промышленная нефтегазоносность вышележащих юрских отложений доказана, снижается геологоразведочный риск.

Основным показателем, характеризующим эффективность освоения месторождения, является накопленный дисконтированный поток наличности (net present value – NPV). Мелкие и средние месторождения по величине извлекаемых запасов делятся на 4 группы: I – до 1 млн т; II – от 1 до 3 млн т; III – от 3 до 10 млн т; IV – от 10 до 30 млн т [20]. С учетом принятых условий определено значение NPV для месторождений в каждой группе (табл. 6). Результаты этих расчетов показывают,

что освоение нефтяных месторождений групп I–III и части месторождений группы IV экономически нецелесообразно.

Однако по приведенным выше расчетам (табл. 4), ресурсы залежей в доюрском основании могут существенно превышать 10–30 млн т, т. е. по показателю NPV освоение этих залежей будет эффективным.

Таблица 6. Расчетные значения NPV для групп мелких и средних месторождений [19]

Группа месторождений по величине извлекаемых запасов, млн т	NPV _{max}	NPV _{min}	Среднее
	млн р.		
I (меньше 1)	-1013	-1242	-1114
II (1–3)	-748	-1013	-819
III (3–10)	-202	-713	-510
IV (10–30)	2481	-121	956

Существуют варианты геолого-экономической оценки недр, в рамках которых прирост запасов не является гарантией целесообразности вложения денег в проект [21]. Но в рамках предложенной стратегии поисков и освоения затраты на ГРП на доюрский НГК недропользователь несет не на первой стадии освоения, когда прибыль нулевая, а на третьей стадии освоения, когда идет промышленная добыча нефти из юрских горизонтов.

Выводы

1. Предложенная стратегия поисков нефтеперспективных объектов в доюрском основании [10] обеспечивает прирост осваиваемых ресурсов, за счет залежей в доюрском нефтегазоносном комплексе, до 60 %.
2. Экономический эффект приложения стратегии достигается уменьшением объемов капитальных затрат, за счет прироста ресурсов на землях нефтепромыслов, не менее чем на 16 %.
3. Разработанную стратегию поисков рекомендуется применять на месторождениях с нефтегазоносными объектами в юре. В этом случае у недропользователя снижается геологоразведочный риск.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Estimation of the Oil-and-Gas Potential of Sedimentary Depression in the Far East and West Siberia Based on Gravimetry and Geothermy Data / R.Yu. Gulenok, V.I. Isaev, V.Yu. Kosygin, G.A. Lobova, V.I. Starostenko // Russian Journal of Pacific Geology. – 2011. – V. 5. – № 4. – P. 273–287.
2. Распределение ароматических углеводородов в разрезе отложений нефтегазоносных комплексов (на примере месторождений Красноленинского свода) / Ю.В. Коржов, В.И. Исаев, А.А. Жильцова, О.В. Латыпова // Геофизический журнал. – 2013. – Т. 35. – № 1. – С. 113–129.
3. Генезис доюрских залежей нефти Рогожниковской группы месторождений (по результатам изучения вертикальной зональности алканов) / Ю.В. Коржов, В.И. Исаев, М.Я. Кузина, Г.А. Лобова // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 1. – С. 51–56.

4. Кузина М.Я., Коржов Ю.В., Исаев В.И. Геохимическое и литологическое обоснование концепции «главного источника» доюрских залежей нефти Красноленинского свода // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 32–38.
5. Фомин А.Н. Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011. – 331 с.
6. Брехунцов А.В., Монастырев Б.В., Нестеров И.И. (мл.) Закономерности размещения залежей нефти и газа Западной Сибири // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – № 8. – С. 1001–1012.
7. Ковешников А.Е. Источник поступления нефти и газа в палеозойские отложения Западно-Сибирской геосинеклизы // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 1. – С. 111–116.

8. Шустер В.Л., Пунанова С.А., Самойлова А.В. Проблемы поиска и разведки промышленных скоплений нефти и газа в трещинно-кавернозных массивных породах доюрского комплекса Западной Сибири // Геология нефти и газа. – 2011. – № 2. – С. 26–33.
9. Исаев В.И. О генезисе залежей нефти и стратегии их поисков в доюрском основании (Красноленинский свод) // *Materialy VIII Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji «Dynamika naukowych badan-2012»*. – Przemysl: Nauka i studia, 2012. – V. 20. Geografaria i geologia. – Str. 20–23.
10. Лобова Г.А., Коржов Ю.В., Кудряшова Л.К. Генезис доюрских залежей нефти Рогожниковской группы месторождений (по данным гравиразведки и геохимии) // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 65–72.
11. Нобатова М. Салымский проект: полигон для новых технологий // Нефтегазовая Вертикаль. – 2013. – № 17. – С. 40–52.
12. Атлас «Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа» // под ред. Э.А. Ахпателова, В.А. Волкова, В.Н. Гончаровой, В.Г. Елисеева, В.И. Карасева, А.Г. Мухер, Г.П. Мясниковой, Е.А. Теплякова, Ф.З. Хафизова, А.В. Шпильмана, В.М. Южакова. – Екатеринбург: ИздатНаукаСервис, 2004. – 148 с.
13. Условия формирования залежей углеводородов в доюрских отложениях на Рогожниковском лицензионном участке / Е.П. Кропотова, Т.А. Коровина, Н.В. Гильманова, С.В. Шадрина // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Т. 1. – Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 2007. – С. 372–383.
14. Архипов С.В., Замараев Е.И., Хабарова Т.С. Характерные черты геологического строения и нефтенасыщенности Рогожниковского месторождения // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. – Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 2009. – Т. 1. – С. 202–213.
15. Гилязова С.М., Сиднев А.В. Литология и вещественный состав палеозойско-триасовых образований Южно-Галияновского и Мытояхинского участков Фроловского мегапрогиба Среднего Приобья в свете проблем нефтегазоносности бассейна // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2009. – № 6. – С. 55–58.
16. Эдер Л.В. Нефтегазовый комплекс в экономике России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2013. – № 4. – С. 48–56.
17. Зиновьев А.А., Мелехин А.Е. Проблемы освоения мелких и средних месторождений углеводородов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2008. – № 2. – С. 22–26.
18. Экономическое обоснование стратегии комплексного освоения нефтегазоконденсатных месторождений Томской области / К.М. Паровинчак, М.С. Паровинчак, И.И. Афанасьев, К.Е. Латкин, А.И. Фомин // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 2. – С. 24–27.
19. Хакимов Б.В. Ценообразование на продукцию геологического изучения недр в рыночных условиях // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2008. – № 3. – С. 25–31.
20. Коржубаев А.Г., Мартынов И.В. Налог на добычу и эффективность разработки мелких и средних нефтяных месторождений в Ямало-Ненецком АО // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2008. – № 5. – С. 33–36.
21. Ампилов Ю.П., Лапо А.В. Анализ геолого-экономических показателей, применяемых при оценке эффективности разведки и освоения участков недр // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2010. – № 5. – С. 29–34.

Поступила 13.02.2014 г.

RESOURCE EFFICIENT SEARCH STRATEGIES OF OIL DEPOSITS IN THE PRE-JURASSIC BASE OF WESTERN SIBERIA

Olga G. Sungurova,

Gazprom Neft-Khantos, 5, Lenin Street, Khanty-Mansiysk, 628012, Russia. E-mail: sungurovaog88@gmail.com

Aleksey K. Mazurov,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: akm@tpu.ru

Valeriy I. Isaev,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: isaewi@tpu.ru

As a result of researches within the framework of the Federal Target Program «Researches and developments on priority directions of scientific-technological complex of Russia for 2007–2013» the search strategy of oil-perspective objects in pre-Jurassic complex in central part of Western Siberia was developed and proposed, the bases of research technology were established. The authors have carried out marketing researches to analyze the competitive environment, to define consumers and to estimate the efficiency, to develop the implementation reference. Analysis of external documentation and technical-economic analysis of the research results was used as the research techniques. By the example of three fields in Khanty-Mansiysk Autonomous District it was shown that the new strategy provides the increase of resources growth to 60 %, capital costs decrease by 16 % and geological prospecting risk reduce. The strategy can be applied for regional studies, prospecting work and revaluation of oil field areas resources, subsoil licensing. The potential customers are the companies developing the Lower Jurassic fields and deposits. Resource efficiency of the strategy consists in ability to build-up resource base on the lands which already possess the functions of oil fields with the developed infrastructure, reducing costs on field construction and excluding costs on external communications.

Key words:

Pre-Jurassic complex, oil-perspective object, search strategy, marketing researches, capital costs, geological prospecting risk, potential consumers, fields of Khanty-Mansiysk Autonomous District.

REFERENCES

- Gulenok R.Yu., Isaev V.I., Kosygin V.Yu., Lobova G.A., Starostenko V.I. Estimation of the Oil-and-Gas Potential of Sedimentary Depression in the Far East and West Siberia Based on Gravimetry and Geothermy Data. *Russian Journal of Pacific Geology*, 2011, vol. 5, no. 4, pp. 273–287.
- Korzhev Yu.V., Isaev V.I., Zhiltsova A.A., Latypova O.V. Raspreделение aromaticeskikh uglevodorodov v razreze otlozheniy neftegazonosnykh kompleksov (na primere mestorozhdeniy Krasnoleninskogo svoda) [Distribution of aromatic hydrocarbons in the cross-section of deposits of oil and gas complexes (by the example of fields of Krasnoleninsk arch)]. *Geofizicheskiy zhurnal – Geophysical journal*, 2013, vol. 35, no. 1, pp. 113–129.
- Korzhev Yu.V., Isaev V.I., Kuzina M.Ya., Lobova G.A. Genezis doyruskikh zalezhey nefiti Rogozhnikovskoy gruppy mestorozhdeniy (po rezultatam izucheniya vertikalnoy zonalnosti alkanov) [Genesis of pre-Jurassic oil deposits of Rogozhnikov group of fields (by results of the study of vertical zoning alkanes)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 1, pp. 51–56.
- Kuzina M.Ya., Korzhov Yu.V., Isaev V.I. Geokhimicheskoe i litologicheskoe obosnovanie kontseptsii «glavnogo istochnika» doyruskikh zalezhey nefiti Krasnoleninskogo svoda [Geochemical and lithological substantiation of the concept of «the major source» of pre-Jurassic oil deposits of Krasnoleninsk arch]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 324, no. 1, pp. 32–38.
- Fomin A.N. *Katagenez organicheskogo veshchestva i neftegazonosnost mezozoysskikh i paleozoysskikh otlozheniy Zapadno-Sibirskogo megabasseyna* [Catagenesis of organic matter and oil-and-gas of Mesozoic and Paleozoic deposits of the West Siberian megabasin]. Novosibirsk, INGG SO RAN Publ., 2011. 331 p.
- Brekhtunsov A.V., Monastyrev B.V., Nesterov I.I. (Jr) Zakonomernosti razmeshcheniya zalezhey nefiti i gaza Zapadnoy Sibiri [Patterns of distribution of oil and gas deposits in Western Siberia]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 2011, vol. 52, no. 8, pp. 1001–1012.
- Koveshnikov A.E. Istochnik postupleniya nefiti i gaza v paleozoysskie otlozheniya Zapadno-Sibirskoy geosineklizy [The source of inflow of oil and gas in Paleozoic deposits of the West Siberian geosyncline]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 322, no. 1, pp. 111–116.
- Shuster V.L., Punanova S.A., Samoylova A.V. Problemy poiska i razvedki promyshlennykh skopleniy nefiti i gaza v treshchinnokavernoznykh massivnykh porodakh doyruskogo kompleksa Zapadnoy Sibiri [Problems of search and exploration of industrial oil and gas accumulations in the fracture-cavernous massive rocks of pre-Jurassic complex of Western Siberia]. *Geologiya nefiti i gaza – Geology of oil and gas*, 2011, no. 2, pp. 26–33.
- Isaev V.I. O genezise zalezhey nefiti i strategii ikh poiskov v doyruskom osnovanii (Krasnoleninskiy svod) [About the genesis of oil deposits and strategies for finding them in pre-Jurassic base (Krasnoleninsk arch)]. *Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Dinamika nauchnogo issledovaniya 2012», Geografiya i geologia* [Proc. VIII Intern. Scientific conference. Dynamics of scientific research-2012]. Przemysl, Nauka i studia Publ., 2012, vol. 20, pp. 20–23.
- Lobova G.A., Korzhov Yu.V., Kudryashova L.K. Genezis doyruskikh zalezhey nefiti Rogozhnikovskoy gruppy mestorozhdeniy (po dannym gravirazvedki i geokhimii) [Genesis of pre-Jurassic oil deposits of Rogozhnikov group of fields by gravity exploration and geochemistry data (Tyumen region)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 324, no. 1, pp. 65–72.

11. Nobatova M. Salymskiy proekt: poligon dlya novykh tekhnologiy [The Salym Project is polygon for new technologies]. *Neftegazovaya Vertikal – Oil and Gas Vertical*, 2013, no. 17, pp. 40–52.
12. Atlas «Geologiya i neftegazonosnost Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga» [Atlas «Geology and oil-and-gas bearing of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug»]. Eds. E.A. Akhpatelov, V.A. Volkov, V.N. Goncharova, V.G. Eliseev, V.I. Karasev, A.G. Mukher, G.P. Myasnikova, E.A. Teplyakov, F.Z. Khafizov, A.V. Shpilman, V.M. Yuzhakov. Ekaterinburg, IzdatNaukaServis Publ., 2004. 148 p.
13. Kropotova E.P., Korovina T.A., Gilmanova N.V., Shadrina S.V. Usloviya formirovaniya zalezhey uglevodorodov v doyrusskikh otlozheniyakh na Rogozhnikovskom litsenzionnom uchastke [Conditions of formation of hydrocarbon deposits in pre-Jurassic sediments at Rogozhnikov license area]. *Puti realizatsii neftegazovogo i rudnogo potentsiala Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga – Yugry. Trudy X nauchno-practicheskoy konferentsii* [Proc. X scientific conference. Ways of realization the oil, gas and ore potential of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra]. Khanty-Mansiysk, IzdatNaukaServis Publ., 2007. Vol. 1, pp. 372–383.
14. Arkhipov S.V., Zamaraev E.I., Khabarova T.S. Kharakternye cherty geologicheskogo stroeniya i neftenasyshchennosti Rogozhnikovskogo mestorozhdeniya [Typical features of the geological structure and oil saturation of Rogozhnikov field]. *Puti realizatsii neftegazovogo i rudnogo potentsiala Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga – Yugry. Trudy XII nauchno-practicheskoy konferentsii* [Proc. XII scientific conference. Ways of realization the oil, gas and ore potential of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra]. Khanty-Mansiysk, IzdatNaukaServis Publ., 2009. Vol. 1, pp. 202–213.
15. Gilyazova S.M., Sidnev A.V. Litologiya i veshchestvenny sostav paleozoysko-triasovykh obrazovaniy Yuzhno-Galyanovskogo i Mytoyakhinskogo uchastkov Frolovskogo megaprogiba Srednego Priobya v svete problem neftegazonosnoti basseyna [Lithology and composition of the Paleozoic-Triassic formations of South Galyanov and Mytoyahin areas of Frolovsky megasag of Middle Ob in the light of the basin oil-and-gas bearing problems]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy – International journal of applied and fundamental research*, 2009, no. 6, pp. 55–58.
16. Eder L.V. Neftegazovy kompleks v ekonomike Rossii [Oil and gas complex in the Russian economy]. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie – Mineral Recourses of Russia. Economics and Management*, 2013, no. 4, pp. 48–56.
17. Zinovev A.A., Melekhin A.E. Problemy osvoeniya melkikh i srednikh mestorozhdeniy uglevodorodov [Problems of development of small and medium-sized hydrocarbon fields]. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie – Mineral Recourses of Russia. Economics and Management*, 2008, no. 2, pp. 22–26.
18. Parovinchak K.M., Parovinchak M.S., Afanasev I.I., Latkin K.E., Fomin A.I. Ekonomicheskoe obosnovanie strategii kompleksnogo osvoeniya neftegazokondensatnykh mestorozhdeniy Tomskoy oblasti [Economic justification of strategy of integrated development oil and gas and condensate fields in the Tomsk region]. *Neftyanoe khozyaystvo – Oil Industry*, 2011, no. 2, pp. 24–27.
19. Khakimov B.V. Tsenoobrazovanie na produktsiyu geologicheskogo izucheniya neдр v rynochnykh usloviyakh [Pricing for products of geological studies of subsoil in market conditions]. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie – Mineral Recourses of Russia. Economics and Management*, 2008, no. 3, pp. 25–31.
20. Korzhubaev A.G., Martynov I.V. Nalog na dobychu i effektivnost razrabotki melkikh i srednikh neftyanykh mestorozhdeniy v Yamalo-Nenetskom AO [Taxes on production and efficiency of the development of small and medium-sized oil fields in the Yamalo-Nenets Autonomous District]. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie – Mineral Recourses of Russia. Economics and Management*, 2008, no. 5, pp. 33–36.
21. Ampilov Yu.P., Lapo A.V. Analiz geologo-ekonomicheskikh pokazateley, primenyaemykh pri otsenke effektivnosti razvedki i osvoeniya uchastkov neдр [Analysis of geological and economic indicators used in estimate of efficiency of exploration and development of subsoil]. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie – Mineral Recourses of Russia. Economics and Management*, 2010, no. 5, pp. 29–34.

УДК 553.411.071:553.241.1:[552.313+552.333.4]

ПЕТРОЛОГИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО МЕТАСОМАТИЗМА ДОЛЕРИТОВ ВНУТРИРУДНЫХ ДАЕК МЕЗОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА. Ч. 1. КЕДРОВСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ (СЕВЕРНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Кучеренко Игорь Васильевич,

д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры геологии и разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: Kucherenko.o@sibmail.com

Актуальность исследования определяется необходимостью разработки геолого-генетической концепции (теории) образования гидротермальных месторождений золота взамен четырех исключаящих одна другую гранитогенной, базальтогенной, метаморфогенной, полигенной гипотез.

Цель работы: обоснование золотопродуцирующей способности базальтового магматизма – геологического процесса, инициирующего и обеспечивающего рудообразование.

Методы исследования: петрологическое изучение производных магматизма и сопровождающего метасоматизма посредством эмпирических наблюдений в золоторудных месторождениях пространственно-временных соотношений магматических, метасоматических пород и рудно-минеральных комплексов, диагностики минералов с использованием электронного микроскопа с рентгеноспектральным сопровождением, балансовых петрохимических расчетов полных химических силикатных анализов горных пород и для оценки миграции петрогенных элементов и металлов в метасоматических процессах этапов рудообразования.

Результаты: доказываемся образование золотого оруденения в кристаллическом субстрате и толщах черных сланцев на завершающем базальтоидном этапе становления антидромных гранит-диорит-долеритовых магматических комплексов, приобретающих в силу этого статус золотопродуцирующих флюидно-рудно-магматических.

В первой части статьи приведены оригинальные аналитические материалы по Кедровскому месторождению (Северное Забайкалье), во второй – по месторождению Зун-Холба (Восточный Саян). Вторая часть завершается обсуждением результатов и формулировкой выводов.

Ключевые слова:

Мезотермальные месторождения золота, петрология, гидротермальный метасоматизм, внутрирудные долеритовые дайки, тепловые флюидопроводники, флюидно-рудно-магматические комплексы.

Постановка задачи

Повторяющиеся в регионах разновозрастные рудно-магматические комплексы, составляющие основу региональных магматических формаций с ассоциированными мезотермальными месторождениями цветных металлов, урана, золота, включают, как правило, плутоны, массивы, «ядра» очагово-купольных ультраметаморфических сооружений, сложенные гранитоидами, диоритоидами в сопровождении сменяющих их во времени магматических пород малых форм – штоков, даек и гидротермальных месторождений полезных ископаемых.

Одна из нерешенных, но важнейших в теоретическом и прикладном аспектах геолого-генетических проблем магматогенного гидротермального рудообразования заключается в определении его места в последовательности формирования всех производных магматизма в рамках каждого создающего рудно-магматический комплекс петро-рудно-генетического процесса. Решение проблемы в приложении к конкретному виду полезных ископаемых сводится к доказательству реализации рудно-магматической способности силикатных расплавов конкретного состава на конкретном этапе становления рудно-магматических комплексов, как следствие, – к диагностике источников энергии, растворов, рудного вещества (профильных металлов), на этой основе, в свою очередь, – к

разработке прогнозно-поисковых критериев оруденения.

Представляется очевидным, что в исследовании связей гидротермального рудообразования с магматизмом важно сочетание индуктивного и дедуктивного подходов. Приоритетными источниками информации должны служить месторождения полезных ископаемых, а ведущим средством ее извлечения – эмпирические наблюдения, призванные обеспечить реконструкцию последовательности образования, оценку причинно-следственных соотношений магматических пород и руд во всем их многообразии, в итоге – получить ответ на ключевой вопрос: а как это происходит в природе? Вместе с тем материалы такого рода служат питательной средой для разработки рабочих гипотез, подлежащих дальнейшей проверке в теории и эксперименте. Теоретические построения, результаты экспериментов в обязательном согласии с эмпирическими данными могут способствовать углублению и расширению понимания сущности рудообразования.

Казалось бы, выполнение исследований в течение длительного времени – большей части двадцатого столетия – в гидротермальных месторождениях с использованием тонких усложняющихся со временем методических приемов оценки рудогенерирующей способности магматических расплавов должно было обеспечить получение статистически

значимых повторяющихся, то есть отражающих закономерности, результатов. Этого не произошло. До сих пор конкурируют в разных вариантах магматогенные гипотезы гидротермального рудообразования в приложении к одним и тем же месторождениям, что исключает привлечение для объяснения этого явления конвергенции. Например, сосуществуют гранитогенная и базальтогенная гипотезы образования мезотермальных месторождений золота, олова, вольфрама, предполагающие генерацию металлоносных растворов в очагах гранитных или базальтовых расплавов.

Одна из вероятных причин сохраняющегося неудовлетворительного состояния обсуждаемой проблемы заключается в отсутствии в системе доказательств связей гидротермального рудообразования с магматизмом полноценного эмпирического звена. В столетней практике исследований сложилось сохраняющееся до сих пор популярное представление, если не убеждение, в том, что источниками крупных масс, необходимых для образования промышленных месторождений металлоносных растворов, могут быть только крупнообъемные коровые магматические очаги, заполненные сравнительно обводненными силикатными расплавами кислого – среднего состава. На поисках и апробации критериев и признаков генетической связи оруденения с унаследовавшими магматические очаги плутонами, массивами средне-кислых пород акцентируется внимание во множестве публикаций [1–10 и др.]. Напротив, информация о сопровождающих плутоны, массивы гранитоидов дайках магматических пород, за редкими исключениями, отрывочна или приводится в сокращенном виде без необходимых данных, раскрывающих последовательность их образования, пространственно-временные соотношения с рудно-минеральными комплексами, изменение (эволюцию) минерало-химических составов магматитов во времени, возможные эпигенетические преобразования пород в дайках, связь с ними рудообразующих процессов и другие особенности. Однако расчет на результаты теоретических изысканий и экспериментов, выполняемых с неизбежными допускками, но без соотнесения с отсутствующими эмпирическими данными, способными подтвердить или опровергнуть означенные результаты, не оправдался.

В противоположность этому подтвердилась справедливость утверждений и рекомендаций, озвученных еще в середине прошлого столетия известными учеными Ф.И. Вольфсоном и В.Н. Котляром [11, 12]. В частности, Ф.И. Вольфсон обращал внимание коллег на то, что «Без детального изучения в каждом отдельном случае геологического положения даек интрузивных пород и их взаимоотношений с оруденением мы не можем решить вопрос о генетической связи оруденения с определенными массивами гранитоидов» [11. С. 68]. Согласно В.Н. Котляру, «... при изучении связи оруденения с магматическими породами необходимо установить связь оруденения не только с интрузивными

массивами и магматическими комплексами в целом, но также с отдельными последовательными магматическими проявлениями» и «... отдельные фазы интрузий и особенно фазы, растянутые во времени, имеют свои жильные отщепления. При таком положении очень важно бывает установить отношение между оруденением и жильными отщеплениями, поймать, как говорят, оруденение или отдельные его этапы в «вилку» жильных пород» [12. С. 68, 69].

В ответ на эти высказывания один из петрологов того времени Х.М. Абдуллаев выразил распространенное в среде специалистов мнение, согласно которому связывать гидротермальное рудообразование с гипербазитовым и базитовым магматизмом, создавшим дайки, нет оснований, «так как трещинные излияния базальтов и их субэффузивные дайки не образуют таких месторождений, которые можно было бы связать с деятельностью очага основных и ультраосновных магм» [13. С. 207].

Судя по содержанию приведенных высказываний, невнимание к поздним дайковым составляющим магматических процессов в системе доказательств связей гидротермального рудообразования с магматизмом, очевидно, по причине отсутствия интереса к поздним расплавам как к потенциальным инициаторам и участникам рудообразования, уже к тому времени, то есть полвека назад, приобрело массовый характер. Нетрудно объяснить сохранение этого представления до сего времени с перспективой продолжения дискуссии бесконечно долго.

Авторский опыт исследования проблемы в мезотермальных месторождениях золота южного горно-складчатого обрамления Сибирского кратона показал очевидную целесообразность, более того – потребность учета, включения в научный оборот всего многообразия магматических пород в объеме доказанных радиологическими определениями возраста ранних и поздних составляющих рудно-магматических комплексов, а также привлечения других данных, подтверждающих автономизацию и повторяемость последних во времени и пространстве. В итоге при близком по меркам геологического времени, в диапазоне до десятков млн л, возрасте магматические породы и руды объединяются в золотопродуцирующие антидромные гранит-диорит-долеритовые флюидно-рудно-магматические комплексы, описанные в [14–17 и др.].

В составе комплексов на раннем этапе образования крупные тела гранитоидов, зрелые очагово-купольные постройки и/или дайки кислых пород, более поздние дайки диоритов и завершающих становление комплексов дорудных, внутрирудных и послерудных умеренно щелочных долеритов не менее пяти генераций в сопровождении золотоносных кварцевых жил и минерализованных зон.

В упомянутых и ряде других работ показано географическое положение магматических комплексов и ассоциированных с ними месторождений, приведены доказательства близкого геологи-

ческого возраста, последовательности образования пород и рудно-минеральных комплексов, обоснование объема рудно-магматических комплексов, петрология и геодинамические режимы генерации изверженных пород.

В статье описаны результаты минералого-петрохимического исследования в мезотермальных месторождениях золота внутрирудных даек-флюидопроводников умеренно щелочных долеритов, как выяснилось, наиболее информативных в реконструкции причинно-следственных связей рудообразования с магматизмом, – условий генерации и диагностики источников создающих месторождения металлоносных флюидов.

Приведены новые аналитические данные, обеспечивающие точную диагностику химических составов большинства минералов аподолеритовых метасоматитов внутрирудных даек Кедровского (Северное Забайкалье) и Зун-Холбинского (Восточный Саян) месторождений, результаты петрохимических пересчетов и балансовых расчетов полных химических анализов умеренно щелочных долеритов и аподолеритовых метасоматитов, доказывающие петрохимический калиево-сернисто-углекислотный профиль аподолеритового метасоматизма, образование в аподолеритовых метасоматитах контрастных аномалий ассоциации фемфильных определяющих петрохимическое своеобразие умеренно щелочных базальтовых расплавов элементов P, Ti, Mg, Fe, Ca, Mn, K, Au и наследование профиля и аномалий околорудными метасоматитами.

Обсуждение с привлечением аналогичных данных по ряду других месторождений (Берикульско-

го, Сухоложского, Чертово Корыто) возможностей и способов использования результатов в оценке связей рудообразования с магматизмом во второй части статьи сопровождается выводами.

Перечисленные впервые привлекаемые в научный оборот результаты в сочетании с другими [14–17 и др.] призваны дополнить и усилить доказательств генерации металлоносных флюидов в умеренно щелочных базальтовых расплавах – поздних составляющих золотопродуцирующих антидромных гранит-диорит-долеритовых флюидно-рудно-магматических комплексов, то есть начать создавать, как представляется, фактологическую базу для обоснования теории образования гидротермальных месторождений золота.

Объекты и методика исследования

Золоторудные кварцевые жилы Кедровского месторождения (рис. 1) залегают в обрамляющем на востоке Муйский выступ архейского фундамента Сибирского кратона и Тулдуньскую зону глубинных разломов субмеридиональном поясе базальтовых даек мощностью не менее 4 км среди углеродистых терригенных сланцев позднерифейской кедровской свиты и гранодиоритов, мигматитов, плагиогнейсов образованной в сланцах сравнительно локальной зрелой очагово-купольной постройки позднепалеозойского (335 ± 5 млн л) возраста [15].

Субвертикальные залежи жильно-прожилково-вкрапленных руд Зун-Холбинского месторождения образованы в толще переслаивающихся песчаников, алевролитов, известняков, углеродистых сланцев, покровных вулканитов поздне-

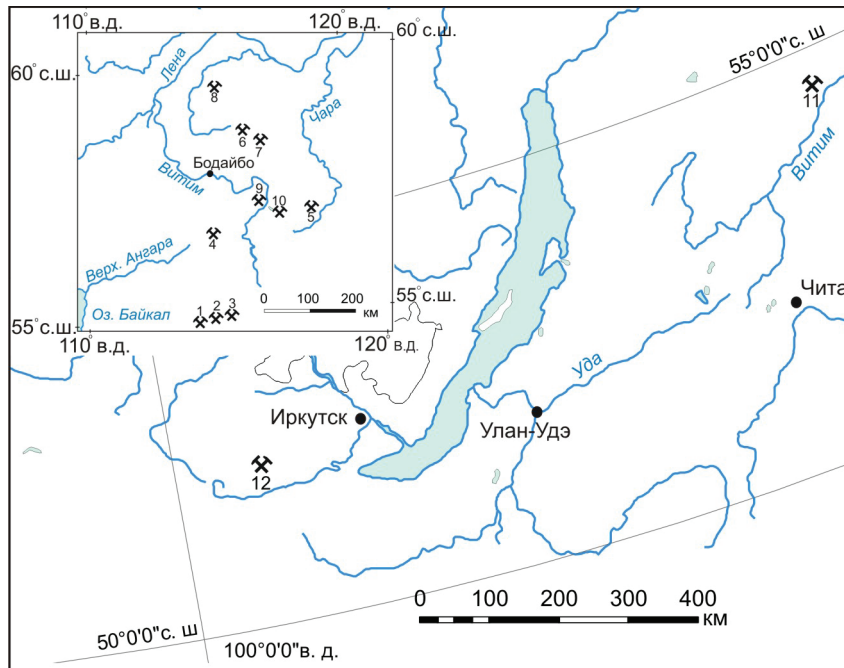


Рис. 1. Географическое положение золоторудных месторождений: 1) Западное; 2) Ирокиндинское; 3) Кедровское; 4) Богоди- канское; 5) Верхне-Сауканское; 6) Сухоложское; 7) Вернинское; 8) Чертово Корыто; 9) Каралонское; 10) Уряхское; 11) Кедровское; 12) Зун-Холбинское

фейской ильчирской свиты, выполняющих глубинный разлом северо-западного простирания, отделяющий на севере Гарганский выступ архейского фундамента от Амбартогольского гранитного массива среднепалеозойского возраста [16].

Рудные тела месторождений сопровождают метасоматические ореолы, сочетающие березиты в тыловой зоне и пропилиты в периферийных.

Относительный возраст (в том числе внутрирудный статус) даек умеренно щелочных долеритов и руд определен по структурным соотношениям и признакам термического воздействия поздних образований на ранние.

Дорудные дайки сопровождаются, пересекаются кварцевыми жилами, сложенными, в частности, ранними рудно-минеральными комплексами, в экзоконтактах жил подверглись березитизации.

Каждая внутрирудная дайка, как правило, пересекает породы разного состава и происхождения, едва затронутые гидротермальными изменениями и интенсивно измененные, включая березиты и сопровождающие их ранние рудно-минеральные комплексы в кварцевых прожилках (рис. 2), с разгерметизацией вакуолей кварца в экзоконтактах даек и с зонами закалки в их эндоконтактах в местах пересечения березитов, кварцевых жил и прожилков. Вместе с тем внутрирудные дайки пересекаются кварцевыми прожилками, содержащими поздние рудно-минеральные комплексы.

Послерудные дайки пересекают поздние рудно-минеральные комплексы с разгерметизацией вакуолей кварца в их экзоконтактах.

Радиологический возраст оруденения, а следовательно, и внутрирудных даек долеритов близок к среднепалеозойскому возрасту гранитоидов Амбартогольского массива в Зун-Холбинском и к позднепалеозойскому возрасту гранодиоритов и ультраметаморфитов зрелой очагово-купольной постройки в Кедровском месторождениях [15].

Значительная часть даек выполняет трещины отрыва, нередко образуя коленообразные изгибы, так, что выступы одного их контакта расположены напротив выемок таких же размеров и форм в противоположном контакте. Последнее подчеркивает отсутствие скольжения вдоль противоположных боков разломов-трещин во время их образования, заполнения расплавом и после его кристаллизации. С вмещающими породами дайки имеют «спаянные» контакты. Все это объясняет массивное сложение даек, отсутствие признаков дробления и увеличения их проницаемости.

Мощность даек редко превышает 1,5 м, чаще составляет десятки см, протяженность достигает десятков, первых сотен метров. Дайки малой мощности (до 10...15 см) сложены породой с афанитовой или скрытокристаллической структурой, большей мощности – кристаллической массивной породой черного цвета с афанитовыми зонами закалки.

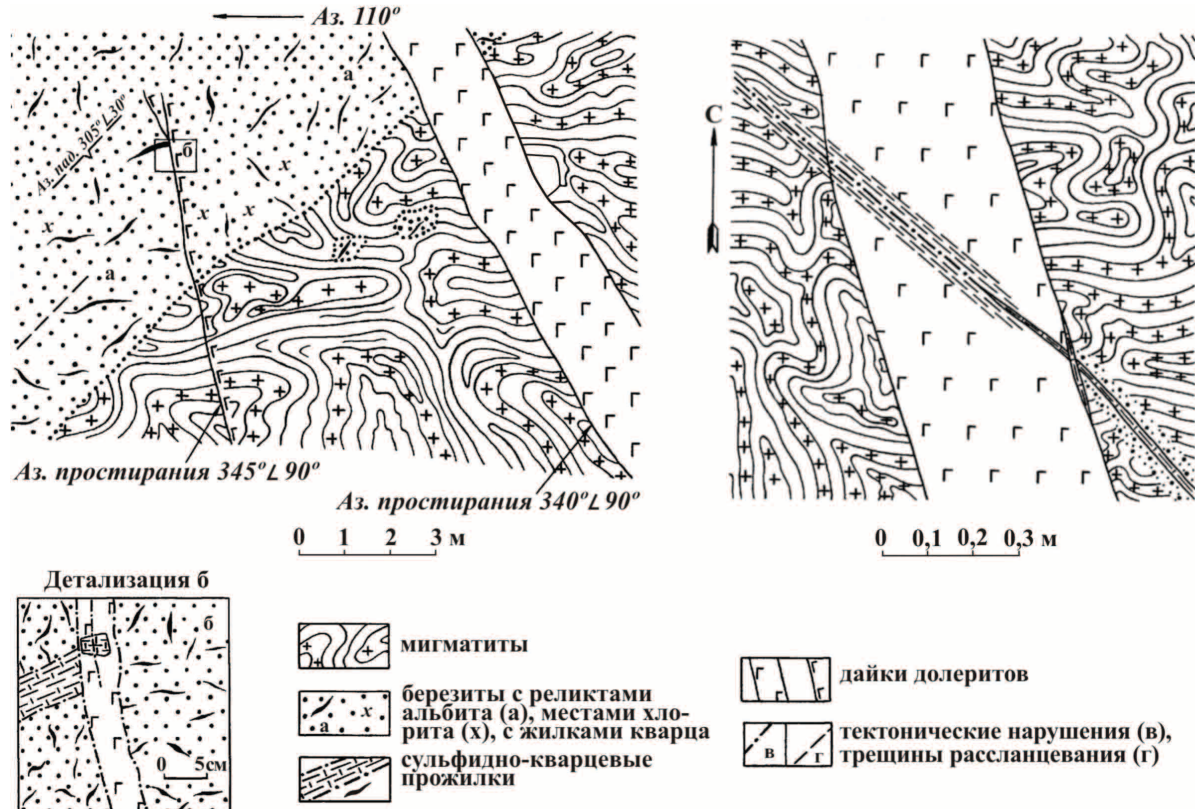


Рис. 2. Кедровское месторождение. Пересечения мигматитов апочерносланцевой зрелой очагово-купольной постройки и залежи апомигматитовых березитов внутрирудными дайками умеренно щелочных долеритов и внутрирудной дайки долерита слабо золотоносными пирит-кварцевыми прожилками

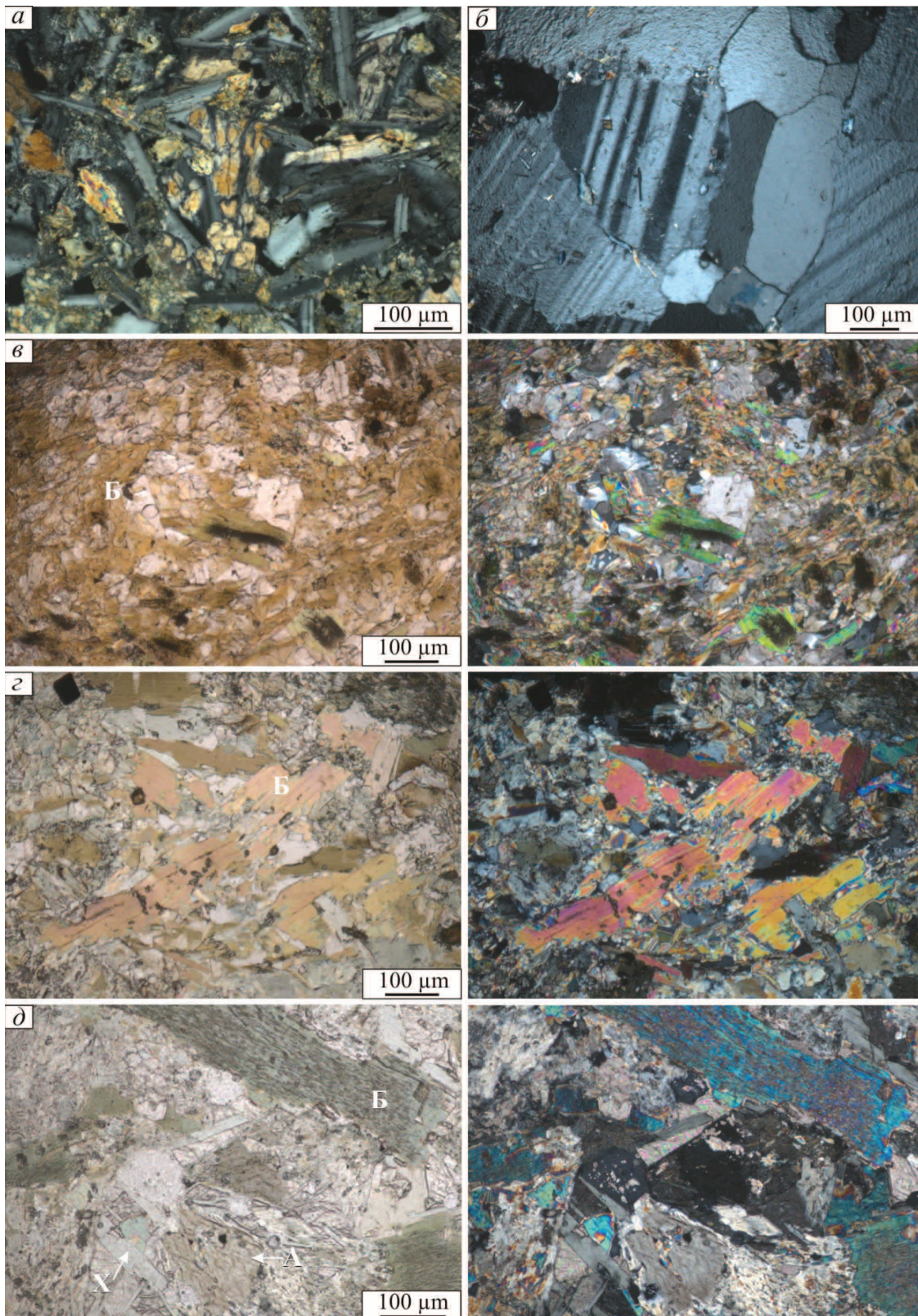


Рис. 3. Кедровское месторождение. Микрофотографии шлифов слабо гидротермально измененного умеренно щелочного долерита (а, зона 0, с анализатором), лейкосомы плагииомгматита позднепалеозойской (335 ± 5 млн л [15]) очагово-купольной постройки в экзоконтакте внутрирудной дайки долерита (б), аподолеритовых метасоматитов с преобладанием мелкочешуйчатого агрегата бурого с примесью грязно-зеленого биотита (в, зона V), крупных чешуек плеохроирующего от розового до грязно-зеленого биотита (г, зона VIII), крупных чешуек грязно-зеленого биотита (Б), чешуек бледно-зеленого хлорита (X), кристаллов обыкновенной роговой обманки (А) (д, зона I). Слева без анализатора, справа с анализатором

Пробы не затронутых выветриванием долеритов и вмещающих пород массой около 1 кг отображены по простираанию (падению) даек, в их экзоконтактах и на удалении до 10 м от контактов.

Петрографическое описание прозрачных шлифов и диагностика пород выполнены в оптическом диапазоне длин волн на микроскопе ПОЛАМ-Р312. Химические составы и видовая принадлежность минералов определены на микрозонде САМЕВАХ-MICRO – электронном сканирующем микроскопе JSM-6510LV (Jeol Ltd) с энерго-дисперсионным спектрометром INCAEnergy 350+ в лаборатории рентгеноспектральных методов анализа в Аналитическом центре Института геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск) аналитиком М.В. Хлестовым. Полные химические силикатные анализы горных пород выполнены в Центральной лаборатории ПГО «Запсибгеология» под руководством И.А. Дубровской и в Западно-Сибирском испытательном центре под руководством Г.Н. Юминовой (г. Новокузнецк).

Результаты силикатных анализов пересчитаны по объемно-атомному методу. Межзональный баланс петрогенных элементов в аподайковых метасоматических ореолах, выраженный в процентах, рассчитан для каждой пробы посредством соотношения числа атомов химических элементов в стандартном геометрическом объеме 10000 Å метасоматитов и исходных долеритов, едва затронутых гидротермальными изменениями. Для количественной оценки интенсивности метасоматических преобразований долеритов использован предложенный автором ранее аддитивный показатель (Δ) – удельная масса перемещенного (привнесенного и вынесенного) вещества (всех петрогенных элементов) в том же стандартном геометрическом объеме в % к суммарной его массе в стандартном объеме исходного долерита.

Минералого-петрохимическая зональность внутридайковых аподолеритовых метасоматических ореолов Кедровского месторождения

Большинство внутрирудных даек Кедровского месторождения неравномерно, в пределе до 100 % их объема, преобразовано в метасоматиты с изменением долеритовой, офитовой, порфировой

структуры исходной породы в лепидогранобластовую, гранолепидобластовую, порфиробластовую, но с сохранением черного, зеленовато-черного цвета при отсутствии признаков усиления гидротермальных изменений вмещающих пород, которые нередко слабо изменены или сохраняются свежими даже в экзоконтактах даек, как, например, мигматиты, гнейсы Кедровской очагово-купольной постройки (рис. 3, б) или двуслюдяные углеродистые сланцы кедровской свиты.

В дайках умеренно щелочных долеритов месторождения выделено восемь минералого-петрохимических зон внутридайковых метасоматических ореолов, в разных сочетаниях фиксируемых в пределах одной дайки и в разных дайках. Порядок минералого-петрохимической зональности метасоматитов оценивается по минеральным ассоциациям и возрастанию удельной массы перемещенного вещества. Химические составы и диагностика наиболее распространенных метасоматических минералов приведены в табл. 1–6.

Наименее измененный долерит в нулевой зоне, относительно которого выполнены балансовые петрохимические расчеты (рис. 3, а, проба 2, табл. 7), представляет полнокристаллическую породу с размером зерен в основной массе до 0,3...0,5 мм. Обычна порфировая структура с офитовой структурой основной массы. В составе порфирированных вкрапленников размером до 1 мм и основной массы участвуют плагиоклазы (№ 40...52), оливин (мало), моноклинный пироксен (авгит) с примесью апатита, титанита, ильменита, магнетита. Цветные минералы эпизодически слегка замещены хлоритом, серпентином, тальком, кальцитом.

В зоне I полнокристаллический долерит сложен первичными андезином ... лабрадором, авгитом с примесью насыщенного густой сыпью магнетита оливина. Структура исходной породы офитовая. Наложенный лепидогранобластовый агрегат новообразованных минералов объемом до 30 % от объема породы включает редкие зерна кварца, альбита, обыкновенную роговую обманку ($2V=+75^\circ$, $N_g=1,658$, $N_p=1,631$, $C: N_g=18^\circ$; $2V=-78^\circ$, $N_g<1,702$, $N_p=1,675$), грязно-зеленый биотит ($N_g=1,617$, $N_p=1,566$), серицит, тальк, серпентин, хлорит, эпидот, кальцит, рутил, апатит, магнетит, пирит

Таблица 1. Химические составы биотита аподолеритовых метасоматитов внутрирудных даек Кедровского месторождения

Номера проб и минеральных зон	Содержание, мас. %													
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	FeO	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	BaO	Cr ₂ O ₃	Cl	Σ
К-444, III (1)	38,78	15,01	9,84	–	0,23	16,46	14,01	0,99	0,17	–	–	–	–	95,49
К-501, III (10)	37,68	15,43	9,39	0,24(1)	0,98(3)	14,30	16,64	1,55	0,23(5)	–	–	–	0,16(5)	96,60
	36,11...39,50	14,04...17,46	7,73...9,88		0,20...2,52	13,71...14,68	15,98...17,54	1,26...1,73	0,17...0,34				0,10...0,28	
К-495, IV (23)	38,21	14,33	9,75	0,21(3)	0,44(7)	16,60	14,24	1,91	0,20(2)	0,53(1)	1,32(3)	0,35(2)	0,10(12)	98,19
	35,45...40,31	12,88...16,21	9,03...10,32	0,18...0,22	0,17...1,01	15,32...17,76	12,97...15,60	1,42...4,17	0,18...0,22		0,95...1,57	0,28...0,41	0,08...0,14	
К-468, V (11)	38,03	16,02	9,67	–	0,73(3)	14,84	14,20	2,16	–	–	1,51(2)	–	0,18(6)	97,34
	35,89...39,83	14,57...17,40	9,20...10,02		0,15...1,85	13,69...16,10	13,06...15,16	1,63...2,98	1,38...1,64		0,12...0,25			
К-486, VIII (6)	37,64	15,90	9,43	–	0,56(3)	14,56	14,83	2,21	–	–	0,84(4)	–	0,12(5)	96,09
	35,61...39,97	13,56...17,05	9,04...9,84		0,26...0,87	13,44...15,99	13,47...16,05	1,64...2,51	0,40...1,42		0,09...0,16			

Примечание. Здесь и в табл. 2–6: 1) В FeO дано валовое содержание железа; 2) Над чертой – среднее, под чертой – интервалы содержания; 3) В скобках приведено число рентгеноспектров (замеров).

(рис. 3, д). В отличие от сравнительно чистых с коррозионными очертаниями лишь слегка замещенных альбитом лейст плагиоклаза пироксен и оливин сохранились в виде реликтов среди замещивших их зерен роговой обманки и чешуй биотита, причем биотит корродирует и амфибол, а часто развивается в виде нечетких пятнообразных выделений и агрегатов за счет плагиоклаза и других минералов (рис. 3, в).

Зона II сложена аподолеритовым метасоматитом, в котором в качестве реликтового уверенно диагностируется только плагиоклаз, лейсты которого насыщены серицитом, ксеноморфными зернами кальцита, чешуйками хлорита, иногда с примесью цоизита и эпидота. К продуктам метасоматизма относятся также буровато-зеленый и буро-красный биотит, амфиболы, титанит, баритоцелестин, целестин, кварц, альбит, доломит, доломит-анкерит, апатит, магнетит, пирит, рутил, лейкоксен в разных количественных соотношениях. Хлорит заме-

щает биотит. На фоне мелкозернистой массы породы выделяются ромбоэдры доломита и доломита-анкерита до 1 мм в поперечнике. Самостоятельность зоны определяют биотит, хлорит, карбонаты.

В зоне III метасоматит сложен в основном гранолепидобластовым агрегатом грязно-зеленого и буровато-зеленого биотита, замещающего его бледно-зеленого прохлорита ($N_m=1,617$, удл. +), в разной степени замещенных биотитом и хлоритом бесцветных, бледно-зеленых до синевато-зеленого амфиболов ($N_g=1,652$, $N_p=1,624$), эпидота, кальцита, иногда доломита, серицита с примесью «лапчатых» зерен кварца, альбита, титанита, рутила, сфена, апатита, магнетита, пирита. В породе обычно присутствуют реликты наиболее крупных (до 1 мм) лейст исходного плагиоклаза и в этих случаях обычно заметна реликтовая порфирировая структура породы. Самостоятельность зоны определяет сочетание биотита, в основном, тремолит-актинолита, хлорита, кальцита, эпидота.

Таблица 2. Химические составы амфиболов аподолеритовых метасоматитов внутрирудных даек Кедровского месторождения

Номера проб и минеральных зон	Содержание, мас. %										Минерал
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	Σ	
К-444, III (2)	44,54	10,05	9,18	13,91	13,68	2,49	0,37	1,28	2,92(1)	98,42	Магнезиально-железистая обыкновенная роговая обманка
	44,16...44,92	9,99...10,11	8,50...9,85	13,63...14,18	12,55...14,81	2,06...2,9	0,30...0,44	0,74...1,82			
К-444, III (3)	56,67	1,13	12,87	20,02	6,81	-	0,24	0,15(2)	0,29(2)	98,18	Тремолит
	56,56...56,78	0,78...1,35	12,79...12,91	19,8...20,32	6,54...7,01		0,17...0,32	0,10...0,21	0,27...0,31		
К-501, III (1)	47,74	8,67	11,53	14,83	12,33	0,66	-	0,27	1,96	97,99	Магнезиально-железистая обыкновенная роговая обманка
К-501, III (11)	55,39	1,84	12,08	18,45	9,34	0,66(4)	0,36(6)	0,54(3)	0,43(8)	99,09	Актинолит
	53,38...56,95	0,67...3,72	7,49...13,26	16,81...21,25	5,74...11,44	0,40...1,26	0,22...0,87	0,19...0,93	0,26...1,96		
К-495, IV (9)	49,47	6,66	8,77	15,28	13,03	1,40	0,53	0,33	2,57	98,04	Магнезиально-железистая обыкновенная роговая обманка
	46,76...51,71	5,03...8,59	7,06...11,63	12,90...17,46	9,68...15,31	0,26...2,17	0,21...0,92	0,16...0,50	1,47...3,37		
К-495, IV (9)	57,76	0,40	12,50	20,75	6,17	-	0,25(7)	0,12(2)	0,27(7)	98,22	Тремолит
	57,46...58,08	0,31...0,51	12,16...12,89	20,52...21,51	5,23...6,49		0,20...0,31	0,12...0,12	0,19...0,37		
К-495, IV (9)	56,24	1,74	11,99	19,96	7,03	0,20(4)	0,26(6)	0,15(6)	0,68	98,25	Тремолит, актинолит
	54,96...57,01	0,98...2,77	11,62...12,32	19,13...20,91	6,10...7,95	0,17...0,22	0,19...0,34	0,09...0,32	0,32...1,09		
*	44,00...50,00	4,5...14,5	9,0...12,5	7,0...18,0	6,0...26,0	до 2,0	до 1,3	0,05...2,7	0,5...3,4	-	Магнезиально-железистая обыкновенная роговая обманка
**	53,97...58,94	0,14...2,87	9,01...13,79	19,65...24,86	0,08...7,04	0,0...0,28	0,01...0,6(2,40)	0,02...0,68	0,04...3,14	-	Тремолит
***	49,79...57,98	0,20...4,56	5,97...12,57	9,69...21,49	4,90...18,79	н.о...0,77	0,02...0,60	0,03...0,64	0,10...2,88	-	Актинолит

Примечание. Здесь и в табл. 3: интервалы нормативных содержаний петрогенных компонентов в минералах – * [18. С. 120], ** [18. С. 77], *** [18. С. 89, 90], **** [19. С. 191].

Таблица 3. Химические составы магнезиально-железистых хлоритов аподолеритовых метасоматитов внутрирудных даек Кедровского месторождения

Номера проб и минеральных зон	Содержание, мас. %										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	FeO	TiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃	NiO	Σ
К-444, III (8)	28,89	19,66	0,15(2)	0,26(4)	25,00	13,96	-	0,33(7)	-	0,32(1)	88,57
	28,03...29,69	18,36...20,95	0,11...0,18	0,20...0,35	23,63...26,55	11,86...15,49		0,28...0,48			
К-501, III (15)	28,59	19,00	1,05(1)	0,40(8)	21,33	18,46	0,42(2)	0,31(13)	0,27(1)	-	89,83
	26,08...33,16	16,16...21,61		0,16...0,91	19,22...23,72	17,16...19,82	0,31...0,52	0,17...0,42			
К-495, IV (4)	30,33	17,56	0,50	0,46	24,53	14,26	-	0,27(3)	0,30(2)	-	88,21
	29,79...30,99	17,29...17,79	0,12...0,92	0,11...0,74	23,23...25,39	13,81...14,74		0,20...0,41	0,17...0,43		
К-468, V (2)	28,55	20,34	-	0,32	23,09	15,70	-	-	-	-	88,0
	28,04...29,06	19,75...20,93		0,31...0,33	22,88...23,29	15,58...15,82					
К-486, VIII (10)	27,96	19,78	-	0,19(3)	21,93	18,01	0,26(1)	0,21(4)	0,34(5)	-	88,68
	27,46...28,43	19,31...20,41		0,17...0,21	21,27...22,51	17,13...18,42		0,19...0,25	0,22...0,51		
****	23,0...33,0	16,0...26,0	0,0...0,3	0,0...0,7	7,0...26,0	7,0...35,0	0,0...0,5	0,1...2,0	0,0...0,5	0,0...0,5	-

Таблица 4. Химические составы эпидота аподолеритовых метасоматитов внутрирудных даек Кедровского месторождения

Номера проб и минеральных зон	Содержание, мас. %													
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	SrO	Ce ₂ O	La ₂ O	Pr ₂ O	Nd ₂ O	Σ
К-444, III (2)	35,00	19,74	20,29	12,97	0,43	1,2(1)	-	-	-	5,24	5,11(1)	-	2,59(1)	102,57
	33,94...36,05	18,52...20,96	14,31...26,26	12,39...13,55	0,22...0,63					1,03...9,45				
К-501, III (9)	36,64	21,79	18,33	13,04	1,03(2)	0,27(1)	-	-	6,10(7)	8,31(2)	4,19(2)	1,05(1)	1,76(2)	112,51
	32,91...37,79	17,76...22,82	12,70...20,44	11,86...13,75	0,90...1,16				4,50...7,72	4,94...11,68	3,08...5,29		0,98...2,53	
К-495, IV (3)	32,99	17,56	11,92	12,01	1,48	0,50(1)	0,26(1)	0,15(1)	-	11,94	7,05	0,88(2)	2,26	98,71
	31,88...35,01	16,34...19,59	10,66...14,38	11,38...12,53	0,88...1,86					8,22...13,86	4,46...8,78	0,59...1,17	2,04...2,59	
К-468, V (1)	32,41	14,89	10,10	13,92	1,55	0,67	-	-	-	13,31	7,48	0,87	2,90	98,10
К-486, VIII (2)	32,09	16,96	11,39	12,88	1,60	0,62	-	-	-	12,17	6,71	1,06	2,64	98,12
	31,76...32,42	16,63...17,29	11,08...11,70	12,69...13,06	1,45...1,74	0,48...0,76				11,98...13,31	6,66...7,48	0,87...1,19	2,57...2,90	

Таблица 5. Химические составы альбита аподолеритовых метасоматитов внутрирудных даек Кедровского месторождения

Номера проб и минеральной зоны	Содержание, мас. %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	FeO	Σ
К-501, III (4)	66,97	20,32	11,33	0,89	0,49	100,00
	68,36	19,49	11,68	-	0,48	100,01
	68,02	19,58	11,42	0,54	0,43	99,99
	68,24	19,57	11,70	0,22	0,27	100,00

Для зоны IV характерно резкое преобладание грязно-зеленого биотита (до 60 об. %) в сочетании с амфиболами, образующими зерна и сноповидные агрегаты, и ксеноморфными зернами кальцита, иногда с примесью мелких ромбоэдров доломита. В породе, кроме того, присутствует немного кварца, эпидота, магнетита, пирита, реликтов исходного плагиоклаза, титанита, целестина, баритоцелестина. Многочисленны мелкие зерна и игольчатые кристаллы рутила, призм апатита. Хлорита мало.

В метасоматитах зоны V преобладающие минералы представлены грязно-зеленым, зеленовато-бурым с многочисленными включениями магнетита биотитом, замещающим его бледно-зеленым хлоритом, обильной вкрапленностью зерен кальцита, ромбоэдров доломита и анкерита. Как и в других зонах, биотит образует пятнообразные агрегаты нечетко оформленных «расплывающихся» чешуек. Лейстовидные реликтовые зерна плагиоклаза сохранились эпизодически, большей частью последний замещен агрегатом карбонатов, биотита, хлорита, серицита, эпидота. Мельчайшие (до сотых долей мм) призм апатита, зерна и игольчатые кристаллы рутила равномерно рассеяны во всех минералах, исключая «лапчатые» зерна квар-

ца. В виде примеси присутствуют титанит, альбит, пирит.

Метасоматиты зоны VI содержат бледно-зеленый хлорит в тесном сростании с ксеноморфными зернами кварца, кальцита, ромбоэдрами доломита-анкерита, иногда имеющими «оплавленные» очертания. Отмечается густая вкрапленность мельчайших зерен рутила и призм апатита, пятнообразных выделений лейкоксена. Эпизодически отмечаются альбит, серицит, магнетит, пирит. Зону определяют хлорит, карбонаты.

В зоне VII метасоматиты сложены агрегатом расщепляющихся замещаемых бледно-зеленым хлоритом, эпидотом зерен тремолита, ксеноморфных выделений кальцита при обильной вкрапленности призм апатита и зерен рутила, иногда лейкоксенизированного. Обычна примесь кварца, альбита, магнетита, пирита.

Зона VIII представлена существенно биотит-кальцит-доломитовой породой с примесью кварца, лейкоксенизированного рутила, призм апатита, зерен титанита, магнетита и пирита. В отличие от большинства других зон чешуйки буровато-зеленого или зеленовато-бурого биотита имеют четкие очертания (рис. 3, 2).

Эпигенетическое происхождение большинства перечисленных новообразованных минералов доказывается их составами (видовой принадлежностью), не свойственными магматическим породам, структурными соотношениями между собой и с реликтовыми магматическими минералами долеритов, сменой минеральных зон в пределах (по простиранию) одной дайки. Биотит и обыкновенная роговая обманка могут иметь позднемагматическое происхождение, но содержание биотита в этом слу-

Таблица 6. Химические составы титанита умеренно щелочных долеритов внутрирудных даек Кедровского месторождения

Номера проб и минеральных зон	Содержание, мас. %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	FeO	MgO	K ₂ O	Nb ₂ O ₅	Σ
К-444, III (2)	30,83	0,81	27,58	38,70	1,19	0,17 (1)	0,28 (1)	0,67	100,23
	30,65...31,00	0,69...0,93	27,44...27,72	38,17...39,23	1,06...1,31			0,38...0,95	
К-501, III (4)	30,63	0,79	27,60	40,11	0,89	-	-	-	100,02
	29,99...30,86	0,70...0,94	26,95...28,07	39,32...41,45	0,80...1,03				
К-495, IV (10)	31,09	0,62	27,77	39,47	0,86	0,19	0,24(7)	-	100,24
	30,31...31,95	0,43...0,94	27,01...29,52	38,84...40,21	0,66...1,11		0,12...0,42		
К-468, V (1)	31,32	0,82	27,74	39,60	0,53	-	-	-	100,01
К-486, VIII (1)	31,08	1,00	27,87	39,29	0,77	-	-	-	100,01

Таблица 7. Химические составы умеренно щелочного долерита, аподолеритовых метасоматитов внутрирудных даек и баланс химических элементов в минеральных зонах аподайковых метасоматических ореолов Кедровского месторождения

Номера проб и минеральных зон	Содержание окислов в мас. % (первая строка). Величина привноса, выноса (-) атомов элементов в стандартном геометрическом объеме 10000 Å ³ в % к числу их атомов в стандартном геометрическом объеме исходной породы (вторая строка)																
	SiO ₂ Si	Al ₂ O ₃ Al	K ₂ O K	Na ₂ O Na	CaO Ca	MgO Mg	FeO Fe ²⁺	Fe ₂ O ₃ Fe ³⁺	TiO ₂ Ti	P ₂ O ₅ P	MnO Mn	CO ₂ C	S*	H ₂ O ⁺ H	O	Σ (Δ)	
*	45-50	14-17	1-3	3-4	6-8	6-8	6-8	3-5	2-4	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	-	
2 0	49,72	14,94	0,90	3,05	8,47	7,43	8,03	2,86	1,41	0,35	0,19	0,35	0,13	1,81	-	99,64	
К-297 I	44,09 -6,4	13,99 -1,1	1,00 17	2,28 -21	7,82 -2,3	10,4 48	8,36 10	3,99 47	1,78 33	0,34 2,5	0,21 17	0,51 54	0,13 5,7	3,91 128	5,4	98,81 (9)	
К-9 I	43,91 -8,3	13,81 -4,0	1,38 59	3,30 12	7,74 -5,2	9,61 35	8,18 8,7	4,92 78	2,25 66	0,64 90	0,25 37	0,68 102	0,17 36	2,29 31	1,6	99,13 (8)	
Ш-67 II	44,03 -13	13,95 -8,3	0,90 -1,9	2,72 -12	6,31 -27	6,75 -10	7,78 -4,5	4,46 53	2,22 55	0,50 40	0,18 -6,9	4,60 1192	0,15 13	5,14 178	3,4	99,69 (11)	
Ш-68 II	43,68 -12,4	13,70 -8,6	0,59 -34	3,28 7,2	7,43 -13	5,54 -26	8,43 4,5	3,33 16	2,30 63	0,59 68	0,24 26	7,84 1291	0,11 -16	1,77 161	3,5	98,83 (10)	
Ш-69 II	47,38 -4,7	12,65 -15,3	1,00 11	2,64 -14	7,85 -7,6	4,94 -33	6,19 -23	3,92 37	1,83 30	0,41 17	0,24 26	6,01 1620	0,18 38	4,07 124	5,9	99,31 (12)	
Ш-70 II	43,68 -12,7	13,70 -8,9	0,52 -43	2,72 -12	7,01 -18	6,05 -19	8,24 2,3	3,24 13	2,12 49	0,41 16	0,25 31	5,35 1420	0,18 37	4,90 170	3,6	98,37 (10)	
Ш-78 II	43,38 -13	13,55 -9,6	0,85 -5,7	2,54 -17	7,43 -13	5,54 -26	7,78 -3,4	3,96 38	2,29 62	0,59 68	0,31 62	5,35 1424	0,18 38	5,17 185	4,4	98,92 (12)	
Ш-83 II	44,03 -9,2	14,75 1,1	1,22 39	1,80 -40	9,11 9,9	7,46 3,1	6,47 -18	3,91 40	1,10 -20	0,11 -68	0,14 -25	3,41 900	0,32 152	4,86 175	5,7	98,69 (10)	
К-487 II	41,90 -19	13,99 -10	0,16 -83	3,72 17	8,48 -4,1	7,03 -9	7,05 -16	2,95 -1,2	1,85 26	0,24 -34	0,20 0,7	6,59 1704	0,00 -100	5,68 201	2,5	99,84 (12)	
К-611 II	39,80 -18	14,50 -0,5	1,27 45	2,18 -27	8,41 1,7	8,27 14	7,05 -10	3,67 32	2,00 45	0,26 -24	0,26 40	7,28 2033	0,14 10	3,34 90	5,4	98,43 (12)	
К-423 III	40,35 -16,6	11,83 -18,8	2,76 214	2,08 -30	9,50 15	13,0 80	7,65 -2,3	3,80 36	1,95 42	1,26 269	0,23 25	1,99 483	0,11 -13	4,04 130	3,0	100,55 (16)	
К-429 III	41,00 -13,8	8,79 -38,4	1,70 99	0,22 -92	10,5 30	15,4 117	8,75 14	3,22 18	2,10 55	0,88 163	0,27 49	2,87 760	0,09 -27	4,50 161	6,2	100,29 (22)	
К-444 III	39,21 -17,6	10,40 -27,2	2,70 214	0,49 -83	10,9 34	16,0 126	7,70 0,6	3,42 25	1,80 34	1,44 331	0,37 104	2,19 557	0,08 -36	3,29 90	3,5	99,99 (21)	
К-481 III	40,30 -15,3	11,65 -18,4	3,42 298	1,00 -66	9,92 23	12,6 78	8,10 5,6	3,38 19	1,83 36	1,66 395	0,27 49	2,40 620	0,03 -76	2,81 62	2,9	99,37 (18)	
К-493 III	40,07 -17,3	9,23 -36,6	2,54 191	0,25 -92	11,2 36	16,0 121	8,15 4,5	3,10 11	2,20 60	0,90 165	0,23 24	2,85 734	0,07 -45	3,41 93	2,3	100,20 (21)	
К-497 III	38,76 -16,8	10,75 -23,2	4,26 405	0,34 -88	10,1 27	13,3 91	8,79 17	2,69 0,4	2,75 108	1,36 315	0,21 18	1,83 457	0,16 31	3,40 100	3,3	98,70 (21)	
К-498 III	39,48 -14,7	10,76 -22,6	3,40 306	0,23 -92	10,1 28	14,1 104	9,07 21	2,38 -11	2,48 89	1,29 296	0,23 30	1,60 391	0,22 82	3,80 126	5,2	99,14 (22)	
К-501 III	38,78 -17,9	11,47 -19,2	3,30 286	0,55 -81	10,1 26	12,9 83	9,25 21	2,50 -7,9	2,58 93	1,53 360	0,23 28	2,05 516	0,16 30	3,52 106	2,9	98,92 (20)	
К-588 III	40,40 -14,2	11,50 -18,7	2,90 241	1,09 -62	11,5 44	12,2 74	6,90 -9,0	4,33 60	2,44 83	1,04 213	0,23 28	2,67 708	0,26 111	1,69 -1,4	2,3	99,15 (19)	
К-491 IV	36,44 -24,7	11,12 -23,6	5,18 490	1,09 -63	11,7 42	12,8 77	6,96 -11	3,47 24	2,05 50	1,65 384	0,21 14	6,24 1730	0,18 42	1,07 -39	0,3	100,16 (23)	
К-495 IV	37,83 -22	9,14 -37,2	5,06 475	0,27 -91	11,6 41	14,0 94	7,79 -0,6	3,98 43	2,55 86	1,37 303	0,29 57	4,88 1332	0,14 11	1,30 -26	-0,6	100,20 (24)	
К-496 IV	38,26 -19,8	13,54 -5,5	5,30 513	0,77 -74	9,50 17	12,8 80	7,19 -6,8	3,51 28	2,18 61	1,44 329	0,25 37	3,44 926	0,12 -3,8	1,70 -2,1	1,7	100,00 (19)	
К-363 V	37,25 -23,5	10,44 -28,6	1,27 44,8	1,36 -54	8,83 6,4	8,90 23	12,3 56,4	4,05 44,6	4,65 236	0,60 74,9	0,24 28,9	6,34 1752	0,00 -100	3,56 102	2,6	99,79 (21)	
К-468 V	35,30 -30,6	9,86 -35,5	0,96 4,7	0,03 -99	12,0 38	12,9 70	8,16 -0,6	1,31 -55	1,97 37	1,19 232	0,40 106	11,9 3225	0,16 21	4,00 116	4,2	100,14 (25)	
К-562 V	38,0 -17,1	10,80 -21,6	3,16 281	0,39 -86	11,2 43,6	15,3 123	7,49 1,1	3,88 47,2	2,10 61,7	1,08 234	0,29 65,6	2,89 797	0,27 125	2,54 52	5,5	99,39 (24)	
К-364 VI	35,51 -26,1	10,50 -27,2	0,06 -93	0,75 -75	8,08 -1,2	8,95 25	12,3 58,7	2,27 -18	4,38 322	1,04 306	0,23 25,3	11,0 3158	0,18 43,4	4,44 154	9,3	99,69 (26)	
К-469 VI	36,82 -25,6	10,94 -26,5	0,04 -96	0,30 -90	6,90 -18	9,26 25	17,0 113	0,66 -77	3,62 158	0,55 58	0,26 38	9,32 2579	0,02 -85	4,56 154	4,8	100,25 (28)	
К-489 VI	39,22 -22	12,73 -15,7	0,09 -90	0,64 -79	11,2 31	9,04 20	9,52 18	1,40 -52	3,35 135	1,60 352	0,41 110	6,38 1704	0,05 -62	5,17 182	5,0	100,80 (20)	
К-569 VI	30,48 -36,5	9,86 -31,6	0,06 -93	0,03 -99	10,6 29,7	11,8 64,5	14,1 81,8	0,96 -65,3	1,46 7,1	1,69 400	0,28 52,4	13,0 3738	0,00 -100	3,87 120	6,6	98,19 (33)	
К-7 VII	37,09 -22,6	8,96 -37,7	0,04 -95	0,93 -68	12,2 49	15,7 120	9,93 29	1,53 -44	1,61 19	1,28 280	0,29 59	3,66 989	0,03 -76	5,90 239	5,7	99,15 (26)	
К-486 VIII	33,80 -30,6	8,16 -44	2,72 209	0,02 -99	12,0 45	12,9 78	6,87 -12	2,27 -19	1,95 41	1,17 241	0,33 77	14,4 4107	0,13 2,2	1,98 12	5,9	98,70 (29)	

Примечание. 1) * – нормативный состав трахибазальта (умеренно щелочного долерита) [20]; 2) S* – сера восстановленная; 3) Δ – удельная масса перемещенного (привнесенного и вынесенного) вещества (суммы атомов петрогенных элементов) в процентах к массе вещества исходной породы в стандартном геометрическом объеме 10000 Å³.

чае по причине дефицита калия в базитовых расплавах не превышает 5 об. % [20], при том что в описанных минеральных зонах оно достигает многих десятков об. %, а роговая обманка присутствует только в интенсивно измененных долеритах.

По существу преобразований химического состава пород (табл. 7) сравнительно со слабо измененным долеритом нулевой зоны в зоне I ($\Delta=9:8$) увеличивается содержание калия, окисленного углерода, магния, железа, титана, фосфора и воды. По мере возрастания Δ в минеральных зонах усиливается вынос кремния и алюминия, существенно или почти полностью удаляется натрий, а в лишенных биотита зонах (VI, VII) – и калий. В других зонах содержание калия снижается эпи-

зодически и большей частью незначительно, а привнос его достигает 513 %. Последнее коррелирует с высоким содержанием биотита. Как правило, не отмечается существенного изменения общей массы железа, но в отдельных случаях она увеличивается на 50...100 мас. %. Во всех зонах за редким исключением некоторых проб дифференцированно возрастает до сотен % масса элементов фемофильной ассоциации (Ca, Mg, Ti, P, Mn). Всегда существенно, до тысяч %, увеличивается масса углекислотного углерода при разнонаправленном поведении (привносе–выносе) серы.

Автор выражает благодарность Е.А. Вагиной, выполнившей фотографирование шлифов горных пород, и Т.А. Сыресиной, подготовившей статью к печати.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алабин Л.В., Калинин Ю.А. Металлогения золота Кузнецкого Алатау. – Новосибирск: Изд-во СО РАН НИЦ ОИГГМ, 1999. – 237 с.
2. Условия зарождения и эволюции гранитоидных золоторудно-магматических систем в мезозондах Северо-Востока Азии / Г.Н. Гамянин, Н.А. Горячев, А.Г. Бахарев, П.П. Колесниченко, А.И. Зайцев, Е.Н. Диман, Н.В. Бердников. – Магадан: СВ КНИИ ДВО РАН, 2003. – 196 с.
3. Гусев А.И. Петрология золотогенерирующего магматизма. – М.: Изд-во РАН, 2012. – 160 с.
4. Hart C.J.R. Reduced Intrusion-Related Gold System // *Economic Geology*. – 2006. – V. 101. – № 7. – P. 1415–1427.
5. Plutonic-related Gold Deposit of Alaska / D. McCoy, R.J. Newberry, P.D. Layer, J.J. Marchi, A. Bakke, J.S. Mastermann, D.L. Minehane // *Economic Geology Monograph*. – 1997. – V. 9. – P. 191–241.
6. Mustard R. Granite-hosted gold mineralization at Timbarra, northern New South Wales // *Mineral Deposita*. – 2001. – V. 36. – № 4. – P. 542–562.
7. Gold and metal enrichment in natural granitic melts during fractional crystallization. R. Mustard, Th. Ulrich, V.S. Kamenetsky, T. Mernagh // *Geology*. – 2006. – V. 34. – № 2. – P. 85–88.
8. Thompson J.F.H., Newberry R.J. Gold deposits related to reduced granitic intrusions // *Society of Economic Geologists*. – 2000. – Reviews 13. – P. 377–400.
9. Yang H.M., Lentz D.R. Chemical composition of rock-forming minerals in gold-related granitoid intrusion southwestern New Brunswick, Canada: implications for crystallization conditions, volatile exsolution and fluorine-chlorine activity // *Contribution Mineral Petroleum*. – 2005. – V. 150. – P. 287–305.
10. Рафаилович М.С. Крупные золоторудные штокверки Центральной Азии, ассоциирующие с гранитными плутонами // *Руды и металлы*. – 2009. – № 3. – С. 43–50.
11. Вольфсон Ф.И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – 304 с.
12. Котляр В.Н. О магматических комплексах и оруденении // *Советская геология*. – 1955. – № 43. – С. 61–70.
13. Абдуллаев Х.М. Дайки и оруденение. – М.: Госгеолтехиздат, 1957. – 232 с.
14. Кучеренко И.В. Пространственно-временные и петрохимические критерии связи образования золотого оруденения с глубинным магматизмом // *Известия АН СССР. Серия геологическая*. – 1990. – № 10. – С. 78–91.
15. Кучеренко И.В. Петро-рудногенетическая модель формирования мезотермальных золотых месторождений // *Петрография на рубеже XXI века. Итоги и перспективы: Материалы Второго Всероссийского петрографического совещания*. – Сыктывкар, 27–30 июня 2000. – Т. III. – С. 199–203.
16. Кучеренко И.В. Петрологические и металлогенетические следствия изучения малых интрузий в мезотермальных золоторудных полях // *Известия Томского политехнического университета*. – 2004. – Т. 307. – № 1. – С. 49–57.
17. Кучеренко И.В. Прогнозно-поисковый комплекс для мезотермальных месторождений золота. Ч. 2. Петрологический критерий // *Известия Томского политехнического университета*. – 2013. – Т. 323. – № 1. – С. 114–122.
18. Минералы. Справочник / под ред. Ф.В. Чухрова, Э.М. Бонштедт-Куплетской. Т. III. Вып. 3. – М.: Наука, 1981. – 398 с.
19. Минералы. Справочник / под ред. Ф.В. Чухрова, Н.Н. Смольяниновой. Т. IV. Вып. 2. – М.: Наука, 1992. – 662 с.
20. Петрографический кодекс. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования / под ред. О.А. Богатикова, О.В. Петрова, Л.Н. Шарпенка. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. – 200 с.

Поступила 05.09.2013 г.

UDC 553.411.071:553.241.1:[552.313+552.333.4]

PETROLOGY OF HYDROTHERMAL METASOMATISM OF INTRA-ORE DOLERITE DIKES OF MESOTHERMAL GOLD DEPOSITS. P. 1. KEDROVSKOE DEPOSIT (NORTH TRANS-BAIKAL)

Igor V. Kucherenko,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: Kucherenko.o@sibmail.com

There is a necessity of working up the geology-genetic theory of hydrothermal gold deposit formation instead of the four hypotheses excepting one another: granitogene, basaltogene, metamorphogene, polygene.

The principal aim of the study: substantiation of gold-isolating faculty of basaltic magmatism – causing and ensuring ore-forming geologic processes.

The methods used in the study: petrologic investigation of the magmatism and accompanying metasomatism fractions by means of empiric observations in gold-ore deposits of the spatially-temporary correlations of magmatic, metasomatic rocks and ore-mineral complexes; minerals diagnostics using electronic microscope in accompaniment of roentgen-spectrum analysis; results of total chemical silicate analysis of rocks and balance petro-chemical calculation for estimation of petrogenic elements and metals migration in metasomatic processes of the stages ore-forming.

The results: the paper proves the formation of gold mineralization in crystalline substratum and black-shale series in final basaltic formation stage of antidromic granite-diorite-doleritic magmatic complexes, acquiring on account of that status of gold-isolating fluid-ore-magmatic complexes.

The first part of the paper introduces the original analytic data on Kedrovskoe deposit (North Trans-Baikal), the second part introduces the data on deposit Zun-Kholba (East Sajon). The second part includes the discussion of the results and conclusions.

Key words:

Mesothermal gold deposits, petrology, hydrothermal metasomatism, intraore dolerite dikes, hot fluid-conductors, fluid-ore-magmatic complexes.

REFERENCES

- Alabin L.V., Kalinin Yu.A. *Metallogeniya zolota Kuznetskogo Alatau* [Gold metallogeny of Kuznetsk Alatau]. Novosibirsk, SO RAS NIC UIGGM Publ., 1999. 237 p.
- Gamyranin G.N., Goryachev N.A., Bakharev A.G., Kolesnichenko P.P., Zaytsev A.I., Diman E.N., Berdnikov N.V. *Usloviya zarozhdeniya i evolyutsii granitoidnykh zolotorudno-magmaticeskikh sistem v mezozoidakh Severo-Vostoka Azii* [The conditions of conception and evolution of granitoid gold-ore-magmatic systems in mezozoid of North-East Asia]. Magadan, NE CSII FED RANS, 2003. 196 p.
- Gusev A.I. *Petrologiya zolotogeneriruyushchego magmatizma* [Petrology of gold-generating magmatism]. Moscow, RANS, 2012. 160 p.
- Hart C. J.R. Reduced Intrusion-Related Gold System. *Economic Geology*, 2006, vol. 101, no. 7, pp. 1415–1427.
- McCoy D., Newberry R.J., Layer P.D., Marchi J.J., Bakke A., Mastermann J.S., Minehane D.L. Plutonic-related Gold Deposit of Alaska. *Economic Geology Monograph*, 1997, vol. 9, pp. 191–241.
- Mustard R. Granite-hosted gold mineralization at Timbarra, northern New South Wales. *Mineral Deposita*, 2001, vol. 36, no. 4, pp. 542–562.
- Mustard R., Ulrich Th., Kamenetsky V.S., Mernagh T. Gold and metal enrichment in natural granitic melts during fractional crystallization. *Geology*, 2006, vol. 34, no. 2, pp. 85–88.
- Thompson J.F.H., Newberry R.J. Gold deposits related to reduced granitic intrusions. *Society of Economic Geologists*, 2000, Reviews 13, pp. 377–400.
- Yang H.M., Lentz D.R. Chemical composition of rock-forming minerals in gold-related granitoid intrusion southwestern New Brunswick, Canada: implications for crystallization conditions, volatile exsolution and fluorine-chlorine activity. *Contribution Mineral Petroleum*, 2005, vol. 150, pp. 287–305.
- Rafailovich M.S. Krupnye zolotorudnye shtokverki Tsentralnoy Azii, assotsiruyushchie s granitnymi plutonami [Large gold-ore stockworks of Center Asia, associating with granite plutons]. *Ores and metals*, 2009, no. 3, pp. 43–50.
- Volfson F.I. *Problemy izucheniya gidrotermalnykh mestorozhdeniy* [Problems of hydrothermal deposits study]. Moscow, AS SSSR Publ., 1953. 304 p.
- Kotlyar V.N. O magmaticeskikh kompleksakh i orudnenii [On magmatic complexes and mineralization]. *Sovetskaya geologiya – Soviet Geology*, 1955, no. 43, pp. 61–70.
- Abdullaev H.M. *Dayki i orudnenie* [Dikes and mineralization]. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1957. 232 p.
- Kucherenko I.V. Prostranstvenno-vremennye i petrokhimicheskie kriterii svyazi obrazovaniya zolotogo orudneniya s glubinyim magmatizmom [Spatially-temporal and petrochemical criteria of connection of gold mineralization formation with abyssal magmatism]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geologicheskaya – Bulletin of AS SSSR. Series geological*, 1990, no. 10, pp. 78–91.
- Kucherenko I.V. Petro-rudnogeneticheskaya model formirovaniya mezotermalnykh zolotykh mestorozhdeniy [Petro-oregenetic model of mesothermal gold deposits formation]. *Petrografiya na rubezhe XXI veka. Itogi perspektivy. Materialy II Vserossiyskogo petrograficheskogo soveshchaniya* [Petrography on the boundary of XXI century. Sums and perspectives. Proc. II All-Russian Petrographic Conference]. Syktyvkar, 27–30 June 2000. Vol. III, pp. 199–203.
- Kucherenko I.V. Petrologicheskie i metallogenicheskie sledstviya izucheniya malyykh intruziy v mezotermalnykh zolotorudnykh polyah [Petrologic and metallogenic consequences of minor intrusions investigation in mesothermal deposits]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2004, vol. 307, no. 1, pp. 49–57.
- Kucherenko I.V. Prognozno-poiskovy kompleks dlya mezotermalnykh mestorozhdeniy zolota. Ch. 2. Petrologicheskiy kriteriy [Prognosis-search complex for mesothermal gold deposits. P. 2. Petrologic criterion]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 1, pp. 114–122.
- Mineraly. Spravochnik* [Minerals. Reference book]. Eds. F.V. Chukhrov, E.M. Bonshtedt-Kupletskaya. Moscow, Nauka Publ., 1981. Vol. III, no. 3, 398 p.
- Mineraly. Spravochnik* [Minerals. Reference book]. Eds. F.V. Chuhrov, N.N. Smolyaninova. Moscow, Nauka Publ., 1992. Vol. IV, no. 2, 662 p.
- Petrograficheskii kodeks. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya* [Petrographic code. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations]. Eds. O.A. Bogatkov, O.V. Petrov, L.N. Sharpenok. St.-Petersburg, VGI Publ., 2008. 200 p.

Технология и техника геологоразведочных работ

УДК 622.276:622.233.4

АКТУАЛЬНОСТЬ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ С ПРЯМЫМИ ВРУБАМИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК С ВЛИЯНИЕМ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ МАССИВА

Масловский Алексей Николаевич,

аспирант кафедры транспорта и хранения нефти и газа
Института природных ресурсов ТПУ,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: Maslovsky-AN@mail.ru

Лукьянов Виктор Григорьевич,

д-р техн. наук, профессор кафедры транспорта и хранения нефти и газа
Института природных ресурсов ТПУ,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: lev@tpu.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью экономического и социального развития, обеспечением сырьевой базой действующих предприятий.

Буровзрывной способ является наиболее производительным, основным и по-прежнему самым перспективным способом разрушения крепких, особо крепких горных пород при проведении горно-разведочных и эксплуатационных выработок. На эффективность буровзрывных работ влияют большое количество факторов, основным из которых является геолого-технические условия. Темпы геологоразведочных работ ежегодно возрастают, с этим появляется потребность в увеличении скорости проходки. На данном этапе увеличения скорости проходки добиваются за счет внедрении новой техники и технологии. Горно-разведочные выработки в горной отрасли осуществляются по традиционной циклической технологии с использованием буровзрывного способа отделения горных пород от массива. Эта технология не претерпела существенного изменения в течение длительного периода. Суммарные затраты времени на бурение шпуров находится в пределах 30...40 %, при разведке рудных месторождений – 50...60 % в балансе времени цикла. Таким образом, за последние 10–20 лет существенных изменений в распределении затрат времени не произошло. Однако абсолютные значения продолжительности процесса бурения сократились в 2–3 раза в результате применения более мощных бурильных машин, установочных приспособлений, совершенствования организации работ. Поиск новых направлений повышения эффективности, качества и экономичности буровзрывных работ за счёт оптимизации технологических и технических показателей является важной и актуальной задачей.

Цель исследования: Разработка и выбор технологии буровзрывных работ с прямыми врубами на базе использования геологоструктурных особенностей массива.

Ключевые слова:

Механический способ, буровзрывной способ, горнопроходческие работы, буровзрывные работы, взрывная полость, шпур, прямые врубы.

Введение

Эксплуатация горной выработки [1–14, 15–19] выполняется комплексом работ по отделению породы от массива, ее погрузке и транспортированию, возведению крепежной системы, а также выполнению ряда вспомогательных действий. Этот комплекс обеспечивает периодическое или непрерывное перемещение забоя [11] выработки с определенной скоростью. В зависимости от горно-геологических условий (физико-механических

свойств пород [4], устойчивости массива, величины водопритоков) применяют различные способы проведения выработок.

Способы проведения горных выработок

В процессе проведения горной выработки используются буровзрывные и механические способы, которые зависят от многих геологических условий, одним из важнейших является крепость пород [2, 5, 15–18].

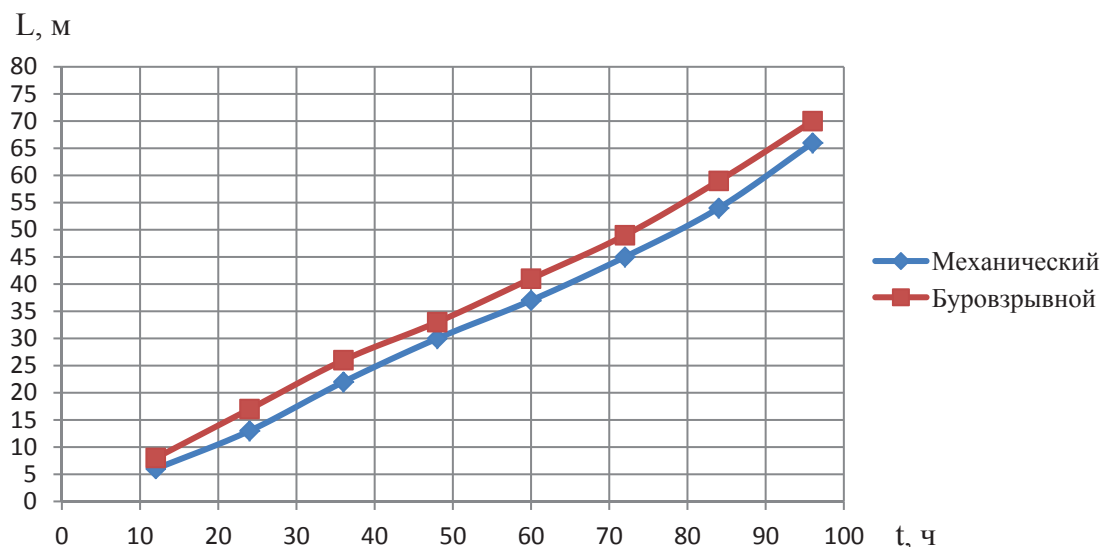


Рис. 1. Графическая зависимость длины проходки от времени процесса механического способа и буровзрывных работ с прямыми врубами при проведении дополнительных выработок угольных месторождений Кузбасса

Для сооружения выработки в слабых и средней крепости породах успешно применяют проходческие комбайны, которые позволяют механизировать процессы разрушения и выдачи породы из забоя ствола с одновременным возведением крепи.

В крепких породах применяют буровзрывной способ [14, 18]. Однако при оптимизации горнопроходческого цикла зарекомендовал себя в средней крепости пород для достижений более высоких показателей скорости проходки.

По журналам проходческих работ был сделан анализ и выведена графическая зависимость двух способов проходки от протяженности выработки и затрата времени (рис. 1). За равное количество времени буровзрывной способ показал лучший результат по сравнению с механическим способом.

Достижение лучших результатов требует выбора рациональных технологий буровзрывных работ (БВР) для всех геологических условий [19] и исключения затрат времени на вспомогательные операции.

Выбором рациональных технологий БВР является:

- подбор конструкций прямых врубов [1, 15] и их группировка;
- рациональный паспорт БВР для геологических условий.

Характеристика способов

Буровзрывной способ был и остается основным способом механизации горнопроходческих работ в породах средней крепости и крепких породах, несмотря на прогрессивное развитие в области механизации способов.

Механизированный способ [7] проявляет себя в мягких и средней крепости горных породах. Но в породах средней крепости взаимодействие элементов с горным массивом способствует быстрому износу [2–6], что ведет к повышению себестоимости горнопроходческих работ.

Из анализа горно-разведочных работ видно (рис. 2), что по итогам работ с применением буровзрывного способа можно сказать, что объемы горнопроходческих работ постепенно увеличиваются.

Резкий спад можно аргументировать тем, что из всего горнопроходческого цикла некоторые вспомогательные процессы почти закончили свой ресурс улучшения, например, такие, как: погрузка и разгрузка разрушенной породы, крепление горных выработок, буровые процессы и т. д.

Буровзрывной способ проходки горно-разведочных выработок

В горнопроходческих работах при буровзрывном способе в крепких или очень крепких породах зарекомендовали себя клиновые и прямые врубы.

Достоинства клиновых врубов:

- возможность использования структуры массива для увеличения объема врубовой полости;
 - простота бурения;
 - эффективная очистка врубовой полости от породы.
- Недостатки клиновых врубов:
- ограниченная глубина шпура в выработках малого сечения;
 - низкое качество использования врубов;
 - большой разброс породы;
 - низкий коэффициент использования шпура (КИШ).

Преимущества прямых врубов по сравнению с клиновыми:

- удобство бурения шпуров;
- возможность механизации процесса бурения;
- увеличенный объем врубовой полости;
- высокая эффективность в породах любой крепости;
- кучность развала породы;
- глубина шпуров.

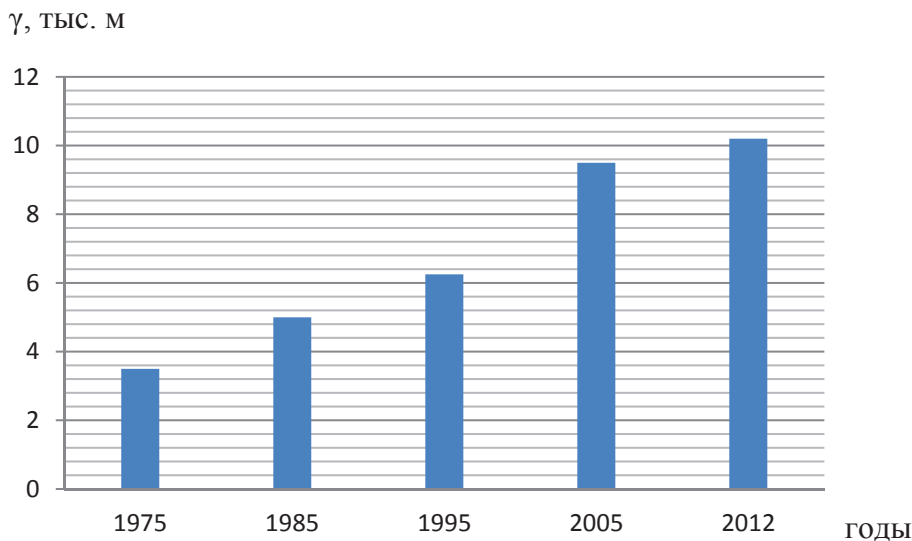


Рис. 2. Диаграмма средних значений годовой проходки при горно-разведочных работах

Недостатки прямых врубов:

- необходимость точности соблюдения расстояний между шпурами и их параллельности относительно друг друга;
- возможность запрессовки врубовой полости, разрушенной породой.

Применения прямых врубов позволяет увеличить проходку за один цикл, за счет увеличения взрывной воронки [1, 9–12], сократить затраты времени на бурения шпуров а также снизить процент выхода негабаритных кусков породы.

Буровые работы являются первым звеном технологической цепи [19] проведения подземных горно-разведочных выработок, и от принятых решений и полученных результатов на данном этапе зависит эффективность всего технологического процесса.

Влияние минерального состава пород и геолого-структурных особенностей массива на показатели буровзрывных работ с прямыми врубами

При проведении буровзрывных работ надо учитывать три группы факторов: горногеологические, технические и технологические [1]. Рассмотрим один фактор, который отвечает за состояние массива, – горно-геологический, включающий: крепость, трещиноватость, абразивность, слоистость, твердость, вязкость, хрупкость. В настоящее время в области механики горных пород достигнуты определенные успехи в оценке влияния состояния массива на характер их разрушения при приложении внешней нагрузки [2]. Однако на горных участках горнодобывающих предприятий практически отсутствуют сведения о состоянии массива, поэтому при проектировании буровзрывных работ используется один интегральный показатель – крепость пород по шкале М.М. Протодяконова, который не учитывает все многообразие физико-механических свойств пород и массива. Это можно

отнести к недостаточной оценке влияния факторов на показатели БВР с прямыми врубами.

В работах [3, 4] указывается на необходимость учета при проектировании буровзрывных работ неоднородности массива, таких как трещиноватость и слоистость пород. При оценке свойств массива, влияющих на показатели их разрушения, на первое место ставится трещиноватость массива [2–8]. Наличие в массиве трещин замедляет процесс разрушения, что необходимо учитывать при определении рационального интервала замедления. Если массив разбит системами трещин на естественные отдельности, не превышающие размер кондиционного куска, то трещиноватость облегчает дробление пород и, наоборот, слабая трещиноватость массива затрудняет дробление по сравнению с монолитным горным массивом.

По итогам работы [5] выявлено, что лучшее дробление пород может быть получено, если при малом расстоянии между трещинами (не более 0,7 м) удлиненные снаряды взрывчатого вещества (ВВ) ориентируются вдоль основной системы трещин, параллельно обнаженной поверхности, а при большем расстоянии между трещинами – перпендикулярно ей.

При направлении отбойки перпендикулярно слоистости наблюдается равномерное дробление породы с уменьшением выхода негабарита в 1,2–1,5 раза. При этом расход ВВ уменьшается более чем в 2 раза.

Есть и другой показатель неоднородности Γ порядка, который влияет на показатель БВР – слоистость массива.

С увеличением угла между направлением отбойки и слоистостью пород происходит увеличение глубины взрывной воронки и объема образованной полости. Худшие результаты наблюдаются при расположении взрывааемых шпуров параллельно слоистости пород (рис. 3, б).

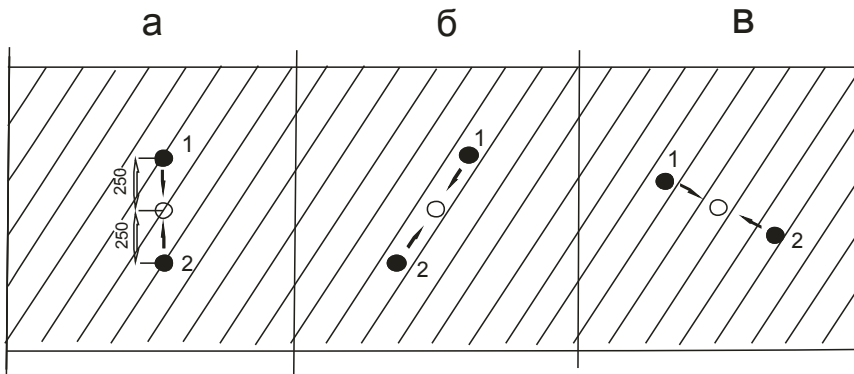


Рис. 3. Схема ориентировки линии шпуров относительно слоистости: а) под углом 45° к слоистости; б) параллельно слоистости; в) перпендикулярно слоистости

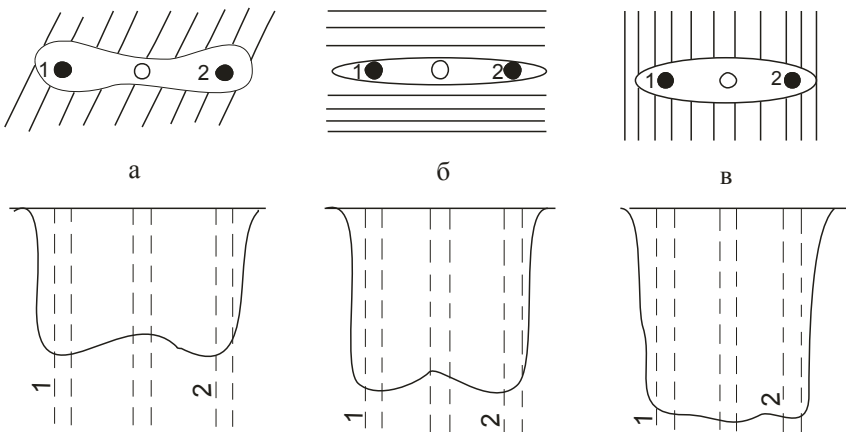


Рис. 4. Формы полостей, образованные при взрыве зарядов, расположенных: а) под углом к слоистости; б) параллельно слоистости; в) перпендикулярно слоистости

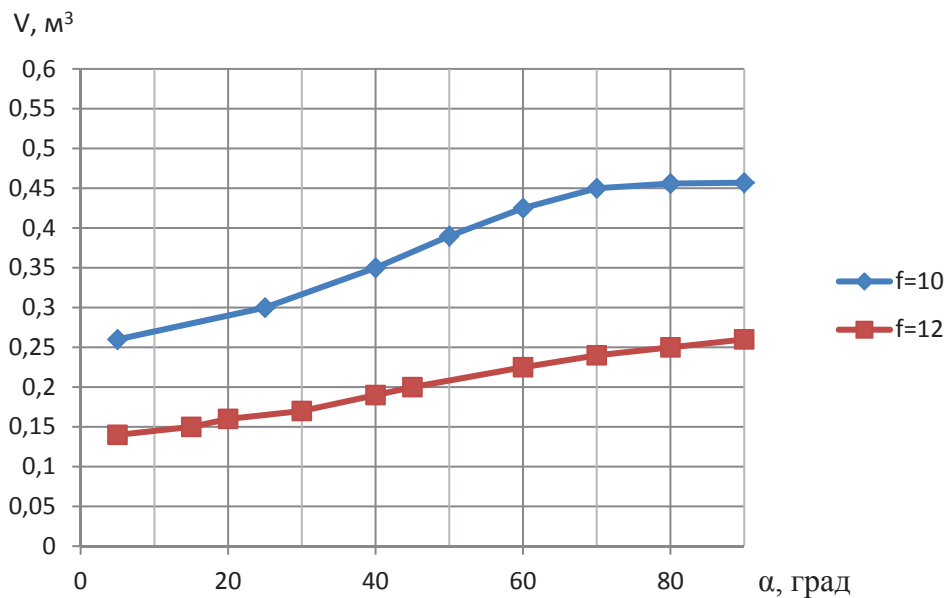


Рис. 5. Зависимость объема врубовой полости от угла направления отбойки относительно слоистости пород

При взрывании по этой схеме происходит срез породной перемычки и частичный выброс породы из образовавшейся полости. Взрывание зарядов перпендикулярно слоистости пород позволяет получить максимальный объем взрывной полости;

объем взрывной полости при взрыве по схеме рис. 3, в, по сравнению со взрывом по схеме на рис. 3, б, увеличивается в 1,7–1,8 раза. На рис. 4 показано образование врубовой полости при взрывании всего комплекса шпуров призматического

вруба: при расположении малой оси вруба под углом 45° к слоистости пород, параллельно слоистости пород и перпендикулярно слоистости пород.

Из рис. 4. видно, что наибольший объем врубовой полости и значение коэффициента использования шпуров достигается при расположении малой оси вруба перпендикулярно слоистости пород.

В результате проведенной работы установлено существенное влияние направления отбойки относительно слоистости пород.

Выводы

Проведенная работа позволяет сделать следующие выводы:

1. Достижения максимальных показателей объема врубовой полости зависит от угла направления отбойки относительно слоистости пород. С

увеличением угла между направлением отбойки и слоистостью пород происходит увеличение глубины взрывной воронки и объема образованной полости. Угол между слоистостью пород и расположением взрывааемых шпуров равный 90° является лучшим результатом глубины и объема образованной полости при взрывании шпуровых зарядов.

2. Отрицательные результаты получены при расположении взрывааемых шпуров параллельно слоистости пород. При взрывании по этой схеме происходит срез породной перемычки и частичный выброс породы из образовавшейся полости.
3. Применение буровзрывного способа в породах средней крепости и крепких породах является более производительным и перспективным направлением развития горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукьянов В.Г., Громов А.Д., Пинчук Н.П. Технология проведения горно-разведочных выработок. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2004. – 468 с.
2. Жингель И.П., Гуляев Ю.В. Зависимость деформационных свойств горных пород от петрографического состава // в кн.: Исследование по вопросам горного дела в Кузбассе. – М.: Недра, 1966. – С. 21–25.
3. Кучерявый Ф.И., Хадоковский Ю.Ф. Влияние естественной нарушенности массива на результаты взрыва // Горный журнал. – 1970. – № 9. – С. 36–37.
4. Морозов В.Т. Влияние физико-механических свойств пород на эффективность взрывной отбойки // в кн.: Физико-технические и технологические проблемы разработки и обогащения полезных ископаемых. – М.: Недра, 1982. – С. 25–28.
5. Каплунов Д.Р., Ионов А.Н. Влияние структурных особенностей массива на результаты дробления пород взрывом // в кн.: Взрывное дело: Новое в дроблении горных пород взрывом. – М.: Госгортехиздат, 1963. – С. 17–20.
6. Аренс В.Ж. Грани горной науки. – М.: Изд-во Московского горного института, 1992. – 250 с.
7. Баронский И.В., Першин В.В., Баранов Л.В. Строительство и углубка вертикальных стволов. – М.: Недра, 1995. – 249 с.
8. Безопасность при взрывных работах: сборник документов. Вып. 1. Серия 13. 2-е изд. – М.: Федеральное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2007. – 228 с.
9. Взрывные работы при разведке полезных ископаемых / С.М. Вайншток, А.Г. Гумеров, В.В. Калинин и др. – М.: Недра, 1985. – 332 с.
10. Методы ведения взрывных работ. Специальные взрывные работы / М.И. Ганопольский, В.Л. Барон, В.А. Белин и др. – М.: Изд-во Московского горного университета, 2007. – 563 с.
11. Проведение горно-разведочных выработок и основы разработки месторождений полезных ископаемых / Л.Г. Грабчак, Ю.Н. Мальшев, В.И. Комащенко, Б.И. Федунец. – М.: Академия горных наук, 1997. – 576 с.
12. Горно-разведочные работы: учебник / Л.Г. Грабчак, Ш.Б. Багдасаров, С.В. Иляхин и др. – М.: Высшая школа, 2003. – 661 с.
13. Комащенко В.И., Носков В.Ф., Исмаилов Т.Т. Взрывные работы. – М.: Высшая школа, 2007. – 439 с.
14. Комащенко В.П., Носков В.Ф., Лебедев А.И. Буровзрывные работы. – М.: Недра, 1995. – 412 с.
15. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ: в 2-ч. Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом. – М.: Изд-во «Горная книга», 2007. – 512 с.
16. Крец В.Г., Семенова Т.А. Оценка надежности технологических схем проведения горных выработок // Проблемы научно-технического прогресса в бурении геологоразведочных скважин: Сб. докладов научно-техн. конф. – Томск: Изд-во Томского политехнического института, 1991. – С. 172–175.
17. Лукьянов В.Г., Комащенко В.Н., Шмурыгин В.А. Взрывные работы. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 404 с.
18. Рудаков В.М., Шендеров В.И. Проходка горизонтальных горно-разведочных выработок буровзрывным способом. – М.: Изд-во МГГА, 2001. – 57 с.
19. Щукин А.А., Шмурыгин В.А. Взрывные и другие работы в скважинах / под ред. В.Г. Лукьянова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2006. – 224 с.

Поступила 27.06.2014 г.

UDC 622.276:622.233.4

RELEVANCE OF DRILLING AND BLASTING OPERATIONS WITH DIRECT CUTS WHEN CARRYING OUT HORIZONTAL ROCK AND EXPLORATION EXCAVATIONS WITH INFLUENCE OF GEOLOGICAL AND STRUCTURAL FEATURES OF THE ROCK MASSIF

Aleksey N. Maslowsky,

Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

E-mail: Maslowsky-AN@mail.ru

Viktor G. Lukyanov,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,

Tomsk, 634050, Russia. E-mail: lev@tpu.ru

Relevance of the work is caused by necessity of economic and social development, providing operating companies with a source of raw materials.

The drilling-and-blasting method is the most productive. This method is the basic and still the most perspective mode of collapse of strong, especially strong rocks, when carrying out mountain and prospecting and operational developments. There are many factors which influence the efficiency of drilling-and-blasting operations, the geological specification is the main one.

Annually the rates of prospecting surveys increase. Therefore there is a requirement of increasing penetration speed. At this stage the increase of penetration speed is achieved by introduction of new equipment and technology. Mining exploration production in mining industry is carried out by the traditional cyclical technology using drilling and blasting method for separating rocks from the array. This technology has not undergone significant change over a long period. The total time required for hole drilling is in the range of 30...40 % and 50...60 % at ore deposit exploration within cycle time balance. Thus, for the last 10–20 years, no significant changes occurred in the time distribution. However, the absolute values of drilling duration decreased in 2–3 times because of application of more powerful drilling machines, mounting devices, improving work organization.

The important and actual task is searching for new directions in increasing the efficiency, quality and profitability of drilling-and-blasting operations due to optimization of technological and technical indicators.

The aim of the work is to develop and to select the technology of drilling-and-blasting operations with direct burn cuts applying geological structural features of the massif.

Key words:

Mechanical method, drilling and blasting method, tunnelling operations, drilling-and-blasting operations, durability, explosive cavity, blast-hole, burned cuts.

REFERENCES

- Lukyanov V.G., Gromov A.D., Pinchuk N.P. *Tekhnologiya provedeniya gorno-razvedochnykh vyrabotok* [Technology of carrying out mountain and prospecting developments. Tomsk, Publishing house Tom. Un-ta, 2004. 468 p.
- Zhingel I.P., Gulyaev Yu.V., Zavisimost deformatsionnykh svoystv gornykh porod ot petrograficheskogo sostava [Dependence of deformation properties of rocks on petrographic structure]. *Issledovanie po voprosam gornogo dela v Kuzbasse* [Researches on mining in the Kuzbass]. Moscow, Nedra Publ., 1966. pp. 21–25.
- Kucheryavy F.I., Khadokovsky Yu.F. Vliyanie estestvennoy narushennosti massiva na rezultaty vzryva [Influence of a massif native saturation on explosion results]. *Gorny zhurnal – Mining journal*, 1970, no. 9, pp. 36–37.
- Morozov V.T. Vliyanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv porod na effektivnost vzryvnoy otboyki [Influence of rock physicomechanical properties on breakage efficiency]. *Fiziko-tekhnicheskie i tekhnologicheskie problem razrabotki i obogashcheniya poleznykh iskopaemykh* [Physico-technological problems of development and mineral processing]. Moscow, Nedra Publ., 1982. pp. 25–28.
- Kaplunov D.R., Ionov A.N. Vliyanie strukturnykh osobennostey massiva na rezultaty drobleniya porod vzryvom [Influence of massif structural features on rock blasting fragmentation results]. *Vzryvnoe delo: Novoe v droblenii gornykh porod vzryvom* [Explosive business: New in crushing of rocks by explosion]. Moscow, Gosgortekhzdat Publ., 1963. pp. 17–20.
- Arens V.Zh. *Grani gornoj nauki* [Mining science facets]. Moscow, Publishing House of Moscow Mining Institute, 1992. 250 p.
- Baronskiy I.V., Pershin V.V., Baranov L.V. *Stroitelstvo i uglubka vertikalnykh stvolov* [Construction and deepening of vertical shafts]. Moscow, Nedra Publ., 1995. 249 p.
- Bezopasnost pri vzryvnykh rabotakh. Sbornik dokumentov* [Safety at blasting operations. Collection of documents]. Moscow: Federal State Unitary Enterprise «Scientific and Technical Center for of industrial safety Gosgortekhnadzor Russia», 2007. Iss. 1, Series 13, 2nd ed., 228 p.
- Vaynshtok S.M., Gumerov A.G., Kalinin V.V. *Vzryvnye raboty pri razvedke poleznykh iskopaemykh* [Blasting operations in mineral exploration]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 332 p.
- Ganopolsky M.I., Baron V.L., Belin V.A. *Metody vedeniya vzryvnykh rabot. Spetsialnye vzryvnye raboty* [Methods of blasting. Special blasting operations]. Moscow, Publishing House of Moscow Mining University, 2007. 563 p.
- Grabchak L.G., Malyshev Y.N., Komashchenko V.I., Fedunets B.I. *Provedenie gorno-razvedochnykh vyrabotok i osnovy razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* [Mining exploration works and bases for developing mineral deposits]. Moscow, Academy of Mining Sciences, 1997. 576 p.
- Grabchak L.G., Bagdasarov S.B., Ilyakhin S.V. *Gorno-razvedochnye raboty* [Mining and exploration work]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2003. 661 p.
- Komashchenko V.I., Noskov V.F., Ismailov T.T. *Vzryvnye raboty* [Blasting operations]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2007. 439 p.
- Komaschenko V.P., Noskov V.F., Lebedev A.I., *Burovzryvnye raboty* [Drilling and blasting operations]. Moscow, Nedra Publ., 1995. 412 p.

15. Kutuzov B.N. *Metody vedeniya vzryvnykh работ: v 2-ch. Ch/ 1/ Razrushenie gornykh porod vzryvom* [Methods of blasting operations. In two parts. P. 1. Destruction of blasting operations]. – M.: Publishing house «Mountain Book». 2007. 512 p.
16. Krets V.G., Semenova T.A. Otsenka nadezhnosti tekhnologicheskikh skhem provedeniya gornykh vyrabotok [Evaluation of mining technological schemes reliability]. *Problemy nauchno-tekhnicheskogo progressa v burenii geologorazvedochnykh skvazhin. Sbornik dokladov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Proc. scientific and technical conference. Problems of scientific and technological progress in drilling geological earth bores]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ. House, 1991. pp. 172–175.
17. Lukyanov V.G., Komashenko V.N., Shmurygin V.A. *Vzryvnye raboty* [Blasting operations]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ. House, 2008. 404 p.
18. Rudakov V.M., Shenderov V.I. *Prokhodka gorizontalnykh gorno-razvedochnykh vyrabotok burovzryvnym sposobom* [Horizontal exploration boreholes drilling by drilling-and-blasting method]. Moscow, MGGA Publ., 2001. 57 p.
19. Shchukin A.A., Shmurygin V.A. *Vzryvnye i drugie raboty v skvazhinakh* [Blasting and other operations in wells]. Ed. V.G. Lukyanov. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ. house, 2006. 224 p.

УДК 622.243.2

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ПРОЧНОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ ПРИ РЕЗАНИИ-СКАЛЫВАНИИ РЕЗЦАМИ PDC

Борисов Константин Иванович,

д-р техн. наук, доцент кафедры бурения скважин Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30.
E-mail: kibor@tpu.ru

Рубцов Виталий Леонидович,

ассистент кафедры бурения скважин Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: proektant.burenie@gmail.com

Актуальность работы обусловлена отсутствием научно обоснованного физического механизма динамического внедрения в процессе резания-скалывания горных пород резцами при работе породоразрушающего инструмента режуще-скалывающего действия.

Цель работы: Разработка нового научно обоснованного способа комплексной оценки эффективности динамических процессов разрушения при работе современных инструментов режуще-скалывающего действия.

Методы исследования: Анализ современных представлений и теоретическое исследование проблем разрушения горных пород инструментами режуще-скалывающего действия. Для изучения работ, посвященных разрушению горных пород современными инструментами режуще-скалывающего действия, использован системно-целевой подход. Аналитические и экспериментальные исследования переходного и установившегося режимов работы, как единичного резца, так и бурового инструмента в целом, опирающиеся на научную базу математического и физического моделирования процессов и положений теоретической механики, сопротивления материалов, кинетической теории прочности. Сравнительное экспериментальное изучение процессов и механизмов статического и динамического внедрения при резании горной породы единичным разрушающим элементом на базе использования разработанной экспериментальной установки, имеющей оригинальные технико-технологические решения и необходимую поверенную точность результатов измерений цифровой силоизмерительной системы Kistler™.

Результаты: Исследована практическая и научная целесообразность разработки показателя «динамической твердости» горных пород для объективной оценки их поведения при работе инструментов режуще-скалывающего действия. Доказано, что разработка и использование нового показателя «динамической твердости» горных пород и методики его экспериментального определения являются актуальными методологическими шагами в развитии технологии оценки прочностных свойств горных пород при работе инструментов режуще-скалывающего действия для практических потребностей буровой геологоразведочной индустрии.

Ключевые слова:

Разрушение горной породы, бурение скважин, буровые долота PDC, прочностная характеристика, твердость горной породы, осевая нагрузка, моделирование процессов разрушения, частота вращения долота.

Введение

Для промышленного бурения скважин различного назначения практически во всем спектре горных пород в настоящее время применяются долота с композитными PDC (polycrystalline diamond compact) резцами, работающими по принципу резания-скалывания. О перспективности данного вида

вооружения и способа его взаимодействия с разрушаемой горной породой свидетельствуют положительные результаты применения указанных буровых инструментов и их высокая рыночная востребованность [1, 2].

В этой связи детальное исследование как схем установки резцов в долоте, геометрических и раз-

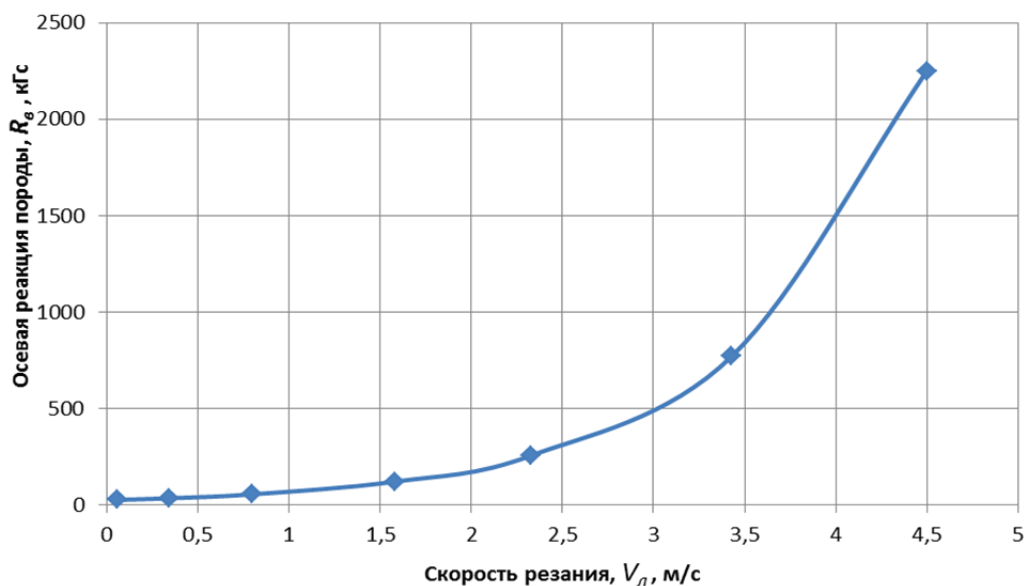


Рис. 1. Зависимость осевой реакции горной породы R_b от скорости резания v_p при постоянной величине срезаемого резцом слоя $h=const$

мерных характеристик вооружения, так и параметров режима бурения PDC, могут дать реальные результаты для повышения качества их изготовления, и показателей работы [3].

В работе [4, 5] экспериментально установлено, что осевая реакция разрушаемой горной породы при ее строгании-резании R_b при постоянной величине срезаемого слоя h зависит от линейной скорости перемещения реза по забою скважины. Аналитическая аппроксимация полученных экспериментальных данных представлена на рис. 1.

Авторы считают, что такое поведение горных пород при их разрушении наглядно свидетельствует о наличии временной зависимости свойств прочности твердых тел. Теоретический фундамент для объяснения данного явления предложен в 70-е годы научной школой физиков под руководством академика С.Н. Журкова. Выражение долговечности твердого тела под нагрузкой в соответствии с кинетической (термофлуктуационной) теорией имеет следующий вид [6–9]:

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{\left[\frac{u(\sigma)}{kT} \right]}, \quad (1)$$

где $\tau_0=10^{-13}$ с – период собственных тепловых колебаний (флуктуаций) атомов; $u(\sigma)$ – потенциальный барьер разрушения (энергия активации разрушения), равный $u(\sigma)=u_0-\gamma\sigma$; u_0 – энергия кристаллической решетки материала; γ – структурно-чувствительный коэффициент с размерностью объема; σ – действующее напряжение; k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура.

В практическое развитие термофлуктуационной концепции в работе [10] проведены оригинальные вероятностные расчеты зависимости долговечности кристаллического твердого тела (каменной соли) от уровня снижения его потенциального барьера разрушения за счет действия внешнего ме-

ханического напряжения (нагрузки) σ . Расчеты показали, что она носит экспоненциальный характер (рис. 2), и это соответствует графическому представлению выражения (1).

Проведенные нами исследования и аналитические расчеты (рис. 3) также указывают на то, что фактическое проявление уровня прочности твердого тела существенным образом зависит от времени действия разрушающего усилия (напряжения). На практике это означает, что количественная характеристика свойств прочности любого твердого тела (горной породы) должна представлять собой не определенную предельную величину, а временную функцию прочности $\sigma_t=\sigma(\tau)$.

Это явно противоречит макроскопической теории разрушения твердых тел, где представление о прочности и устойчивости твердых тел связывается с критическим (катастрофическим) понятием процесса разрушения, наступающего при достижении действующего фактора – силовой нагрузки, электрического разряда, гидравлического удара и т. д. – некоторой предельной величины [11–14].

Представления о критическом разрушении твердого тела основываются на простом и понятном наблюдении, что образец, находящийся под действием нагрузки ниже определенного предела, не разрушается, а в случае действия нагрузки критической величины образец немедленно разрушается [15]. Как показывают приведенные здесь экспериментальные данные, такое понимание процессов сопротивления горных пород разрушению не соответствует реальной действительности. Фактически доказано [16], что изменение времени нахождения горной породы под разрушающей нагрузкой приводит к изменению характеристики ее прочности, в частности твердости.

Интересные материалы по скоростному «упрочнению» горной породы при резании-скалы-

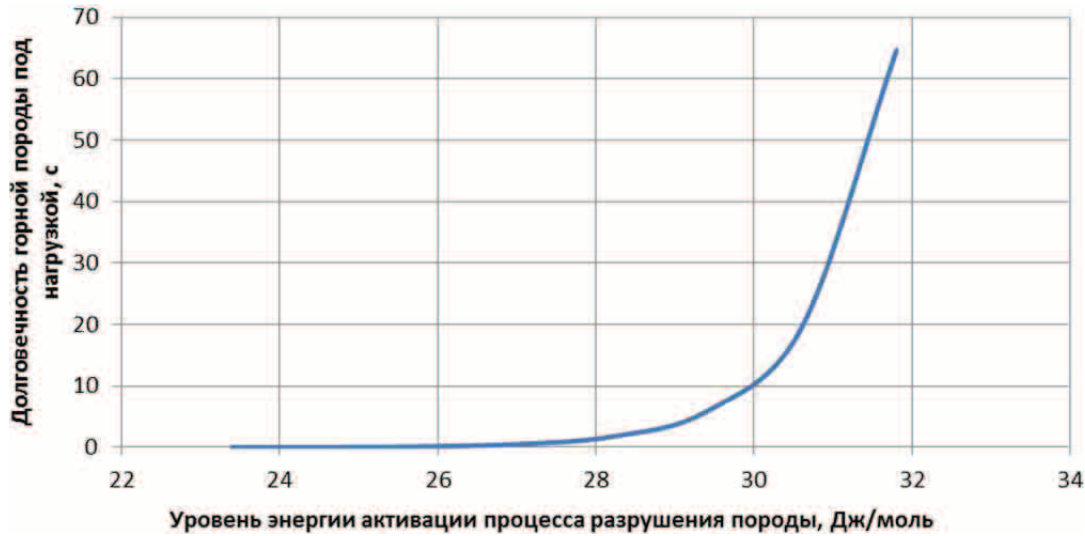


Рис. 2. Зависимость времени процесса разрушения твердого тела τ от уровня потенциального барьера $u(\sigma)$, снижаемого действующим напряжением σ

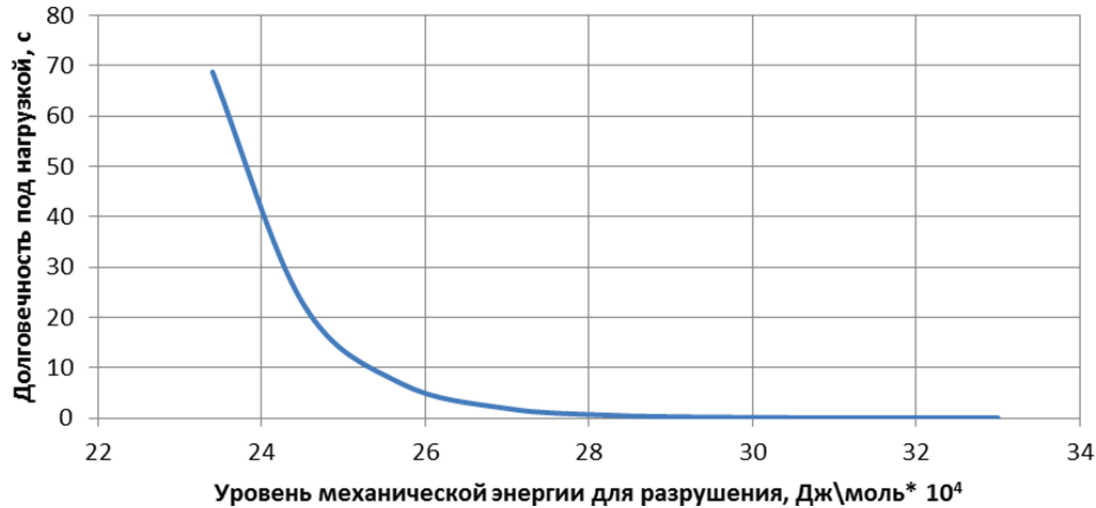


Рис. 3. Зависимость долговечности твердого тела τ от величины механической энергии (напряжения) σ , снижающей потенциальный барьер разрушения

вании инструментами PDC представлены в работе [17]. Предложено объяснять причины роста параметра прочности σ при изменении динамических характеристик процесса резания-скалывания горной породы тем, что при повышении скорости перемещения реза перед ядром сжатия породы, т. е. на передней грани реза, не успевает образоваться («прорасти») синхронно с перемещением реза трещина отрыва АВ (рис. 4, а). В результате резец испытывает увеличивающееся сопротивление породы и стремится снизить глубину резания-скалывания породы до той величины, при которой трещина отрыва породы А1 В1 (рис. 4, б) успеет сформироваться, и происходит синхронное с движением реза отделение породы на его передней грани [17].

Для сохранения прежней глубины резания-скалывания горной породы при повышении частоты вращения инструмента авторы рекомендуют повышать осевую нагрузку на инструмент. Такое

видение реального процесса стружкообразования горной породы при ее резании PDC долотом не противоречит, а соответствует концепции временной зависимости прочности твердых тел.

Методика определения «временной» прочностной характеристики горной породы

В работах [16, 18] предложена методика определения «динамической» твердости горной породы, которая максимально моделирует реальные процессы работы режущих элементов долот класса PDC. Лабораторный комплекс, реализующий разработанную схему и требования к техническим средствам нового метода оценки динамической твердости горных пород при резании, получил название УМР – установка механического резания горных пород.

В установке использовано регистрирующее силовое устройство – 3 с режущим элементом – 1 в держателе – 2, которое размещено неподвижно на

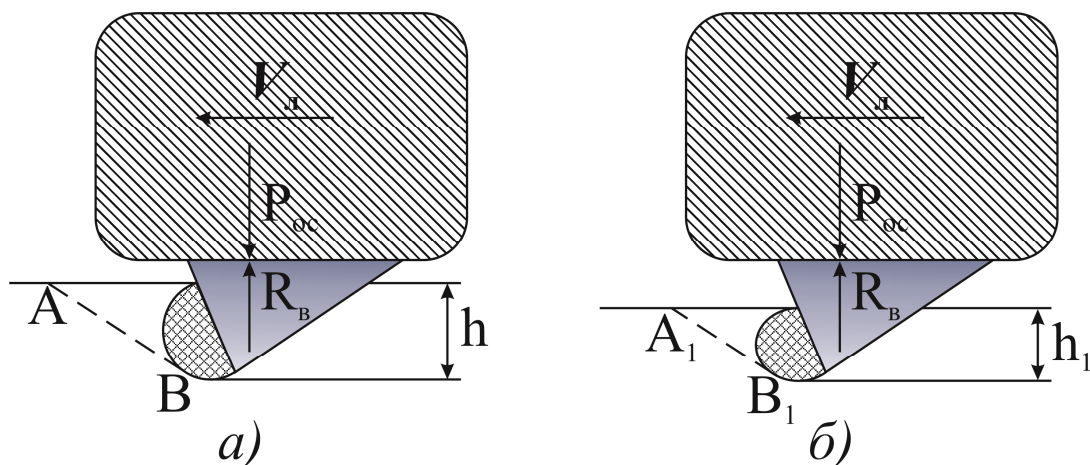


Рис. 4. Схема для анализа процесса резания-скалывания породы резцом PDC: а) при более низкой частоте вращения; б) при более высокой частоте вращения [6]

массивной платформе – 4, а закрепленный в зажимном устройстве – 6 образец горной породы – 5 перемещает специальный механизм – 7 относительно этого режущего элемента (рис. 5).

В качестве исследуемых образцов пород принято решение об использовании скважинного керна различных диаметров (от 40 до 100 мм) и длины не менее 15 см, фиксируемого на подающей раме под определенным углом α к плоскости движения механизма. В качестве подающей рамы – 7 используется плунжер механического строгального станка.

Такое техническое решение позволило после полного прохода керна вдоль закрепленного резца получать в горной породе нарастающий по глубине «след» от срезанной горной породы h_i .

При этом за один эксперимент фактически удается провести моделирование силовой картины динамического резания керна образца во всех известных режимах разрушения горных пород – от истирания до объемного разрушения горной породы. Последнее исключительно важно при получении необходимых силовых характе-

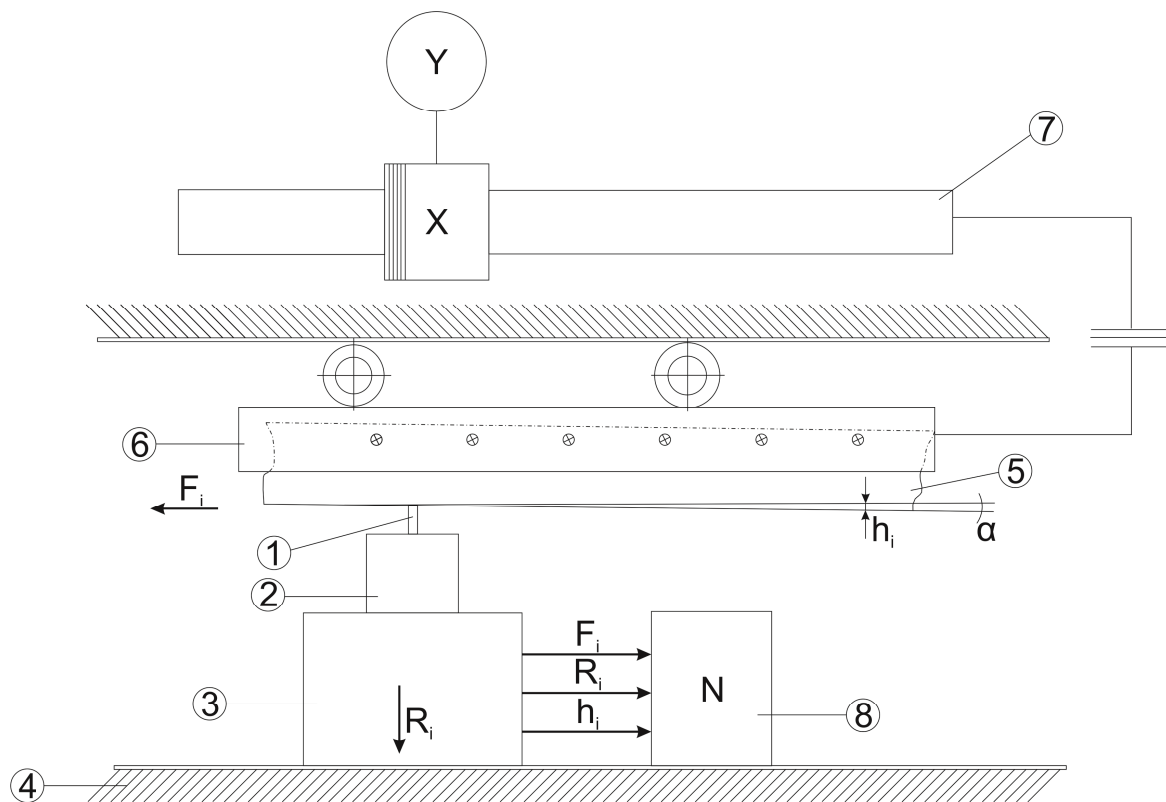


Рис. 5. Комплекс УМР для определения динамической твердости горных пород: 1 – режущий элемент долота класса PDC, 2 – держатель, 3 – регистрирующее силовое устройство Kistlersm, 4 – платформа, 5 – образец горной породы, 6 – кернодержатель, 7 – механизм подачи, 8 – преобразователь сигнала

ристик для расчета показателя динамической твердости.

Силовые параметры эксперимента на режущем элементе – выталкивающая (осевая) сила R_i и сила резания F_i – регистрируются цифровым динамометром немецкого производителя Kistler™, усиливаются и записываются после преобразования на компьютер – 8. Для получения статистических характеристик по указанным исходным данным, т. е. для повторных экспериментов, керновый образец проворачивается в зажимном устройстве на угол 5–8 градусов и закрепляется вновь. При имеющей место вариации исследуемого признака количество экспериментов для получения достоверного искомого показателя R_i обычно не достигает первого десятка.

В качестве образцов для исследований и получения динамического показателя твердости горных пород методикой предусмотрено использование, как правило, обычного специально не подготовленного скважинного керна: песчаники, алевролиты с нефтяных месторождений Томской области. Это значительно упрощает проведение массовых экспериментальных работ по накоплению статистических данных показателей динамической твердости горных пород различных категорий.

Методикой для упрощения проведения лабораторных экспериментов и интерпретации данных не предусматривалось использование промысловых агентов и моделирование термобарических условий, приближенных к забойным. Удаление стружки из резцов происходило за счет сил гравитации.

Методика [16] предполагает определение характеристики твердости путем измерения реакции R_B , возникающей при резании образца (керна) испытуемой горной породы на специальной установке в установившемся режиме, и соотношения этой

силы к площади контакта стандартного режущего элемента с породой S_K , формула (2).

$$H_{\text{вд}} = \frac{R_B}{S_K}. \quad (2)$$

Схема и методика получения исходных данных для расчета показателя $H_{\text{вд}}$, не только наглядно воспроизводит работу режцового инструмента PDC во всех режимах разрушения горных при их резании-скалывании, но и учитывает изменение сопротивления горной породы разрушающим усилиям при соответствующем изменении скорости их приложения.

Результаты и их обсуждение

Таким образом, важным научным аспектом предложенного в [18] метода является представление показателя сопротивления горной породы внедрению при ее резании-скалывании (твердости), как функции от скорости процесса разрушения, определяемого скоростью перемещения режущего элемента (рис. 6).

Изучение полученной зависимости показывает реальные масштабы времени, в течение которого разрушаемая порода находится под нагрузкой перемещающегося резца. В частности, для диапазона скоростей, представленных на рис. 6, при размерах контактной площадки в 2 мм этот диапазон находится в пределах от $4 \cdot 10^{-2}$ до $4 \cdot 10^{-4}$ с. Такой диапазон долговечности твердого тела под нагрузкой близок к оценкам автора [4], по данным которого время статического и динамического взаимодействия находится в пределах 10^3 – 10^{-4} с.

Фактически в основу методики [16] положена концепция не предельного критерия твердости горной породы, а предельной прочностной функции, связывающей статическое и динамическое ее разрушение при резании-скалывании в единый процесс на базе фундаментальных закономерностей природных явлений.

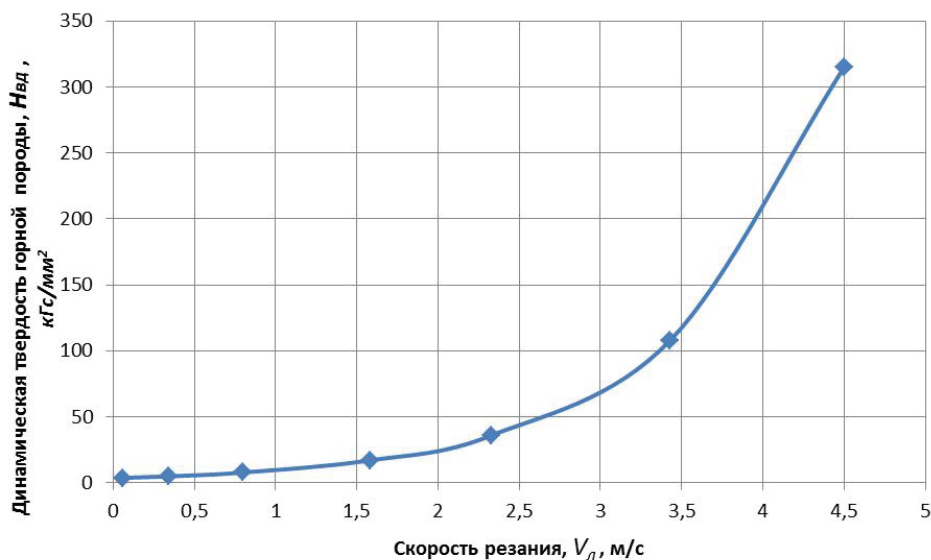


Рис. 6. Зависимость величины динамической твердости горной породы $H_{\text{вд}}$ от скорости резания V_r при постоянной величине срезаемого резцом слоя $h = \text{const}$; размер площадки контакта резца с горной породой $\delta = 2$ мм.

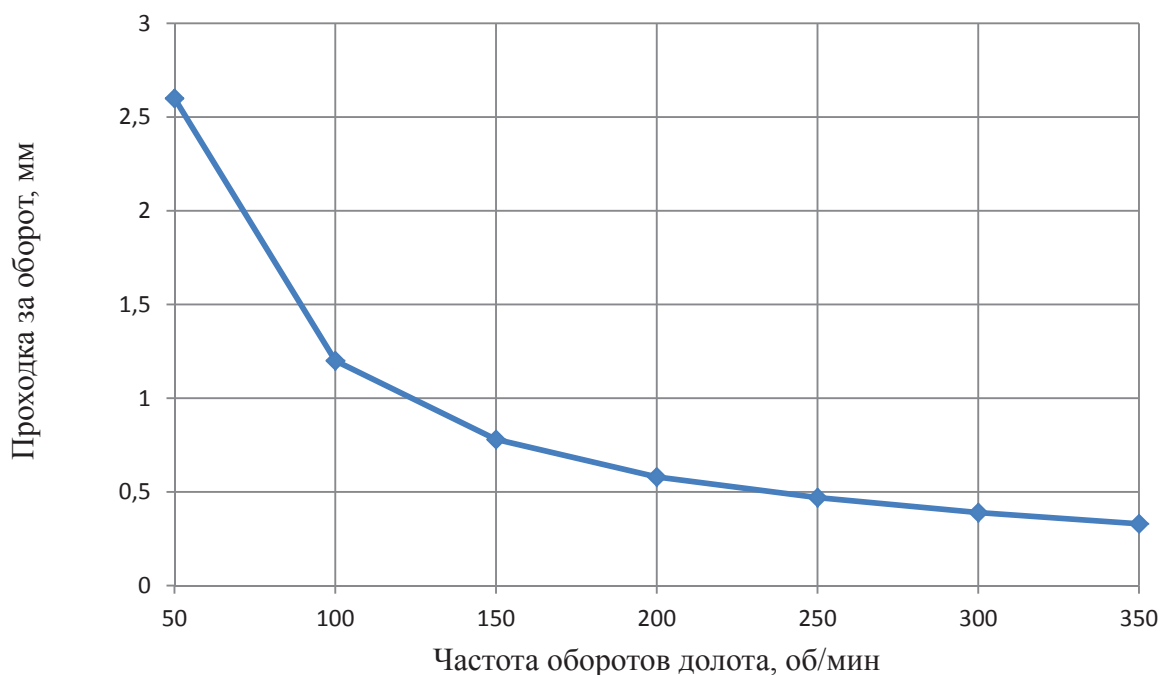


Рис. 7. Характер изменения глубины срезаемого слоя с ростом частоты оборота долота при неизменной нагрузке

Изменение прочностной характеристики разрушаемой горной породы с увеличением скорости процесса резания-скалывания напрямую влияет на результаты работы долота PDC. В частности, исследованиями показано, что с увеличением частоты вращения механическая скорость бурения при неизменной нагрузке G_0 меняется незначительно, либо не меняется совсем [19], вне зависимости от режима разрушения: поверхностного, усталостно-объемного.

Рост объема механической работы разрушения горных пород с повышением интенсивности вращения долота при неизменной осевой нагрузке на него «поглощается» снижением толщины слоя, срезаемого за один оборот. Фактически имеет место процесс «выталкивания долота» за счет эффекта «динамического упрочнения» разрушаемой горной породы [20].

На рис. 7 представлена фактическая экспериментальная картина изменения глубины резания за оборот долотом режуще-скалывающего действия диаметром 215,9 мм при постоянной нагрузке в 3,5 тс с ростом частоты его оборотов.

При таком характере «выталкивания» долота с ростом скорости его вращения механическая скорость бурения практически не меняется.

Объективной физической основой такого поведения горных пород под действием динамических разрушающих сил является зависимость скорости распространения многоэтапного процесса отделения (дезинтеграции) частиц породы от монолита, от уровня внешней разрушающей силы (напряжения) согласно фундаментальной кинетической теории, представленной выражением (1).

В реальном динамическом процессе резания горной породы инструментом режуще-скалываю-

щего действия время на процессы разрушения детерминировано конкретной скоростью перемещения резцов долота по забою или частотой оборотов инструмента. Поэтому увеличение линейных скоростей перемещения резцов по разрушаемой горной породе и, следовательно, уменьшение времени на процессы разрушения для сохранения результата (глубины) разрушения, объективно требует увеличения внешней (осевой) нагрузки на долото.

Однако если процесс бурения скважины идет при запроектированной неизменной осевой нагрузке на долото, то уменьшение времени взаимодействия резцов и породы в каждой конкретной точке разрушаемого забоя приводит к уменьшению глубины (объема) распространения дезинтеграционных процессов в монолите горной породы. Следовательно, глубина динамического резания породы в любом режиме разрушения для конкретной нагрузки снижается (рис. 6), что и проявляется при реальной работе инструментов режуще-скалывающего действия.

И наоборот, если физический эксперимент реализует неизменную глубину динамического резания, то происходит возрастание реакции породы или силы, необходимой для увеличения скорости распространения разрушающих процессов в породе и сохранения объемов разрушения (рис. 2). Данный факт многократно подтвержден экспериментально.

Заключение

Практическое значение и область возможного применения временной прочностной характеристики горных пород для процессов резания-скалывания при бурении скважин инструментами PDC состоит в:

- 1) разработке принципиально новой классификации горных пород на основе временной прочностной характеристики для целей разработки оптимальной технологии промышленного бурения скважин современными долотами PDC;
- 2) внедрении предложенной характеристики в процедуру проектирования параметров режима бурения для конкретных горных пород, условий бурения и конкретного долота режущее-скалывающего действия;
- 3) разработке и внедрении принципиально новых схем размещения на одном радиальном сегменте (лопасти) долота PDC одновременно нескольких режущих элементов (резцов), имеющих пропорционально путям резания различные скорости динамического процесса резания;
- 4) разработке принципиально новых конструкций буровых долот, исключаящих различие в нагруженности режущих элементов, расположенных на периферии и на внутренних радиусах инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарева Л. Лучшие друзья нефтяников – алмазы. PDC долота все более востребованы на российских месторождениях // Нефть и Газ ЕВРАЗИЯ. – 2012. – № 10. – С. 20–23.
2. Langeveld C.J. PDC Bit Dynamics // IADC/SPE Drilling Conference. – New Orleans, Louisiana, USA, February 18–21, 2011. – P. 23–28.
3. Brett J.F., Warren T.M., Behr S.M. Bit Whirl: A New Theory of PDC Bit Failure // 64th SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – San Antonio, Texas, USA, October 8–11, 2012. – P. 46–62.
4. Борисов К.И. Разработка научного метода объективной оценки процессов динамического разрушения горных пород инструментами режущее-скалывающего действия класса PDC (Ч. II) // Инженер-нефтяник. – 2011. – № 1. – С. 31–35.
5. Борисов К.И. Влияние скорости резания на коэффициент сопротивления резанию горных пород // Нефтегазовому образованию в Сибири – 50 лет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – С. 254–255.
6. Петров Ю.В., Груздков А.А., Братов В.А. Структурно-временная теория разрушения как процесса, протекающего на разных масштабных уровнях // Физическая мезомеханика. – 2012. – Т. 15. – № 2. – С. 15–21.
7. Евстифеев А.Д., Груздков А.А., Петров Ю.В. Температурно-скоростная зависимость типа разрушения // Журнал технической физики. – 2013. – Т. 83. – Вып. 7. – С. 59–63.
8. Журков С.Н., Куксенко В.С. О прогнозировании разрушения горных пород // Изв. АН СССР. Сер. Физика земли. – 1977. – № 6. – С. 11–15.
9. Слуцкер А.И. Атомный уровень флуктуационного механизма разрушения твердых тел (модельно-компьютерные эксперименты) // Физика твердого тела. – 2005. – Т. 47. – Вып. 5. – С. 777–787.
10. Нейштетер И.А. Кинетическая природа статического и динамического разрушения горных пород // Межвузовский научный тематический сборник. – Екатеринбург: Уральская государственная горно-геологическая академия, 1998. – Вып. 21. – С. 53–67.
11. Шрейнер Л.А. Физические основы механики горных пород. – М.: Гостехиздат, 1950. – 211 с.
12. Шигин А.О., Гилёв А.В. Разработка идеализированной модели бурения горных пород с различными физико-механическими свойствами // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3 (Ч. 3). – С. 665–667.
13. Ewy R.T., Cook N.G.W. Deformation and fracture around cylindrical openings in rock. P. II. Initiation, growth and interaction of fractures // International Journal of Rock Mechanics, Mineral Science, and Geomechanical Abstracts. – 1990. – V. 27 (5). – P. 409–427.
14. Seweryn A., Lukaszewicz A. Verification of brittle fracture criterion for elements with V-shape notches // Engineering fracture mechanics. – 2002. – V. 69. – № 13. – P. 1487–1510.
15. Способ определения прочности горных пород и устройство для его реализации: пат. Рос. Федерация № 2204121; заявл. 21.02.00; опубл. 27.12.01.
16. Борисов К.И. Научный метод оценки эффективности динамических процессов разрушения горных пород при бурении скважин современными инструментами режущее-скалывающего действия: дис. ... д-ра техн. наук. – Томск, 2012. – 193 с.
17. Нескоромных В.В., Борисов К.И. Аналитическое исследование процесса резания-скалывания горной породы резцами PDC // Инженер-нефтяник. – 2013. – № 3. – С. 1–3.
18. Борисов К.И. Научная база нового метода оценки эффективности процессов разрушения горных пород современными инструментами режущее-скалывающего действия // Вестник ЦКР Роснедра. – 2011. – № 4. – С. 51–58.
19. Третьяк А.Я., Литкевич Ю.Ф., Асеева А.Е. Научные основы создания многоярусных буровых долот режущего типа для бурения нефтяных и газовых скважин // Проблемы геологии и освоения недр юга России: Труды Междунар. конф. – Азов, Ростов н./д., 2006. – С. 176–178.
20. Adams M., Amadei B., Argon A.S. Drilling and Excavation Technologies for the Future. – Washington, D.C.: The National Academies, 2014. – P. 176–188.

Поступила 13.01.2014 г.

UDC 622.243.2

ANALYTICAL INVESTIGATION OF ROCK TEMPORAL STRENGTH PROPERTY AT PDC CUTTING

Konstantin I. Borisov,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: kibor@tpu.ru

Vitaliy L. Rubtsov,

Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: proektant.burenie@gmail.com

Relevance of the work is caused by the lack of science-based physical mechanism of dynamic introduction at rock cutting with chipping rocks cutters at operation of rock cutting action tool.

Objectives: to develop a new method of complex science-based evaluation of dynamic fracture process effectiveness at operation of new cutting action tools; to analyze new concepts and theoretical study of the problems of rock destruction with cutting action tools.

Methods: To study the works devoted to rock destruction with new cutting action tools the authors have used the system oriented approach. Analytical and experimental studies of transient and steady modes both of a single tool, and drilling tools in general, based on scientific and mathematical modeling of physical processes and the provisions of theoretical mechanics, strength of materials, the kinetic theory of strength. Comparative experimental study of the processes and mechanisms of static and dynamic implementation when cutting rock with a single destructive element based on application of the developed experimental station having original technical and technological solutions and necessary evaluate accuracy of measurement results of digital force measuring system Kistler™.

Results: The authors studied practical and scientific feasibility of developing the indicator of rock «dynamic hardness» for objective evaluation of their behavior at operation of cutting tools. It is proved that the development and use of a new indicator rock «dynamic hardness» and methods of its experimental determination are the relevant methodological steps in development of assessment technology for rock strength properties at operation of cutting action tools for practical needs of the exploration drilling industry.

Key words:

Rock destruction, well drilling, PDC drill bits, strength feature, rock hardness, axial load, fracture process simulation, speed bit.

REFERENCES

- Ponomareva L. Luchshiyе druzyа neftyanikov – almazy. PDC do-lota vse bolee vostrebovany na rossyskikh mestorozhdeniyakh [A Best Friends of oil industry workers are diamonds. PDC bits are more in demand in Russian fields]. *Neft i Gaz YEVRAZIYA*, 2012, no. 10, pp. 20–23.
- Langeveld C.J. PDC Bit Dynamics. *IADC/SPE Drilling Conference*. New Orleans, Louisiana, USA, February 18–21 2011. pp. 23–28.
- Brett J.F., Warren T.M., Behr S.M. Bit Whirl: A New Theory of PDC Bit Failure. *64th SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. San Antonio, Texas, USA, October 8–11 2012. pp. 46–62.
- Borisov K.I. Razrabotka nauchnogo metoda obektivnoy otsenki protsessov dinamicheskogo razrusheniya gornyykh porod instrumentami rezhushche-skalyvayushchego deystviya klassa PDC [Development of a scientific method of an objective assessment of processes of dynamic cutting of rocks by instruments of cutting action of the class PDC]. *Inzhener-neftyanik*, 2011, P. I, no. 1, pp. 31–35.
- Borisov K. Vliyaniye skorosti rezaniya na koeffitsient soprotivleniya rezaniyu gornyykh porod [Cutting speed effect on rock cutting resistance factor]. *Neftgazovomu obrazovaniyu v Sibiri – 50 let* [The 50th anniversary of oil-and-gas industry in Siberia]. Tomsk, TPU Publ. House, 2002. pp. 254–255.
- Petrov Yu.V., Gruzdkov A.A., Bratov V.A. Strukturno-vremennaya teoriya razrusheniya kak protsessа, protekayushchego na raznykh masshtabnykh urovnyakh [The structural and time theory of destruction as a process proceeding at different large-scale levels]. *Fizicheskaya mezomekhanika*, 2012, vol. 15, no. 2, pp. 15–21.
- Evstifeev A.D., Gruzdkov A.A., Petrov Yu.V. Temperaturno-skorostnaya zavisimost tipа razrusheniya [Temperature and high-speed dependence of destruction type]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*, 2013, vol. 83, no. 7, pp. 59–63.
- Zhurkov S. Kuksenko V. O prognozirovaniі razrusheniya gornyykh porod [Predicting rock destruction]. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR. Seriya Fizika zemli*, 1977, no. 6, pp. 11–15.
- Slutsker A.I. Atomny uroven fluktuatsionnogo mekhanizma razrusheniya tverdykh tel (modelno-kompyuternye eksperimenty) [Nuclear level of the fluctuation mechanism of of solid body destruction (model and computer experiments)]. *Fizika tverdogo tela*, 2005, vol. 47, no. 5, pp. 777–787.
- Neyshteter I.A. Kineticheskaya priroda staticheskogo i dinamicheskogo razrusheniya gornyykh porod [Kinetic nature of static and dynamic formation failure]. *Mezhvuzovskiy nauchnyy tematicheskyy sbornik* [International scientific subject collection]. Yekaterinburg, Ural State Academy of Mining and Geology, 1998, no. 21, pp. 53–67.
- Schreiner L.A. *Fizicheskiye osnovy mekhaniki gornyykh porod* [Physical fundamentals of rock mechanics]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 1950. 211 p.
- Shigin A.O. Gilev A.V. Razrabotka idealizirovannoy modeli bureniya gornyykh porod s razlichnymi fiziko-mekhanicheskimi svoystvami [Development of idealized model for drilling rocks with different physicomechanical properties]. *Fundamentalnye issledovaniya – Fundamental researches*, 2012, no. 3 (P. 3), pp. 665–667.
- Ewy R.T., Cook N.G.W. Deformation and fracture around cylindrical openings in rock – part II. Initiation, growth and interaction of fractures. *International Journal of Rock Mechanics, Mineral Science, and Geomechanical Abstracts*, 1990, vol. 27 (5), pp. 409–427.
- Seweryn A., Lukaszewicz A. Verification of brittle fracture criterion for elements with V-shape notches. *Engineering fracture mechanics*, 2002, vol. 69, no. 13, pp. 1487–1510.
- Arkhipov A.G., Kornilov N.I., Tselaki Yu.K. *Sposob opredeleniya prochnosti gornyykh porod i ustroystvo dlya ego realizatsii* [Method for rock durability determination and the device for its implementation]. Patent RF, no. 2204121, 2001.

16. Borisov K.I. *Nauchny metod otsenki effektivnosti dinamicheskikh protsessov razrusheniya gornykh porod pri burenii skvazhin sovremennymi instrumentami rezhushche-skalyvayushchego deystviya. Dokt. Diss.* [The scientific method of assessing the performance of dynamic processes of rock cutting when drilling by new tools of cutting action. Dr. Diss.]. Tomsk, 2012. 193 p.
17. Neskromnykh V.V., Borisov K.I. Analiticheskoe issledovanie protsessa rezaniya-skalyvaniya gornoj porody reztsami PDC [Analytical study of rock cutting-shearing by PDC cutters]. *Inzhener-neftyanik*, 2013, no. 3, pp. 1–3.
18. Borisov K.I. Nauchnaya baza novogo metoda otsenki effektivnosti protsessov razrusheniya gornykh porod sovremennymi instrumentami rezhushche-skalyvayushchego deystviya [Scientific basis of a new method for assessing the effectiveness of rock destruction by modern cutting-shearing tools]. *Vestnik Tsentralnoy komissii po razrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh Rosnedra*, 2011, no. 4, pp. 51–58.
19. Tretiak A.Y., Litkevich Yu.F., Aseeva A.E. Nauchnye osnovy sozdaniya mnogoyarusnykh burovnykh dolot rezhushchego tipa dlya bureniya neftnykh i gazovykh skvazhin [Scientific foundations for developing multilevel drill bits of cutting type for drilling oil and gas wells]. *Problemy geologii i osvoyeniya nedr yuga Rossii: Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii* [Proc. International Conference. Problems of geology and exploration of interior of the south of Russia]. Azov, Rostov on Don, 2006, pp. 176–178.
20. Adams M., Amadei B., Argon A.S. Drilling and Excavation Technologies for the Future. Washington, D.C., *The National Academies*, 2014. pp.176–188.

УДК 622.277

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ МЕТОДОМ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ

Бондарчук Игорь Борисович,

ассистент кафедры бурения скважин Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: bond_ib@mail.ru

Рябчиков Сергей Яковлевич,

д-р техн. наук, профессор кафедры бурения скважин Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: kafedrabs@mail.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью отработки продуктивных пластов твердых полезных ископаемых методом скважинной гидродобычи. Основное достоинство метода заключается в том, что добычу полезных ископаемых можно проводить в сложных горно-геологических условиях, исключая проходку горных выработок и сооружение карьеров.

Цель работы: выявление и анализ основных способов, технических и технологических решений для реализации разрушения горных пород, всасывания и подъема гидросмеси на поверхность в процессе скважинной гидродобычи.

Методы исследования: анализ и обобщение литературных источников, а также производственных материалов по скважинной гидродобыче, бурению и эксплуатации скважин различного назначения.

Результаты: Выявлены основные способы разрушения горных пород, всасывания и подъема гидросмеси на поверхность в процессе скважинной гидродобычи. Приведено углубленное представление об основных технологических процессах скважинной гидродобычи, связанных с отработкой продуктивных пластов. Разработаны классификации, которые систематизируют и обобщают информацию о способах, технических и технологических решениях для реализации разрушения горных пород, всасывания и подъема гидросмеси на поверхность в процессе скважинной гидродобычи. Данные классификации позволят значительно упростить методику выбора и усовершенствования рассмотренных технологических процессов для повышения производительности скважинной гидродобычи полезных ископаемых.

Ключевые слова:

Скважинная гидродобыча, технологические процессы, разрушение горных пород, отделение горных пород от массива, всасывание и подъем гидросмеси на поверхность.

К настоящему времени накоплен значительный опыт работ по скважинной гидродобыче (СГД) полезных ископаемых. СГД является одной из физико-химических технологий, основанной на приведении горных пород на месте залегания в подвижное состояние и выдаче их в виде гидросмеси (пульпы) на поверхность через скважины [1]. Технология и оборудование для СГД применяются в различных направлениях, основными из которых являются разведка и добыча твердых полезных ископаемых, сооружение фундаментов и противοфильтрационных завес, интенсифика-

ция работы водозаборных скважин, газо- и нефтедобычи, создание подземных резервуаров различного назначения. Несмотря на значительный опыт работы в этих направлениях, широкого промышленного внедрения способ СГД до сих пор не получил. Одной из причин при этом является низкая производительность добычных работ. Поэтому исследование данной проблемы путем углубленных теоретических и лабораторных исследований, промышленных испытаний, а также проектно-конструкторских разработок является актуальной задачей.

Ниже приводится систематизированное и углубленное представление об основных технологических процессах СГД, связанных с отработкой продуктивного пласта, а именно – с разрушением горных пород, всасыванием и подъемом гидросмеси на поверхность. В результате анализа современных представлений о СГД, а также о бурении и эксплуатации скважин различного назначения нами были разработаны классификации способов, технических и технологических решений для реализации разрушения горных пород, всасывания и подъема гидросмеси на поверхность (табл. 1, 2).

Разрушение горных пород. В зависимости от геолого-технических и экономических условий добычи в процессе СГД могут использоваться различные способы разрушения горных пород (РГП) (табл. 1). К таким способам нами отнесены: гидродинамический (гидромониторный, гидроударный и депрессионный), механический и их комбинации.

Гидромониторный способ отделения горных пород от массива осуществляется с помощью высоконапорных струй жидкости, истекающих из гидромониторов различной конструкции. Высоконапорные струи могут быть двух видов [2]: стационарные и нестационарные. Стационарные высоконапорные струи имеют постоянные во времени гидродинамические характеристики. Нестационарные высоконапорные струи периодически изменяют во времени гидродинамические характеристики. К последним струям относятся: непрерывные (пульсирующие) и прерывистые (импульсные). Применение нестационарных струй может существенно повысить эффективность разрушения горных пород за счет создания мгновенных перепадов давления (гидравлических волн).

В зависимости от плотности среды, в которой распространяются струи, они подразделяются на затопленные и незатопленные. Струя считается затопленной, если она истекает в среду, плотность

Таблица 1. Классификация способов, технических и технологических решений для реализации разрушения горных пород в процессе СГД полезных ископаемых

Способы разрушения горных пород	Пути реализации способов разрушения горных пород	Технические и технологические решения для реализации способов разрушения горных пород	
Гидродинамический	Гидромониторный	Воздействие на продуктивный пласт высоконапорных струй жидкости, истекающих из гидромониторов различных конструкций	Гидромониторы с жестким стволом: – встроенные (внутренние); – выводные (внешние): • шарнирные; • телескопические; • комбинированные
			Гидромониторы с гибким стволом: – управляемые; – неуправляемые
			Струйные (гидроаэродинамические) мониторы
			Гидротурбинные мониторы
		Гидроимпульсные мониторы	
		Изменение свойств среды, в которой распространяется высоконапорная струя жидкости	Разрушение горных пород затопленной струей Разрушение горных пород незатопленной струей
Гидроударный	Воздействие на продуктивный пласт гидравлических ударных волн не струйного характера	Создание гидроударов импlosionными методами: – эрлифтами; – гидроэлеваторами (эжекторными насосами)	
		Создание гидроударов волновыми методами: – пневмоизлучателями; – взрывами; – гидродинамическими генераторами; – акустическими излучателями	
Депрессионный	Снижение гидростатического давления на продуктивный пласт	Понижение уровня подземных вод при откачивании: – пульпы из добычных скважин; – воды из вспомогательных скважин	
		Создание разрежения в выемочной камере: – эрлифтами; – гидроэлеваторами (эжекторными насосами); – вихреобразующими устройствами	
Механический	Воздействие на продуктивный пласт специальных породоразрушающих элементов и частиц	Породоразрушающий инструмент различных конструкций: – расширители; – долота	
		Абразивные, твердые частицы (кварцевый песок, стальные и твердосплавные шары и др.), перемещаемые потоком жидкости	
Комбинированный	Совместное воздействие гидромониторного, гидроударного, депрессионного и механического способов разрушения горных пород	Технические и технологические решения для реализации указанных способов разрушения горных пород	

которой равна или больше плотности вещества струи. Незатопленная струя – это струя, истекающая в среду, плотность которой значительно меньше плотности вещества струи. Эффективность разрушения горных пород незатопленными струями значительно выше, чем разрушение затопленными. Кроме того, увеличение гидростатического давления в скважине ухудшает параметры гидромониторной струи и существенно уменьшает дальность ее действия [3]. В процессе СГД условия для формирования незатопленных струй, а также снижение гидростатического давления можно создавать за счет осушения выемочной камеры (создания воздушной подушки) при нагнетании в скважину сжатого воздуха [4, 5]. Кроме этого, данная цель достигается при водопонижении с образованием депрессионной воронки [6].

В практике СГД можно использовать гидромониторы 2-х видов, определяющими признаками которых является состояние гидромониторного ствола и характер воздействия на породу.

По первому признаку гидромониторные устройства делятся на [1]:

- *гидромониторы с жестким стволом*, которые подразделяются на:
 - встроенные (с неподвижно установленными внутри ствола насадками). Такие гидромониторы не позволяют достигать больших радиусов размыва в затопленной среде, но просты в управлении и надежны в работе;
 - выводные (выводятся в рабочее положение за счет давления воды). Такие гидромониторы могут быть шарнирными и телескопическими [7]. Данные устройства позволяют увеличивать радиус размыва камеры, однако они имеют сложную конструкцию и большую вероятность выхода из строя при завале их горной породой;
- *гидромониторы с гибким стволом*, которые подразделяются:
 - на неуправляемые (характеризуются хаотичным движением гибкого ствола за счет действия реактивной силы струи) [8]. Преимущество данных гидромониторов заключается в полной автоматичности действия, обеспечения значительного радиуса размыва и простоте конструкции. Но устройства фактически не управляемы, что значительно снижает область их применения;
 - управляемые (выводятся в рабочее положение с помощью специальных устройств) [9]. Такие гидромониторы более эффективны в работе, чем неуправляемые. Их можно эффективно использовать при отработке продуктивных пластов в скважинах с горизонтальным или пологим окончанием [10]. Однако гибкие гидромониторы имеют сложную конструкцию и большую вероятность выхода из строя при повреждении механизмов управления.

По второму признаку гидромониторные устройства делятся на [11]:

- *струйные (гидроаэродинамические) мониторы* – имеют две соосно расположенные насадки, одна из них предназначена для подачи рабочей жидкости, вторая – для подачи сжатого воздуха. Данные мониторы позволяют увеличивать эффективность разрушения горных пород за счет движения водяной струи внутри воздушной оболочки, которая экранирует ее от основной массы заполняющей скважину жидкости [12];
- *гидротурбинные мониторы* – обеспечивают вращение насадок вокруг оси инструмента за счет реактивной силы струи жидкости без вращения колонны труб с поверхности [13];
- *гидроимпульсные мониторы* – обеспечивают формирование нестационарных высоконапорных струй жидкости. Для создания прерывистых (импульсных) струй служат мониторы с механическими генераторами колебаний жидкости (внешние и внутренние прерыватели, мультипликаторы и др.) [2, 11, 14]. Для создания непрерывных (пульсирующих) струй служат:
 - мониторы с гидродинамическими генераторами колебаний жидкости в виде кавитаторов различных конструкций [15]. В таких устройствах формируются струи пульсирующе-кавитационного характера, способствующие интенсивному разрушению твердой поверхности. Разрушающее действие обусловлено возбуждением гидравлических ударных волн в процессе схлопывания кавитационных пузырьков [16, 17];
 - мониторы с воздушным пульсатором, работающим за счет введения порции воздуха в струю по принципу эжектора [18].

Гидроударный способ отделения горных пород от массива осуществляется действием гидравлических ударных волн (гидроударов) не струйного характера в призабойной зоне скважины. Основными разрушающими факторами данного способа являются волны сжатия и разряжения, при формировании которых горные породы разрушаются за счет ударного, репрессивного и депрессионного воздействий (проявления горного или пластового давления, гидропотоков и фильтрационных потоков) [19, 20]. Гидроударный способ РГП в процессе СГД рационально использовать с целью инициирования и интенсификации добычи. При этом можно выделить 2 группы методов данного способа.

К первой группе относятся имплозионные методы РГП, принцип действия [19, 21] которых основан на создании гидроударов за счет мгновенных перепадов между пластовым и забойным давлениями, используя при этом столб жидкости, заполняющей скважину. Ко второй группе относятся волновые методы РГП, принцип действия [22] которых основан на создании гидроударов за счет формирования гидродинамических упругих колебаний жидкости различной частоты.

Из имплозионных методов РГП применительно для условий СГД можно выделить следующие:

- *создание гидроударов эрлифтами.* При этом происходит вытеснение столба жидкости в скважине сжатым воздухом, при котором горные породы воспринимают большие нагрузки. Далее производится резкий сброс сжатого воздуха в атмосферу, при котором образуется мгновенная депрессия и создаются растягивающие нагрузки на горную породу [23];
- *создание гидроударов гидроэлеваторами (эжекторными насосами).* Данный метод положительно зарекомендовал себя при освоении водозаборных [19] и нефтяных скважин [21, 22]. Он обеспечивается при использовании скважинных гидроэлеваторных (эжекторных) снарядов с гидравлическими пакерами. При этом данные устройства спускаются в скважину на одинарной (бурильной) колонне труб, по которой подается рабочая жидкость, а вынос эжектируемого агента (пульпы) осуществляется по затрубному пространству (по обсадной колонне). В процессе работы эжекторного насоса происходит одновременное пакерование скважины (перекрывается кольцевое пространство между бурильной и обсадной колоннами). При откачке пульпы в пространстве под пакером образуется зона пониженного давления, которая определяется статическим уровнем и интенсивностью откачки. В результате резкой остановки насоса происходит распакование скважины и давление на продуктивный пласт увеличивается вследствие передачи давления столба жидкости, заполняющего скважину от динамического уровня до ее устья.
Из волновых методов РГП применительно для условий СГД можно выделить следующие:
- *создание гидроударов пневмоизлучателями.* Данный метод характеризуется выхлопами под большим давлением сжатого воздуха в призабойную зону скважины [24]. При этом процесс пневмоизлучения сопровождается пульсацией воздушного пузыря. В процессе СГД железных руд Курской магнитной аномалии положительные результаты были получены при интенсификации разрушения рудного массива с помощью импульсной установки АСП-С конструкции института «ВНИПИВзрывгеофизика» [25];
- *создание гидроударов взрывами.* Данный метод может существенно интенсифицировать процесс разрушения горных пород в процессе СГД [26]. Механизм действия взрыва в призабойной зоне скважины характеризуется схлопыванием газового пузыря, при котором возникают импульсы давления, сопровождающиеся волнами сжатия и разряжения, пульсирующим гидротоком переменного направления и фильтрационным потоком с большим градиентом. Взрывание зарядов положительно зарекомендовало себя при интенсификации добычи нефти [22] и декольматации фильтров водозаборных скважин [19, 20];
- *создание гидроударов гидродинамическими генераторами.* Данный метод характеризуется виброволновым воздействием на продуктивный пласт с формированием высокоамплитудных и низкочастотных (40–800 Гц) колебаний жидкости [22]. Испытание гидродинамических генераторов типа ГЖ и ГД2В (на основе вихревых усилительных центробежных форсунок) при СГД железных руд на Шемраевском месторождении Курской магнитной аномалии показало перспективность использования виброволнового воздействия с целью инициирования и интенсификации процесса добычи [27];
- *создание гидроударов акустическими излучателями.* Данный метод характеризуется волновым воздействием на продуктивный пласт с формированием высокочастотных (звуковых и ультрозвуковых) колебаний жидкости (акустическая кавитация). При этом в качестве акустических излучателей [28] могут использоваться пьезоэлектрические и магнетострикционные устройства. Известны положительные лабораторные данные [29] о применении ультразвука при скважинной гидродобыче для дезинтеграции глинистых золотосодержащих песков и увеличения радиуса полезного действия струи за счет снижения прочностных характеристик глинистых песков.
Депрессионный способ отделения горных пород от массива обеспечивается снижением гидростатического давления в скважине на продуктивный пласт, при котором нарушается равновесие сил, обуславливающих напряженное состояние пород. При этом горное давление выше лежащей толщ пород или пластовое давление продуктивного горизонта превышают гидростатическое, что сопровождается обрушением или осыпанием пород, либо течением водонасыщенной массы несвязанных твердых частиц (пльвунов) [20]. Для данного способа характерно разрушающее действие от постоянного перепада между пластовым и забойным давлениями в отличие от гидроударного способа, в котором преобладают мгновенные перепады.
В процессе СГД снижение гидростатического давления в скважине можно создать двумя методами:
 - понижением уровня подземных вод с образованием депрессионной воронки. Статический уровень при этом уменьшается до динамического. Данный метод реализуется при откачивании пульпы из добычных скважин, либо воды из вспомогательных (водопонижающих) скважин [6];
 - созданием разряжения в ограниченном объеме выемочной камеры при работе эрлифта, гидроэлеватора или вихреобразующего устройства.
Механический способ отделения горных пород от массива осуществляется с помощью специальных боковых и забойных породоразрушающих инструментов, входящих в состав скважинных снарядов. К таким инструментам относятся расширители и долота различных конструкций. Кроме то-

го, механическое разрушение возможно осуществлять при воздействии на горную породу абразивных частиц, перемещаемых потоком жидкости [30, 31].

В процессе СГД механическое отделение горных пород от массива используется при:

- увеличении производительности добычи крепких пород;
- бурении ствола скважины с целью углубки снаряда в процессе добычи;
- расширении призабойной зоны для образования камеры диаметром 500–1200 мм в зависимости от конструкции добычного снаряда [32]. Это необходимо для обеспечения устойчивой и более эффективной работы добычных устройств (выводных гидромониторов, гидроэлеваторов) в период их включения.

Основным недостатком данного способа отделения горных пород от массива, при использовании расширителей, является создание выемочных камер относительно малых диаметров. Обеспечить расширение до большого диаметра технически сложно, породоразрушающие органы (лопасти) при этом могут ломаться в опасном сечении. Уменьшить нагрузку на лопасти можно за счет ступенчатого увеличения диаметра скважины [11].

Комбинированный способ отделения горных пород от массива достигается совместным либо последовательным применением вышеназванных способов. На практике СГД часто используются гидродобычные снаряды, в которых реализуются как минимум 2 способа гидродинамического разрушения горных пород: гидромониторный и депрессионный. При этом основными функциями гидромонитора на начальном этапе работ по добыче являются первоначальное расширение скважины (на величину действия гидромониторной струи) и разубоживание пульпы. На последующем этапе работ основной функцией гидромонитора является разубоживание пульпы, а отделение горных пород от массива обеспечивается преимущественно депрессионным способом (эрлифтом или эжекторным насосом).

Известны такие способы комбинированного разрушения горных пород, как гидромониторно-эрозионный и гидроударно-эрозионный [30]. Гидромониторно-эрозионный способ заключается в разрушении пород высоконапорной струей жидкости, несущей твердые частицы, которые бомбардируют поверхность породы, что вызывает ее разрушение. Гидроударно-эрозионный способ представляет собой комбинацию эрозионного и гидроударного способов разрушения. Разрушение пород в этом случае осуществляется под действием гидравлических ударов жидкости большой частоты и ударами твердых частиц, насыщающих эту жидкость.

Кроме вышеназванных способов отделения горных пород от массива в процессе СГД известны предложения по интенсификации разрушения с помощью химического [33] и бактериологического [1] воздействий на продуктивные пласты.

Всасывание и подъем гидросмеси на поверхность. В процессе СГД всасывание и подъем гидросмеси (пульпы) на поверхность реализуется следующими способами (табл. 2): разряжением, вытеснением, механическим и их комбинацией. При этом разряжение в очистной камере можно создавать эрлифтами, гидроэлеваторами (эжекторными насосами) и вихревыми устройствами.

Способ подъема выбирается исходя из горно-геологических условий отработки продуктивных пластов: глубина залегания, гидрогеологическая характеристика продуктивного пласта и вмещающих пород, физико-механические свойства (удельный вес, размер максимальной фракции) и др. Кроме того, на выбор способа подъема гидросмеси на поверхность влияют технико-технологические особенности СГД: производительность добычи, консистенция пульпы на выходе из скважины, наличие и характеристика насосно-компрессорного оборудования.

Эрлифтный способ всасывания и подъема гидросмеси на поверхность осуществляется за счет создания разряжения в выемочной камере энергией расширения предварительно сжатого воздуха. Применение эрлифтного подъема в процессе СГД эффективно на обводненных месторождениях, представленных породами с большой проницаемостью [34].

Основными достоинствами эрлифтного способа являются [8, 32, 34, 35]: простота конструкции и высокая надежность работы, высокая производительность, возможность регулирования его работы, сравнительно большой диапазон высоты подъема гидросмеси, возможность подъема неоднородных по кусковатости горных пород за счет постоянного сечения подъемной трубы от всаса до слива. Основными недостатками технологии СГД с использованием эрлифтов являются: относительно низкий к.п.д., большие капитальные затраты на строительство компрессорных станций и воздухопроводов.

В зависимости от расположения воздухопроводных и пульпоподъемных труб в скважине, различают две основные схемы эрлифта [36]. По первой схеме трубы располагают параллельно (эксцентрично). Достоинством этой схемы является большое проходное отверстие для подъема пульпы, благодаря чему снижаются гидравлические сопротивления, требуются меньшее давление и расход воздуха. К недостаткам данной схемы эрлифта следует отнести сложную технологичность монтажа.

По второй схеме трубы располагают концентрично. При этом по сравнению с первой схемой монтаж эрлифта более прост, но создает большие гидравлические сопротивления. По данной схеме эрлифт может быть выполнен в различных вариантах: с расположением воздухоподающих труб внутри пульпоподъемных труб и с расположением пульпоподъемных труб внутри воздухоподающих труб.

Важным элементом эрлифта является смеситель (форсунка), который предназначен для смешивания жидкости и сжатого воздуха с возможно более полной передачей энергии воздуха потоку пульпы. Кроме того, он должен обеспечивать про-

пуск твердого материала без помех в пульпоподъемную трубу в рабочем режиме эрлифта. Смеситель чаще всего представляет собой перфорированный отрезок трубы длиной 2,0–2,5 м и с диаметром отверстий 4–6 мм. Количество отверстий выбирается с таким расчетом, чтобы их суммарная площадь была не менее чем в 2 раза больше площади сечения воздухопровода в свету. Известны также конструктивно другие типы смесителей – форсунки кольцевого и центрального подпружиненного типа [37]. При этом эрлифт с центральной форсункой работает с меньшими пульсациями и имеет наибольшую производительность, а автоматическое закрывание кольцевой щели при отсутствии подачи сжатого воздуха предотвращает попадание песка в щель и ее закупорку.

При использовании эрлифтного подъема гидросмеси из глубоких скважин необходимо повышать пусковое давление сжатого воздуха, что при-

водит к значительным энергозатратам. Для решения данной проблемы Е.В. Винц предложил применить несколько смесителей, последовательно установленных на пульповыдачной трубе [8]. Это решение позволяет увеличить глубину разработки при снижении пускового давления сжатого воздуха. Аналогичная технология применяется для вызова притока нефти (газа) с использованием пусковых клапанов в процессе освоения скважин [38].

Расчет параметров эрлифта заключается в определении длины и диаметров пульпоподъемных и воздухоподающих труб, которые будут определять необходимую глубину и диаметр эксплуатационной колонны или скважины, по которым подбирается необходимый компрессор, а также расхода и давления воздуха. Исходными данными для расчета эрлифта являются: глубина статического и динамического уровня, высота уровня разлива и проектный дебит скважины [36].

Таблица 2. Классификация способов, технических и технологических решений для реализации всасывания и подъема гидросмеси на поверхность в процессе СГД полезных ископаемых

Способы всасывания и подъема гидросмеси на поверхность	Пути реализации способов всасывания и подъема гидросмеси на поверхность	Технические и технологические решения для реализации способов всасывания и подъема гидросмеси на поверхность	
Разряжение	Эрлифтный	Создание разряжения в выемочной камере за счет энергии расширения предварительно сжатого воздуха	Использование эрлифтов, различающихся по расположению воздухоподающих и пульпоподъемных труб в скважине: <ul style="list-style-type: none"> – параллельное расположение; – расположение воздухоподающих труб внутри пульпоподъемных; – расположение пульпоподъемных труб внутри воздухоподающих
			Использование эрлифтов, различающихся по конструктивному исполнению смесителей: <ul style="list-style-type: none"> – с кольцевым смесителем; – с центральным смесителем; – с перфорированным смесителем
			Использование эрлифтов, различающихся по количеству установленных смесителей: <ul style="list-style-type: none"> – с одним смесителем; – с последовательно установленными по глубине смесителями
	Гидроэлеваторный (эжекторный)	Создание разряжения в выемочной камере за счет кинетической энергии потока жидкости	Использование гидроэлеваторов, различающихся по местоположению активной струи в плоскости начального сечения камеры смешения: <ul style="list-style-type: none"> – гидроэлеваторы центрального типа: <ul style="list-style-type: none"> • с нисходящей рабочей струей; • с восходящей рабочей струей; – гидроэлеваторы кольцевого типа: <ul style="list-style-type: none"> • с одноповерхностной рабочей струей; • с двухповерхностной рабочей струей
	Вихревой	Создание разряжения в выемочной камере за счет закрученного потока жидкости	Использование вихреобразующих устройств: <ul style="list-style-type: none"> – гидромониторные; – механические
Вытеснение	Создание противодействия в выемочной камере рабочим агентом	Нагнетание сжатого воздуха Нагнетание рабочей жидкости	
Механический	Подъем разрушенной породы с помощью механических устройств, входящих в состав гидродобычных снарядов		Винтовые транспортеры (шнеки, змеевики)
			Породосборники
Комбинированный	Совместное применение разряжения, вытеснения и механических способов всасывания и подъема гидросмеси на поверхность	Технические и технологические решения для реализации указанных способов всасывания и подъема гидросмеси на поверхность	

Гидроэлеваторный (эжекторный) способ всасывания и подъема гидросмеси на поверхность осуществляется за счет создания разрежения в выемочной камере кинетической энергией потока жидкости. Для этой цели используют специальные струйные насосы – гидроэлеваторы (эжекторные насосы).

Основными достоинствами применения гидроэлеваторов для СГД являются [8, 32, 34]: относительная простота конструкции, возможность подъема пульпы высокой консистенции, возможность подъема гидросмеси из незатопленной очистной камеры, что значительно увеличивает эффективность гидромониторного размыва пород. Основными недостатками применения гидроэлеваторов для СГД являются: относительно низкий к.п.д., высокий абразивный износ некоторых узлов эжекторного насоса (конфузора и камеры смешения), снижение эффективности работы при увеличении высоты подъема гидросмеси, ограничение по крупности поднимаемых кусков породы.

Для подъема пульпы при СГД применяются гидроэлеваторы двух типов: кольцевого и центрального, которые различаются по местоположению активной струи в плоскости начального сечения камеры смешения [32]. Гидроэлеваторы кольцевого типа при равных расходах активного потока лучше работают на всасывание по сравнению с гидроэлеваторами с центральной рабочей струей. Гидроэлеваторы центрального типа обладают более высоким напором, и им следует отдать предпочтение при подъеме пульпы с больших глубин. Совместная работа гидроэлеваторов центрального и кольцевого типа приводит к повышению к.п.д. до 27–30 %.

Расчет гидроэлеваторов сводится к определению их конструктивных и гидравлических параметров, развиваемого при этом к.п.д. и докавитационного режима работы. При СГД полезных ископаемых возможны следующие варианты расчета эжекторных устройств [39]:

- при заданных значениях производительности добычи руды по твердому компоненту и глубине подъема пульпы определяются необходимая производительность и давление нагнетания рабочей жидкости, по которым выбирается насос;
- при заданных значениях глубины подъема пульпы и напорно-расходной характеристики насоса определяется производительность добычи по твердому компоненту;
- при заданных значениях производительности добычи руды по твердому компоненту, глубины залегания продуктивного пласта, напорно-расходной характеристики насоса определяется высота подъема пульпы.

Вихревой способ всасывания и подъема гидросмеси на поверхность осуществляется при создании разрежения в выемочной камере специальными вихреобразующими устройствами. Данные устройства формируют закручивание потока жидкости и по принципу работы могут быть двух видов: механические и гидромониторные. При этом

механические устройства могут создавать вихревой поток жидкости (гидросмеси) при вращении с большой частотой шнека [40] или лопастного устройства (турбинки). Гидромониторные устройства создают вихревой поток жидкости за счет кольцевой струи, вытекающей из вращающегося гидромонитора. При этом установлено, что обеспечить эффективное удаление горной массы в процессе СГД, при вращении гидромонитора, можно путем регулирования мощности, угла атаки и высоты позиционирования над забоем струи жидкости [41]. Гидромониторные вихреобразующие устройства нашли широкое применение в струйно-вихревой геотехнологии [12].

Всасывание и подъем гидросмеси на поверхность способом вытеснения заключается в создании противодействия в выемочной камере. Данный способ подъема гидросмеси эффективно зарекомендовал себя при добыче соли методом подземного растворения через скважины и при строительстве подземных хранилищ в отложениях каменной соли и мерзлых осадочных породах [34]. Его положительной стороной является большая производительность по гидросмеси и низкая энергоёмкость подъема, обусловленная только гидравлическим сопротивлением в трубах и плотностью поднимаемой пульпы. Однако для реализации данного способа подъема необходимым условием является непроницаемость пород, а также обеспечение герметичности очистной камеры.

Вытеснение может создаваться двумя способами, характеризующимися видом рабочего агента: нагнетанием сжатого воздуха [13] или рабочей жидкостью [42].

Механический способ всасывания и подъема гидросмеси на поверхность осуществляется с помощью специальных устройств, входящих в состав скважинных снарядов. К таким устройствам относятся:

- винтовые транспортеры (шнеки, змеевики), которые поднимают разрушенную породу на поверхность при их вращении. Данный вариант подъема гидросмеси нашел применение в струйной геотехнологии [12];
- породосборники, которые накапливают крупные куски породы, не проходящие в приемные отверстия всаса, и поднимаются на поверхность в месте со снарядом после окончания запланированной добычи [5]. Данный вариант подъема позволяет повысить достоверность отбора проб за счет снижения потерь полезного ископаемого.

Комбинированный способ всасывания и подъема гидросмеси на поверхность осуществляется при совместном использовании комбинаций вышеуказанных способов. Необходимость создания комбинаций возникает для увеличения высоты подъема гидросмеси и производительности добычи.

При СГД полезных ископаемых используются следующие варианты комбинаций способов всасывания и подъема пульпы на поверхность:

- гидроэлеваторно-эрлифтный, где всасывание гидросмеси производится гидроэлеватором, а дальнейший подъем – эрлифтом [43];
- эрлифтно-вытесняющий, в котором подъем гидросмеси осуществляется эрлифтом, а всасывание – за счет создания противодавления в отработываемой камере рабочей жидкостью [34] или сжатым воздухом [42];
- эрлифтно-струйный, в котором используются струйные устройства с рабочим агентом в виде сжатого воздуха [44];
- гидроэлеваторно (эрлифтно)-вихревой [40];
- вытесняюще-вихревой [12].

Выводы

1. Выявлены основные способы разрушения горных пород, всасывания и подъема гидросмеси на поверхность в процессе СГД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых / В.Ж. Аренс, Н.И. Бабичев, А.Д. Башкатов, О.М. Гридин, А.С. Хрулев, Г.Х. Хчеян. – М.: Изд-во «Горная книга», 2007. – 295 с.
2. Шавловский С.С. Основы динамики струй при разрушении горного массива. – М.: Наука, 1979. – 174 с.
3. Исмагилов Б.В., Селищев М.А. Экспериментальное исследование параметров затопленной струи и гидромониторной головки // Проблемы геотехнологии: сборник статей. – М.: ГИГХС, 1972. – Вып. 21. – С. 286–296.
4. Process of mining ore from beneath an overburden of earth formation: pat. 3393013 US; filling date 17.01.1966; publ. 16.07.1968.
5. Способ извлечения слабосвязанных пород полезных ископаемых из подземных формаций и устройство для его осуществления: а.с. 1682574 СССР. № 4702961/03; заявл. 09.06.1989, опубл. 07.10.1991, Бюл. № 37. – 3 с.
6. Скважинный гидродобычный комплекс: пат. 51107 Рос. Федерация. № 2005124648/22; заявл. 02.08.2005; опубл. 27.01.2006, Бюл. № 03. – 2 с.
7. Apparatus for inserting down hole mechanism through bore holes: pat. 3400980 US; filling date 11.03.1966; publ. 10.09.1968.
8. Шпак Д.Н. Добыча глубинных песчанно-гравийных строительных материалов через скважины // Проектирование и строительство трубопроводов и газонефтепромысловых сооружений: научнотехнический обзор. – М.: Информнефтегазстрой, 1982. – Вып. 4. – 36 с.
9. Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых: а.с. 825966 СССР. № 2812000; заявл. 10.08.1979; опубл. 30.04.1981, Бюл. № 16. – 3 с.
10. Borehole mining method: pat. 6688702 US. № 10/318, 680; filling date 16.12.2004; publ. 10.02.2004.
11. Башкатов А.Д. Прогрессивные технологии сооружения скважин. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 554 с.
12. Бройд И.И. Струйная геотехнология. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – 448 с.
13. Устройство для подземной разработки полезных ископаемых гидравлическим способом: а.с. 58591 СССР. № 196161; заявл. 15.06.1936; опубл. 01.01.1940.
14. Совершенствование гидроструйных технологий в горном производстве / В.А. Бреннер, А.Б. Жабин, М.М. Щеголевский, Ал.В. Поляков, Ан.В. Поляков. – М.: Изд-во МГТУ Горная книга, 2010. – 343 с.
15. Кавитатор для подводной очистки закольматированных поверхностей твердых тел: пат. 2258130 Рос. Федерация. № 2004135274/03; заявл. 03.12.2004; опубл. 10.08.2005, Бюл. № 22. – 7 с.
16. Сердюк Н.И. Совершенствование технологии кавитационного декольматажа фильтровой области гидрогеологических скважин: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2005. – 294 с.
17. Conn A.F. et al. Cavitating Bit Jets Promise Faster Drilling for Deep-Hole Operations // Oil and Gas Journal. – 1977. – V. 75. – P. 129–146.
18. Сигаев Е.А. Исследование гидроотбойки пульсирующими гидромониторными струями // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1964. – № 2. – С. 39–43.
19. Специальные работы при бурении и оборудовании скважин на воду / Д.Н. Башкатов, С.Л. Драхлис, В.В. Сафонов, Г.П. Квашнин. – М.: Недра, 1988 – 268 с.
20. Квашнин Г.П. Технология вскрытия и освоения водоносных пластов. – М.: Недра, 1987. – 247 с.
21. Попов А.А. Импульсия в процессах нефтедобычи. – М.: Недра, 1996. – 186 с.
22. Дыбленко В.П. Волновые методы воздействия на нефтяные пласты с трудноизвлекаемыми запасами. Обзор и классификация. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2008. – 80 с.
23. Способ скважинной гидродобычи: пат. 2038480 Рос. Федерация. № 5033738/03; заявл. 18.02.1992; опубл. 27.06.1995, Бюл. № 4. – 3 с.
24. Добычной снаряд: пат. 2012812 Рос. Федерация. № 5033749/03; заявл. 18.02.1992; опубл. 15.05.1994, Бюл. № 4. – 3 с.
25. Опыт скважинной гидродобычи руд на Шемраевком участке КМА / В.Ж. Аренс, А.В. Панков, А.Г. Балашов, И.И. Толочков, И.П. Петров // Горный журнал. – 1995. – № 1. – С. 23–26.
26. Способ разработки месторождений твердых полезных ископаемых: пат. 2032074. Рос. Федерация. № 4949444/03; заявл. 21.05.1991; опубл. 27.03.1995, Бюл. № 4. – 3 с.
27. Повышение продуктивности и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия / В.П. Дыбленко, Р.Н. Камалов, Р.Я. Шарифулин, И.А. Туфанов. – М.: Недра, 2000. – 381 с.
28. Устройство для скважинной гидродобычи: а.с. 1620631 СССР. № 4639363; заявл. 17.01.1989; опубл. 15.01.1991, Бюл. № 2. – 3 с.
29. Наймушин А.С., Штреслер К.А., Овинников В.А. Об экономической целесообразности отработки высокоглинистых россыпей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 10. – С. 62–67.
30. Сулакшин С.С., Чубик П.С. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 367 с.

31. Заурбеков С.А. Повышение эффективности призабойных гидродинамических процессов при шароструйном бурении скважин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Алматы, 1995. – 18 с.
32. Сергиенко И.А., Мосеев А.Ф. Бурение и оборудование геотехнологических скважин. – М.: Недра, 1984. – 224 с.
33. Chemical comminution and mining of coal: pat. 3850477 US; filing date 29.06.1973; publ. 26.11.1974.
34. Хрулев А.С. Способы и средства подъема гидросмеси при скважинной гидродобыче // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – № 5. – С. 112–116.
35. Гидроподъем полезных ископаемых / Я.К. Антонов, Л.Н. Козыряцкий, В.А. Малошкина, Холмогоров А.П., Хунис Я.Е. – М.: Недра, 1995. – 172 с.
36. Шестеров В.П., Шмурыгин В.А., Бондарчук И.Б. Сооружение, ремонт и эксплуатация водозаборных скважин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 148 с.
37. Аренс В.Ж., Исмагилов Б.В., Шпак Д.Н. Скважинная гидродобыча твердых полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980. – 229 с.
38. Освоение скважин: Справочное пособие / под ред. Р.С. Яремейчука. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. – 473 с.
39. Горшенин Н.Е., Бондарчук И.Б. Особенности расчета и конструирования эжекторных устройств для снарядов скважинной гидродобычи полезных ископаемых // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XII Международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – С. 529–531.
40. Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых и скважинный гидродобычной агрегат для его осуществления: пат. 2109949 Рос. Федерация. № 97100494/03; заявл. 22.01.1997; опубл. 27.04.1998, Бюл. № 4. – 3 с.
41. Горшенин Н.Е. Организация массопереноса в затопленном очистном пространстве при скважинной гидродобыче // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 179–183.
42. Устройство для добычи полезных ископаемых через скважины: а.с. 1700249 Рос. Федерация. № 4722963; заявл. 24.07.1989; опубл. 23.12.1991, Бюл. № 47. – 4 с.
43. Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых: пат. 2113591 Рос. Федерация. № 97119113/03; заявл. 26.11.1997; опубл. 20.06.1998, Бюл. № 4. – 3 с.
44. Куликов В.В., Габдрахманова М.С., Пенкевич С.В. Использование эрлифтно-струйных водоподъемников // Изв. ВУЗов: Геология и разведка. – 2003. – № 5. – С. 63–66.

Поступила 19.12.2013 г.

UDC 622.277

MODERN CONCEPTS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN DEVELOPMENT OF PRODUCTIVE FORMATIONS BY HYDRAULIC BOREHOLE MINING

Igor B. Bondarchuk,

Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

E-mail: bond_ib@mail.ru

Sergey Ya. Ryabchikov,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,

Tomsk, 634050, Russia. E-mail: kafedrabs@mail.ru

The relevance of the work is determined by the need to develop productive formations of solid commercial minerals by hydraulic borehole mining. The main advantage of the method consists in mineral extracting in difficult geological conditions, excluding tunneling of mine workings and construction of the quarries.

Objective of the work: identification and analysis of major means, technical and technological solutions for implementation of rock destruction, absorption and rising of hydraulic fluid to the surface at hydraulic borehole mining.

Research methods: analysis and summary of the literary sources.

Results: The authors have determined the main methods of rock destruction, absorption and rising of hydraulic fluid to the surface at hydraulic borehole mining. The paper introduces the advanced idea of the basic technological processes of hydraulic borehole mining, related to productive formation development. The classifications were worked out. They systematize and generalize the information on means, technical and technological solutions for implementation of rock destruction, absorption and rising of hydraulic fluid to the surface at hydraulic borehole mining. The classification data will significantly simplify the choice and improvement of technological processes to improve the performance of minerals hydraulic borehole mining.

Key words:

Hydraulic borehole mining, technological processes, rock breaking, rock separation from mass, absorption and rise of slurry.

REFERENCES

- Arens V.Zh., Babichev N.I., Bashkatov A.D., Gridin O.M., Hrulev A.S., Hchejan G.H. *Skvazhinnaya gidrodobycha poleznykh iskopaemykh* [Hydraulic borehole mining]. Moscow, Gornaya kniga Publ., 2007. 295 p.
- Shavlovsky S.S. *Osnovy dinamiki struy pri razrushenii gornogo massiva* [The basis of the jet dynamics in mountain massif destruction]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 174 p.
- Ismagilov B.V., Selishchev M.A. Eksperimentalnoe issledovanie parametrov zatoplennoy strui i gidromonitornoy golovki [Experimental research of submerged jet parameters and jet head]. *Problemy geotekhnologii: sbornik statey* [Problems of geotechnique: papers]. Moscow, GIGHS Publ., 1972, vol. 21, pp. 286–296.
- Harper D.C., Hammer O. *Process of mining ore from beneath an overburden of earth formation*. Patent US, no. 3393013, 1968.
- Nikolaev V.A., Maltsev V.M., Durnikin V.I. *Sposob izvlecheniya slabosvyazannykh porod poleznykh iskopaemykh iz podzemnykh formatsy i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method of extracting loosely rocks minerals from underground formations and the device for its implementation]. Patent USSR, no. 1682574, 1991.
- Ponomarenko Yu.V., Petrichenko V.P., Streltsov V.I. *Skvazhinny gidrodobychnoy kompleks* [Downhole hydrodevices complex]. Patent RF, no. 51107, 2006.
- Dahms J.B., Edmonds B.P. *Apparatus for inserting down hole mechanism through bore holes*. Patent US, no. 3400980, 1968.
- Shpak D.N. *Dobycha glubinykh peschanno-graviynykh stroymaterialov cherez skvazhiny* [Mining deep sand-gravel materials through wells]. *Proektirovanie i stroitelstvo truboprovodov i gazoneftpromyslovyyh sooruzheniy: nauchno-tehnicheskyy obzor* [Design and construction of pipe lines and gas and oil-field facilities. Scientific review]. Moscow, Informneftgazstroy Publ., 1982. Vol. 4. 36 p.
- Shpak D.N., Arens V.Zh., Bukseev V.V., Mishutkin V.F., Frolov N.P., Lyakhov A.I. *Ustroystvo dlya skvazhinnoy gidrodobychi poleznykh iskopaemykh* [Device for hydraulic borehole mining]. Patent USSR, no. 825966, 1981.
- Abramov G.A., Wiley M.A. *Borehole mining method*. Patent US, no. 6688702, 2004.
- Bashkatov A.D. *Progressivnyye tehnologii sooruzheniya skvazhin* [Well construction progressive technologies]. Moscow, Nedra-Biznestsentr Publ., 2003. 554 p.
- Broyd I.I. *Struynaya geotekhnologiya* [Inkjet Geotechnology]. Moscow, Associatsii stroitelnykh vuzov Publ., 2004. 448 p.
- Tupitsyn P.M. *Ustroystvo dlya podzemnoy razrabotki poleznykh iskopaemykh gidravlicheskim sposobom* [Device for underground mining of minerals hydraulic method]. Patent USSR, no. 58591, 1940.
- Brenner V.A., Zhabin A.B., Shchegolevsky M.M., Polyakov Al.V., Polyakov An.V. *Sovershenstvovanie gidrostruynykh tekhnologiy v gornom proizvodstve* [Improvement of water-jet technologies in mining production]. Moscow, MGGU Gornaya kniga Publ., 2010. 343 p.
- Serdyuk N.I., Cherkasov V.I., Kravchenko A.E., Bebenin V.Yu. *Kavitator dlya podvodnoy ochestki zakolmatirovannykh poverkhnostey tverdykh tel* [Cavitator for underwater cleaning kolmat solid surfaces]. Patent RF, no. 2258130, 2005.
- Serdyuk N.I. *Sovershenstvovanie tekhnologiy kavitatsionnogo dekolmatazha filtrovoy oblasti gidrogeologicheskikh skvazhin*. *Dokt. Diss.* [Perfection of cavitation decolletage of filter field in hydrogeological wells. Dr. Diss.]. Moscow, 2005. 294 p.
- Conn A.F. *Cavitating Bit Jets Promise Faster Drilling for Deep-Hole Operations*. *Oil and Gas Journal*, 1977, vol. 75, pp. 129–146.
- Sigaev E.A. *Issledovanie gidrootboyki pulsiruyushchimi gidromonitornymi struyami* [The study of hydraulic winning with pulsating giant jets]. *Izvestiya VUZov. Gornyy zhurnal*, 1964, no. 2, pp. 39–43.
- Bashkatov D.N., Drakhlis S.L., Safonov V.V., Kvashnin G.P. *Spetsialnye raboty pri burenii i oborudovanii skvazhin na vodu* [Special works for drilling and equipping wells for water]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 268 p.
- Kvashnin G.P. *Tekhnologiya vskrytiya i osvoeniya vodonosnykh plastov* [Aquifer opening and development]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 247 p.
- Popov A.A. *Implaziya v protsessakh neftedobychi* [The implosion in production]. Moscow, Nedra Publ., 1996. 186 p.
- Dyblenko V.P. *Volnovyye metody vozdeystviya na neftyanye plasty s trudnoizvlekaemymi zapasami. Obzor i klassifikatsiya* [Wave methods of influence on oil reservoirs with hard to recover reserves. Overview and classification]. Moscow, VNIIO ENG Publ., 2008. 80 p.
- Gostyukhin P.D., Bolotov V.A., Toloknov I.I. *Sposob skvazhinnoy gidrodobychi* [The method of hydraulic borehole mining]. Patent RF, no. 2038480, 1995.
- Toloknov I.I., Pankov A.V., Prokshits V.I., Kolomiets A.M. *Dobychnoy snaryad* [Mining shell]. Patent RF, no. 2012812, 1994.
- Arens V.Zh., Pankov A.V., Balashov A.G., Toloknov I.I., Petrov I.P. *Opyt skvazhinnoy gidrodobychi rud na Shemraevkom uchastke KMA* [The experience of ore hydraulic borehole mining on Shamraevka plot KMA]. *Gornyy zhurnal*, 1995, no. 1, pp. 23–26.
- Dmitriev V.A., Babichev N.I., Iskuzhin S.M., Abramov G.Yu., Simich R. *Sposob razrabotki mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopaemykh* [The method of mining solid minerals]. Patent RF, no. 2032074, 1995.
- Dyblenko V.P., Kamalov R.N., Shariffulin R.Ya., Tufanov I.A. *Povyshenie produktivnosti i reanimatsiya skvazhin s primeneniem vibrovolnovogo vozdeystviya* [Increased productivity and resuscitation of wells applying vibration wave action influence]. Moscow, Nedra Publ., 2000. 381 p.
- Pakulov A.I., Krayzmaya E.M. *Ustroystvo dlya skvazhinnoy gidrodobychi* [Device for hydraulic borehole mining]. Patent USSR, no. 1620631, 1991.
- Naymushin A.S., Shtresler K.A., Ovinnikov V.A. *Ob ekonomicheskoy tselesoobraznosti otrabotki vysokoglinistykh rossypey* [Economic expediency of mining high-clayey placers]. *Gornyy informatsionno-analiticheskyy byulleten*, 2007, vol. 10, pp. 62–67.
- Sulakshin S.S., Chubik P.S. *Razrushenie gornykh porod pri provedenii geologorazvedochnykh rabot* [Rock destruction at exploration works]. Tomsk, TPU Publ., 2011. 367 p.
- Zaurbekov S.A. *Povyshenie effektivnosti prizaboynykh gidrodinamicheskikh protsessov pri sharostruynom burenii skvazhin*. *Avto-ref. Kand. Diss.* [Improving the efficiency of bottom hole hydrodynamic processes at impact drilling. Cand. Diss. Abstract]. Almaty, 1995. 18 p.
- Sergienko I.A., Moseev A.F. *Burenie i oborudovanie geotekhnologicheskikh skvazhin* [Drilling and equipment for geotechnological wells]. Moscow, Nedra Publ., 1984. 224 p.
- Aldrich R., Keller D., Sawyer R. *Chemical comminution and mining of coal*. Patent US, no. 3850477, 1974.
- Khrulev A.S. *Sposoby i sredstva podema gidrosmesi pri skvazhinnoy gidrodobychi* [Ways and means of lifting slurry in hydraulic borehole mining]. *Gornyy informatsionno-analiticheskyy byulleten*, 2000, no. 5. pp. 112–116.
- Antonov Ya.K., Kozyryatsky L.N., Maloshkina V.A., Kholmogorov A.P., Khunis Ya.E. *Gidropodem poleznykh iskopaemykh* [Minerals hydraulic lift]. Moscow, Nedra Publ., 1995. 172 p.
- Shesterov V.P., Shmurygin V.A., Bondarchuk I.B. *Sooruzhenie, remont i ekspluatatsiya vodozabornykh skvazhin* [Construction, repair and operation of water supply wells]. Tomsk, TPU Publ., 2009. 148 p.
- Arens V.Zh., Ismagilov B.V., Shpak D.N. *Skvazhinnaya gidrodobycha tverdykh poleznykh iskopaemykh* [Hydraulic borehole mining of solid minerals]. Moscow, Nedra Publ., 1980. 229 p.

38. *Osvoenie skvazhin: Spravochnoe posobie* [Development of wells: a Reference Guide]. Ed. R.S. Yaremeychuk. Moscow, Nedra-Biznestsentr Publ., 1999. 473 p.
39. Gorshenin N.E., Bondarchuk I.B. Osobennosti rascheta i konstruirovaniya ezhektornykh ustroystv dlya snaryadov skvazhinnoy gidrodobychi poleznykh iskopaemykh [Features of ejecting device calculation and design for hydraulic borehole mining]. *Problemy geologii i osvoeniya nedr: Trudy XII Mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova* [Problems of Geology and exploration of mineral resources: Proc. of the XII Intern. scientific Symposium of academician M.A. Usov]. Tomsk, TPU Publ., 2008, pp. 529–531.
40. Agoshkov A.I., Babichev N.I., Vasyanovich A.M. *Sposob skvazhinnoy gidrodobychi poleznykh iskopaemykh i skvazhinny gidrodobychnoy agregat dlya ego osushchestvleniya* [The method of hydraulic borehole mining and device for its implementation]. Patent RF, no. 2109949, 1998.
41. Gorshenin N.E. Organizatsiya massoperenosa v zatoplennom ochistnom prostranstve pri skvazhinnoy gidrodobyche [Organization of mass transfer in a flooded space during hydraulic borehole mining]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 321, no. 1. pp. 179–183.
42. Romanenko V.A., Zinovev K.V., Rachinsky F.A. *Ustroystvo dlya dobychi poleznykh iskopaemykh cherez skvazhiny* [Device for extraction of minerals through wells]. Patent RF, no. 1700249, 1991.
43. Gushchin V.G. *Ustroystvo dlya skvazhinnoy gidrodobychi poleznykh iskopaemykh* [Device for hydraulic borehole mining]. Patent RF, no. 2113591, 1998.
44. Kulikov V.V., Gabdrakhmanova M.S., Penkevich S.V. Ispolzovanie erliftno-struynykh vodopodemnikov [The use of airlifting-inject devices for lifting water]. *Izvestiya VUZov: Geologiya i razvedka*, 2003, no. 5, pp. 63–66.

УДК 711.4–163

РЕДЕВЕЛОПМЕНТ КАК СРЕДСТВО ЭКОЛОГИЗАЦИИ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Попов Виктор Константинович,

д-р геол.-минерал. наук, профессор каф. гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: pvk@tpu.ru

Серяков Сергей Владимирович,

канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры общей геологии и землеустройства Института природных ресурсов ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: Serykov-Sergey@rambler.ru

Серякова Розалия Эримовна,

аспирант, ассистент кафедры общей геологии и землеустройства Института природных ресурсов ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: kh.rozali@gmail.com

*Распространение уплотненной застройки жилого и общественно-делового назначения в центральных частях крупных городов России, при наличии площадей, занимаемых недействующими промышленными объектами, обуславливает **актуальность** работы. Активизация градостроительной деятельности в г. Томске в виду естественного увеличения численности населения, повлекшая необходимость корректировки генерального плана городской территории и плана улично-дорожной сети, перспективы создания томской агломерации, выражают необходимость применения экологизированных подходов к развитию земель.*

Цель: выявить и произвести анализ проблем экологизации территориального планирования в г. Томске, выдвинуть гипотезу об эффективности применения проектов редевелопмента для их устранения.

Методы: сравнительного, исторического и логического анализа, а также иные общепринятые аналитические методы.

Результаты: выявлены проблемы экологизации городского пространства с точки зрения управления земельно-имущественными комплексами, а также проблемы развития и нормативно-правового регулирования института редевелопмента. Сформулировано определение термина «редевелопмент» с точки зрения градостроительного зонирования городских территорий. Определены основные территории г. Томска, занимаемые действующими и недействующими промышленными объектами. Предложены некоторые методические подходы к оценке эффективности проектов редевелопмента. Сделан вывод о перспективах использования проектов редевелопмента как эффективного метода экологизации урбанизированных территорий.

Ключевые слова:

Редевелопмент, земельно-имущественный комплекс, градостроительное зонирование, экологизация, урбанизированные территории, эффективность.

На переломе веков и тысячелетий Россия столкнулась со значительным количеством нерешенных проблем в области землеустройства урбанизированных территорий. Основные признаки проблемных ситуаций проявляются в наиболее значимых аспек-

тах устойчивого развития общества (социальных, экологических и экономических). Согласно оценкам экспертов, около 15 % территории Российской Федерации по экологическим показателям находятся в критическом состоянии [1], что, несомнен-

но, воздействует на социальные и экономические показатели благополучия государства. Оптимизации основных аспектов состояния урбанизированных территорий можно достичь посредством создания в их пределах экологизированной среды. Решение данной задачи является магистральным направлением современного землеустройства.

Экологизация урбанизированных территорий – процесс, направленный на сохранение и преумножение качества природной среды урбанизированных территорий, системную и последовательную реализацию законодательных, управленческих, экономических, технических и иных решений, которые позволят повысить эффективность исполь-

зуемых ресурсов (в том числе и земельных) и снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду [2]. Одним из важных обстоятельств, препятствующих становлению института экологизированного землеустройства, является градостроительная проблема, заключающаяся в том, что ввиду расширения границ городов многие объекты промышленного производства, которые изначально возводились на окраинах, оказались в самых центральных районах, что привело к распространению нерациональных схем развития территорий (рис. 1). Решением данной проблемы может выступить процесс, популярный во всём мире, – редевелопмент промышленных зон.



Рис. 1. Санитарно-защитные зоны промышленных предприятий г. Томска

Редевелопмент – это процесс изменения функционального назначения земельно-имущественного комплекса посредством изменения концепта входящих в его состав объектов с целью наиболее эффективного использования. Первые крупномасштабные проекты такого рода появились в 30-х гг. прошлого столетия в Соединенных Штатах Америки. В те годы крупные организации приобретали право собственности на более мелкие и убыточные, физически и морально устаревшие и перепрофилировали их в более привлекательные объекты с социально-экономической и экологической точек зрения. Именно таким образом многие районы Нью-Йорка превратились в престижные жилые комплексы. В Европе проекты редевелопмента промышленных территорий наибольшую популярность приобрели в середине 80-х гг. В то время в Лондоне портовый район Docklands из пришедшей в упадок производственной зоны превратился в жилой район с хорошо организованной социальной инфраструктурой. Во Франции за счет реализации проектов редевелопмента в черте городов не осталось промышленных районов. В России понятие «редевелопмент» впервые стали использовать в середине 80-х гг., но проекты стали отчасти появляться только в конце 90-х – начале 2000-х гг. [3]. Так, например, по результатам конференции Российской академии архитектуры и строительных наук, проведенной в Томске в 1998 г., был сделан вывод о необходимости развития городской среды в соответствии с принципами «экологической политики» с учетом особенностей имеющейся технологий для решения проблем урбанизированных территорий.

В Томске размещение вредных, не отвечающих современным экологическим, экономическим, эстетическим требованиям, производственных предприятий в черте города, несомненно, должно уходить в прошлое. На территории их современного расположения необходимо возводить жилые районы с объектами инфраструктуры, рекреационными зонами, офисные центры. В большинстве мировых столиц доля территорий, занятых промышленными объектами, от общей площади города не превышает 10 % или вовсе отсутствуют, в то время как в Москве этот показатель равен 15...17 %, в Санкт-Петербурге – 14 %, в Томске – 40 % (рис. 1). Принимая во внимание приоритетное значение редевелопмента в организации и функциональном использовании земельно-имущественного комплекса, нами на примере г. Томска проанализирована структура и функциональное значение урбанизированных территорий, которые порой не отвечают современным экологическим, экономическим, эстетическим требованиям.

Согласно Постановлению Администрации города Томска от 30.08.2012 г. № 1009, приоритетным направлением градостроительной деятельности г. Томска в настоящее время является «интенсивное развитие наряду с улучшением состояния экологической среды» [4], что полностью отвечает концепции устойчивого развития современных городов.

Эффективное использование существующих городских территорий – важнейший фактор для реализации долгосрочных задач. Но на практике становление института редевелопмента сталкивается со следующими препятствиями:

- 1) высокой стоимостью подготовительных работ и затрат, которые включают: перенос производственных мощностей предприятий, рекультивацию земель, реконструкцию инженерных коммуникаций (при необходимости);
- 2) отсутствием адаптированной юридической базы, из-за чего проект становится долгим в исполнении;
- 3) отсутствием единения целей девелоперов, органов исполнительной власти и правообладателей – каждый преследует собственные интересы.
- 4) недостаточной активностью со стороны органов исполнительной власти, которые зачастую занимают позицию наблюдателя;
- 5) отсутствием системного подхода в выводе промышленных объектов за черту города.

Эти недостатки проявились в полную силу и в г. Томске при переезде Томского инструментального завода в п. Лоскутово, располагающийся в южной части города. В уже недействующих производственных корпусах планировалось создание торгово-развлекательного комплекса [5], но в кризисный период экономики строительство было заморожено. Таким образом, помещения пустуют, и, по данным публичной кадастровой карты, изменения функционального назначения на сегодняшний день не произошло [6]. Производственные мощности данного предприятия были вынесены за черту города, но использование земельного участка осталось нерациональным.

При выборе территории для размещения производственных предприятий необходимо учитывать розу ветров данной конкретной местности. На территории г. Томска преобладают южные ветра, поэтому территории промышленных предприятий целесообразно размещать в северной части города, либо к северу за границей города.

Благодаря редевелопменту, в г. Томске можно было бы решить сразу несколько задач, отвечающих концепции устойчивого развития территории на долгосрочную перспективу:

1. Улучшить экологическую ситуацию.
2. Исключить соседство жилых и производственных зон.
3. Освободить площадки в центральной части города для строительства социально-значимых объектов, предварительно проведя оценку стоимости земель.

В соответствии с результатами исследований, полученных при разработке Комплексной программы развития промышленности на территории муниципального образования «Город Томск» на период 2009–2015 годы, промышленная застройка в г. Томске является недостаточно компактной – промышленные площадки разрозненны и зачастую непосредственно соседствуют с жилой за-

стройкой [7]. Соответственно, более эффективное размещение производств может освободить земельные ресурсы в центре города. Проблема размещения производственной недвижимости в г. Томске является одним из основных сдерживающих факторов для развития промышленности.

Способствовать становлению института редевелопмента нерационально используемых объектов для создания экологизированной городской среды нужно, прежде всего, социальными и эколого-экономическими методами. Необходимо стимулировать правообладателей подобных объектов освобождать занятые ими территории таким образом, чтобы это не принесло ущерба ни производственным мощностям предприятия, ни местному бюджету, но способствовало улучшению качества окружающей среды. Это возможно с помощью следующих мероприятий:

1. Введения пониженной ставки земельного налога для правообладателей «переезжающих» объектов.
2. Снижение платы за подключение освоенных площадок к инженерным коммуникациям.
3. Рекультивация и восстановление нарушенной в результате промышленного использования земли должны проводиться за счет предыдущего и настоящего правообладателя освобождаемой площадки.

Для оценки эффективности и рациональности проекта редевелопмента необходимо учитывать, прежде всего, экономическую и экологическую целесообразность переноса производственных и иных объектов на другие территории. Подобные проекты оправданы в том случае, когда выгода от их реализации превышает вызываемый ущерб. Для эффективного управления и использования земельно-имущественного комплекса как единого объекта недвижимости необходимо понимать, что он представляет собой совокупность земельного участка и технологически или функционально связанного с ним имущества. В зависимости от особенностей и результатов деятельности объектов права и запланированного направления развития градостроительной политики (при наличии таковой) на конкретной урбанизированной территории, могут быть использованы следующие основные виды эффективности (схема).

В этой связи подробнее рассмотрим указанные виды эффективности управления земельно-имущественным комплексом.

1. Социальная эффективность выражается в степени достижения установленных индикаторов общего качества жизни, общественного благополучия, состояния окружающей среды, уровня развития социальной инфраструктуры и т. д., посредством управления земельно-имущественным комплексом.
2. Бюджетная эффективность характеризуется финансовыми последствиями проведения определенных работ по управлению земельно-имущественным комплексом для каждого уровня бюджета (федерального, регионального и местного), за счет:
 - проведения управленческих мероприятий;
 - доходов от приватизации и продажи государственных организаций;
 - понижения бюджетных отчислений на содержание имущества государственных организаций.

Бюджетная эффективность управления земельно-имущественным комплексом может быть рассчитана по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_Б = \frac{\sum (П_Б + П_{ВБФ}) - Л}{C_{ЗИК}}$$

где $\mathcal{E}_Б$ – бюджетная эффективность; $П_Б$ – поступления в бюджет; $П_{ВБФ}$ – поступления во внебюджетные фонды; $Л$ – льготы (если таковые имеются); $C_{ЗИК}$ – стоимость используемого земельно-имущественного комплекса [8].

Следует отметить, что после произведенного расчета результат следует сопоставлять с соответствующими нормативными показателями для разного вида объектов по сферам деятельности.

3. Коммерческая (финансовая) эффективность характеризует финансовые последствия проведенных управленческих мероприятий, по отношению к земельно-имущественному комплексу, для непосредственно заинтересованных лиц, исполнителей управления [9]. Коммерческую эффективность определяют путём расчета и сравнительного анализа показателей стоимостного (денежного) состояния земельно-имуще-

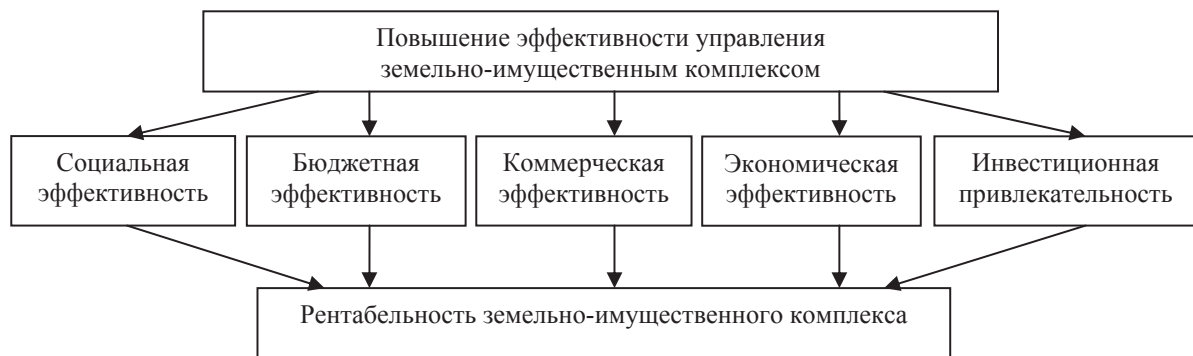


Схема. Взаимосвязь эффективности управления земельно-имущественного комплекса и рентабельности

ственного комплекса до и после проведения указанных мероприятий (например, ликвидность, привлечение заемных средств, оборачиваемость капитала, прибыльность).

4. Инвестиционная привлекательность управления земельно-имущественным комплексом заключается в степени минимизации затрат для достижения конкретной цели. Применительно к проектам редевелопмента, инвестиционно привлекательным будет считаться такой вариант предполагаемого эффективного использования, который потребует меньших финансовых вложений. Инвестиционная привлекательность особенно важна тогда, когда определение экономических выгод проблематично, но реализация проекта важна для общества (прежде всего это проекты экологической и социальной направленности).

Для этого необходимо обеспечить инвестиционную привлекательность земельно-имущественных комплексов за счет:

- а) разработки критериев эффективного землепользования и землевладения;
 - б) формирования стратегии изменения и дополнения земельно-имущественных правоотношений с учетом специфики земель различных категорий, особенностей управления землями населенных пунктов и развития городского хозяйства;
 - в) установления наиболее рациональных соотношений конкурентной и неконкурентной форм предоставления земельных участков с учетом инвестиционных задач, условий становления рынка недвижимого имущества и ипотечного кредитования, государственных и муниципальных нужд, а также социальных факторов.
5. В качестве обобщающего показателя рентабельности земельно-имущественного комплекса допустимо использовать расчет экономической эффективности, который заключается в соотношении затраченных на реализацию проекта средств и выгод от его реализации (в денежном эквиваленте). В общем виде экономическая эффективность характеризуется следующим правилом:

$$B - C > 0,$$

где B – выгоды; C – затраты.

Применительно к расчету экономической эффективности управления и использования земельно-имущественного комплекса необходимо учитывать выгоды и затраты в долговременной перспективе не только в свете экономических аспектов, но и с одновременной оценкой экологического эффекта. Подобный анализ возможен с помощью:

- фактора дисконтирования, приводящего будущие денежные потоки к настоящему моменту (r);
- экологического коэффициента, состоящего из экологических затрат и экологических выгод (E_i).

Таким образом, расчет экономической эффективности целесообразно производить по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t \pm E_t}{(1+r)^t},$$

где t – время (годы); NPV – чистая (приведенная) текущая стоимость; B_t – выгоды; C_t – затраты; E_t – сумма экологических выгод и издержек; r – коэффициент дисконтирования [8].

Если величина значения, полученного в результате расчета NPV , больше «нуля», то проект экономически эффективен и его реализация экономически целесообразна [8].

Увеличение инвестиционной привлекательности конкретного земельного участка позволит привлечь эффективных собственников и ускорить процесс редевелопмента нерационально используемого земельно-имущественного комплекса.

Реализация рассмотренных видов эффективного управления земельно-имущественным комплексом при обеспечении редевелопмента территории в г. Томске осуществимо, например, при уточнении границ территориальных зон. Кроме того, необходимо учитывать размер земельной ренты, для которой применим оценочный критерий, который определяется посредством анализа преимуществ выбранного вида использования земельного участка. Применение множественности альтернатив использования земель предполагает и многоаспектность оценок, следовательно, может возникнуть необходимость в редевелопменте. Например, при уточнении границ одной территориальной зоны выявлено, что в условиях застройки многоэтажными жилыми домами могут не только размещаться, но и активно функционировать объекты производственной деятельности. В этой связи мы наблюдаем явное нарушение норм:

1. Технических регламентов строительства, в том числе ФЗ от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», которым установлены противопожарные расстояния от зданий, сооружений и строений по взрывопожарной и пожарной опасности до ОПО (опасных производственных объектов) различного вида.
2. ФЗ от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».
3. Правил землепользования и застройки, принятых в административно-территориальных образованиях (рис. 2).

Изложенное иллюстрирует трудности реализации проектов редевелопмента, которые не могут основываться на одном оценочном показателе, что значительно затрудняет законодательное регулирование и исполнение нормативных актов [11]. Противоречивость этой ситуации заключается в том, что в интересах муниципального образования взимать земельный налог, а также получать дотации в бюджет за продукцию размещенного на его территории предприятия. Если предприятие переносится за границу муниципального образования, то, как следствие, подобные поступления прекращаются. Следует учитывать также, что реальная цена земель может значительно отличаться от оце-

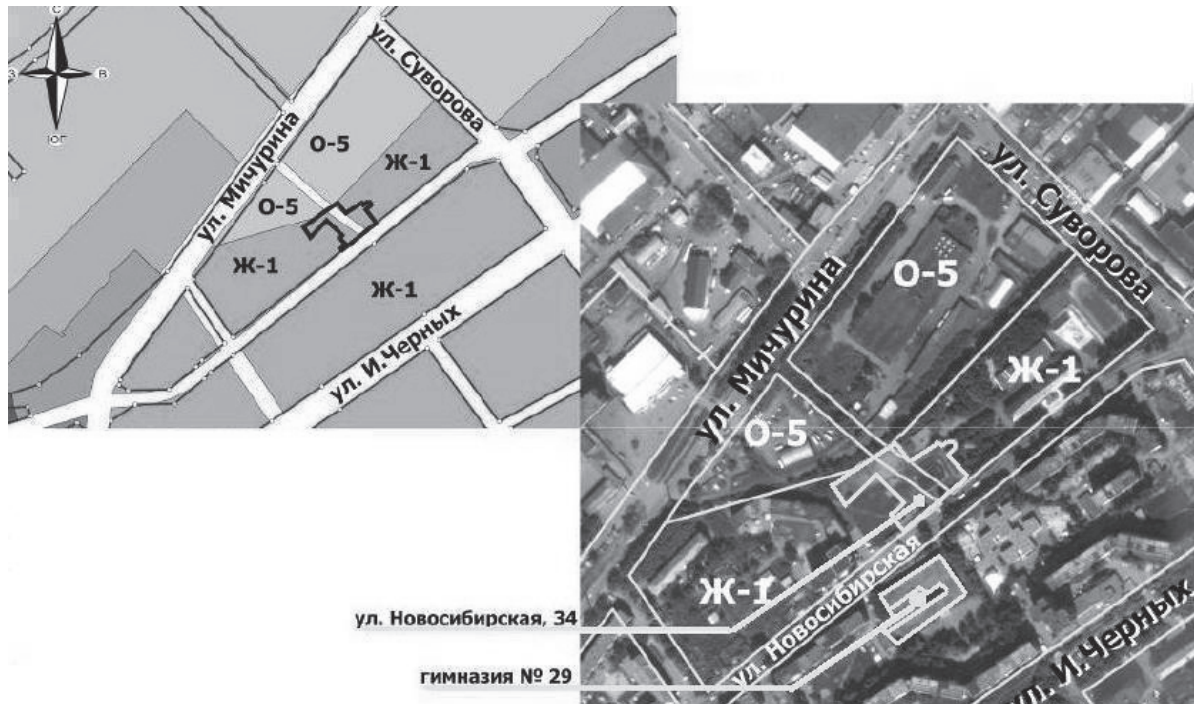


Рис. 2. Фрагмент схемы территориального зонирования в Октябрьском районе г. Томска: О-5 – производственно-деловая зона; Ж-1 – зона застройки многоэтажными жилыми домами [10]

ночной ввиду изменения ссудного процента банка, определяющего размер земельной ренты. Поэтому обеспечению редевелопмента территорий должна предшествовать разработка нормативного акта методологии оценки и механизма его реализации. Необходимо отметить, что в г. Томске и Томской области были приняты попытки разработать методики выбора земельных участков для размещения промышленных объектов после комплексного перенесения их из центральных частей города.

Таким образом, землеустроительные работы, тесно связанные с градостроительной деятельностью, остро нуждаются в разработке новых экологизированных методик их ведения, основанных на экономической эффективности в долговременной перспективе. Разработка комплексных проектов редевелопмента пришедших в упадок территорий может служить инструментом для «оздоровления» урбанизированной среды в городах не только в России, но и во всем мире.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года: утверждена распоряжением Правительства РФ от 17.11.2008 г. № 1662-р // Консультант Плюс – надежная правовая поддержка. 1997–2014. URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi? req=doc; base=LAW; n=90601/> (дата обращения 01.05.2013)
2. Попов В.К., Серяков С.В. Природно-техногенные условия экологизации землепользования урбанизированных территорий // Вестник науки Сибири. – 2012. № 1 (2). – С. 10–16. URL: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/182/141> (дата обращения: 20.04.2013).
3. Акатова М. Редевелопмент набирает обороты // Дома бизнес-класса Москвы и Московской области. 2012. URL: <http://mosoblhouse.ru/news/redevelopment-nabiraet-oboroty/> (дата обращения: 03.04.2013).
4. Постановления администрации города Томска № 1009 от 30.08.2012 г. Об утверждении городской долгосрочной целевой программы «Развитие промышленных и логистических парков в городе Томске на 2013 – 2015 годы» // Консультант Плюс – надежная правовая поддержка. 1997–2014. URL: <http://base.consultant.ru/regbase/cgi/online.cgi? req=doc; base=RLAW091; n=66423> (дата обращения: 11.04.2013).
5. Литвинова Е. «Новосибирский Промстройпроект» переводит инструменты // Коммерсантъ. – Новосибирск, 14.02.2008. – № 24 (3841). – С. 9.
6. Портал услуг Управления федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Томской области. Публичная кадастровая карта. URL: <http://maps.rosreestr.ru/PortalOnline/> (дата обращения: 25.05.2013).
7. Решение Думы города Томска от 26 декабря 2008 г. № 1108 «Об утверждении комплексной программы развития промышленности на территории муниципального образования «город Томск» на период 2009–2015 годы». URL: http://www.admin.tomsk.ru/pages/city_1_economika_prom (дата обращения: 17.04.2013).
8. Экология и экономика природопользования / под ред. Э.В. Гирусова. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010. – 670 с.
9. Скубиев С.И. Эффективность землеустроительного обеспечения управления землями сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации: автореф. дис. ... канд. экон. наук. – М., 2009. – 27 с.
10. Приложение № 2 к решению Думы г. Томска от 27.11.2007 № 687 «Правила землепользования и застройки в городе Томске». URL: http://map.admin.tomsk.ru/pages/gp_pub/pzz_new/pzz_tomsk_24_12_2013.pdf (дата обращения 15.05.2013).
11. Осипов В.А. Экономика природопользования. – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2006. – 252 с.

Поступила 29.05.2013 г.

REDEVELOPMENT AS A MEANS OF URBAN LAND USE PLANNING ECOLOGIZATION

Viktor K. Popov,

Dr. Sc., National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: pvk@tpu.ru

Sergey V. Seryakov,

Cand. Sc., National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: Serykov-Sergey@rambler.ru

Rozaliya E. Seryakova,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: kh.rozali@gmail.com

The relevance of the work is determined by spread of urban density residential of public and business destination in central parts of Russian cities if there are areas which are occupied by inactive industrial facilities. Intensification of urban development activities in Tomsk entailed the need to change the general plan of the urban area and the road network plan and the prospect of creating Tomsk agglomeration require ecologization approaches to land development.

The objectives of the work are to identify and to analyze the spatial planning ecologization problems in Tomsk and to propose a hypothesis on the effectiveness of redevelopment projects.

Research methods: comparative analysis, historical and logical analysis, and other analytical methods.

The results: The authors have identified the problems of urban space ecologization in terms of land and property complexes management as well as the problems of development and normative legal regulation of the redevelopment institute. The paper introduces the term «redevelopment» in terms of urban areas zoning. The main areas of Tomsk occupied by valid and invalid industrial facilities were identified. The authors proposed methodological approaches to evaluate the effectiveness of redevelopment projects. The conclusion was made on the prospects of using redevelopment projects as an effective method of urban area ecologization.

Key words:

Redevelopment, land and property complex, urban zoning, ecologization, urban areas, efficiency.

REFERENCES

1. Konceptsiya dolgosrochnogo sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya RF na period do 2020 goda [Concept of long-term social and economic development of the Russian Federation for the period up to 2020]. *Consultant Plus*. Available at: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi? req=doc; base=LAW; n=90601/> (accessed 01 May 2013).
2. Popov V.K., Seryakov S.V. Prirodno-texnogennyye usloviya ekologizatsii zemlepolzovaniya urbanizirovannykh territorij [Natural and man-made conditions of land use planning ecologization in urban areas]. *Siberian Journal of Science*, 2012, no. 1 (2), pp. 10–16. Available at: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/182/141> (accessed 20 April 2013).
3. Akatova M. Redevelopment nabiraet obroty [Redevelopment is developing]. *Doma biznes-klassa Moskvyy i Moskovskoy oblasti*, 2012. Available at: <http://mosoblhouse.ru/news/redevelopment-nabiraet-oboroty/> (accessed 03 April 2013).
4. Postanovleniya administratsii goroda Tomsk № 1009 ot 30.08.2012 g. ob utverzhdenii gorodskoy dolgosrochnoy tselevoy programmy «Razvitie promyshlennykh i logisticheskikh parkov v gorode Tomске na 2013–2015 gody» [The act of Tomsk authorities no. 1009, 30.08.2012, on establishment of long-term town target program «Development of industrial and logistics parks in Tomsk for 2013–2015»]. *Consultant Plus*. Available at: <http://base.consultant.ru/regbase/cgi/online.cgi? req=doc; base=RLAW091; n=66423> (accessed 11 April 2013).
5. Litvinova E. «Novosibirskiy Promstroyproekt» perevozit instrument [Novosibirsk Promstroyproekt is moving]. *Kommersant*, 2008, no. 24 (3841), pp. 9.
6. Portal uslug Upravleniya federalnoy sluzhby gosudarstvennoy registratsii, kadastra i kartografii po Tomskoy oblasti. Publichnaya kadastrrovaya karta [Services of Federal service of state registration, land survey and mapping in Tomsk region. Public cadastral map]. Available at: <http://maps.rosreestr.ru/PortalOnline/> (accessed 25 May 2013).
7. Reshenie Dumy goroda Tomsk ot 26 dekabrya 2008 g. № 1108 «Ob utverzhdenii kompleksnoy programmy razvitiya promyshlennosti na territorii munitsipalnogo obrazovaniya «Gorod Tomsk» na period 2009–2015 gody» [Decision of Tomsk Duma dated 26 December 2008 no. 1108 «On approval of the integrated program of industrial development in Tomsk» for 2009–2015]. Available at: http://www.admin.tomsk.ru/pages/city_1_economika_prom (accessed 17 April 2013).
8. *Ekologiya i ekonomika prirodopolzovaniya* [Ecology and environmental economics]. Ed. E.V. Girusov. Moscow, Unity-Dana Publ., 2010. 670 p.
9. Skubiev S.I. *Effektivnost zemleustroitel'nogo obespecheniya upravleniya zemlyami selskokhozyaystvennogo naznacheniya v Rossiyskoy Federatsii. Avtoreferat Kand. Diss.* [Efficiency of land use support of agricultural lands management in the Russian Federation. Cand. Diss. Abstract]. Moscow, 2009. 27 p.
10. Prilozhenie № 2 k resheniyu dumy g. Tomsk ot 27.11.2007 № 687 «Pravila zemlepolzovaniya i zastroyki v gorode Tomске» [Application № 2 to Tomsk Duma Decision dated 27.11.2007 № 687 «Rules of land use planning and development in Tomsk»]. Available at: http://map.admin.tomsk.ru/pages/gp_pub/pzz_new/pzz_tomsk_24_12_2013.pdf (accessed 15 May 2013).
11. Osipov V.A. *Ekonomika prirodopolzovaniya* [Environmental economics]. Tyumen, TumSU Publ, 2006. 252 p.

УДК 621.577

СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВОГО РЕСУРСА И СТАБИЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА ЛИКВИДИРУЕМЫХ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Инкин Александр Викторович,

канд. техн. наук, доцент, докторант каф. гидрогеологии и инженерной геологии геологоразведочного факультета Государственного высшего учебного заведения «Национальный горный университет», Украина, 49005, г. Днепрпетровск, пр. Карла Маркса, 19. E-mail: inkin@ua.fm

Актуальность работы обусловлена состоянием топливно-энергетического комплекса Украины и необходимостью закрытия нерентабельных угольных предприятий, а также борьбой с возникающими при этом экологическими последствиями и потребностью поиска альтернативных источников тепловой энергии.

Цель работы: обоснование технологических схем утилизации теплового ресурса отработанных шахт для поддержания благоприятного энергетического и гидрогеологического режимов в угледобывающих регионах.

Методы исследования: На основе анализа и путем комбинации в едином модуле технологий по выработке энергии, дренажированию шахт, регулированию водного режима и очистке шахтных вод разработаны три геотехнологические схемы, позволяющие экономически целесообразно стабилизировать энергопотребление и экологическую ситуацию в районах добычи угля.

Результаты: С помощью разработанных и обоснованных технологических схем представляется возможным использовать тепловой ресурс ликвидируемых шахт, заключенный в подземных водах и остаточных запасах угля. Применение предложенных технических решений, основанных на сформировавшемся в результате угледобычи природно-техногенном состоянии местности и геотехнических предпосылках, будет способствовать стабильному получению теплоносителей для отопления и горячего водоснабжения зданий, уменьшению подтопления и очистке шахтных вод на территории Донбасса.

Ключевые слова:

Затопленная шахта, подтопление, сжигание угля, дренаж подземных вод, тепловая энергия.

Введение

Одним из ведущих направлений реструктуризации угольной отрасли и восстановления природной среды в угледобывающих регионах является консервация отработанных и нерентабельных шахт. Согласно «Инвестиционной программе развития угольной промышленности Украины» в 2011–2015 гг. на территории Донбасса намечены к ликвидации 16 угольных предприятий, большая часть из которых уже закрыта [1–3]. Вследствие этого множество небольших шахтерских городов (Красный луч, Новгородовка, Шахтерск, Свердловск и др.) на фоне постоянно растущих цен на энергоносители ощущают острую нехватку в тепловой энергии. Промышленные и гражданские задания в холодное время года остаются без отопления и горячего водоснабжения [4, 5]. Вместе с тем, в затопленных шахтах сосредоточены значительные техногенные ресурсы тепловой энергии, которые в настоящее время практически не используются. К ним относятся – геотермальная энергия, накопленная в шахтных водах, и некондиционные и маломощные пласты угля, оставленные после отработки шахтного поля.

Ежегодно только в Донецком угольном бассейне более 500 млн м³ шахтных вод откачиваются и сбрасываются в водоемы и реки [6, 7]. Температура этих вод составляет от 16 до 22 °С в зависимости от сезона, а температура шахтных вод на глубинах более 700 м достигает 30...33 °С. Соответственно поступление низкопотенциального тепла в окружающую среду в среднем оценивается в 5·10⁶ Гкал/год.

Зарубежный научно-практический опыт потребления тепла шахтных вод [8–10] показывает возможность применения этой энергии и рентабельность её использования. В настоящее время осуществляется много небольших проектов, в которых тепло воды из затопленных шахт употребляется для обогрева однодвухэтажных зданий (Германия, Франция, Англия). Наиболее масштабным считается голландский проект, который получил название MinewaterProject. В шахтерском городке Херлен вода шахты, простоявшей затопленной около 30 лет, сейчас обогревает около 350 зданий, из которых более 200 – жилые дома. Вместе с тем отбор теплых шахтных вод сопряжен с техническими проблемами. Они связаны, прежде всего, с высокой минерализацией вод, достигающей 60 г/л, и наличием в них токсичных веществ, что требует применения специального оборудования и организации замкнутого цикла использования воды с изоляцией от поверхностных вод.

Рентабельность применения теплых шахтных вод для отопления и горячего водоснабжения резко возрастает при использовании тепловых насосов. Так, на шахте «Благодатная» ОАО «Павлоградуголь ДТЭК» отбор шахтных вод в количестве 200 м³/ч с коэффициентом преобразования тепла 3,5 позволил достичь годовой экономии около 60000 долларов США [11]. При этом работа насоса не создает вредных выбросов в окружающую среду, что особенно важно для угледобывающих регионов. Однако применение тепловых насосов на шахтах не получило широкого распространения в виду больших капитальных затрат на их установку и обслуживание.

В период с 1996 по 2011 гг. в Донецком бассейне было закрыто 65 шахт с общим количеством оставшихся в недрах 690 млн т угля [12]. Закрытие намеченных к ликвидации угольных предприятий приведет к дополнительному консервированию угольных ресурсов приблизительно в 750 млн т. Таким образом, в ближайшем будущем на территории затопленных шахт будет сосредоточено около 1,5 млрд т кондиционного по качеству угля.

Анализ рентабельности использования ресурсов геотермальной энергии показывает, что тепло Земли целесообразно применять в районах с особыми геологическими условиями (преимущественно горные районы – Крым, Закарпатье). Отбор термальных вод с больших глубин (3–4 км) сопряжен с большими объемами бурения скважин, что требует значительных затрат, и неоправдан экономически.

В районах подземной добычи угля сформировался природно-техногенный ресурс тепловой энергии, использование которого не требует крупных капитальных затрат по сравнению с глубоким бурением скважин. При этом рентабельность его использования может быть существенно выше в рамках сопряженных схем, когда отбор тепла интегрирован в комплекс других технологий.

Целью данной работы является обоснование технологических схем утилизации теплового ресурса отработанных шахт для поддержания благоприятного энергетического и эколого-гидрогеологического режимов.

Материал и результаты исследований

В качестве наиболее перспективных схем использования теплового ресурса шахт предлагаются:

- 1) гидротермальный модуль в виде подземной гидроэлектростанции (ГЭС) в закрытой шахте;
- 2) теплоэнергетический модуль на основе использования остаточных ресурсов угля и геотермальной энергии;
- 3) модуль отбора низкопотенциального тепла из водного цикла зоны шахтного дренажа.

Схема 1 основывается на следующих геотехнических предпосылках:

- в горнопромышленных регионах электрические сети подвержены существенным суточным перегрузкам, что требует создания дополнительных генерирующих мощностей с периодическим включением;
- закрытые шахты содержат емкостной и тепловой ресурс, исчисляемый сотнями миллионов кубических метров низкопотенциального теплоносителя в массиве шахт, и ресурс геодезических напоров в шахтных стволах;
- затопление шахт сопровождается существенным изменением уровня поверхности подземных вод по сравнению с их природным положением, что приводит к подтоплению.

Покрывание переменной части суточных графиков нагрузки в энергетической системе, особенно её пиков, когда за короткие промежутки времени

(минуты–десятки минут) происходят резкие изменения режима электропотребления, является не только технически сложной задачей, но и вызывает значительные увеличения затрат в энергосистеме. Эти затраты обусловлены увеличением расхода топлива, содержанием специального маневренного оборудования или повышением маневренности базовых агрегатов, снижением срока службы оборудования и т. п. Дополнительные затраты вызваны недельной неравномерностью графика нагрузки, т. к. это часто связано с остановкой большого числа агрегатов в энергосистеме в выходные и праздничные дни, а также с годовой (сезонной) неравномерностью.

В пиковых зонах график электрических нагрузок и дефицит мощностей приводят к необходимости введения графика аварийных отключений потребителей.

В области регулирования режимов электропотребления водоотливными установками целесообразно рассмотреть техническую возможность создания насосов главного водоотлива обратимыми, по типу обратимых гидротурбин на гидроаккумулирующих электрических станциях (ГАЭС). Учитывая большие геодезические напоры шахт, можно реализовать идею совмещения двух функций (главного водоотлива и ГАЭС) и тем самым значительно повысить эффективность регулирования режимов электропотребления водоотливными установками за счёт дополнительного аккумулирования энергии.

Водоотливная установка функционирует следующим образом (рис. 1) [13]. В периоды минимальных нагрузок энергосистемы она работает в насосном режиме и откачивает шахтную воду на поверхность с расходом Q_1 в пруд-отстойник. Когда наступает максимум нагрузки энергосистемы, насосы не отключаются, а переходят в гидротурбинный режим, генерируя электроэнергию. Насос-турбина вращается под действием напора воды с расходом Q_2 по водоотливным ставам, забирающим воду от пруда-отстойника на поверхности шахты. Для этого необходимо увеличить вместимость водосборников, а вместо насосов с двигателями установить обратимую гидротурбину с электрической машиной, способной работать в режиме двигателя и генератора.

Особенности реализации данной технологической схемы с гидротермальным модулем состоят в следующем. Используется емкостной и тепловой ресурс породного массива закрытых (или подлежащих закрытию) шахт путем комбинации подземной гидроэлектростанции в шахтном стволе и теплогенерирующей установки, в которой низкопотенциальным теплоносителем являются шахтные воды с температурой 30...33 °С, откачиваемые периодически из затопленной шахты в ежесуточном цикле: откачка – сброс в шахту через гидротурбины. При этом положение уровней на шахтном поле регулируется объемами сброса в гидрографическую сеть.

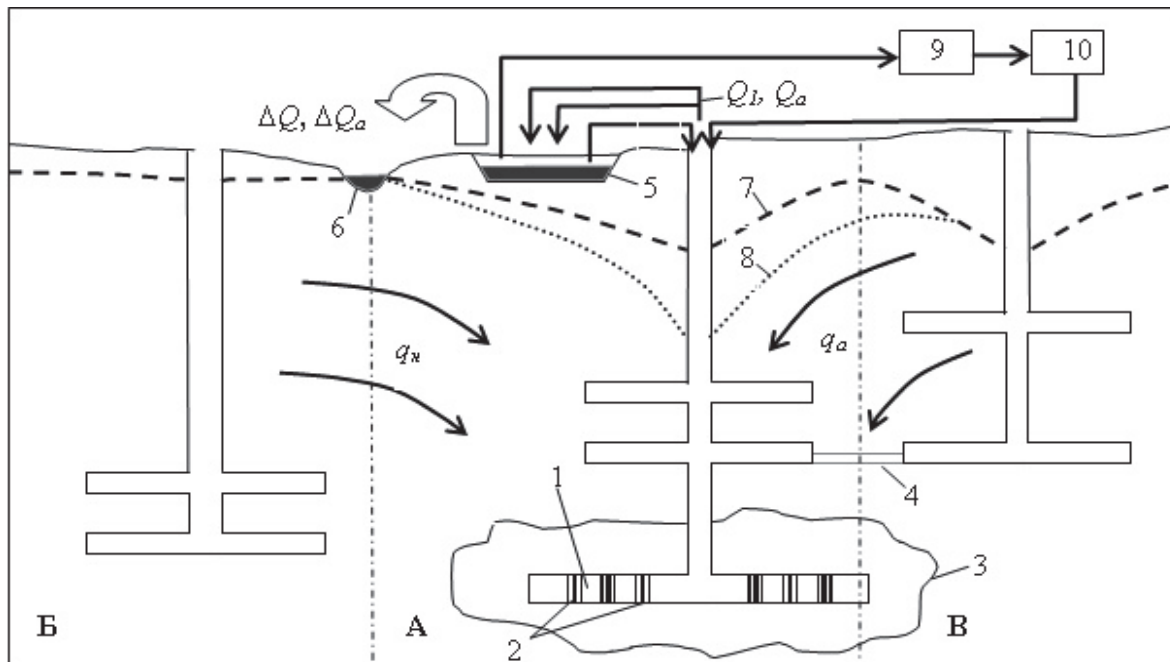


Рис. 1. Комбинированная схема подземной гидроэлектростанции и гидротермального модуля: А) шахта с подземной ГЭС; Б) затопленная шахта; В) работающая шахта; Q_1, Q_a – соответственно суточные расходы воды при работе ГЭС в обычном режиме и аварийном при подтоплении работающей шахты В; $\Delta Q, \Delta Q_a$ – тоже при сбросе остаточных расходов; q_n, q_a – перетоки подземных вод в нормальном и аварийном режимах соответственно; 1 – выработки-аккумуляторы воды подземной ГЭС; 2 – фильтрующие перегородки; 3 – зона гидродинамического влияния при работе ГЭС на водоотлив; 4 – сбойка; 5 – накопитель воды; 6 – поверхностный водоток; 7, 8 – уровень подземных вод при нормальном и аварийном режиме работы ГЭС соответственно; 9 – тепловой насос; 10 – потребитель тепла

Преимущества данной технологической схемы таковы:

- рентабельность подземной ГЭС как энергетического регулятора пиковых нагрузок в электросетях удваивается за счет ее комбинации в едином модуле с теплогенерирующей установкой, использующей низкопотенциальное тепло шахтных вод;
- экологический эффект достигается благодаря возможности поддерживать безопасный уровень подземных вод и исключить подтопление без дополнительных мощностей.

Схема 2 основывается на следующих геотехнических предпосылках.

В пределах отработанных шахтных полей расположены пласты-коллекторы и подземное пространство, способное аккумулировать большие объемы теплоносителей. Благодаря высокой тепловой емкости шахтных вод они могут использоваться для отопления и горячего водоснабжения. Причем начальная температура откачиваемых вод с глубоких горизонтов (800 м и ниже поверхности земли) достигает 30...35 °С.

Использование этих вод для отопления требует дополнительного подогрева до температуры как минимум 60...65 °С. Это возможно осуществить либо с применением тепловых насосов, что сопряжено со значительными капитальными затратами, либо с использованием технологии подземного сжигания угля.

Второй вариант предпочтителен при наличии некондиционных пластов или ресурсов угля, добыча которых традиционными способами нерентабельна. Возможность его применения обусловлена наличием значительных, как указывалось, остаточных запасов угля затопленных (или подлежащих затоплению) шахт Украины, пригодных для разработки способом подземного сжигания.

Имеющийся научно-практический опыт подземной газификации угольных пластов [14, 15], сопровождающийся выходом перегретого пара (месторождение Rocky Mountain, США) и созданием станций подземного аккумулирования тепловой энергии в водоносных пластах для отопления инженерных сооружений (Нидерланды, Германия, Франция) позволяет рассматривать перспективность такой технологии.

Принципы функционирования теплоэнергетического модуля на основе остаточных ресурсов угля и геотермальной энергии состоят в следующем (рис. 2). В процессе сжигания угля вырабатываемый газ через отводящие скважины подается на дневную поверхность потребителю. В его горючих компонентах заключена часть тепловой энергии, образующейся в реакционном канале. Другая часть формирующегося тепла вместе с утечками газа через водоупорные породы попадает в вышезалегающий водоносный горизонт и нагревает подземные воды. Температура воды зависит от интенсивности сжигания и гидродинамических условий

(в среднем 75...85 °С). Нагретые воды в процессе обработки угольного пласта активно фильтруются к расширяющемуся в результате сгорания пространству, что значительно понижает их начальный уровень. Поступление воды из вмещающих пород происходит разными путями и зависит от термодинамических условий и фазового состояния. На ее приток в реакционную зону, кроме геологического строения и степени обводнения обрабатываемого участка, значительное влияние оказывает увеличение проницаемости водоупорных пород под воздействием высоких температур [16, 17]. Поступая в подземный генератор, подземные воды существенно изменяют его тепловой баланс путем увеличения расхода вырабатываемого тепла на испарение. Возникающий при этом перегретый пар вместе с утечками газа и парами, образовавшимися за счет подсушивания пород, фильтруется в кровле генератора, повышает ее температуру и конденсируется. Образовавшийся конденсат смешивается с подземными водами и вновь поступает в генератор.

Завершение сжигания угольного пласта сопровождается снижением интенсивности испарения и постепенным восстановлением естественного уровня подземных вод до положения, соответствующего их новому гидродинамическому равновесию. При фильтрации через нижнюю часть генератора в пределах предварительно разогретых пород кровли повышается температура воды, снижается ее плотность и образуется термальное купол, циркули-

рующий вокруг отработанного генератора. Таким образом, при подземном сжигании угля в покрывающих породах образуется техногенное геотермальное месторождение, разработка которого возможна путем откачки нагретых вод через эксплуатационные скважины и подачи их потребителю.

Особенности ее реализации состоят в использовании низкопотенциального тепла затопленного шахтного поля (или его части) с периодической активацией теплового ресурса за счет подземного сжигания некондиционных угольных пластов. Работа теплоэнергетического модуля учитывает сезонные колебания в потреблении энергоносителей в регионе. Сжигание пласта должно начинаться за несколько месяцев до начала отопительного сезона, чтобы максимум температуры отбираемой воды приходился на середину холодного периода. Моделирование теплопереноса и оценка теплового потока для такой схемы рассмотрены в [18].

Преимущества технологической схемы состоят в следующем:

- достигается экономически целесообразная высокая температуры теплоносителей;
- обеспечивается возможность полностью исключить котельные из процесса выработки тепла, идущего на внутренние нужды шахт и в близлежащие населенные пункты;
- обеспечивается возможность создания компактных тепловых модулей хозяйственного назначения (например, для обеспечения тепличного комплекса).

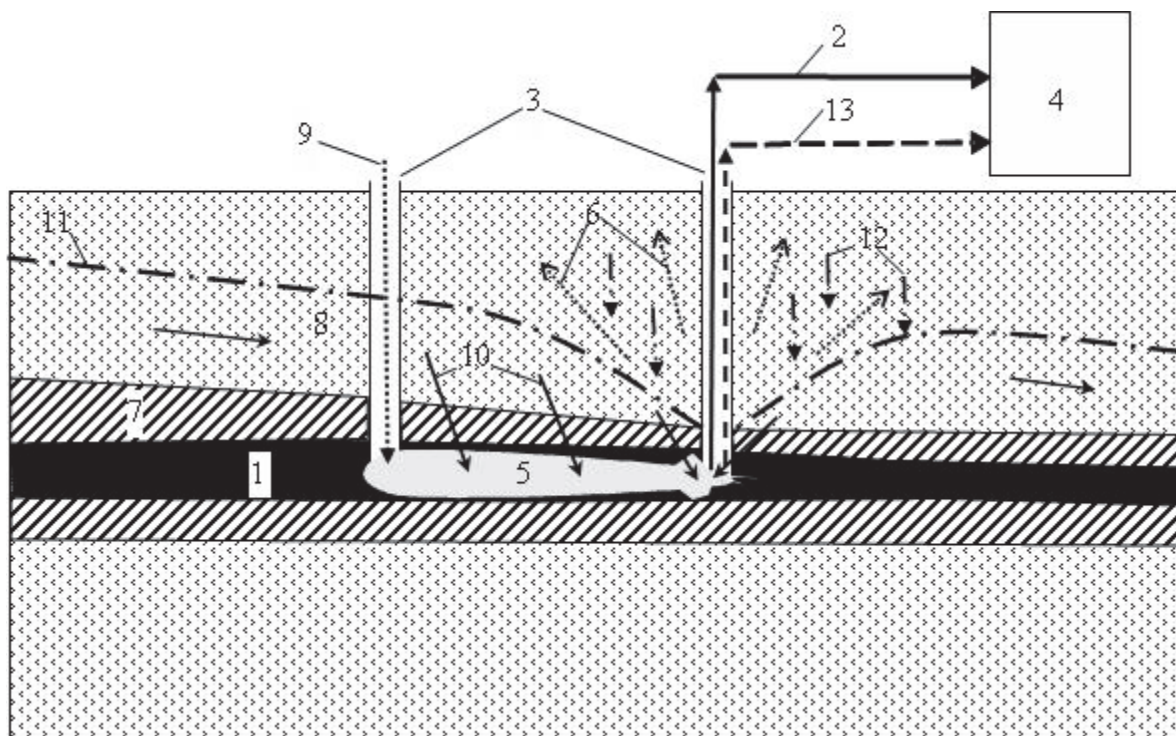


Рис. 2. Проектная схема теплоэнергетического модуля на затопленном участке шахты: 1 – угольный пласт; 2 – вырабатываемый газ; 3 – эксплуатационные скважины; 4 – потребитель; 5 – реакционный канал; 6 – направление движения газа и перегретого водяного пара; 7 – породы кровли; 8 – водоносный горизонт; 9 – направление движения дутья; 10, 11 – направление фильтрации подземных вод и их уровень соответственно; 12 – конденсат; 13 – откачка нагретых вод

Схема 3 основывается на следующих геотехнических предпосылках:

Фльтрационные потоки в массиве затопленного шахт характеризуются увеличением скорости и выполаживанием уровней вблизи природных русел за счет многократного увеличения проницаемости нарушенных горных пород, что приводит к подтоплению поверхности [19]. Природными руслами дренируются потоки низкопотенциального тепла из техногенного водоносного горизонта, содержащего экологически вредные компоненты [20]. В связи с этим целесообразно производить отбор тепла в сочетании с технологиями по очистке воды, которые экономически более эффективны именно при наличии бросового низкопотенциального тепла (например, мембранная дистилляция).

Основные элементы технологической схемы представлены на рис. 3. Исходя из гидродинамической схемы, в зоне «П» необходим систематический поверхностный дренаж, причем в зоне, затронутой горными работами, можно усилить его действие вертикальными буровыми скважинами с самоизливом воды. Такие скважины наиболее эффективны при совмещении их стволов с магистральными выработками закрытой шахты.

Особенности данной технологической схемы состоят в том, что водорегулирующий дренаж, забор воды для очистки и водоотбор низкопотенциального теплоносителя с температурой 20...25 °С осуществляются самотечной дренажной системой. Причем рециркуляция теплоносителя между водоносным массивом и теплопотребителями исключается, что повышает эффективность тепловых установок.

Преимущества технологической схемы состоят в следующем:

- предупреждается или ликвидируется подтопление на отработанном шахтном поле в режиме самотечного дренирования;
- производится очистка дренажных вод, накопивших вредные компоненты, при фильтрации через нарушенный массив шахтного поля;
- повышается КПД использования низкопотенциального тепла дренажных вод за счет исключения рециркуляции теплоносителя.

Выводы

Анализ работы топливно-энергетического комплекса и сложившаяся экологическая ситуация в угледобывающих регионах Украины указывает на необходимость консервации отработанных и не-

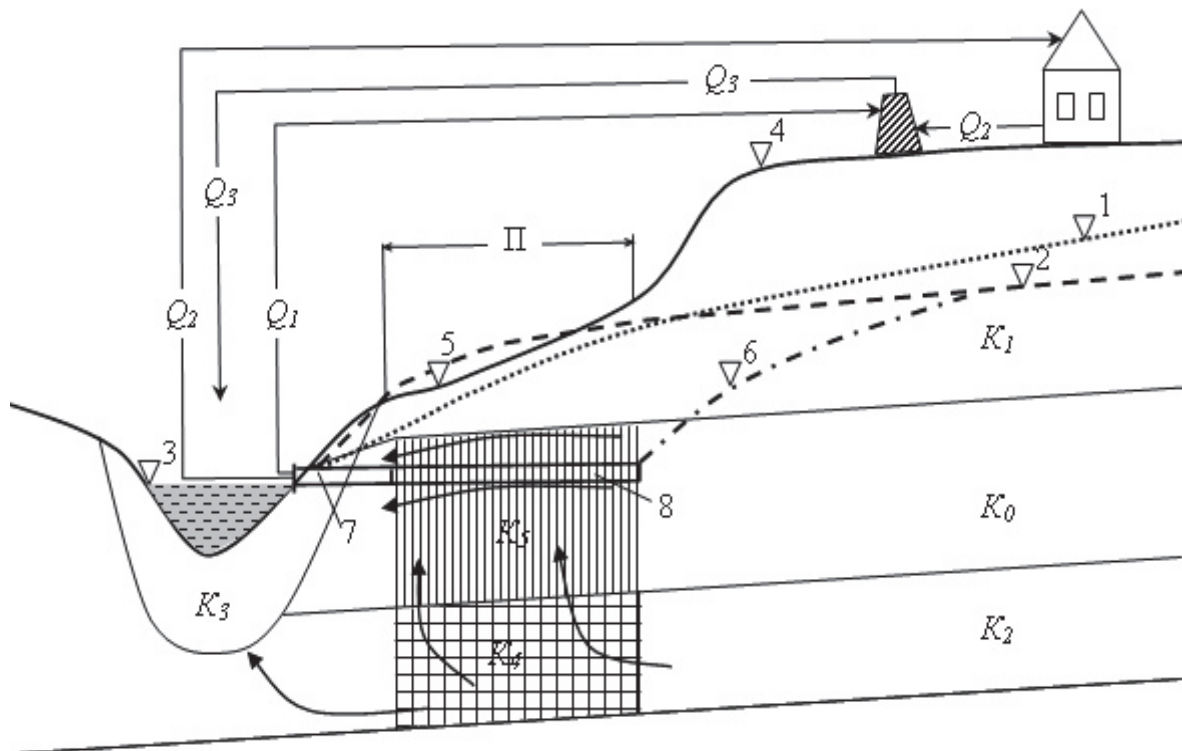


Рис. 3. Технологическая схема водорегулирования и отбора низкопотенциального тепла на затопленном шахтном поле: 1–6 – соответственно уровни подземных вод грунтового водоносного горизонта; напорного горизонта; природной дрены; земли, ненарушенной горными работами; земли с проседанием от горных работ; самотечного дренирования; 7 – дренажная штольня; 8 – магистральная выработка шахты; Q_1, Q_2, Q_3 – соответственно расходы потока с дренажной штольни на очистные сооружения; к потребителям низкопотенциального тепла, к природной дрене после очистки; $K_0...K_5$ – соответственно коэффициенты фильтрации водоупора, грунтового водоносного горизонта, напорного горизонта, русловых отложений, зоны горных работ и зоны водоупора, затронутой горными работами ($K_4 > K_2 > K_1 > K_5 > K_3 > K_0$)

рентабельных шахт. Основные возникающие при этом проблемы связаны с регулированием уровня подземных вод как на ликвидируемых, так и на соседних с ними работающих шахтах. Кроме того, в районах угольных предприятий после закрытия шахт ограниченность запасов других видов природных энергоносителей приводит к прекращению отопления зданий и необходимости поиска альтернативных источников тепловой энергии. Вместе с тем Донбасс обладает ее значительными техногенными ресурсами, сформировавшимися вследствие вековой угледобычи и сосредоточенными в шахтных водах и остаточных запасах угля.

С целью комплексного использования теплового ресурса затопленных шахт в работе разработаны и обоснованы три геотехнологические схемы, позволяющие экономически целесообразно стабилизировать энергопотребление и экологическую ситуацию в угледобывающих регионах путем комбинации в едином модуле технологий по выработке энергии, дренажированию шахт, регулированию водного режима и очистке шахтных вод.

Сравнительный анализ предложенных схем показывает, что каждая из них способна минимизировать загрязнение подземных вод и экологическую нагрузку на подземную гидросферу в зоне ведения горных работ. Все технологические схемы могут быть использованы в пределах шахтного поля или отдельного его участка. Вместе с тем каждая из них обладает своими тепло-энергетическими и гидрогеологическими особенностями. Так, первая схема (гидротермальный модуль) позволяет поддерживать безопасный уровень подземных вод на территории работающих и затопленных шахт за счет их откачки через шахту, оборудованную ГЭС. При этом сброс откачанных вод по водоотливным ставам на гидротурбины, в моменты пиков в энергетической системе, позволяет синхронизировать электропотребление в регионе. Недостатком данной схемы является ее небольшая теплопроизводительность, обусловленная невысокой температурой шахтных вод (30...33 °С), подающихся для отопления зданий, и необходимость ис-

пользования дорогостоящих тепловых насосов. В качестве потенциального объекта внедрения этой схемы может рассматриваться ш. «Новгородская 1», расположенная в Красноармейском углепромышленном районе Донбасса между затопленной ш. «Новгородская 2» и действующей ш. «Россия». Вторая схема (теплоэнергетический модуль) характеризуется значительной теплопроизводительностью в виду высокой температуры подземных вод (75...85 °С), нагревающихся при подземном сжигании угля, откачка которых позволит обеспечить устойчивое теплоснабжение близлежащих предприятий и населенных пунктов без применения тепловых насосов. Вместе с тем данный модуль не предназначен для борьбы с подтоплением, в связи с чем не может быть использован на участках его обширного развития. Возможным местом экспериментальной апробации этой схемы является поле шахты «Ольхово западная» Чистяково-Снежнянского угленосного района, в каменноугольном разрезе которой между отработываемыми пластами h_8 и h_{11} повсеместно развит некондиционный пласт h_{10}^1 , удовлетворяющий требованиям, предъявляемым к угольным пластам, отработываемым способом подземного сжигания. При этом в качестве теплоносителя будут использованы подземные воды обводненной толщи «бабаковских» песчаников $h_{10}Sh_{11}$ мощностью 50...60 м, залегающих выше пласта h_{10}^1 . К существенным преимуществам третьей технологической схемы (водорегулирования и отбора низкопотенциального тепла) следует отнести ликвидацию подтопления и очистку шахтных вод на территории ведения горных работ, а к недостаткам – самую низкую (из 3-х предложенных схем) теплопроизводительность, обусловленную незначительной температурой вод (20...25 °С), поступающих из дренажной штольни. Данная схема может быть рекомендована к применению на активно подтопленных участках горных предприятий, не испытывающих острого дефицита в тепловой энергии, например на шахтных полях Западного Донбасса Донецкой топливно-энергетической компании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цабут И.И. Анализ многолетней динамики обводнения угольных шахт Центрального углепромышленного района Донбасса // Труды Донецкого государственного технического университета, Серия горно-геологическая. – 2000. – Вып. 11. – С. 124–128.
2. Ермилом С. Энергетическая стратегия Украины на период до 2030 года: проблемные вопросы содержания и реализации // Зеркало недели. – 2006. – № 20. URL: <http://www.zn.ua/ECO-NOMICS/46810/> (дата обращения: 20.05.2013).
3. Яковлев Е.А. Региональные техногенные изменения геологической среды Донбасса под влиянием горных работ. – К.: Думка, 2007. – 66 с.
4. Алпенова А.В. Экологическая катастрофа как объективная реальность // Зеркало недели. – 2000. – № 1. – С. 53–58.
5. Андреива М.П., Домрочева Е.В. Эколого-геохимическое состояние природных вод зоны активного водообмена // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 137–140.
6. Пек Ф. Оценка рисков в Донецком бассейне (закрытие шахт и породные отвалы). – Донецк: Юнеп Арендал, 2009. – 171 с.
7. Ермаков В.Н. Изменение гидродинамического режима шахт при затоплении // Уголь Украины. – 1998. – № 6. – С. 11–13.
8. Wieber G. A Source of Geothermal Energy – Examples from the Rhenish Massif // Proceedings of the 10th IMWA Congress-2008. – Karlovy Vary, Check Republic, 2008. – P. 113–116.
9. Robinson R. Mine gas hazards in the surface environment // Mining Technology, Section A. – 2000. – V. 109. – P. 228–236.
10. Мищенко М.В., Букаты М.Б., Дутова Е.М. Моделирование изменения температур подземных вод Южно-Черемшанской площади Томской области // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 1. – С. 167–172.
11. Самуся В.И. Оценка эффективности теплонасосной технологии утилизации тепла воздушных турбокомпрессоров // Научный вестник НГУ. – 2010. – № 6. – С. 78–82.
12. Бездонные запасы. Уголь как основа сырьевой базы Украины. URL: <http://geonews.com.ua/news/detail/> (дата обращения: 15.02.2013).

13. Садовенко И.А., Инкин А.В. Подземная гидроэлектростанция как экологический и энергетический регулятор // Уголь Украины. – 2002. – № 5. – С. 32–34.
14. Effect of coal mine waters of Nordrhein-Westphalia in groundwater / G.I. Matess, R.A. Otting, M.V. Schulz et al. // Journal of Jans Publications. – 1982. – № 139. – P. 271–278.
15. Садовенко И.А., Инкин А.В. Численное исследование особенностей теплового поля вокруг подземного газогенератора // Научный вестник НГУ. – 2012. – № 6. – С. 11–20.
16. Жолудев С.В. Расчет теплового режима газогенератора при подземной газификации углей // Вестник Днепропетровского университета. Серия геология, география. – 2003. – № 7. – С. 11–20.
17. Тишков В.В. Особенности формирования техногенной проницаемости в кровле угольного пласта при подземной газификации угля // Научный вестник НГУ. – 2012. – № 1. – С. 23–28.
18. Садовенко И.А., Инкин А.В. Оценка эффективности теплового модуля на основе ресурсного потенциала затопленной шахты // Вестник КНУ. – 2013. – Вып. 3. – С. 123–127.
19. Modelling of sulphide oxidation with reactive transport at a mine drainage site / J.G. Bain, D.W. Blowes, W.D. Robertson et al. // Journal of Contaminant Hydrology. – 2000. – № 5. – P. 23–47.
20. Flow and Transport in Fractured Porous Media / Ed. by Teutsch G. – Stuttgart: Springer Verlag, 2005. – 465 p.

Поступила 24.02.2014 г.

UDC 621.577

METHODS OF UTILIZING THERMAL RESOURCE AND STABILIZING ECOLOGICAL SITUATION ON THE CLOSED COAL ENTERPRISES

Aleksandr V. Inkin,

Cand. Sc., National mining university, 19, Karl Marx Avenue,
Dnepropetrovsk, 49005, Ukraine. E-mail: inkin@ua.fm

Relevance of the work is caused by fuel and energy complex state in Ukraine and the need for closing unprofitable coal companies, the struggle with the environmental consequences and the requirement to find alternative sources of thermal energy.

The main aim of the study is to substantiate the flow sheets of heat resource recycling at the closed mines to maintain favorable energy and hydrogeological regimes in coal-mining regions.

The methods used in the study: Based on the analysis and combining in a single module the technologies for energy production, drainage pits, water regulation and mine water purification the author has developed three geotechnological schemes which allow economically feasible stabilization of energy and environmental situation within coal mining areas.

The results: It is possible to use the heat source of the closed mines in groundwater and residual coal reserves applying the developed technological schemes. Application of the proposed technical solutions based on territory natural and manmade state and on geotechnical assumptions formed as a result of coal mining will contribute to stability in obtaining heat transfer fuel for building heating and hot water supply, to reduce flooding and mine water purification in Donbass.

Key words:

Flooded mine, flooding, coal combustion, groundwater drainage, thermal energy.

REFERENCES

1. Tsabut I.I. Analiz mnogoletney dinamiki obvodneniya ugolnykh shakht Tsentralnogo uglepromyshlennogo rayona Donbassa [Analysis of long-term dynamics of irrigation of coal mines in Central coal industrial district of Donbas]. *Trudy Donetskogo gosydarstvennogo universiteta. Seriya gorno-geologicheskaya*, 2000, vol. 11, pp. 124–128.
2. Ermilom S. Energeticheskaya strategiya Ukrainy na period do 2030 goda: problemnye voprosy sodержaniya i realizatsii [Power strategy of Ukraine to 2030: problem questions of maintenance and realization]. *Zerkalo nedeli*, 2006, no. 20. Available at: <http://www.zn.ua/economics/46810/> (accessed 20 May 2013).
3. Yakovlev E.A. *Regionalnye tekhnogennyye izmeneniya geologicheskoy sredy Donbassa pod vliyaniem gornyykh robot* [Regional technogenic changes of geological environment of Donbas under influence of mountain works]. Kyiv, Dumka Publ., 2007. 66 p.
4. Alpenova A.V. Ekologicheskaya katastrofa kak obektivnaya realnost [Ecocatastrophe as objective reality]. *Zerkalo nedeli*, 2000, no. 1, pp. 53–58.
5. Andreiva M.P., Domrocheva E.V. Ekologo-geokhimicheskoe sostoyanie prirodnykh vod zony aktivnogo vodoobmena [Ecologo-geochemical state of natural waters of active water exchange zone]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2007, vol. 311, no. 1, pp. 137–140.
6. Pek F. *Otsenka riskov v Donetskoy bassejne (zakrytie shakht i porodnye otvaly)* [Risk estimation in the Donetsk pool (closing of mines and waste rock)]. Donetsk, Yunep Arendal Publ., 2009. 171 p.
7. Ermakov V.N. *Izmenenie gidrodinamicheskogo rezhima shakht pri zatopenii* [Change in hydrodynamic mode of mines at flood]. *Ugol Ukrainy – Coal of Ukraine*, 1998, no. 6, pp. 11–13.
8. Wieber G. A Source of Geothermal Energy – Examples from the Rhenish Massif. *Proc. of the 10th IMWA Congress-2008*. Karlovy Vary, Check Republic, 2008. pp. 113–116.
9. Robinson R. Mine gas hazards in the surface environment. *Mining Technology, Section A*, 2000, vol. 109, pp. 228–236.
10. Mishchenko M.V., Bukaty M.B., Dutova E.M. Modelirovanie izmeneniya temperatur podzemnykh vod Yuzno-Cheremshanskoy ploschadi Tomskoy oblasti [Simulation of temperature change in underwaters of South Cheremshansk area in Tomsk region]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 319, no. 1, pp. 167–172.
11. Samusya V.I. Otsenka effektivnosti teplonososnoy tekhnologii utilizatsii tepla vozdushnykh turbokompressorov [Estimation of

- efficiency of heatpumping technology of heat utilization in air turbo-compressors]. *Nauchnyy vestnik NGU*, 2010, no. 6, pp. 78–82.
12. *Bezdonnye zapasy. Ugol kak osnova syrevooy bazy Ukrainy* [Bottomless supplies. Coal as basis of source of raw materials of Ukraine]. Available at: <http://www.geonews.com.ua/news/detail/1034528/> (accessed 15 February 2013).
 13. Sadovenko I.A., Inkin A.V. Podzemnaya gidroelektrostantsiya kak ekologicheskiy i energiticheskiy regulyator [Underground hydroelectric power station as ecological and power regulator]. *Ugol Ukrainy – Coal of Ukraine*, 2002, no. 5, pp. 32–34.
 14. Matess G.I., Otting R.A., Schulz M.V. Effect of coal mine waters of Nordrhein-Westphalia in groundwater. *Journal of Jans Publications*, 1982, no. 139, pp. 271–278.
 15. Sadovenko I.A., Inkin A.V. Chislennoe issledovanie osobennostey teplovogo polya vokrug podzemnogo gazogeneratora [Numerical research of features of the thermal field around an underground gazogene]. *Nauchny vestnik NGU*, 2012, no. 6, pp. 11–20.
 16. Zhohudev S.V. Raschet teplovogo rezhima gazogeneratora pri podzemnoy gazifikatsii ugley [Calculation of gazogene thermal mode at underground gasification of coals]. *Vestnik Dnepropetrovskogo Universiteta. Seriya Geologiya, Geografiya – Announcer of the Dnepropetrovsk university. Series are geology, geography*, 2003, no. 7, pp. 11–20.
 17. Tishkov V.V. Osobnosti formirovaniya tekhnogennoy pronitsaemosti v krovle ugolnogo plasta pri podzemnoy gazifikatsii uglya [Features of forming technogenic permeability in a coal bed roof at coal underground gasification]. *Nauchny vestnik NGU*, 2012, no. 1, pp. 23–28.
 18. Sadovenko I.A., Inkin A.V. Otsenka effektivnosti teplovogo modulya na osnove resursnogo potentsiala shakhty [Estimation thermal module efficiency on the basis of mine resource potential]. *Vestnik KNU*, 2013, no. 3, pp. 123–127.
 19. Bain J.G., Blowes D.W., Robertson W.D. Modelling of sulphide oxidation with reactive transport at a mine drainage site. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2000, no. 5, pp. 23–47.
 20. *Flow and Transport in Fractured Porous Media*. Ed. by Teutsch G. Stuttgart, Springer Verlag, 2005. 465 p.

УДК 550.47+504.064.36

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СФАГНОВЫХ МХОВ И ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ В РАЙОНАХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Межибор Антонина Михайловна,

канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры геоэкологии и геохимии
Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск,
пр. Ленина, д. 30. E-mail: amezhibor@gmail.com

Большунова Татьяна Сергеевна,

инженер 1 категории отдела экологического нормирования
ОАО «ТомскНИПИнефть», 634027, г. Томск, пр. Мира, д. 72; аспирант
кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов ТПУ,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: bts26@mail.ru

Ввиду отсутствия достаточного количества информации по загрязнению атмосферного воздуха различными химическими элементами в районах добычи нефти и газа, в том числе в Томской области, авторами был применен метод исследования загрязнения атмосферы с использованием сфагновых мхов и эпифитных лишайников. Целью исследований является оценка состояния окружающей среды в нефтедобывающих районах Томской области посредством использования биомониторов (эпифитных лишайников и сфагновых мхов). Для получения данных, зола растений была проанализирована методом ИНАА на количественное содержание в них 28 химических элементов. В результате установлено, что для лишайников характерно повышенное, по сравнению с мхами, концентрирование Sc, Br, Ce, Sn, Eu, Tb, La, Lu, Th, U, а для мхов, по сравнению с лишайниками, – Rb, Ag, Cs, Ba, Au. Содержания Na, Ca, Cr, Fe, Co, Zn, As, Sr, Sb, Yb, Hf, Ta в исследуемых образцах находится приблизительно на одном уровне. В сравнении с литературными данными для Западной Сибири и других районов мира изучаемая территория отличается повышенными концентрациями Cr, Fe, Zn, Sb, Sc, Sr, Yb, Hf, U. Это может быть обусловлено как геохимическими, географическими и климатическими особенностями исследуемой территории, так и влиянием локальных источников загрязнения атмосферы на нефтяных месторождениях.

Ключевые слова:

Нефтегазодобывающий комплекс Томской области, биомониторы, сфагновый мох, лишайники-эпифиты, концентрации химических элементов.

Для определения масштабов воздействия промышленности на окружающую среду, с целью последующей разработки мероприятий и рекомендаций по снижению этого воздействия, используются разнообразные методы и методики. Так, для

определения в составе атмосферного воздуха газообразных загрязнителей традиционно используются газоанализаторы, позволяющие определить в атмосфере содержания таких веществ, как оксиды углерода, азота, серы. Реже используются аспира-

торы, позволяющие зафиксировать загрязнение атмосферы тяжелыми металлами. Однако использование традиционных методов оценки загрязнения атмосферы не позволяет определить содержания многих токсичных химических элементов, в том числе редких и радиоактивных, поступление которых в окружающую среду увеличилось в несколько раз за последнее столетие.

Воздух является подвижной средой, и применение методов исследования его химического состава на стационарных постах или с использованием газоанализаторов для решения экологических задач не всегда рационально, т. к. требует либо установки большого количества автоматических станций, либо постоянного отбора проб с большой частотой (6 раз в сутки). В этом случае использование биологических индикаторов – аккумуляторов атмосферных выпадений – является наилучшим способом решения этой проблемы [1]. К таким биологическим индикаторам относятся, например, мхи и лишайники.

В научной литературе термины «биоиндикатор» (организм, который дает информацию о качестве окружающей среды) и «биомонитор» (организм, который даёт количественную информацию о качестве окружающей среды) используются отдельно, хотя некоторые организмы могут выполнять функцию и биоиндикаторов, и биомониторов одновременно [2]. В данной работе рассматривается применение эпифитных (произрастающих на стволах и ветвях деревьев) лишайников и сфагновых мхов верховых болот в качестве аккумулятивных биомониторов.

Лишайники и мхи являются совершенно не связанными между собой группами организмов, хотя имеют некоторые общие для биомониторинга свойства. Они встречаются почти во всех регионах, устойчивы к экстремальным природным условиям. Поскольку эти организмы не имеют корневой системы, их питание является атмосферным и, соответственно, их элементный состав в обобщённом виде отражает состав химических элементов в атмосфере, находящихся в газообразном или растворённом состоянии, а также в виде твёрдых частиц [2].

Лишайники представляют собой симбиоз микобионта и фотобионта. Эти организмы широко признаны хорошими биомониторами в связи со способностью накапливать элементы в концентрациях, превышающих их физиологические потребности, и удерживать их в талломе (теле) долгое время [2]. Поскольку питание лишайников атмосферное, они получают вещества мокрых и сухих выпадений посредством захвата их всей поверхностью таллома.

К сфагновым мхам относятся низкие (высотой до 10–20 см) растения, встречающиеся на заболоченных участках земли, состоящие из одного или нескольких стебельков со спирально расположенными на них листьями. Корней мхи не имеют: корни заменяются волосковидными многоклеточны-

ми образованиями, так называемыми ризоидами. Сфагновые мхи верховых болот способны удерживать химические элементы, поступающие в болото из атмосферы, благодаря особым «воздушным клеткам». Именно в связи с морфологическими особенностями мхи являются индикаторами широкого спектра загрязнителей [3]. Так как верховые болота лишены минерального питания от грунтовых вод, то химический состав мхов, торфа и болотных вод определяется преимущественно атмосферными осадками [4].

География использования биомониторинга с помощью лишайников для оценки загрязнения воздуха довольно обширна. По опубликованным материалам В.Д. Страховенко, Б.Л. Щербова и др. [5], средние содержания микроэлементов в лишайниках на территории Западной Сибири находятся на уровне фоновых для территории арктических регионов Евразии. Отмечаются лишь повышенные значения для кадмия и марганца в Алтайском Крае и Республике Алтай и свинца, хрома во всём регионе.

Проведенные Д.В. Московченко в 2004 г. исследования тяжелых металлов в торфах и мхах в Тюменской области [6] показали, что для сфагновых мхов характерно накопление кадмия, свинца, кобальта и цинка. Отмечено, что для сфагновых мхов Западной Сибири характерны повышенные содержания марганца и железа, связанные с высокой подвижностью этих элементов в болотной среде.

Информация о состоянии природной среды Западной Сибири, в том числе Томской области, по данным биомониторинга является скудной и недостаточной, так как в исследования включается узкий спектр химических элементов. Мониторинговые исследования обычно проводятся стандартными методами с определением ограниченного перечня загрязняющих веществ в воздухе, тогда как представляется весьма интересным получить более обширную информацию о влиянии источников загрязнения атмосферы объектами нефтяных месторождений, выявить группу типичных элементов-загрязнителей в изучаемом районе.

Территория севера и северо-запада Томской области испытывает высокую техногенную нагрузку в связи с преимущественным сосредоточением в этом районе нефтегазодобывающих предприятий. Цель данных исследований – оценить состояние окружающей среды в районах нефтегазодобывающего комплекса (НГДК) Томской области посредством использования биомониторов (эпифитных лишайников и сфагновых мхов) и определить степень загрязнения атмосферы при разработке нефтегазовых месторождений.

Методика исследований

Отбор проб сфагновых мхов и лишайников-эпифитов проводился в основных нефтедобывающих районах Томской области: Каргасокском, Александровском и Парабельском (рис. 1). Всего было получено 22 пробы.

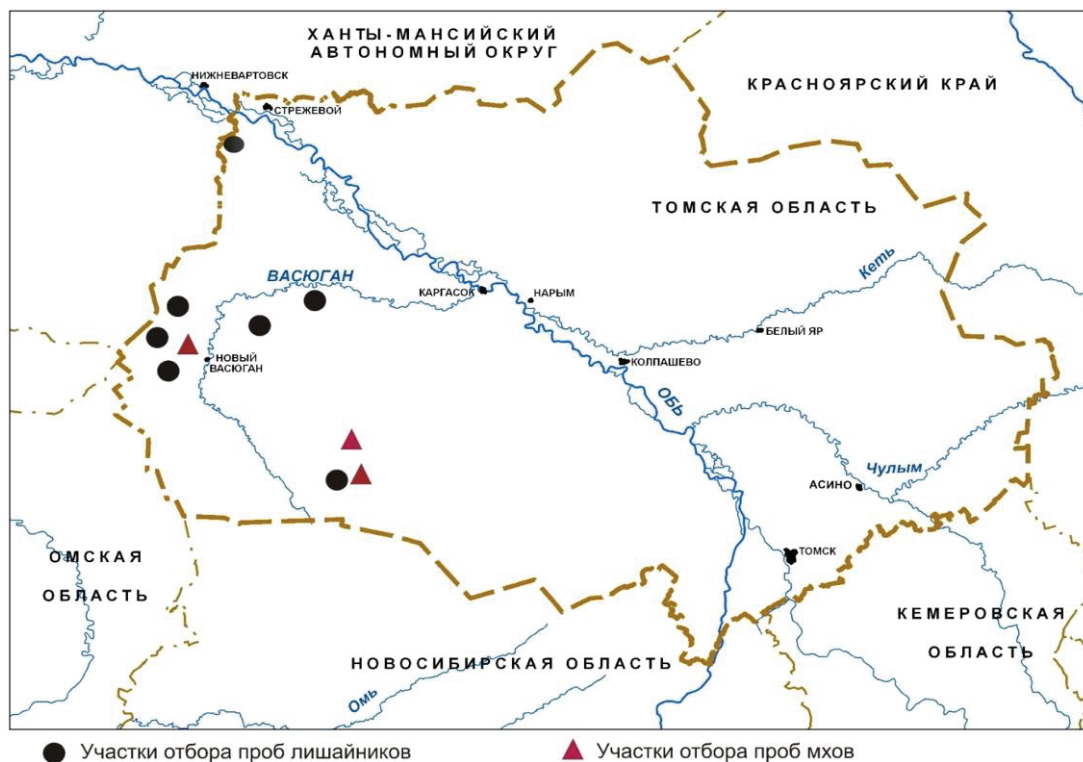


Рис. 1. Обзорная карта-схема расположения пунктов отбора проб лишайников и мхов

Образцы эпифитных лишайников были отобраны в августе–сентябре 2011–2012 гг., сфагновых мхов – в 2012 г. на территории 7 нефтяных месторождений. Расположение точек опробования определено относительно источников воздействия на природную среду (разрабатываемых месторождений) и территориальной доступностью. Отбор проб выполнен как вблизи источников выбросов, так и на значительном удалении от них. Образцы лишайников отбирались со стволов деревьев на высоте 1,5–2,0 м от поверхности земли, чтобы по возможности исключить загрязнение частицами почвы. Сфагновые мхи отбирались с использованием одноразовых перчаток и ножа из нержавеющей стали. Пробы лишайников и мхов помещали в герметичные пластиковые пакеты.

При проведении полевых работ принимались во внимание эпифитные лишайники следующих видов: *Hypogymnia physodes.*, *Evernia Mesomorpha*, *Usnea hirta*, *Bryoria Nadvornikiana*, *Bryoria fukcellata*, *Parmelia Sulcata*, *Hypogymnia Vitala*, *Melanohalea olivacea*, *Lobaria pulmonaria*. На верховых болотах были отобраны мхи видов *Sphagnum Fuskum* и *Pleurosium Schreberi*. Виды лишайников и мхов были определены сотрудниками Томского государственного университета В.В. Конева и А.Л. Борисенко.

В лаборатории образцы проб были очищены от посторонних частиц (коры, хвои и других включений) и высушены при комнатной температуре. Для аналитических исследований готовились лишайники наиболее распространенных видов: *Ever-*

nia Mesomorpha, *Usnea Subfloridana*, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia Sulcata*. Лишайники разных видов в пробах смешаны, так как не различаются по характеру накопления химических элементов [5]. Количественное содержание каждого вида в пробе представлено в зависимости от количества собранного материала.

Для достижения равномерного распределения химических элементов внутри пробы образцы были гомогенизированы с помощью электрической кофемолки (нержавеющая сталь). Измельчение проб в агатовой ступке не представлялось возможным вследствие волокнистой структуры растительных образцов. Растительные гомогенизированные образцы озолялись в муфельной печи. В течение часа температуру доводили до 100 °С, затем озоляли пробы при температуре 550 °С согласно ГОСТ 277848–8. «Почвы. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв». Озоление растительных проб позволяет снизить вероятность возникновения погрешностей от органической части и улучшает репрезентативность результатов благодаря концентрированию элементов в пробах. Подготовленные образцы после остывания взвешивались (по 100 мг) и тщательно упаковывались в пакетики из фольги. Для количественного анализа на содержание химических элементов в лишайниках и мхах использовался современный высокочувствительный ядерно-физический метод инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА), выполненный в ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохи-

мии Томского политехнического университета (ТПУ) (аналитик с.н.с. А.Ф. Судыко).

Метод ИНАА является одним из наиболее точных многоэлементных методов, особенно для измерения брома, хрома, кобальта, рубидия, сурьмы, скандия и цинка. Аналитические исследования в ядерно-геохимической лаборатории ТПУ проводятся с использованием стандартных образцов сравнения. Метод использовался, в том числе, для изучения содержаний химических элементов в растениях. Например, сопоставление данных лаборатории с паспортными значениями при использовании стандарта МАГАТЭ «Лист берёзы» показало хорошую сходимость [7].

Концентрации химических элементов в пробах были пересчитаны на единицу сухой массы с помощью коэффициента озоления, рассчитанного для проб лишайника и мха.

Обработка результатов осуществлялась с помощью программного продукта Excel, были проанализированы данные по концентрациям 28 элементов. В некоторых случаях была произведена выбраковка крайних значений.

Результаты и их обсуждение

В целом содержания химических элементов в сфагновых мхах и эпифитных лишайниках изучаемой территории Томской области незначительно отличаются от литературных данных (таблица). Для сравнения полученных результатов нами были использованы опубликованные материалы по концентрациям химических элементов в мхах и лишайниках на территории Западной Сибири [6, 8–10], Северных районов Евразии и Канады [11], и Германии [12, 13]. Северные территории имеют сходные климатические условия с Томской областью. Опубликованной информации, касающейся содержаний редкоземельных элементов в мхах и лишайниках, крайне мало, поэтому для сравнения были использованы результаты, полученные при проведении мониторинга в Германии.

Содержания химических элементов в сфагновых мхах

В сравнении с имеющимися данными других исследователей (таблица), сфагновые мхи северо-западной и западной территорий (район НГДК) Томской области характеризуются более высокими содержаниями железа. Концентрации остальных элементов близки к значениям для сфагновых мхов Западной Сибири по данным Л.Г. Бабешиной [8]. Согласно Л.Г. Бабешиной, изменение природно-климатических условий с юга на север не влияет на количественное содержание химических элементов в сфагновых мхах. В сравнении с данными по некоторым металлам для севера Западной Сибири [6], содержания Cr и Fe выше в исследованных нами мхах, а содержания Co ниже, для Zn характерны примерно одинаковые значения. По другим регионам территории России данных очень мало. В Вологодской области были определены содержания нескольких металлов (таблица): содержания

Cr, Zn, Sb и Ag выше, чем в исследованных нами мхах, содержания Cr и Co ниже.

При сопоставлении результатов аналитических исследований сфагновых мхов Томской области и Германии (округ Гессен) [12] отмечается, что во мхах Германии содержится больше Ca (в 2,3 раза), Cr (в 1,7 раза), Zn (в 1,5 раза), содержания остальных элементов, по которым есть данные, находятся примерно на одном уровне. Для исследованных сфагновых мхов в районе «Черный лес» (Schwarzwald) [13] характерны более низкие, по сравнению с нашими данными, содержания лантаноидов, за исключением Eu (таблица).

На рис. 2 представлены кривые распределения химических элементов в исследованных пробах сфагновых мхов верховых болот в сравнении со средними содержаниями по Западной Сибири. Отмечены максимальные концентрации химических элементов, превышающие средние значения для сфагновых мхов Западной Сибири [8]: Na (0,097 %), Ca (0,49 %), Sc (0,29 мг/кг), Cr (6,94 мг/кг), Fe (0,103 %), Zn (63,14 мг/кг), Ba (87,6 мг/кг), La (1,12 мг/кг), Ce (1,95 мг/кг), Eu (0,042 мг/кг), Yb (0,12 мг/кг), Lu (0,016 мг/кг), Hf (0,32 мг/кг), Th (0,23 мг/кг). В целом эти значения незначительно превышают среднее для Западной Сибири (в 1,2–1,9 раз). Исключение составляют Sc (более чем в 2 раза) и Fe (в 6 раз).

Накопление натрия в верхних интервалах сфагновых болот в целом характерно для территорий расположения нефтегазовых месторождений Томской области [14]. Повышенные по сравнению со средним для Западной Сибири содержания кальция и бария в верховых сфагновых болотах (в слое живого мха) в районах НГДК Томской области отмечались и ранее [14]. При ранее проведенных исследованиях болот Томской области повышенные содержания Sc, Hf и лантаноидов в слое живого мха были также зафиксированы в одном из болот, расположенных недалеко от места разработки нефтяного месторождения [4, 14]. Поступление данных элементов в мох может происходить либо при ветровом переносе с частицами пыли и почвы, либо в результате антропогенной деятельности. Повышенные содержания железа объясняются региональными особенностями.

Не исключено также поступление химических элементов в природные экосистемы в результате дальних переносов от разнообразных антропогенных и природных источников [2, 15].

Содержания химических элементов
в эпифитных лишайниках

Сопоставление результатов содержаний химических элементов в лишайниках изучаемого района с опубликованными данными [9, 11, 13] показывает, что содержания Cr, Fe, Zn, Sb, Sc, Yb, U в изученных нами пробах в среднем в 1,5–3 раза выше (таблица). Литературные данные отражают небольшой спектр исследуемых элементов. Для лишайников севера Западной Сибири характерны бо-

Таблица. Содержания химических элементов (мг/кг, в пересчёте на сухое вещество) в сфагновых мхах и эпифитных лишайниках Томской области в сравнении с литературными данными

Хим. элементы, мг/кг	Мхи					Лишайники				K _c
	Томская обл., наши данные, среднее ±σ (7 проб)	Север Зап. Сибири [6]	Зап. Сибирь [8]	Вологодская область [10]	Германия: Гессен [12], Шварцвальд [13]	Томская обл., наши данные, среднее ±σ (15 проб)	Северные районы Евразии и Канады [11]	Север Зап. Сибири, участки бурения [9]	Шварцвальд, Германия [13]	
Na, %	0,031±0,01 0,018–0,048	–	0,054	–	0,03	0,032±0,01 0,011–0,065	–	–	–	1,0
Ca, %	0,18±0,06 0,106–0,489	–	0,25	–	0,41	0,21±0,09 0,11–0,482	0,76	–	–	1,2
Sc	0,20±0,06 0,10–0,29	–	0,14	–	–	0,38±0,12 0,21–0,59	0,18	–	–	1,9
Cr	4,0±1,5 2,4–6,9	2,71	5,3	6,3	6,7	5,5±1,5 2,9–8,3	1,6	0,81	–	1,4
Fe, %	0,069±0,02 0,031–0,103	0,0110	0,0171	0,0265	0,07	0,087±0,03 0,038–0,140	0,048	0,022	–	1,3
Co	0,63±0,27 0,17–0,98	0,96	1,3	0,07	0,55	0,52±0,12 0,34–0,71	0,51	0,30	–	0,8
Zn	35,8±15,6 16,5–63,1	32,51	33	46	53,98 (58,21)'	47,8±13,7 31,8–72,9	24,1	13,5	–	1,3
As	0,17±0,09 0,01–0,26	–	0,91	–	–	0,19±0,07 0,01–0,32	0,26	–	–	1,1
Br	3,0±1,0 1,8–4,7	–	5,5	–	–	5,5±1,9 3,2–9,7	–	–	–	1,8
Rb	12,8±6,2 6,0–22,0	–	23	–	10,48	8,2±1,7 6,1–12,9	–	–	–	0,6
Sr	17,1±7,8 13,3–39,8	–	11	–	12,62	15,1±4,7 9,5–18,0	–	–	–	0,8
Ag	0,01±0,002 0,006–0,27	–	–	0,53	0,02	0,01±0,001 0,009–0,01	–	–	–	1,0
Sb	0,10±0,03 0,06–0,15	–	0,13	0,22	–	0,12±0,04 0,05–0,23	0,08	–	–	1,2
Cs	0,20±0,09 0,11–0,37	–	0,39	–	–	0,17±0,05 0,11–0,28	–	–	–	0,9
Ba	31,3±13,5 8,4–87,6	–	45	–	–	26,3±6,2 16,2–41,9	–	–	–	0,8
La	0,70±0,24 0,26–1,12	–	0,86	–	0,38'	1,23±0,23 0,63–1,53	–	–	1,96	1,8
Ce	1,22±0,4 0,62–1,95	–	1,6	–	0,794'	2,01±0,55 1,08–2,79	–	–	4,46	1,6
Sm	0,12±0,04 0,08–0,19	–	0,15	–	0,063'	0,19±0,05 0,11–0,26	–	–	0,43	1,6
Eu	0,02±0,009 0,011–0,042	–	0,03	–	0,14'	0,045±0,011 0,025–0,055	–	–	0,09	2,3
Tb	0,013±0,005 0,005–0,19	–	0,02	–	0,007'	0,025±0,009 0,010–0,045	–	–	0,05	1,9
Yb	0,060±0,03 0,022–0,12	–	0,06	–	0,026'	0,073±0,025 0,030–0,10	–	–	0,18	1,2
Lu	0,007±0,002 0,004–0,016	–	0,01	–	0,004'	0,016±0,009 0,006–0,025	–	–	0,03	2,3
Hf	0,10±0,03 0,06–0,32	–	0,12	–	–	0,17±0,09 0,05–0,40	–	–	–	1,3
Ta	0,024±0,01 0,013–0,042	–	–	–	–	0,031±0,009 0,021–0,051	–	–	–	1,3
Au	0,002±0,0009 0,001–0,008	–	–	–	–	0,001±0,0001 0,0006–0,002	–	–	–	0,5
Th	0,14±0,05 0,06–0,26	–	0,18	–	–	0,25±0,11 0,10–0,38	–	–	–	1,8
U	0,08±0,03 0,02–0,10	–	0,11	–	–	0,15±0,06 0,10–0,28	0,7	–	–	1,9
Ad, %	3,51	–	–	1,84	–	3,68	–	–	–	–
La/Yb	11,7	–	14,3	–	–	16,8	–	–	10,8	–
Th/U	1,8	–	1,6	–	–	1,6	–	–	–	–

Примечание: σ – стандартное отклонение; в знаменателе представлены минимальные и максимальные содержания; K_c – отношение концентраций элементов в лишайниках к концентрациям во мхах; Ad – зольность.



Рис. 2. Содержания химических элементов в исследованных пробах сфагновых мхов (сухое вещество, мг/кг) в сравнении со средними значениями для Западной Сибири (по Л.Г. Бабешиной [8])

лее низкие, в сравнении с нашими данными, содержания металлов Cr, Fe, Co и Zn. В сравнении с северными районами Евразии и Канады в лишайниках Томской области отмечаются более высокие уровни накопления Sc (в 2,1 раз), Cr (в 3,4 раза), Fe (в 1,8 раз), Zn (в 2 раза), Sb (в 1,5 раза) U (в 2,1 раз). Более низкие содержания отмечены для Ca (в 3,6 раз), содержания Co и As примерно на одном уровне. Для лишайников Томской области характерны более низкие содержания лантаноидов, чем для лишайников Германии [13] (таблица).

Повышенное содержание железа в лишайниках Томской области, по сравнению с другими регионами, обусловлено, вероятно, привнесом частиц почв, для которых характерны высокие уровни содержания данного элемента в поверхностных горизонтах (региональная геохимическая особенность). Повышенные содержания Sb и U могут быть связаны с дальним переносом частиц [2, 15]. Кроме того, Sb, наряду с Br, является индикаторным элементом нефтедобывающего комплекса [7].

Повышенные концентрации Sc характерны для районов разработки нефтяных месторождений [4, 14]. Вероятно, что содержания в лишайниках Zn и Cr обусловлены непосредственно антропогенной деятельностью на территории месторождений: сжиганием попутного нефтяного газа на факельных установках, процессами подогрева нефти в печах, работой дизельных электростанций, транспорта и тяжёлой автотехники.

На рис. 3 представлены кривые содержания химических элементов в лишайниках, отобранных как вблизи потенциальных источников загрязнения (контрольные пункты), так и на максимальном удалении от таковых (условно фоновые пунк-

ты месторождений, расположенные от 2 до 10 км от источников выбросов, в зависимости от площади месторождения и концентрации источников на нём). Условно фоновые пункты были выделены из общего числа пунктов пробоотбора ввиду отсутствия достаточных данных о среднем содержании химических элементов в лишайниках Западной Сибири. Наблюдается крайне незначительное превышение содержаний химических элементов (в 1,2–2 раза) в контрольных пунктах в сравнении с «условным фоном». Это может говорить как о незначительном влиянии источников выбросов вследствие хорошего рассеивания загрязняющих веществ, так и о том, что на такие условно фоновые пункты могут оказывать влияние источники, находящиеся на соседних месторождениях, которые на рассматриваемой территории зачастую расположены весьма близко друг от друга.

В экологических исследованиях нередко в качестве индикаторов антропогенного загрязнения используются отношения некоторых химических элементов [7]. Например, величина отношения La к Yb (таблица) позволяет определить источники поступления лантаноидов в природные экосистемы. Основным «транспортёром» лантаноидов в исследуемые биологические объекты (мхи и лишайники) является ветровой перенос частиц пыли, песка и почвы. Так, для мхов значение La/Yb близко к таковому для песчаников (11,1), для лишайников же близко к значению La/Yb в глинах (16). Отношение Th к U позволяет выявить нарушения природного баланса этих элементов. Для мхов и лишайников значения Th/U не имеют отклонений, находятся на одном уровне и близки к таковому в растениях [7] и торфах верховых болот [4].

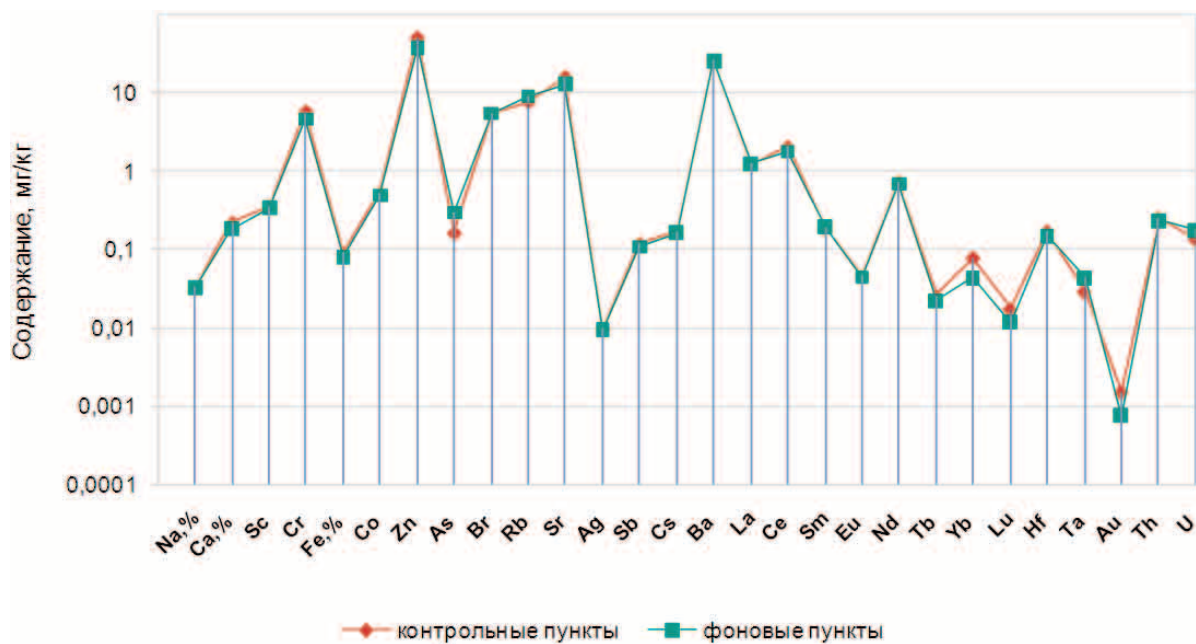


Рис. 3. Содержание химических элементов в исследованных пробах эпифитных лишайников (сухое вещество, мг/кг)

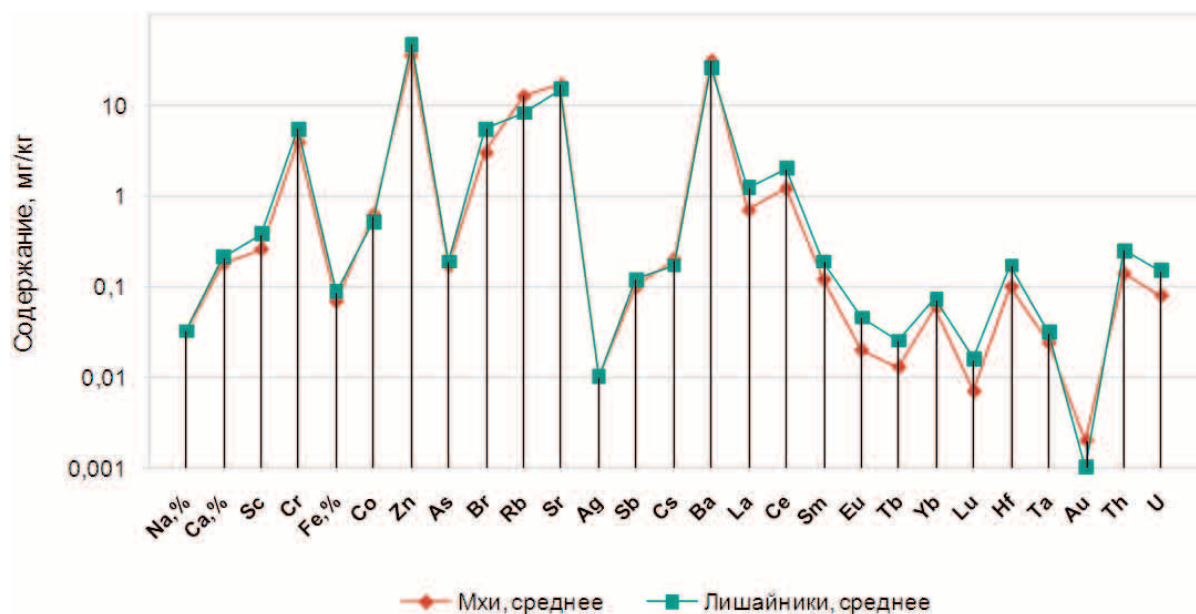


Рис. 4. Содержание химических элементов в сухом веществе мхов и лишайников, мг/кг

При сравнении установленных в результате исследования концентраций химических элементов в лишайниках и мхах выявлены превышения содержаний (K_c , таблица) в лишайниках по сравнению с мхами таких элементов, как Sc – в 1,9; Br – в 1,8; Ce – в 1,6; Sm – в 1,6; Eu – в 2,3; Tb – в 1,9; La – в 1,8; Yb – в 1,2; Lu – в 2,3; Th – в 1,8; U – в 1,9 раз (рис. 4). Уровни накопления Na, Ca, Cr, Fe, Co, Zn, As, Sr, Sb, Hf, Ta в лишайниках и мхах находятся приблизительно в одном диапазоне. Концентрации Rb, Ag, Cs, Ba, Au выше во мхах, чем в лишайниках, в 1,5–5 раз.

Заключение

В результате проведённых исследований определены уровни концентраций химических элементов в сфагновых мхах и лишайниках-эпифитах района НГДК Томской области. Так как химический состав мхов и лишайников формируется преимущественно за счет атмосферного питания, они могут служить индикаторами состояния окружающей среды.

В изученном районе отмечены повышенные, в сравнении со средними данными для Западной Сибири, содержания железа в сфагновых мхах. Крo-

ме того, в некоторых пробах мхов отмечены более высокие содержания Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Zn, Ba, лантаноидов, Hf и Th, которые незначительно превышают среднее для Западной Сибири, но, тем не менее, могут являться характерными для района НГДК Томской области. По сравнению со сфагновыми мхами Германии изученные пробы мхов характеризуются более высокими содержаниями лантаноидов.

Для лишайников данные по средним содержаниям химических элементов на территории Западной Сибири немногочисленны и ограничиваются несколькими металлами. Для изученных лишайников характерны более высокие содержания Cr, Fe, Co и Zn. В сравнении с Северными районами Евразии и Канады отмечены более высокие концентрации Sc, Cr, Fe, Zn, Sb, U. При сравнении уровней накопления химических элементов лишайниками и мхами установлено, что для лишайников характерны повышенные уровни накопления Sc, Br, Ce, Sb, Eu, Tb, La, Lu, Th, U, для мхов – Rb, Ag, Cs, Ba, Au. Содержание Na, Ca, Cr, Fe, Co,

Zn, As, Sr, Sb, Yb, Hf, Ta в исследуемых биомониторах находится приблизительно на одном уровне.

Наблюдается крайне незначительная разница в содержаниях химических элементов в лишайниках и сфагновых мхах (в 1,2–2 раза) в контрольных пунктах в районе НГДК в сравнении со средними значениями для Западной Сибири для мхов и с «условным фоном» для лишайников. Это может говорить о незначительном влиянии источников выбросов на месторождениях вследствие хорошего рассеивания загрязняющих веществ.

Исследовательская работа была поддержана грантом РФФИ № 1220-0-553-3-1522. Авторы выражают огромную благодарность сотрудникам департамента Экологии ОАО «ТомскНИПИнефть» А. Искрижицкому, В. Кондыкову, Ю. Носкову, А. Чемерису, Д. Гвоздыреву за помощь в отборе проб растительного материала. Авторы также искренне благодарны сотрудникам Томского государственного университета В. Коневої и А. Борисенко за определение ботанического состава проб мхов и лишайников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашихмина Т.Я., Тимонюк В.М. Мох *Pleurozium Schreberi* как биоиндикатор загрязнения атмосферы // *Естествознание и гуманизм: Сб. научных трудов / под ред. проф., д.м.н. Н.Н. Ильинских.* – 2008. – Т. 5. – Вып. 1. – С. 112–113.
2. Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений / пер. с англ. И.Н. Михайловой. – М.: ГЕОС, 2005. – 457 с.
3. Dragovi S., Mihailovi N. Analysis of mosses and topsoils for detecting sources of heavy metal pollution: multivariate and enrichment factor analysis // *Environmental Monitoring and Assessment.* – 2009. – V. 157. – P. 383–390.
4. Межибор А.М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области: дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2009. – 153 с.
5. Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Хожина Е.И. Распределение радионуклидов и микроэлементов в лишайниковом покрове различных регионов Западной Сибири // *Геология и геофизика.* – 2005. – Т. 46. – № 2. – С. 206–216.
6. Московченко Д.В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири // *География и природные ресурсы. Научный журнал.* – 2006. – № 1. – С. 63–67.
7. Барановская Н.В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Томск, 2011. – 46 с.
8. Бабешина Л.Г. Сфагновые мхи Западно-Сибирской равнины: морфология, анатомия, экология и применение в медицине: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Томск, 2011. – 38 с.
9. Московченко Д.В., Валеева Э.И. Содержание тяжёлых металлов в лишайниках на Севере Западной Сибири // *ВЭЛЛ (Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения).* – 2011. – № 11. – С. 162–172.
10. Содержание тяжелых металлов в сфагновых мхах Вологодской области / В.П. Шевченко, Д.А. Филиппов, В.В. Гордеев, Л.Л. Демина // *Современные проблемы науки и образования.* – 2011. – № 14. – С. 1–8.
11. Reimann C., de Caritat P. Chemical elements in the environment. Factsheets for the geochemists and environmental scientists. – Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 1998. – 398 p.
12. Mezhibor A.M., Podkozlin I. Comparative characteristic of the sphagnum moss and peat of upland bogs in Siberia, Russia and central part of Germany // *Abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2013.* – Vienna, Austria, 07–12 April 2013. URL: <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/posters/11590> (дата обращения: 03.11.2013).
13. Origin and fluxes of atmospheric REE entering an ombrotrophic peat bog in Black Forest (SW Germany): Evidence from snow, lichens and mosses / D. Aubert, G. Le Roux, M. Krachler, A. Cheburkin // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* – 2006. – № 70. – P. 2815–2826.
14. Межибор А.М. Загрязнение атмосферного воздуха в нефтедобывающих районах Томской области по результатам исследований верховых торфяников // *Аспировские чтения: Сб. трудов Междунар. научно-практ. конф.* – Туапсе, 6–9 октября 2010. – Т. 1. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – С. 238–239.
15. Lichen and moss bags as monitoring devices in urban areas. P. I: Influence of exposure on sample vitality / M. Tretiach, P. Adamo, R. Bargagli, L. Baruffo, L. Carletti, P. Crisafulli, S. Giordano, P. Modenesi, S. Orlando, E. Pittao // *Environmental Pollution.* – 2007. – № 146. – P. 380–391.

Поступила 06.11.2013 г.

BIOGEOCHEMISTRY OF SPHAGNUM MOSS AND EPIPHYTIC LICHENS IN OIL AND GAS EXPLORATION AREAS OF TOMSK REGION

Antonina M. Mezhibor,

Cand. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: amezhibor@gmail.com

Tatyana S. Bolshunova,

TomskNIPlneft, 72, Mira Avenue, Tomsk, 634027, Russia. E-mail: BolshunovaTS@gmail.ru

Taking into account the lack of information about the atmospheric pollution by various chemical elements in territories of oil and gas exploration, including Tomsk region, the authors have implemented the method of atmosphere motoring using sphagnum moss and epiphytic lichens. The aim of the research is to estimate the environment state in oil exploration territories of Tomsk region using biomonitors (epiphytic lichens and sphagnum moss). The plant ash was analyzed by INAA method for the quantitative determination of 28 chemical elements. As a result of the study, lichens concentrate more Sc, Br, Ce, Sn, Eu, Tb, La, Lu, Th, U than moss, and moss concentrates more Rb, Ag, Cs, Ba, Au than lichens. Contents of Na, Ca, Cr, Fe, Co, Zn, As, Sr, Sb, Yb, Hf, Ta in the studied samples are approximately at the same level. In comparison with the mean values for West Siberia and other regions of the world, the studied territory has higher concentrations of Cr, Fe, Zn, Sb, Sc, Sr, Yb, Hf, U. This can be caused both by the influence of local sources of atmospheric pollution at oil deposits, and geochemical, geographical, and climatic peculiarities of the studied territory.

Kew words:

Regions of oil and gas exploration of Tomsk region, biomonitors, Sphagnum moss, epiphytic lichens, concentrations of chemical elements.

REFERENCES

1. Ashikhmina T.Ya., Timonyuk V.M. Mokh Pleurozium Sreberi kak bioindikator zagryazneniya atmosfery [Moss Pleurozium Sreberi as a bioindicator of atmosphere pollution]. *Sbornik nauchnykh trudov «Estestvoznaniye i gumanizm»*. Ed. N.N. Iin-skikh. 2008, vol. 5, Iss. 1, pp. 112–113.
2. Bargagli R. *Biogeokhimiya nazemnykh rasteniy* [Biogeochemistry of terrestrial plants]. Moscow, GEOS Publ., 2005. 457 p.
3. Dragovii S., Mihailovii N. Analysis of mosses and topsoils for detecting sources of heavy metal pollution: multivariate and enrichment factor analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, vol. 157, pp. 383–390.
4. Mezhibor A.M. *Ekogeokhimiya elementov-primesey v verkhovykh torfakh Tomskoy oblasti*. Kand. Diss. [Ecogeochemistry of trace elements in upland peat of Tomsk region. Cand. Diss.]. Tomsk, 2009. 153 p.
5. Strakhovenko V.D., Shcherbov B.L., Khozhina E.I. Rasprede-lenie radionuklidov i mikroelementov v lishaynikovom pokrove razlichnykh regionov Zapadnoy Sibiri [Distribution of radionuclides and trace elements in lichens of different regions of Western Siberia]. *Geologiya i geofizika – Russian Geology and geophysics*, 2005, vol. 46, no. 2, pp. 206–216.
6. Moskovchenko D.V. Biogeokhimiicheskie osobennosti verkhovykh bolot Zapadnoy Sibiri [Biogeochemical peculiarities of upland bogs of Western Siberia]. *Geografiya i prirodnye resursy – Geography and natural resources*, 2006, no. 1, pp. 63–67.
7. Baranovskaya N.V. *Zakonomernosti nakopleniya i raspredeleniya khimicheskikh elementov v organizmakh prirodnnykh i prirodno-antropogennykh ekosistem. Avtoreferat Dokt. Diss.* [Regularities of chemical elements accumulation and distribution in organisms of natural and nature-anthropogenic ecosystems. Dr. Diss. Abstract]. Tomsk, 2011. 46 p.
8. Babeshina L.G. *Sfagnovye mkhi Zapadno-Sibirskoy ravniny: morfologiya, anatomiya, ekologiya i primeneniye v meditsine. Avtoreferat Kand. Diss.* [Sphagnum moss of Western Siberian plane: morphology, anatomy, ecology and application in medicine. Cand. Diss. Abstract]. Tomsk, 2011. 38 p.
9. Moskovchenko D.V., Valeeva E.I. Soderzhanie tyazhelykh metallov v lishaynikakh na Severe Zapadnoy Sibiri [Contents of heavy metals in lichens in the north of Western Siberia]. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*, 2011, no. 11, pp. 162–172.
10. Shevchenko V.P., Filippov D.A., Gordeev V.V., Demina L.L. Soderzhanie tyazhelykh metallov v sfagnovykh mkhakh Vologodskoy oblasti [Contents of heavy metals in sphagnum moss of Vologodsk region]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2011, no. 14, pp. 1–8.
11. Reimann C., de Caritat P. *Chemical elements in the environment. Factsheets for the geochemists and environmental scientists*. Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, 1998. 398 p.
12. Mezhibor A.M., Rodkozlin I. *Comparative characteristic of the sphagnum moss and peat of upland bogs in Siberia, Russia and central part of Germany. Abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2013*. Vienna, Austria, 2013. Available at: <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/posters/11590> (accessed 03 November 2013).
13. Aubert D., Le Roux G., Krachler M., Cheburkin A. Origin and fluxes of atmospheric REE entering an ombrotrophic peat bog in Black Forest (SW Germany): Evidence from snow, lichens and mosses. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2006, no. 70, pp. 2815–2826.
14. Mezhibor A.M. Zagryaznenie atmosfernogo vozdukh v nefte-dobyvayushchikh rayonakh Tomskoy oblasti po rezultatam issledovaniy verkhovykh torfyanikov [Atmospheric air pollution in oil exploration areas of Tomsk region by the results of upland peatlands research]. *Ashirovskie chteniya: Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Ashirov reading: Proc. of the Intern. scientific-practical conference]. Samara, 2010. B. 1, pp. 238–239.
15. Tretiach M., Adamo P., Bargagli R., Baruffo L., Carletti L., Crisafulli P., Giordano S., Modenesi P., Orlando S., Pittao E. Lichen and moss bags as monitoring devices in urban areas. P. I: Influence of exposure on sample vitality. *Environmental Pollution*, 2007, no. 146, pp. 380–391.


Редактирование *А.С. Глазырин*
Компьютерная верстка *О.Ю. Аршинова*
Перевод на англ. язык и корректура *С.В. Жаркова*

Подписано к печати *xx.xx.2014*. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 24,89. Уч.-изд. л. 22,51.
Заказ *xxx-14*. Тираж 500 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета
сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
Тел./факс: 8(3822) 563-291, www.tpu.ru, izv@tpu.ru