

На основании полученных данных в экспериментальной непроточной электрохимической ячейки (рис. 2, 3) определили максимально эффективные параметры ведения процесса: необходимо 1% подкисление уксусной кислотой катодной камеры и время ведения процесса 2400 с. Однако этот режим не дает стабильных результатов, очистки сбросных вод до норм радиационной безопасности.

На данном этапе исследования разрабатываются варианты улучшения полученных результатов с переходом на проточный аппарат очистки сбросных вод исследовательского ядерного реактора ИТР-Т Томского политехнического университета.

#### Литература

1. Калухин С.А., Коновалова Н.А., Горбачева М.П. Извлечение  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  из модульного раствора трапных вод АЭС // Журнал Радиохимия. – 2013. – Т. 55, № 3. – С. 242–248.
2. Никифоров А.С., Кулеченко В.В., Жихарев М.И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 184 с.
3. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. – Л.: Химия, 1991. – 432 с.
4. Сваровский А.Я., Стриханов М.Н., Жиганов А.Н. Технология и оборудование обезвреживания жидких радиоактивных отходов: учеб. пособие. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 500 с.

## ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ПОЗИЦИЯ И СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ГРАНИТОИДОВ АМАЛАТСКОГО ПЛАТО

Е.С. Кузнецова, В.А. Домаренко

Томский политехнический университет, Томск, Россия

## GEOLOGY-STRUCTURAL POSITION AND SPECIALIZATION OF GRANITOID THE AMALAT PLATEAU

E.S. Kuznetsova, V.A. Domarenko

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Представлены результаты изучения геолого-структурной позиции и специализации гранитоидов Амалатского плато. Определен минеральный и элементный состав гранитоидов фундамента. Установлено, что гранитоиды фундамента представлены лейкократовыми биотитовыми гранитами субщелочного ряда, определены основные породообразующие минералы, акцессорная минерализация (апатит, циркон, сфен, магнетит, монацит, ксенотим) и минералы носители урана. Установлена высокая радиоактивность гранитоидов фундамента торий-урановой и урановой природы.

The results of the studying of Geology-structural position and specialization of granitoid the Amalat table land. The mineral and element structure of granitoids' base was stated. It has been stated that granitoids in basement consist of leucocratic biotite granite of subalkaline row. The major rock-forming, accessory (apatite, zircon, sphen, magnetite, monazite, xenotime), and uranium-bearing minerals have been determined. High radioactivity of basement granitoids of thorium-uranium and uranium origin was stated.

В 70-е гг. как на территории России, так и в странах СНГ было открыто множество грунтово-инфильтрационных месторождений "палеодолинного" типа мезозойского и кайнозойского возраста залегающих на породах фундамента. В их числе и месторождения Хиагдинского рудного поля (Витимский урановорудный район) в Центральном Забайкалье, которые были открыты геологами №130 Сосновского ПГО (И.Р. Коробенко, П.А. Пешков и др.).

Целью работы является раскрытие вопроса о геолого-структурной позиции и определении специализации гранитоидов.

Исследуемый район расположен в пределах Витимского плоскогорья в Центральном Забайкалье. Хиагдинское рудное поле представляет собой серию урановых месторождений локализованных на Витимском плоскогорье в пределах Амалатского плато базальтов. В соответствии с тектоническим районированием территория Амалатского плато базальтов (5000 км<sup>2</sup>) рассматривается как окраинная часть Сибирской платформы, нахо-

дящаяся на стыке с Урало-Монгольским подвижным поясом. Положением района между жесткой стабильной структурой на северо-западе и тектонически активными долгоживущими зонами на юго-востоке определены основные особенности его геологического развития с образованием на разных этапах субплатформенных и субгеосинклинальных формаций в сопряженных структурах. В целом территория располагается между Курба-Амалатской и Джиды-Витимской структурно-формационными зонами, входящими в состав Селенгино-Витимской геотектонической области. Геологическими границами района являются зоны глубинных разломов – с юго-востока и северо-запада Уда – Витимская и Джиды – Витимская, на северо-востоке Точерская, а на юго-западе Конда – Витимская (рис. 1) [14].

У разных исследователей толкование периода развития Витимского плоскогорья вызывает огромный спор. Одни исследователи этот регион относят к зоне аркогенеза в мезозойский период [8], другие к активизированной платформе [1, 10], а так же к области сво-

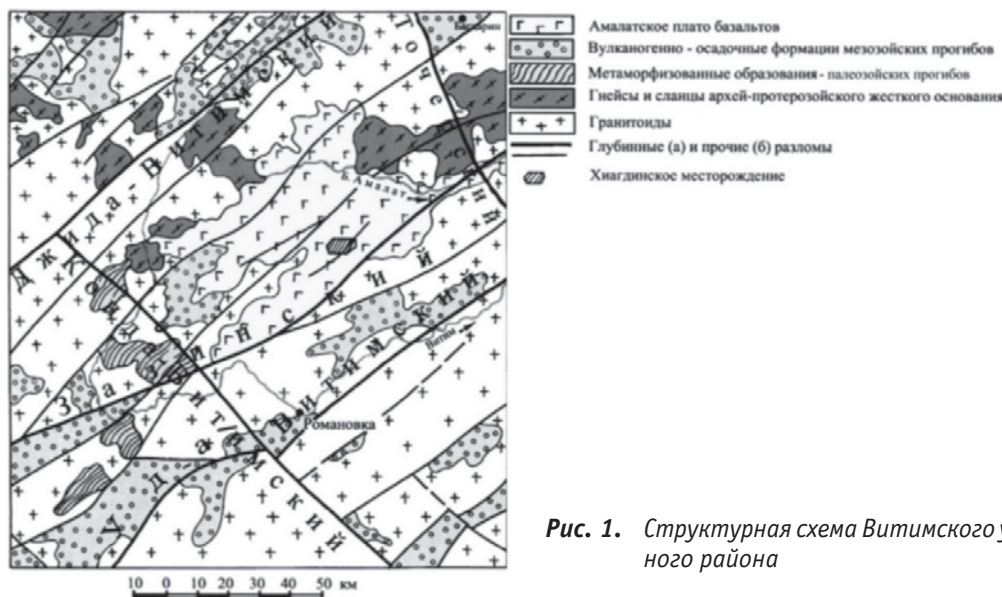


Рис. 1. Структурная схема Витимского урановорудного района

догового поднятия [2, 5, 12] и к субплатформе [13]. Эти расхождения во мнении можно объяснить, одновременным набором фактов, которые свойственны и для платформенных областей и для орогенных.

Впрочем, залегающие неметаморфизованные породы с резким угловым несогласием на складчатом неметаморфизованном фундаменте; распространенные локально грабенообразные структуры и их отсутствие вблизи жестких блоков; замена в вертикальном разрезе отложений грабенов вулканогенной формации вулканогенно-осадочной, в которой грубообломочный материал накапливается около бортов, а в центре тонкий, и затем мелкообломочной угленосной формацией; отсутствие интенсивного складкообразования; неунаследованный характер тектонических движений; длительные эпохи образования коры выветривания, на фоне которых нередко происходило осадкообразование в грабенах; отсутствие всякого осадконакопления в течение длительного времени на жестких блоках – ряд этих признаков позволяют отнести осадки этого неоднозначного периода к нижнему ярусу верхнего структурного этажа (платформенного чехла), а тектонический режим – к субплатформенному [8].

Гранитоиды фундамента Витимского урановорудного района, относящиеся к Витимканскому комплексу (PZ2-3v) [6, 7, 11] являются составной частью Ангаро-Витимского батолита Западного Забайкалья.

В основу исследований положены материалы специализированных минералого-геохимических исследований пород фундамента и продуктов их переработки на месторождениях Намару, Кореткондинское и Дыбынское.

Вещественный состав пород исследовался классическими методами оптической диагностики в проходящем и отраженном свете в шлифах и аншлифах, а также с помощью рентгеновской дифрактометрии на приборе D2 Phaser (Bruker AXS GmbH, Томск, аналитик – Д.Г. Усольцев).

Уточнение состава, изучение микровключений акцессорной и рудной минерализации проводились методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на приборе Hitachi S-3400N с энергодисперсионным спектрометром Bruker XFlash, который позволяет определять элементный состав от Li до U при содержании элемента более 0,1 вес. % (учебно-научная лаборатория оптической и электронной микроскопии Международного инновационного научно-образовательного центра (МИНОЦ) “Урановая геология” ТПУ.

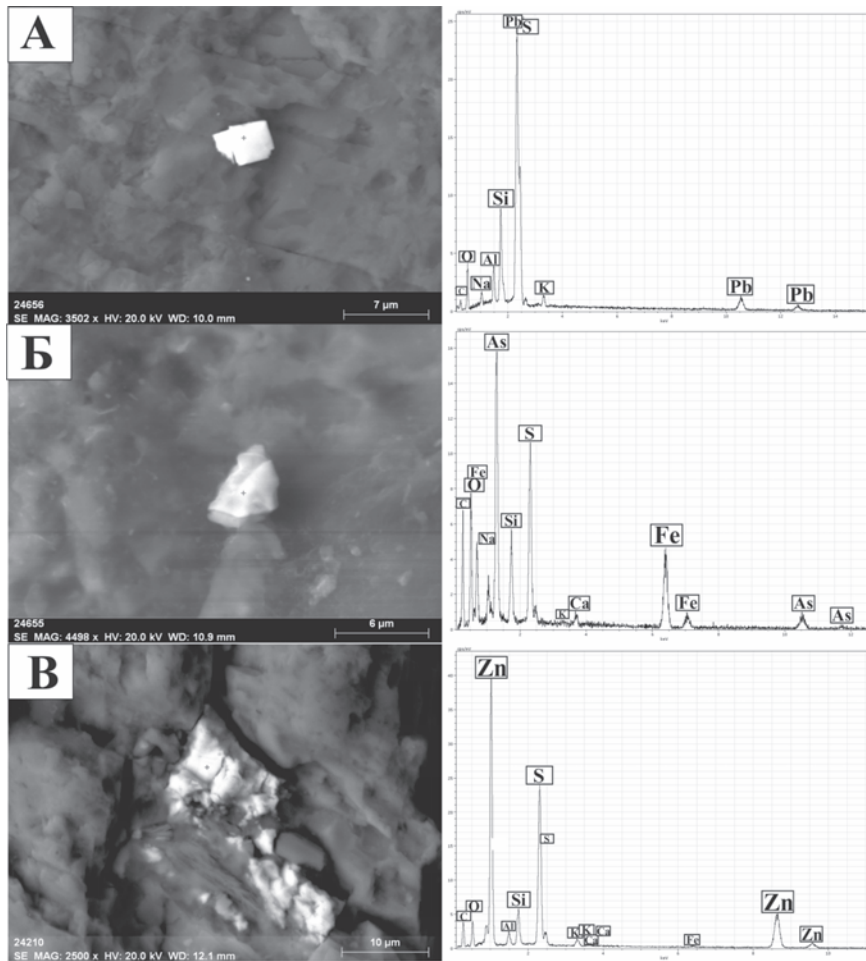
Для определения химического состава был использован высокочувствительный метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ISMS) по 60 элементам, в аккредитованной лаборатории ООО Химико-аналитический центр “Плазма”, г. Томск (руководитель – Н.В. Федюнина).

Гранитный фундамент на 90% сложен высокорadioактивными гранитоидами витимканского комплекса (25–40 мкр/ч).

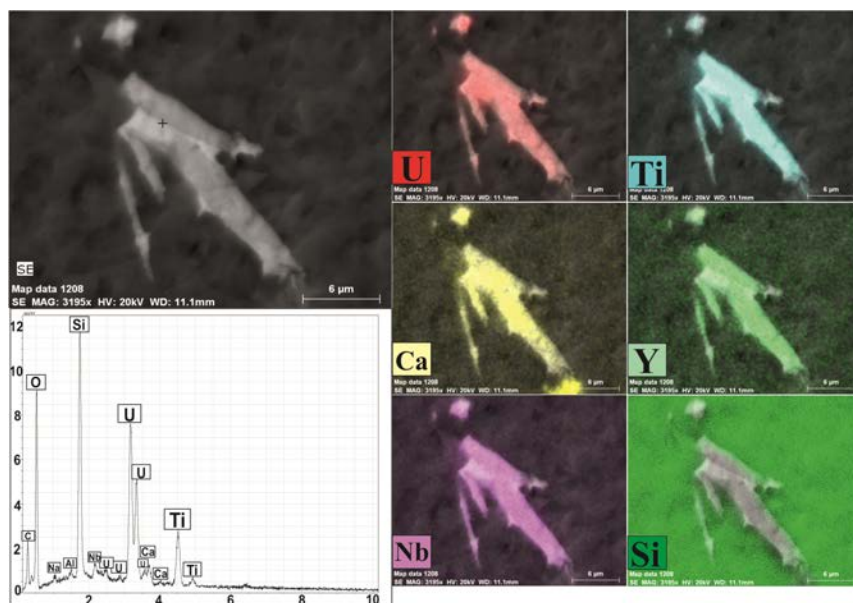
Гранитоиды с различными текстурными и структурными особенностями, среди них выделяются лейкократовые мелкозернистые, порфиоровидные граниты, гранодиориты. Макроскопически это розовые и розовато-серые породы, в которых на общем фоне среднезернистой или крупнозернистой кварц-полевошпатовой составляющей выделяются крупные порфиоровидные агрегаты или отдельные таблитчатые кристаллы полевого шпата, количество которых достигает 40–50% объема.

В преднеогеновое время все породы фундамента подвергались интенсивному химическому выветриванию и на них сформировалась глинисто-щебенистая кора выветривания мощностью от первых метров до первых десятков метров, которая позже поставляла обломочный материал для формирования продуктивной осадочной толщи джилдинской свиты неогенового возраста.

В результате исследований был определен минералогический состав гранитоидов, преимущественное



**Рис. 2.** Месторождения: А – месторождение Намару, С. 5459, инт. 327,5...327,8 м (сульфид свинца и его энергодисперсионный спектр); Б – месторождение Дыбынское, С-5227, инт. 122,0...122,2 м (смесь сульфида железа и мышьяка и его энергодисперсионный спектр); В – месторождение Кореткондинское, С. 5648, инт. 266,7...267,2 м. (сульфид цинка и его энергодисперсионный спектр)



**Рис. 3.** Месторождение Намару. С. 5459, инт. 327,5...327,8 м. Титанат урана и его энергодисперсионный спектр.

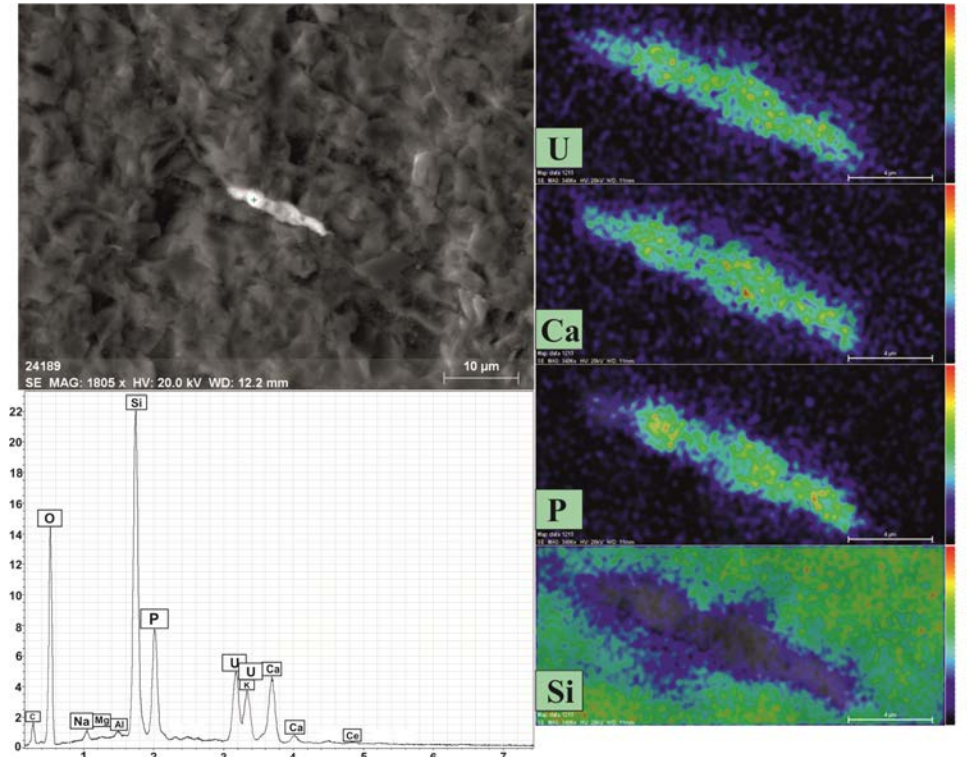


Рис. 4. Месторождение Кореткондинское. С-5648, инт.266,7...267,2 м. Кальциевый фосфат урана и его энергодисперсионный спектр.

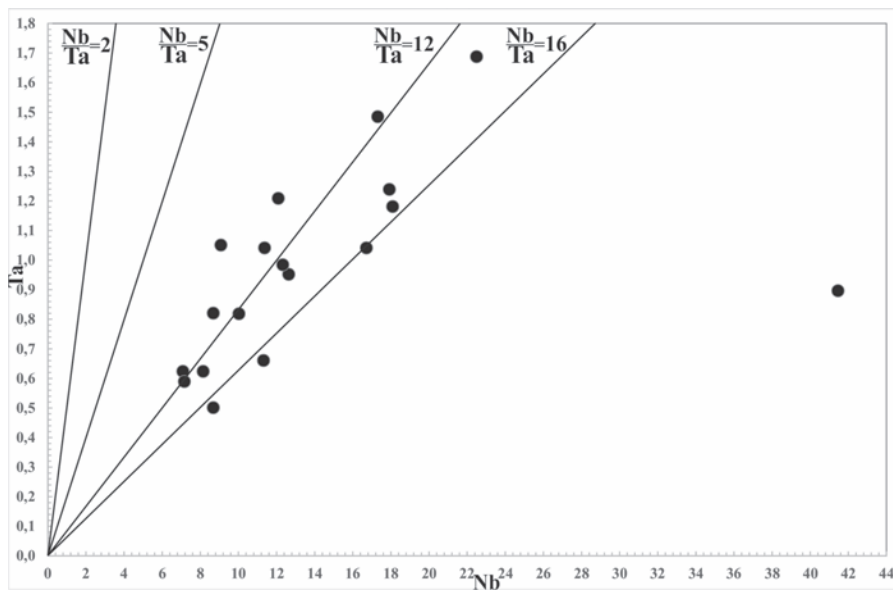
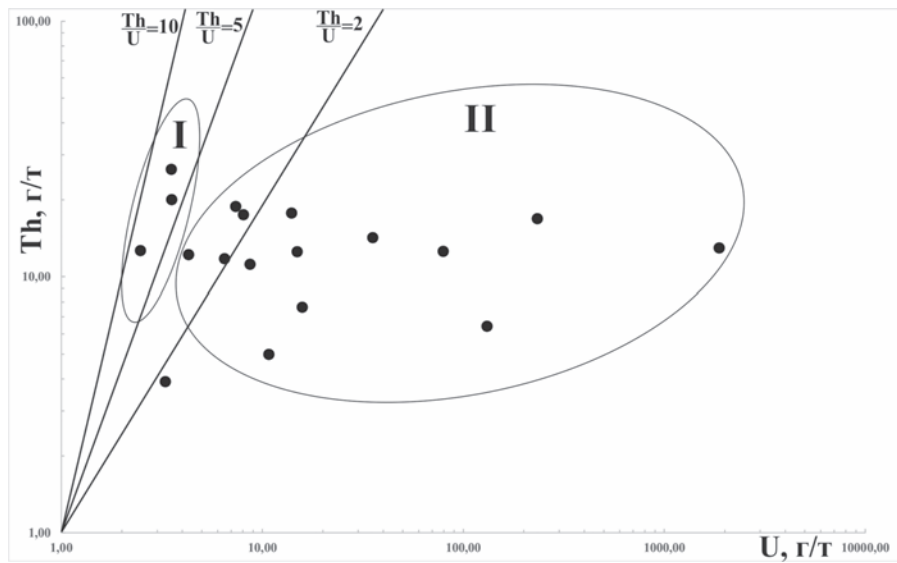


Рис. 5. Диаграмма корреляции между Ta и Nb в постагматически измененных щелочных гранитоидах Хи-агдинского рудного поля. Содержания элементов даны в г/т, все данные по Н.Е. Залошниковой и др. (1972) [4]

распространение имеют лейкократовые биотитовые граниты субщелочного ряда. Породообразующие минералы: кварц 20...35%, плагиоклаз 15...25%, калишпат 25...35%, биотит 1...5%, мусковит 1...7%. Акцессорная минерализация представлена апатитом, цирконом, сфеном, магнетитом, монацитом, ксенотимом.

В процессе детального электронно-микроскопического анализа гранитоидов фундамента авторами были обнаружены редкометалльно-редкоземельные фазы различного состава.

Также, обнаружены сульфиды железа, бария, цинка,



**Рис. 6.** Диаграмма вариаций содержания урана и тория (по Л.В. Комлеву, с дополнением А.А. Смыслова): I – повышеннорадиоактивные граниты; II – высокоорадиоактивные существенно ураноносные граниты

серебра, свинца а также интерметаллические сульфидные фазы (рис. 2).

Присутствие в гранитоидах вышеперечисленных сульфидов свидетельствует о постмагматических, метасоматических изменениях происходящих под воздействием эндогенных растворов.

При исследовании, также выявлены оксиды железа, олова, титана, никеля, золота, меди и цинка, а также циркония с примесью урана. Редкоземельная минерализация представлена фосфатами редких земель с примесью урана и тория, фосфатом иттрия.

Собственная урановая минерализация, обнаружена в двух формах: титанат урана (рис. 3) и кальциевый фосфат урана (рис. 4).

Отсутствие кремния в составе титаната урана на рисунке 3, предполагает, что это может быть браннерит с элементным составом: U – 35,6%; Ti – 15,6%; Nb – 4%; Ca – 2,6%; Y – 1,5%.

Фосфат редких земель также не содержит в своем составе кремния (рис. 4), элементный состав: U – 23,8%; Ca – 8,7%; P – 8,3%; Ce – 0,5%.

Анализируя диаграмму корреляций между Ta и Nb (рис. 5), по данным Н.Е. Заложниковой и др. (1972), гранитоиды Витимского урановорудного района характеризуются, как вольфрамоносные и танталоносные (по данным ISP MS). Еще одним подтверждением вольфрамоносности является повышенное среднее содержание вольфрама в гранитоидах 4,27 г/т при кларке 2,2 г/т [3], также в процессе электронной микроскопии обнаружена минеральная фаза оксида вольфрама с содержанием вольфрама 79%.

По Th/U отношению гранитоиды фундамента характеризуются высокой радиоактивностью торий-урановой и урановой природы (по данным ISP MS).

Подводя итоги всему вышесказанному необходимо отметить следующее:

- территория Амалатского плато базальтов представляет из себя окраинную часть Сибирской платформы, находящуюся на стыке с Урало-Монгольским подвижным поясом;
- гранитоиды фундамента Витимского урановорудного района, относятся к Витимканскому комплексу (PZ2-3v) и являются составной частью Ангаро-Витимского батолита Западного Забайкалья;
- гранитный фундамент на 90% сложен высокоорадиоактивными гранитоидами витимканского комплекса (25–40 мкр/ч);
- преобладают лейкократовые биотитовые граниты субщелочного ряда, породообразующие минералы: кварц 20...35%; плагиоклаз 15...25%; калишпат 25...35%; биотит 1...5%; мусковит 1...7%;
- аксессуарная и рудная минерализация представлена: сульфидами железа, бария, цинка, серебра, свинца, а также оксидами железа, олова, титана, никеля, золота, меди и цинка. Редкоземельная минерализация представлена фосфатами редких земель с примесью урана и тория, фосфатом иттрия. Собственная урановая минерализация, обнаружена в двух формах: титанат урана и кальциевый фосфат урана.

Редкометалльная минерализация представлена оксидами циркония и вольфрама.

#### Литература

1. Белоусов В.В. Основные вопросы геотектоники. – М. : Госгеолтехиздат, 1962. – 608 с.
2. Боголепов К.В. Опыт тектонического районирования и классификации основных послетриасовых структур Сибири и Дальнего Востока // Геология и геофизика. – 1963. – № 4. – С. 64–78.
3. Григорьев Н.А. распределение химических элементов в

- верхней части континентальной коры. – Екатеринбург : Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2009. – 162 с.
4. Домаренко В.А. Продукты постмагматической деятельности позднепалеозойских щелочных гранитоидов центральной части Мариинской тайги и их потенциальная рудоносность : автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 1979. – 102 с.
  5. Корешков И.В. Области сводового поднятия и особенности их развития. – М. : Госгеолтехиздат, 1960. – 269 с.
  6. Коробенко И.Р.; Лютиков В.П.; Аксенов П.С. Оценка перспектив ураноносности Южного фланга Витимского плоскогорья : отчет по геол. заданию №130-9 за 1977–1979 гг. – Иркутск : ГРП №130 Сосновского ПГО, 1980.
  7. Коробенко И.Р. Результаты поисков гидrogenных месторождений в неогеновых вулканогенно-осадочных формациях Амалатского плато : отчет о НИР. – Иркутск : ГРП № 130 Сосновского ПГО, 1981.
  8. Никитина Е.С. Геологическое строение и условия локализации урановых месторождений палеодолинного (базального) типа на Амалатском плато : автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. – М., 2014. – 165 с.
  9. Павловский Е.В. Геологическая история и геологическая структура Байкальской горной области // Тр. ИГН АН СССР, сер. геол. – 1948. – № 99 (31). – С. 169.
  10. Петрушевский Б.А. Значение геологических явлений при сейсмическом районировании // Тр. геофиз. ин-та РАН. – 1955. – С. 1–57.
  11. Пешков П.А. Результаты прогнозно-геологических работ и поисков м-й урана в неогеновых осадках южного фланга Амалатского плато базальтов : отчет о НИР. – Иркутск : ГРП №130 Сосновского ПГО, 1986.
  12. Соловьев В.А. Основные черты мезозойской тектоники Прибайкалья и Забайкалья. – М. : Наука, 1968. – 128 с.
  13. Флоренсов Н.А. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. – М. – Л. : Тр. Вост.-Сиб. филиала АН СССР, сер. геол. – 1960. – Вып. 19. – 240 с.
  14. Отчет о результатах предварительной разведки месторождений Хиагдинского рудного поля в Центральном Забайкалье с подсчетом запасов урана по состоянию на 1.05.1992 г. Отчет экспедиции № 130 по геологическому заданию 130-16 за 1986–1992 гг., 1993 / П.А. Пешков, В.П. Грязнов, В.Н. Ган и др. – Фонды ГП “Сосновгеология”, инв. номер 3139.

## ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ С ПОЧВАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

А.Е. Кундузбаева, А.М. Кабдыракова, С.Н. Лукашенко

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан, kunduzbaeva@nnc.kz

## SPECIATION OF ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN SOILS OF SEMIPALATINSK TEST SITE

A.E. Kunduzbayeva, A.M. Kabdyrakova, S.N. Lukashenko

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov city, Kazakhstan

В работе проведены данные исследования форм нахождения искусственных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почвах основных испытательных площадок СИП (“Опытное поле”, “Дегелен”, “4а”, объект “Атомное” озеро) и условно “фоновых” территорий СИП. Выявлены закономерности распределения радионуклидов в почвах СИП в зависимости от характера радионуклидного загрязнения почвенного покрова.

The paper provides there search undertaken for speciation of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  and  $^{241}\text{Am}$  and  $^{90}\text{Sr}$  artificial radionuclides in soils of the main STS testing sites (“Experimental Field”, “Degelen”, “4a”, “Atomic lake site”) and conventionally “background” territories of STS. Distribution regularities of radionuclides have been revealed in soils of STS depending on the nature of radionuclide contamination in the soil cover.

### Введение

Одним из параметров, широко применяемых в комплексных радиоэкологических исследованиях являются формы нахождения радионуклидов в почвах. Формы нахождения радионуклидов применяются для оценки и прогноза биологической доступности и миграционной способности радионуклидов (миграция в пищевой цепи, вымывание поверхностными и грунтовыми водами) в почвах, в качестве научной основы для обоснования выбора метода ремедиации загрязненных территорий и т.д. [13, 14].

Уникальной особенностью территории СИП, определяющей научный интерес к ней, является нахождение на

его территории объектов (испытательные площадки, условно “фоновые” территории СИП) с различным уровнем и характером радиоактивного загрязнения (тип испытания, механизм образования радиоактивных частиц) почвенного покрова. Целью данного исследования являлось выявление особенностей распределения форм нахождения искусственных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  в почвах СИП в зависимости от характера радиоактивного загрязнения почвенного покрова. В ходе проведенных исследований были изучены основные испытательные площадки СИП и условно “фоновые” территории СИП. В работе проведена комплексная оценка и систематизация данных, накопленных в ходе ранних исследований, с целью определения единой целой кар-