

На правах рукописи



ИСАЕВА ЕЛЕНА РИНАТОВНА

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ВЫЯВЛЕНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ И
ПРОГНОЗ ХАРАКТЕРА ИХ НАСЫЩЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ОТЛОЖЕНИЙ
ПУР-ТАЗОВСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ
(ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)**

25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск-2016

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск

Научный руководитель: **Ворошилов Валерий Гаврилович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Лебедев Борис Андреевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ, г. Санкт-Петербург), профессор кафедры геофизики

Мельник Игорь Анатольевич, доктор геолого-минералогических наук, Томский филиал Акционерного общества «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья» (ТФ АО «СНИИГГИМС», г.Томск), заместитель директора по научной работе

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ), г. Красноярск

Защита диссертации состоится «23» декабря 2016 года в 16.00 на заседании диссертационного совета ДМ 212.269.03 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, Томск, пр. Ленина, 2 (строение 5), 20 корпус ТПУ, ауд. 504.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г.Томск, ул. Белинского, 55, и на сайте университета <http://portal.tpu.ru/council/2799/worklist>.

Автореферат разослан « » ноября 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета ДМ 212.269.03, к.г.-м.н.

Лепокурова Олеся Евгеньевна

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В настоящее время для выделения интервалов перспективных нефтегазоносных отложений в основном используются данные геофизических исследований. На их основе делается вывод о мощности пласта, его продуктивности и насыщенности флюидами. К сожалению, геофизических данных часто недостаточно для решения этих вопросов с необходимой степенью достоверности. Связано это с тем, что на нефтегазовых месторождениях широко проявлены процессы миграции не только углеводородных, но и неуглеводородных флюидов, приводящие к неоднозначной интерпретации петрофизических характеристик продуктивных отложений, отсутствию прямой связи между проницаемостью и пористостью, эффективными толщинами и дебитами скважин. Те же проблемы характерны и для традиционных геохимических методов поисков месторождений нефти и газа, ориентирующихся на исследовании процессов миграции углеводородов.

Для более объективного суждения о генезисе продуктивных отложений, в частности, о механизме аккумуляции углеводородов и об условиях формирования пустотного пространства необходимо исследовать особенности как процессов седиментации, так и эпигенетических преобразований, в значительной степени влияющих на усложнение параметров структуры месторождения. Процессы формирования нефтегазовых месторождений сопровождаются масштабным перераспределением не только углеводородов, но и широкого круга других соединений и химических элементов, прежде всего, металлов. В отличие от углеводородов, они менее подвижны и формируют локальные аномалии, непосредственно маркирующие участки проявления геологических процессов, сопровождающих формирование залежей нефти и газа. Следовательно, в дополнение к традиционным геофизическим и геохимическим методам возможно создание новых подходов к поискам и оценке нефтегазовых месторождений, основанных на детальном исследовании геохимии этих металлов в процессах наложенного эпигенеза.

Разработке такой методики и посвящена настоящая работа.

Объектом исследования являются юрско-меловые отложения, вскрытые 9 глубокими скважинами, пробуренными на территории Пур-Тазовской нефтегазоносной области (северо-восток Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна).

Цель работы – установить закономерности перераспределения химических элементов в результате процессов наложенного эпигенеза, на основе литогеохимических данных разработать методику оценки коллекторских свойств пород и характера насыщенности коллекторов на примере отложений Пур-Тазовской нефтегазоносной области.

Задачи исследования:

1. Исследовать процессы наложенного эпигенеза юрско-меловых нефтегазоносных отложений, выявить их влияние на фильтрационно-емкостные свойства коллекторов.
2. Выявить поведение химических элементов (U, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Mn, Rb, Sr, Ba, Zr) в процессах наложенного эпигенеза.
3. Разработать литогеохимические критерии оценки нефтегазоносности на основе выявленных взаимосвязей между особенностями распределения химических элементов в коллекторах, их коллекторскими свойствами и характером насыщения.
4. Оценить перспективы нефтегазоносности изучаемой площади с использованием разработанных критериев.

Фактический материал и методы исследования. В основу диссертационной работы положены авторские данные по распределению U, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Mn, Rb, Sr,

Ba, Zr в выделенных автором зонах наложенного эпигенеза юрско-меловых нефтегазоносных отложений, а также результаты петрофизического, рентгеноструктурного анализов, данные по определению органического углерода методом Rock-Eval, предоставленные организацией ЗАО «Ванкорнефть», г. Красноярск. Распределение элементов в нефтегазоносных отложениях изучалось в комплексе с литологическими, минералого-петрографическими и битуминологическими исследованиями.

С применением фациального анализа выделены литотипы пород, положение их в разрезах скважин, определены фациальные условия осадконакопления.

Минералого-петрографический анализ, выполненный с помощью оптической микроскопии (259 шлифов, микроскоп Carl Zeiss Axio Imager.A2m), позволил выявить и исследовать наложенно-эпигенетические преобразования пород. Для количественной оценки влияния вторичных процессов на фильтрационно-емкостные свойства пород осуществлялось сравнение данных рентгеноструктурного анализа (244 пробы) с данными измерения пористости, проницаемости, водонасыщенности, плотности пород.

Содержания U в породах определялись на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т ТПУ методом запаздывающих нейтронов (МЗН). Всего проанализировано 2330 проб. Микрораспределение урана в изучаемых отложениях определялось с помощью оптической микроскопии и метода осколочной радиографии. При исследовании закономерностей распределения урана в изучаемых отложениях выявлялась связь его содержания с вещественным составом пород, а также параметрами пористости и проницаемости.

Для прогноза характера насыщенности перспективных отложений использовались особенности распределения ряда элементов (K, Ca, Ti, Cr, Fe, Mn, Rb, Sr, Ba, Zr), содержание которых с высокой точностью определялось на экспрессном рентгенфлуоресцентном энергодисперсионном анализаторе INNOV-X50 с внешним контролем измерений методом ICP-MS. Отсутствие систематической ошибки в измерениях концентраций указанных элементов позволяет заключить, что эти измерения можно проводить на экспрессном анализаторе непосредственно в полевых условиях, что существенно повышает оперативность принятия решений.

Для изучения особенностей распределения химических элементов в минералах использовались рентгенофлуоресцентный микроскоп (HORIBA XGT-7200) (аналитик Бушманов А.И.) и сканирующий электронный микроскоп (TESCAN VEGA 3 SBU с микроанализатором OXFORD X-Max 50) (аналитики Якич Т.Ю. и Рудмин М.А.).

Геохимические и минералого-петрографические исследования проводились на современном оборудовании в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (г. Томск).

Для обработки данных использовались методы корреляционного и дискриминантного анализов, реализованные в программном комплексе «Statistica» фирмы Soft, для геометризации результатов применялись программы Arc Gis, CorelDRAW X7.

Научная новизна. В результате проведенных работ в изучаемых отложениях Пур-Тазовской нефтегазоносной области в пределах участков стабилизации водонефтяного контакта (ВНК) установлены процессы наложенного эпигенеза, которые проявились в формировании зон 1) слабого изменения пород, 2) выщелачивания с развитием процессов битуминизации, пиритизации и каолинитизации и 3) цементации с карбонатизацией, реже окварцеванием. Каолинитизация способствует улучшению

пористости и проницаемости пород, а битуминизация, пиритизация, окварцевание и карбонатизация ухудшают качество коллектора.

Установлено, что в отложениях Пур-Тазовской нефтегазоносной области уран является индикаторным элементом зон развития улучшенных коллекторов, характеризующихся аномально низкими его концентрациями. Выявлена связь содержания урана с минеральным составом пород. При процессах выщелачивания, а также каолинитизации и карбонатизации пород происходит вынос урана. Регенерация кварца слабо влияет на перераспределение урана в отложениях. Процесс битумообразования приводит к относительному его накоплению.

Выявлено существенное перераспределение ряда химических элементов (K, Ca, Ti, Cr, Fe, Mn, Rb, Sr, Ba, Zr), связанное с процессами формирования залежей углеводородов, и установлена геохимическая зональность, проявившаяся в 1) понижении содержания всех указанных элементов в зоне слабого изменения пород; 2) относительном повышении концентраций Ti, Cr и Fe в битумсодержащей подзоне выщелачивания, интенсивном снижении концентрации K в безбитумной подзоне выщелачивания; 3) относительном накоплении Ca, Sr, Mn в карбонатизированной зоне цементации. Выявленные закономерности распределения химических элементов позволяют осуществлять прогноз нефтегазоносности разреза терригенных отложений.

Практическое применение и значимость. Разработана методика выявления коллекторов и оценки характера их насыщения по литогеохимическим данным. В пределах изученной территории выделены интервалы продуктивных отложений, рекомендуемые к испытаниям.

Предлагаемый метод выявления высокопористых пород и прогноза характера их насыщения может быть применен в сходных геологических обстановках, в том числе, в полевых условиях, что существенно повышает оперативность принятия решений.

Апробация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на Международных научных симпозиумах, конференциях и совещаниях: Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2013, 2014, 2015 гг.), на VII Всероссийском литологическом совещании «Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории» (Новосибирск, 2013 г.), на Всероссийской научной геологической молодежной школе «Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от В. А. Обручева, М. А. Усова, Н. Н. Урванцева до наших дней» (Томск, 2013 г.), на IV международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» (Томск, 2013 г.), на Российском совещании с международным участием «Геохимия литогенеза» (Сыктывкар, 2014 г.).

По теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК и 2 статьи в изданиях, рецензируемых в базе данных Scopus.

Отдельные разделы диссертации использовались при выполнении договорной работы № 1-8/14У по теме: «Петрографические исследования образцов керн отложений юры и мела поисково-оценочных скважин».

Личный вклад автора заключается в постановке задач, определении объемов, планировании и организации лабораторных исследований. Автором произведены макро- и микроскопические исследования образцов; математическая обработка данных; разработан комплекс литогеохимических критериев выявления перспективных отложений и оценки характера их насыщения. Научные выводы сформулированы автором в виде защищаемых положений.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав и заключения. Объем составляет 140 страниц, включая 18 таблиц и 38 рисунков. Список литературы состоит из 99 источников.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Наложенно-эпигенетические процессы в терригенных отложениях Пур-Тазовской нефтегазоносной области проявились в формировании зон 1) слабого изменения пород, 2) выщелачивания, с развитием процессов битуминизации, пиритизации и каолинитизации и 3) цементации, с карбонатизацией, реже окварцеванием. Процесс каолинитизации способствует увеличению порового пространства; битуминизация, окварцевание и карбонатизация приводят к ухудшению качества коллектора.

2. В пределах коллекторов, в целом характеризующихся пониженным содержанием U, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Mn, Rb, Sr, Ba, Zr, установлена геохимическая зональность: зона слабого изменения пород характеризуется пониженным содержанием всех указанных элементов; битумсодержащая зона выщелачивания – относительным повышением содержаний Ti, Cr и Fe; безбитумная зона выщелачивания – интенсивным снижением концентрации K; карбонатизированная зона цементации – повышенным содержанием Ca, Sr, Mn.

3. На основе установленных взаимосвязей между химическим составом эпигенетически преобразованных пород, их коллекторскими свойствами и характером насыщения разработаны литогеохимические критерии выявления зон высокопористых пород и прогноза их нефтегазоносности, позволяющие локализовать интервалы продуктивных отложений, рекомендуемые к испытаниям.

Благодарности. Автор выражает особую благодарность к.г.-м.н. Н.Ф. Столбовой и к.т.н. Ю.М. Столбову, исследовательские работы которых положены в основу диссертации. Автор благодарит начальника управления геологии и запасов ЗАО «Ванкорнефть» А.М. Пиявко, сотрудников кафедры ГРПИ: М.И. Липичук, к.г.-м.н. В.П. Иванова, д.г.-м.н. И.В. Кучеренко, к.г.-м.н. Т.В. Тимкина; кафедры геоэкологии и геохимии: д.г.-м.н. С.И. Арбузова и д.г.-м.н. Рихванова; кафедры ГИГЭ д.г.-м.н. С.Л. Шварцева за помощь в написании диссертации. Особенно автор признательна к.г.-м.н. Н.М. Недоливко за советы и консультации, а также д.г.-м.н. А.К. Мазурову за моральную поддержку. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, профессору кафедры ГРПИ ТПУ, д.г.-м.н. В.Г. Ворошилову за ценные советы и помощь в работе, за предоставленную теоретическую и практическую базу, использованную для проведения исследовательских работ.

ПЕРВОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Наложенно-эпигенетические процессы в терригенных отложениях Пур-Тазовской нефтегазоносной области проявились в формировании зон 1) слабого изменения пород, 2) выщелачивания, с развитием процессов битуминизации, пиритизации и каолинитизации и 3) цементации, с карбонатизацией, реже окварцеванием. Процесс каолинитизации способствует увеличению порового пространства; битуминизация, окварцевание и карбонатизация приводят к ухудшению качества коллектора.

Постседиментационными процессами в нефтегазоносных отложениях в различное время занимались многие исследователи: Б.А. Лебедев, З.Я. Сердюк, Г.Н. Перозин, Н.Ф. Столбова, Ю.М. Столбов, А.В. Ежова, Н.М. Недоливко, С.Л. Шварцев, А.А. Розин, О.Г.

Зарипов, Е.А. Предтеченская, Шалдыбин М.В. и другие на территории Западной Сибири, а также Л.В. Пустовалов, Р.С. Сахибгареев, А.Г. Коссовская, В.Д. Шутов, О.В. Япаскурт, Ю.К. Бурлин, Е.Е. Карнюшина в других регионах страны.

Процессы эпигенетического преобразования осадочных пород впервые были систематизированы и разделены Б.А. Лебедевым. Он выделил стадияльно-эпигенетические преобразования пород, которые происходят при погружении осадочного бассейна, а также наложенно-эпигенетические, которые протекают на инверсионном этапе развития осадочной толщи. В первом случае процесс носит региональный характер и протекает в закрытой системе. Во втором – сопровождается образованием тектонически ослабленных зон и миграцией флюидов, которые приводят к преобразованию осадочных отложений. Изучаемые объекты расположены в северо-восточной части Западно-Сибирской плиты, которая является рифтогенным седиментационным бассейном и находится на стадии инверсионного развития. Проявления флюидодинамических процессов на данной территории подтверждаются данными космогеологических (В.Г. Житков, А.А. Поцелуев и др.) и сейсмических съемок (В.А. Кринин, А.В. Исаев и др.), а также нашими литолого-петрографическими исследованиями.

Внестадиальные (наложенно-эпигенетические) преобразования связывают не только с тектонической деятельностью, но и с процессами становления самих залежей углеводородов. Так, согласно Р.С. Сахибгарееву и др., при заполнении коллекторов углеводородами в зонах стабилизации ВНК происходит интенсивное растворение минералов (полевых шпатов, карбонатов, кварца и др.), что приводит к формированию зоны разуплотнения (выщелачивания) пород. Частичное переотложение выщелоченных петрогенных компонентов происходит в зоне цементации.

Юрско-меловая толща в пределах изучаемой площади сложена морскими, лагунными и континентальными осадками: песчаными, алевролитовыми, глинистыми породами, нередко с прослоями углей, объединенными в изученных скважинах в следующие свиты: танамскую K_{2tn} , салпадаяхинскую K_{2sl} , насоновскую K_{2ns} , дорожковскую K_{2dr} , долганскую K_{2dl} ; яковлевскую K_{1jak} , малохетскую K_{1mch} , суходудинскую K_{1sd} , нижнехетскую K_{1nch} , яновстанскую $J_3-K_1 jan$, сиговскую J_3sg , точинскую J_{2-3tch} , мальшевскую J_{2ml} , леонтьевскую J_{2ln} и вымскую J_{2vm} .

Наложено-эпигенетические процессы в изучаемых отложениях, в основном, проявлены вблизи нефтяных залежей и связаны с процессами окисления, происходящими при взаимодействии поровых растворов коллектора и поступающей нефти. Они проявляются в формировании вертикальной зональности, обусловленной наличием зон выщелачивания (битумсодержащая и безбитумная подзоны) и зон цементации. Такие процессы наиболее характерны для отложений яковлевской и нижнехетской свит Ванкорского месторождения.

Рассмотрим схему формирования вертикальной зональности на примере яковлевской свиты (скважина Ванкорская-11).

Зона слабого изменения пород (~1660-1670 м) характеризуется высокой, по сравнению с песчаниками других зон ВНК, сохранностью компонентов. Обломки кварца и полевого шпата слабо корродированы. Цемент, в основном, полиминеральный хлорит-гидрослюдистого состава с неравномерной раскристаллизацией компонентов. Для данной зоны характерно незначительное формирование вторичных минералов: пирита и каолинита.

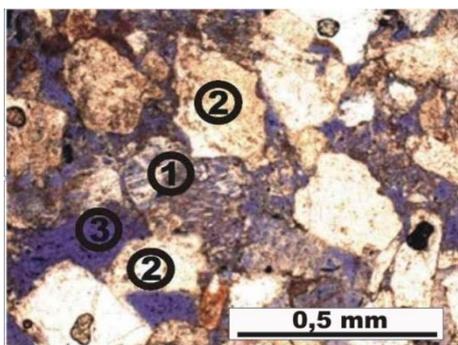


Рис. 1. Внутризерновые поры в обломке эффузивной породы (1) в песчанике. Коррозия кварца (2). Вторичная пористость (3). Николи ||. Скв. Хикиглинская-1, яковлевская свита, глубина 2038,0 м

различных размеров и конфигурации, так и порами вторичного происхождения, образующихся при процессах выщелачивания и представленных внутризерновыми, межкристаллитными порами и кавернами (рис. 1).

Внутризерновые поры, как правило, характерны для обломков полевых шпатов и эффузивных пород (рис. 1). Представлены они неправильными кавернозными порами с извилистыми границами, также щелевидными порами по двойниковым швам и спайности плагиоклазов.

Образование пустот в данной зоне связано не только с растворением обломков и цемента агрессивными флюидами, но и с сопутствующей перекристаллизацией. В частности, микрокристаллитные поры формируются в участках кристаллизации каолинита.

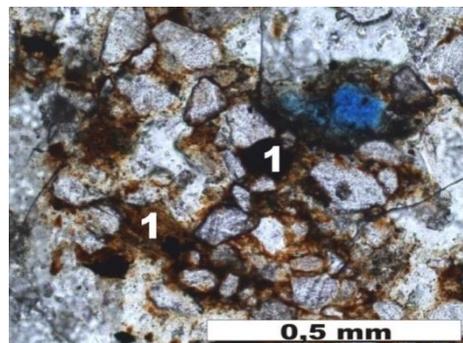


Рис. 2. Битуминозное вещество (1) в межобломочном пространстве. Николи ||. Скв. Ванкорская-11

сульфатредуцирующих бактерий.

Данная зона характеризуется образованием единого пустотно-порового пространства, заполненного окислившимся нефтяным веществом, которое образует на обломках пленки, заполняет поры, микропоры и трещины, пропитывает обломки полевых шпатов, подвергшихся частичному растворению (рис. 2). Твердые продукты окисления УВ ухудшают фильтрационно-емкостные свойства. Их количество в изучаемых отложениях достигает 15–20 %.

Пустотно-поровое пространство этой зоны представлено как остаточными седиментационными порами, так и вторичной внутризерновой пористостью и микропористостью в новообразованном каолинитовом цементе.

Таким образом, породы данной зоны под воздействием агрессивных продуктов окисления нефти претерпели незначительное растворение обломков и цемента, формирование вторичной пористости и образование новых минеральных фаз.

Зона выщелачивания (битумсодержащая и безбитумная подзоны) отличается большей коррозией обломочной и цементной матрицы породы и образованием вторичной пористости.

Пустотное пространство данной зоны представлено как первичными межзерновыми порами

различных размеров и конфигурации, так и порами вторичного происхождения, образующихся при процессах выщелачивания и представленных внутризерновыми, межкристаллитными порами и кавернами (рис. 1).

Внутризерновые поры, как правило, характерны для обломков полевых шпатов и эффузивных пород (рис. 1). Представлены они неправильными кавернозными порами с извилистыми границами, также щелевидными порами по двойниковым швам и спайности плагиоклазов.

Образование пустот в данной зоне связано не только с растворением обломков и цемента агрессивными флюидами, но и с сопутствующей перекристаллизацией. В частности, микрокристаллитные поры формируются в участках кристаллизации каолинита.

В результате интенсивных процессов растворения и выноса петрогенных компонентов образуется вторичная пористость с объединенным пустотным пространством и кавернами. При этом улучшаются фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) пород-коллекторов.

В **битумсодержащей подзоне** (~1670-1680 м), образовавшейся в среде, содержащей нефть и подвижные воды, основные преобразования выражены в формировании битумоидов – твердых продуктов деструкции и окисления углеводородов (УВ), а также кристаллизации каолинита и пирита. Формирование пирита указывает на участие в окислении нефти

Безбитумная подзона (~1680-1685 м) характеризуется дальнейшими преобразованиями пород, связанными с еще более интенсивными процессами выщелачивания. Иногда каркас пород за счет интенсивного растворения петрогенных компонентов приобретает микроячейное строение. Пористость и проницаемость пород уменьшается по мере удаления от ВНК. Индикатором безбитумной подзоны является наличие мономинерального каолинитового цемента.

Процесс образования аутигенного **каолинита** установлен для многих нефтегазоносных отложений. Его формирование связывают с замещением алюмосиликатов (гидрослюд, слюд, хлорита и полевых шпатов) (при $pH=5-7$). При этом за счет растворения алюмосиликатов и выноса большого количества исходных химических компонентов (в основном K и Na), в том числе и свободного кремнезема, образуется микропористость в цементе.

Новообразованный каолинит, как правило, представлен беспорядочно расположенными анизотропными чешуйками, веерообразными, червеобразными и гармошковидными агрегатами с низкими цветами интерференции I порядка. Иногда минерал встречается в виде табличек и розеток размером $0,02-0,05$ мм.

В результате статистической обработки данных выявлено, что содержание каолинита прямо пропорционально пористости ($K_{по}$) и проницаемости пород ($K_{пр}$) и обратно пропорционально водонасыщенности ($K_{ов}$) и объемной плотности ($\rho_{об}$) отложений. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена при этом равны: $0,43$ (между содержанием каолинита и $K_{по}$); $0,73$ (между содержанием каолинита и $K_{пр}$); $-0,80$ (между содержанием каолинита и $K_{ов}$) и $-0,70$ (между содержанием каолинита и $\rho_{об}$) (при $r_{крит} = 0,13$). Таким образом, каолинитизация способствует улучшению пористости и, в особенности, проницаемости пород. Кроме этого, каолинит является гидрофобным минералом и имеет самую низкую емкость поглощения, т.е. не сорбирует нефть и повышает ее извлечение при эксплуатации.

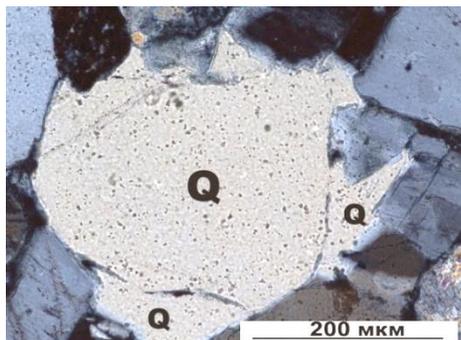


Рис. 3. Регенерация кварца. Николи \times . Скв. Ванкорская-11. Глубина 1685 м

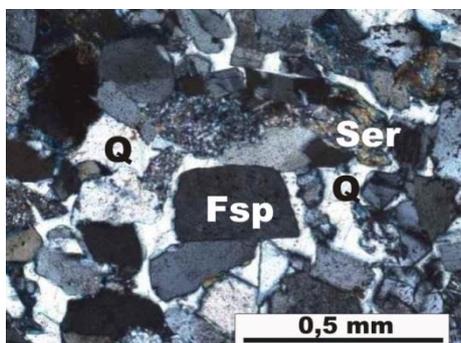


Рис. 4. Формирование вторичного кремнистого цемента. Николи \times . Скв. Ванкорская-11. Глубина 1685 м

Ниже зоны растворения (выщелачивания) в слабощелочной среде формируется **зона цементации** (~1685-1692 м), характеризующаяся наличием мономинеральных кварцевых или карбонатных цементов, замещающих обломки и первичный хлорит-гидрослюдистый или новообразованный каолининовый цемент.

В данной зоне сначала происходит осаждение кварца, а затем карбонатов. В результате образования регенерационных каемок нарастания на обломках кварца (рис. 3), происходит захват пустотного пространства, что приводит к ухудшению емкостных свойств пород.

Более интенсивное проявление процесса регенерации приводит к формированию прослоев, линз и мономинеральных цементов (рис. 4), обладающих низкими фильтрационно-емкостными свойствами.

В изучаемых отложениях процессы регенерации кварца проявлены незначительно, вследствие чего несущественно повлияли на физические свойства пород. Зона цементации преимущественно представлена карбонатизированными породами.

Интенсивное **карбонатообразование** проявляется в замещении полевых шпатов, слюд и глинистого цемента преимущественно кальцитом, реже другими карбонатами. Карбонаты заполняют пустотное пространство между обломками, формируя пойкилитовый или базальный цемент, а также залечивают секущие трещины. Коэффициенты корреляции между содержанием карбоната и коэффициентами пористости и проницаемости (-0,28 и -0,32, соответственно, при $r_{крит} = 0,13$), свидетельствуют об ухудшении фильтрационно-емкостных свойств пород.

Таким образом, в результате проведенных минералого-петрографических исследований выявлено, что поступление нефти в коллектор приводит к зональному преобразованию пород (сверху вниз): 1) зона слабоизмененных пород, в которой при полном заполнении нефтью коллектора, происходит консервация породы от дальнейшего преобразования; 2) зона выщелачивания (разуплотнения) с а) битумсодержащей подзоной, характеризующейся растворением обломков и цемента, формированием битумов, каолинита, пирита б) безбитумной подзоной, характеризующейся дальнейшим растворением обломочной и цементной матрицы с мозаичным строением, формированием мономинерального каолинитового цемента. Процессы, происходящие в данной зоне приводят к улучшению коллекторских свойств за счет увеличения межзерновых пор, формирования внутризерновых, микрокристаллитных пор и каверн; 3) в зоне цементации наблюдается формирование мономинерального кварцевого и карбонатного цемента, что приводит к ухудшению пустотно-порового пространства.

Полученные данные подтверждают значимость эпигенетических изменений при формировании пустотного пространства, так как процессы преобразования способствуют неравномерному распределению первичных и вторичных пор и каналов, усложняя тем самым интерпретацию геофизических данных. Изучение преобразований пород позволит уточнить и дополнить информативность геофизических методов исследования в определении положения ВНК.

ВТОРОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

В пределах коллекторов, в целом характеризующихся пониженным содержанием U, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Mn, Rb, Sr, Ba, Zr, установлена геохимическая зональность: зона слабого изменения пород характеризуется пониженным содержанием всех указанных элементов; битумсодержащая зона выщелачивания – относительным повышением содержаний Ti, Cr и Fe; безбитумная зона выщелачивания – интенсивным снижением концентрации K; карбонатизированная зона цементации – повышенным содержанием Ca, Sr, Mn.

Наложенно-эпигенетические процессы приводят к существенному перераспределению химических элементов. Наиболее информативным из них является уран, что связано с его высокой чувствительностью к смене рН и Eh среды, а также зависимостью его концентраций от гранулометрического состава (А.А. Смыслов, В.И. Вернадский, Е.С. Глотова, Р.П. Готтих, С.И. Арбузов, Л.П. Рихванов, Ю.М. Столбов, М.В. Шалдыбин и др.). Эти свойства урана позволяют использовать его в качестве индикаторного элемента зон преобразованных пород.

В результате изучения микрораспределения урана с помощью метода осколочной радиографии выявлено, что его треки связаны, в основном, с захороненным

органическим веществом. Значительное количество урана фиксируется в акцессорных минералах (сфен, рутил и др.). Относительно меньшее количество его треков характерно для глинистых минералов и обломков полевых шпатов. В обломках кварца и карбонатов практически не наблюдается треков урана.

Зависимость содержания урана от гранулометрического состава пород выражается в постепенном снижении его концентраций в ряду: аргиллиты-алевролиты-песчаники. В результате статистической обработки данных установлена отрицательная корреляционная связь коэффициентов открытой пористости ($K_{по}$), проницаемости ($K_{пр}$) с содержаниями урана, что свидетельствует о снижении концентрации элемента в зонах



Рис. 5. Часть геохимического разреза по скв. Западно-Лодочная-1 (нижнеяковлевская свита K_{1jak})

фона, ε – стандартный множитель.

Правая часть уравнения определяет уровень положительных аномалий (зоны накопления урана), левая часть – уровень отрицательных аномалий (зоны выноса урана).

В результате статистической обработки выявлено, что фоновые значения для песчаников находятся в пределах $1,46 < X < 2,47$; алевролитов – $1,73 < X < 3,05$; аргиллитов – $1,8 < X < 3,36$.

В результате исследования закономерностей распределения ряда химических элементов (U, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Rb, Sr, Zr, Ba) в изучаемых отложениях выявлено, что зоны высокопористых пород-коллекторов (с отрицательными аномалиями урана), а также зоны с повышенным содержанием органического вещества (с положительными аномалиями урана) характеризуются собственными геохимическими особенностями, отличающимися от таковых у стадияльно преобразованных пород (с фоновыми значениями урана).

Повышенные содержания урана (более 3,3 г/т) характерны для обогащенных «сапропелевым» органическим веществом аргиллитов нефтегазоматеринской яновстанской свиты. Значительно реже повышенные концентрации урана встречаются в нижнемеловых отложениях нижнехетской и суходудинской свит, а также в юрских – сиговской, точинской, малышевской, леонтьевской и вымской свитах. Такие породы характеризуются пониженным содержанием Ba.

разуплотненных пород (рис. 5). Коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен -0,52 (уран и $K_{по}$) и -0,54 (уран и $K_{пр}$) (при $r_{крит} = 0,08$).

Для выявления зон разуплотнённых пород в разрезах скважин была рассчитана граница между фоновыми и аномальными значениями урана, характерными для каждой разновидности пород (аргиллитов, алевролитов и песчаников) с использованием формулы А.П. Соловова (1985):

$$\tilde{X} / \varepsilon^3 > X_{аном.} > \tilde{X} * \varepsilon^3 \quad (1),$$

где \tilde{X} – среднее геометрическое значение

Статистическая обработка данных показала, что для высокопористых пород, подвергшихся процессам наложенного эпигенеза, характерны пониженные содержания урана в пределах $0,38 \leq X \leq 1,5$, кроме того – более низкие содержания Ti, Cr, Fe, Mn, K, Rb и Zr. Отмечается относительно повышенные содержания Ba, который концентрируется в виде барита ($BaSO_4$). Более высокие содержания Ca и Sr фиксируются в кальцитизированных породах. В высокопористых породах их содержания снижены.

Таблица 1
Матрица факторных нагрузок для коллекторов

Элемент	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
U	0,01	0,08	0,79
K	-0,20	-0,16	0,80
Ca	-0,17	0,93	0,06
Ti	0,93	0,01	0,00
Cr	0,94	0,01	-0,12
Mn	0,39	0,79	-0,05
Fe	0,82	0,03	-0,04
Rb	-0,23	-0,56	0,47
Sr	0,12	0,64	-0,12
Zr	0,40	0,04	0,68
Ba	-0,72	-0,37	-0,39

Изучение закономерностей поведения химических элементов показало, что породы, подвергшиеся процессам наложенного эпигенеза в зонах стабилизации ВНК, характеризуются отчетливо проявленной геохимической зональностью.

Изучение химического преобразования пород, связанного с процессами, происходящими на ВНК, позволило выявить основные ассоциации элементов и их взаимоотношения (табл. 1).

Факторным анализом установлено наличие в зоне ВНК трех устойчивых ассоциаций химических элементов. Первый

фактор характеризуется повышенной корреляционной связью Ti, Cr и Fe. Вторая ассоциация представлена Ca, Mn и Sr. Третий фактор указывает на взаимосвязь U, K и Rb (табл. 1).

В зоне слабого изменения пород в результате быстрого вытеснения поровых растворов нефтью вторичное минералообразование и разуплотнение пород имеют ограниченный характер. Несмотря на это, данная зона в разрезе скважин фиксируется более низкими концентрациями исследуемого ряда элементов (все три фактора отрицательны) (табл. 1, рис. 6) в отличие от стадияльно преобразованных пород.

В зоне выщелачивания происходит активный обмен веществом: окисление нефти приводит к увеличению кислотности поровых растворов, что способствует увеличению их агрессивных свойств. Компоненты (K, Ca, Mn, Rb, Sr, Ba) вмещающих пород при этом подвергаются интенсивному выщелачиванию.

Битумсодержащая подзона выщелачивания, относительно других зон ВНК, характеризуется более высоким содержанием Fe, Ti, Cr (фактор 1) (табл. 1, рис. 6).

В существующей кислой среде протекают реакции растворения алюмосиликатов, кальцита и, в меньшей степени, кварца. В зоне выщелачивания кальцит практически не встречается (пониженное содержание Ca) (фактор 2) (табл. 1, рис. 6).

Безбитумная подзона выщелачивания характеризуется более интенсивным растворением пород агрессивными растворами, поступающих из битумсодержащей подзоны. Снижение подтока кислоты и обогащение растворов щелочными и щелочноземельными элементами способствуют снижению кислотности среды.

При исследовании особенностей поведения химических элементов в безбитумной подзоне выявлено, что содержание урана значительно снижается и находится в диапазоне 0,45-1,5 г/т, что отличается от пород, не подвергшихся процессам выщелачивания (содержание урана около 1,89 г/т) (уровень значимости отличия $< 0,001$).

Таким образом, данная подзона в разрезах скважин выделяется по наличию интенсивных отрицательных геохимических аномалий урана, также характеризуется значительным снижением концентраций К, Са, Ti, Cr, Mn, Fe, Rb, Sr, Ba (все три фактора отрицательны) (табл. 1, рис. 6).

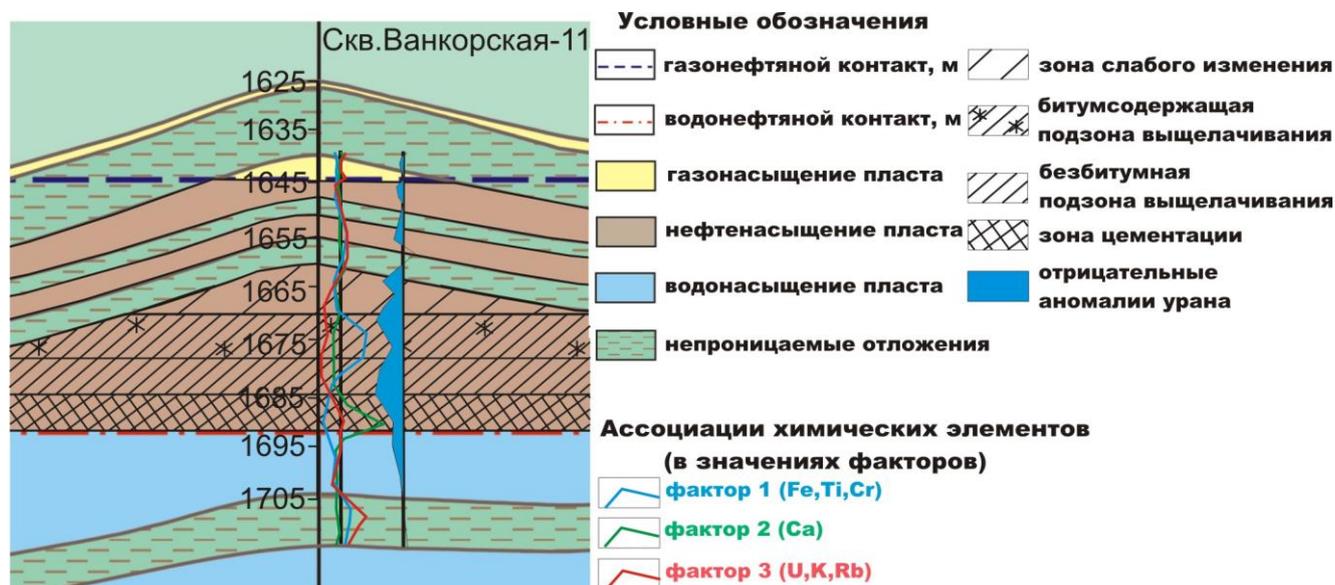


Рис. 6. Схема геохимической и минералогической зональности при заполнении ловушки нефтью (на примере меловых отложений яковлевской свиты скважины Ванкорская-11)

Ниже зоны выщелачивания, в слабощелочной среде, происходит разгрузка растворов, обогащенных химическими элементами, и формируется **зона цементации**. Выявлено, что в зонах окварцевания концентрации урана в среднем достигают 1,67 г/т, что незначительно отличается от таковых у неизмененных пород (уровень значимости отличия $0,21 > 0,05$). В данной зоне наблюдается также незначительное повышение содержаний К и снижение Са, Ti, Cr, Mn, Fe. В целом, из-за полимиктового состава изучаемых терригенных пород, процесс окварцевания проявлен незначительно и на перераспределение химических элементов он существенно не повлиял.

Таблица 2
Парные коэффициенты ранговой корреляции содержания минералов и концентрации урана в нефтегазоносных отложениях ($r_{крит} = 0,13$)

Минерал	U
Каолинит	-0,40
Хлорит	0,19
Карбонат	-0,14
Слюда	0,34

Зона цементации преимущественно представлена карбонатизированными породами. Содержание урана в карбонатизированных зонах падает и в среднем равна 0,94 г/т. Связано это с тем, что содержание карбонатных минералов в цементе преобладает над алюмосиликатными, с которыми связан уран. В данной зоне наблюдается снижение концентраций К, Rb и повышение – Са, Mn, Sr, Ti, Cr, Fe (табл. 1, рис. 6).

Данные статистического анализа указывают на наличие устойчивых связей между содержанием химических элементов и количеством новообразованных минералов (табл. 2). Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена при этом равны -0,40 (между содержанием каолинита и концентрацией урана); -0,14 (между содержанием кальцита и концентрацией урана); 0,19 (между содержанием хлорита и концентрацией урана); 0,34 (между содержанием слюды и концентрацией урана) (при $r_{крит} = 0,13$) (табл. 2).

Таким образом, в результате исследования выявлено, что разуплотненные породы в разрезах скважин выделяются по наличию отрицательных аномалий урана с

содержанием в пределах 0,4-1,5 г/т. В пределах зон стабилизации ВНК происходит перераспределение K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Rb, Sr, Zr, Ba и формируется геохимическая зональность, тесно связанная со структурной и вещественной неоднородностью пород, обусловленной процессами, происходящими в системе «вода-нефть-порода».

ТРЕТЬЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

На основе установленных взаимосвязей между химическим составом эпигенетически преобразованных пород, их коллекторскими свойствами и характером насыщения разработаны литогеохимические критерии выявления зон высокопористых пород и прогноза их нефтегазоносности, позволяющие локализовать интервалы продуктивных отложений, рекомендуемые к испытаниям.

На основе закономерностей структурного и вещественного преобразования пород и распределения ряда химических элементов, связанных с процессами формирования залежи нефти, сформулированы комплексные критерии для выявления в изучаемых отложениях перспективных коллекторов (табл. 3).

Высокопористые породы-коллекторы, в основном, представлены среднезернистыми полимиктовыми, реже аркозовыми песчаниками, характеризующимися наличием: 1) проявленных процессов выщелачивания обломочной части и цемента; 2) первичной межзерновой пористости сложной конфигурации; 3) вторичной пористости выщелачивания (микрокавернозная, внутризерновая, межкристаллитная) и единого пустотно-порового пространства; 4) мономинерального каолинитового цемента. Интервалы перспективных коллекторов выделяются в разрезах скважин по наличию отрицательных геохимических аномалий урана с содержанием 0,4-1,6 г/т. По химическому составу такие породы значительно отличаются от стадильно преобразованных пород (значимость отличия $p=0,99$) и характеризуются пониженным содержанием ряда элементов (U, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Rb, Sr, Zr) (табл. 3).

Химический состав пород в значительной степени отражает и характер насыщения коллекторов. Связано это с тем, что взаимоотношение новообразованных эпигенетических минералов в породах с разным насыщением различно, следовательно, отличаются и концентрации тех или иных элементов. По содержанию отдельных элементов отличия не всегда являются статистически значимыми, но их контрастность в значительной степени может быть усилена с помощью использования методов многомерной корреляции, в частности, дискриминантного анализа. Данный метод статистического анализа предназначен для распознавания принадлежности изучаемых объектов к заранее заданным эталонам на основе их сходства по многомерным параметрам. В качестве эталонов выбраны интервалы отложений с низкими концентрациями урана и заведомо известным характером насыщения (углеводороды, вода, кальцитизация).

В результате анализа вычислены линейные дискриминантные функции:

$$K_1 = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$
$$K_2 = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n,$$

где $x_1 \dots x_n$ – значения переменных (содержания элементов) в конкретных пробах; $b_1 \dots b_n$ и $c_1 \dots c_n$ – коэффициенты канонических переменных K_1 и K_2 .

В результате дискриминантного анализа установлено, что по химическому составу породы с разным характером насыщения уверенно отличаются друг от друга

Таблица 3

Литогеохимические критерии выявления коллекторов и оценки характера их насыщения

Зона	Состав цемента	Происходящие процессы преобразования	Пористость	Химизм процессов преобразования (среднее содержание элементов, г/т)	
				Коллектор в целом	Особенности отдельных зон
Зона слабого изменения	Полиминеральный хлорит-каолинит-гидрослюдистый	Слабо проявленные процессы коррозии и регенерации кварцевых зерен	1) Первичная межзерновая пористость простой конфигурации; 2) Слабо развита вторичная пористость выщелачивания (микрокаверная, внутризерновая, межкристаллитная)	Снижение содержания U, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Rb, Sr, Zr	
	Каолинитизированный первичный хлорит-каолинит-гидрослюдистый цемент	Окисление нефти с образованием продуктов окисления (битумоидов) Интенсивное растворение петрогенных компонентов (кальцита, алюмосиликатов), формирование пирита, лейкоксена, каолинита	1) Первичная межзерновая пористость сложной конфигурации; 2) Развита вторичная пористость выщелачивания (микрокаверная, внутризерновая, межкристаллитная) 3) Формирование единого пустотного порового пространства	Относительно повышенные содержания U (1,54); Fe (81612); Ti (14779); Cr (167)	
Выщелачивания	Битумсодержащая подзона	Интенсивное растворение петрогенных компонентов, интенсивное формирование каолинита за счет замещения полевых шпатов, слюд, гидрослюд, хлорита	1) Развита вторичная пористость выщелачивания (микрокаверная, внутризерновая, межкристаллитная) 2) Формирование единого пустотного порового пространства 3) Первичная межзерновая пористость сложной конфигурации в подчиненном количестве	Интенсивное снижение концентраций Fe (4649); Ti (1950); Cr (33); Ca (1182); Mn (217); Sr (179) и в особенности U (0,46); K (11888) и Rb (30)	
	Безбитумная подзона	Регенерация кварцевых зерен, коррозия обломков и цемента кальцитом	1) Первичная и вторичная пористость запечатаны минеральным веществом; 2) Редкие остаточные поры	Вынос ряда химических элементов (U, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Rb, Sr, Zr)	
Цементации	Вторичный мономинеральный (регенерационный кварцевый и/или коррозионный кальцитовый) цемент			Повышенные содержания Ca (114542); Sr (390); Mn (1276)	

(статистическая значимость отличия превышает 99 %). Таким образом, по значениям дискриминантной функции можно классифицировать новые объекты на предмет их отнесения к одному из эталонов. Испытание модели на контрольных пробах, не включенных в эталонные выборки, показало ее высокую работоспособность (рис. 7).

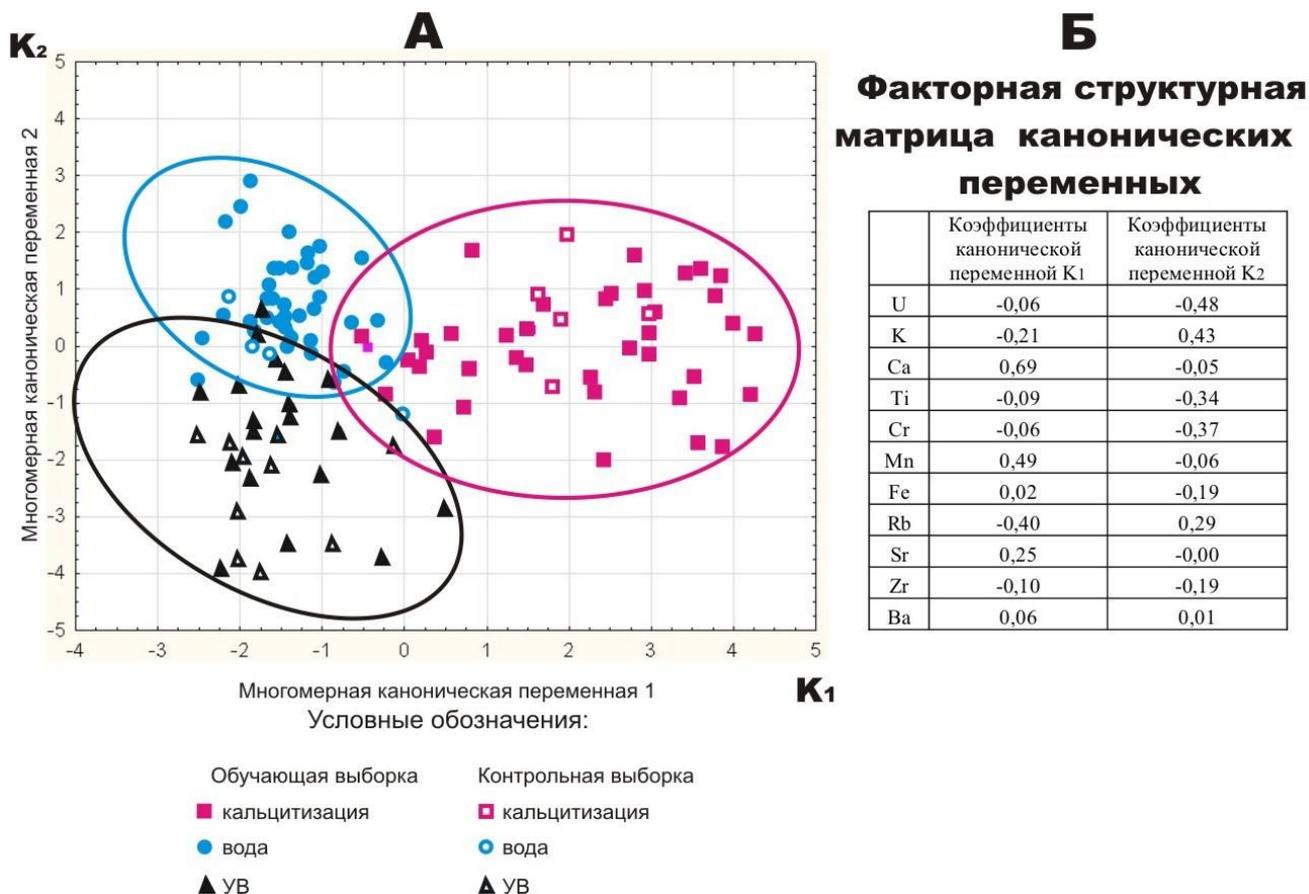


Рис. 7. Результаты дискриминантного анализа: А – положение эталонных выборок и контрольных проб в координатах многомерных канонических переменных; Б – факторная структура канонических переменных

Сравнение средних содержаний элементов в эталонных выборках показывает, что для пород коллекторов, насыщенных УВ (в отличие от карбонатизированных и водонасыщенных), характерно существенное снижение содержаний Ca, Sr и Mn, незначительное повышение содержаний U, элементов группы железа (Fe, Ti, Cr), а также незначительное снижение концентраций K и Rb. Элементы группы железа обнаруживают в составе нефтей, и, возможно, более высокие содержания Fe, Cr и Ti в породах, насыщенных углеводородами, обусловлены их привнесом с нефтью. Также повышение Fe и U может быть связано происходящими процессами окисления нефти в системе «воды-углеводороды» в битумсодержащей подзоне выщелачивания. Снижение содержания K связано с процессами замещения алюмосиликатов (полевых шпатов, слюд и гидрослюд) каолинитом, фиксируемым в безбитумной подзоне выщелачивания. Снижение содержаний Ca, Sr, Mn и др. можно объяснить процессами растворения кальцита и петрогенных компонентов, характерными для зон слабого изменения пород и выщелачивания.

Для кальцитизированных зон цементации свойственно значительное повышение Ca, Mn, Sr и снижение K и Rb.

Для водонасыщенных пород характерно снижение концентраций U, Ca, Sr, Mn, Ti, Cr, Fe и Zr, повышение содержаний K и Rb, связанное с преобладанием гидрослюдистого цемента и Ba, входящего в состав барита.

В результате проведенного геохимического исследования, с применением методов многомерной математической статистики, установлено, что породы с разным характером насыщения существенно отличаются друг от друга. Выявленная связь между минеральным составом преобразованных пород и содержаниями химических элементов позволяет прогнозировать характер насыщения пород в пределах, выделенных по отрицательным аномалиям урана потенциальных коллекторов, и наметить продуктивные интервалы, рекомендуемые к испытаниям.

Приведем пример выделения перспективных отложений и определения характера насыщения коллекторов с помощью предложенных критериев (табл. 3).

Скважина Ванкорская-11 территориально расположена в центральной части Ванкорского месторождения. В результате исследований выявлено, что наиболее перспективными являются меловые отложения яковлевской и нижнехетской свит. Выделенные в результате испытаний продуктивные пласты Н/Як-III-VII, Нх-I и Нх-III-IV также фиксируются и по геохимическим данным – интервалы 1660,7-1700 (со средней концентрацией урана 0,9 г/т); 2658,5-2663,5 (со средней концентрацией урана 1,62 г/т); 2778,0 и 2785-2788 (со средней концентрацией урана 1,46 г/т).

На рис. 8, в качестве примера, представлен литогеохимический разрез по продуктивной яковлевской свите (пласт Н/Як-III-VII) (рис. 8 А). Видно, что интервалы насыщенные углеводородами (характер насыщения определен по результатам интерпретации ГИС (1)) с повышенными содержаниями CH_4 и ΣTU (выявленные по результатам газогеохимии) совпадают с таковыми, выделенными по литогеохимическим критериям (характер насыщения по геохимии (2)). Результаты испытания подтверждают данные: в интервалах обнаружен приток нефти и газа. Кроме этого, по данным геохимии был выделен водонефтяной контакт (ВНК) на глубине 1700 м, что подтверждают данные интерпретации ГИС.

В юрских отложениях (леонтьевская свита) (рис. 8 Б) по результатам интерпретации ГИС характер насыщения пласта оценен как «продукт». По нашим данным, выявлены лишь незначительные интервалы, перспективные на углеводороды (на глубине 3942 м, 3968-3974 м).

Таким образом, по литогеохимическим данным юрские отложения оцениваются нами как малоперспективные.

При сопоставлении данных геофизического и газогеохимического исследований с результатами литогеохимических исследований скважины Ванкорская-11 (рис. 8), можно наблюдать близкое, хотя и не повсеместное совпадение. Во всех скважинах, по нашим данным, выделяются возможные перспективные отложения, но испытания их не проводились. Такие интервалы можно было бы рекомендовать к испытаниям. Таким образом, полученные литогеохимические данные не противоречат геофизическим и газогеохимическим наблюдениям, а дополняют их и уточняют.

По результатам комплексной оценки перспектив нефтегазоносности (по разрезам изученных скважин) выделены продуктивные отложения и произведена оценка нефтегазоносности каждой скважины и площади в целом. По степени снижения нефтегазоносного потенциала скважины можно расположить в следующей последовательности:

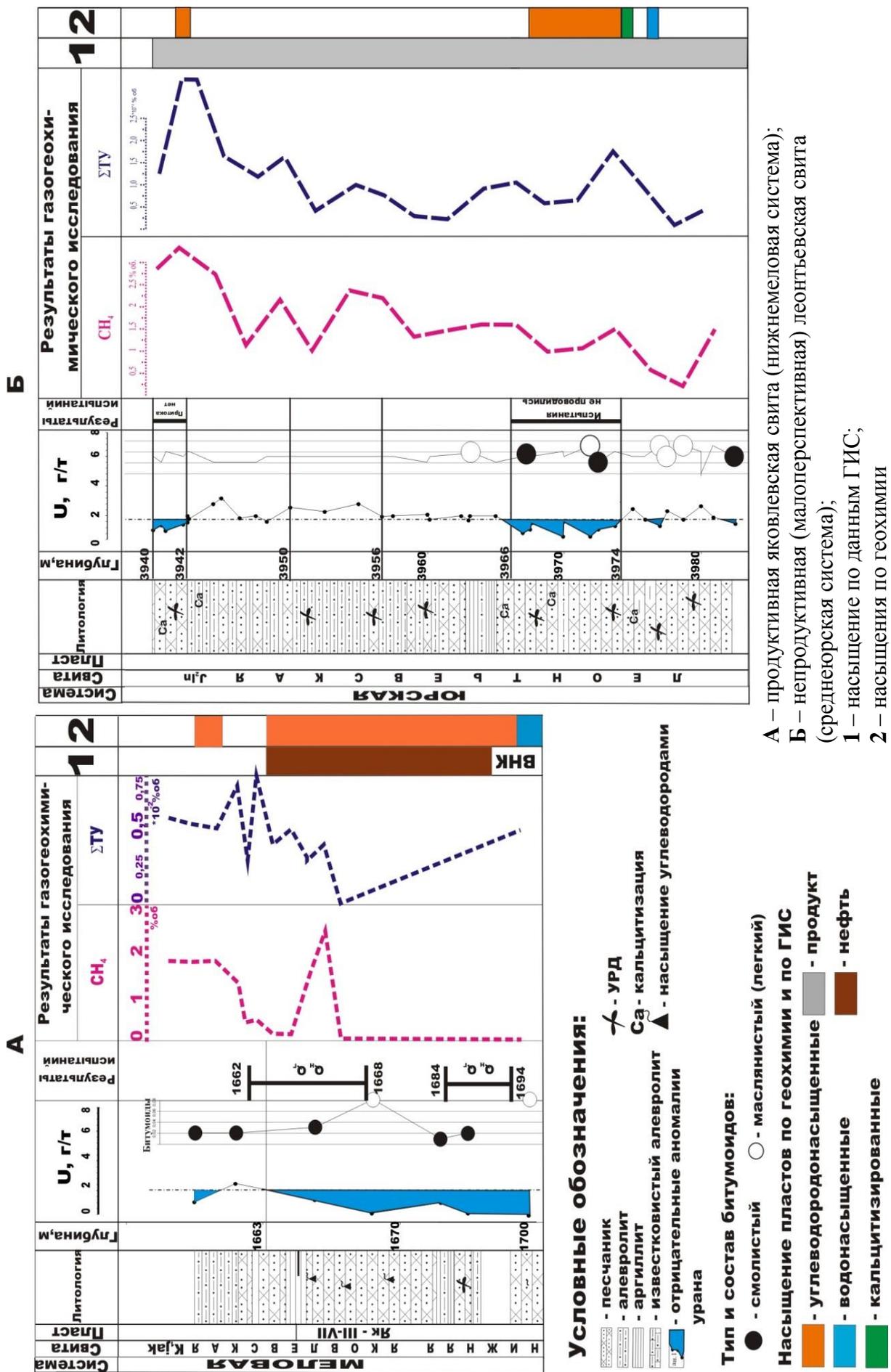


Рис. 8. Прогноз нефтегазоносности по скважине Ванкорская-11

- скважины Ванкорского месторождения (Ванокрская-11 (общая мощность продуктивных отложений по данным геохимии составила 24,9 м) и Северо-Ванкорская-1);
- южный фланг Ванкорского месторождения по результатам анализа скважины Восточно-Лодочная-1 (общая мощность продуктивных отложений составила 9,4 м);
- Ванкорский лицензионный участок вблизи скважины Хикиглинская-1 (общая мощность продуктивных отложений составила около 4 м);
- северо-запад Северо-Ванкорского лицензионного участка вблизи скважины Ячиндинская-1 (общая мощность продуктивных отложений составила около 4 м);
- Туколандский лицензионный участок вблизи скважины Северо-Туколандская-1 (общая мощность продуктивных отложений составила около 4 м);
- Западно-Лодочный лицензионный участок вблизи скважин Западно-Лодочная-1 и Ичемминская-1 (общая мощность продуктивных отложений составила около 2 м) (рис. 9).

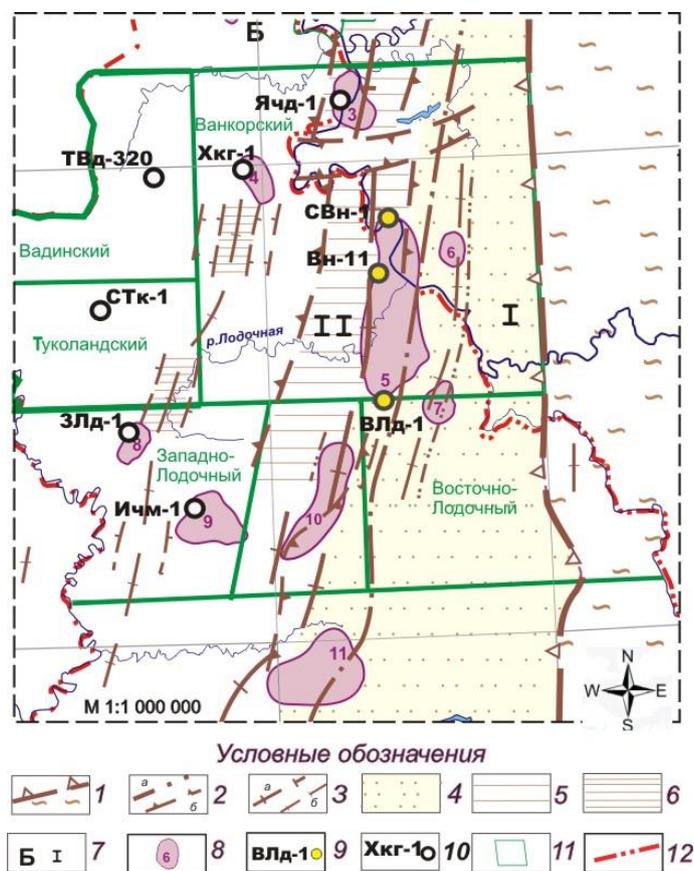


Рис. 9. Оценка перспективности нефтегазоносности изучаемых скважин на основе комплексных исследований (за основу взята выкипировка из тектонической схемы фундамента (фрагмент карты (Исаев, 2005ф))

Условные обозначения: 1 – граница Сибирской платформы и ЗСП; 2 – а) грабены; б) горсты; 3 – оси антиклинориев а) первого порядка; б) второго порядка. *Площади развития* 4 – Приенисейского грабена; 5 – Большешетско-Тагульского горста; 6 – Хикиглино-Верхнеподочного горстоподобного блока; 7 – геоструктуры: Б – Худосейский грабен-рифт, I – Приенисейский грабен, II – Большешетско-Тагульский горст; 8 – локальные положительные структуры: 3-Ячиндинская; 4-Хикиглинская; 5-Ванкорская; 6-Ниричарская; 7-Талая; 8-Западно-Лодочная; 9-Ичемминская; 10-Лодочная; 11-Тагульская; 9 – перспективные скважины глубокого бурения (по геохимии): СВн-1-Северо-Ванкорская-1; Вн-11-Ванкорская-11; Влд-1-Восточно-Лодочная-1; 10 – неперспективные скважины (по геохимии): Ячд-1-Ячиндинская-1; Хкг-1-Хикиглинская-1; Ичм-1-Ичемминская-1; Злд-1-Западно-Лодочная-1; СТк-1-Северо-Туколандская-1; ТВд-320-Туколандо-Вадинская-320; 11 – границы ЛУ; 12 – административные границы

В результате проведенного комплексного исследования можно сделать вывод, что продуктивными являются скважины Ванкорского месторождения (Северо-Ванкорская-1, Ванкорская-11 и Восточно-Лодочная-1), локализующиеся в пределах главной линейной зоны (Худосейского рифта) или на ее сателлитных разломах. Таким образом, повышенная интенсивность флюидомиграционных процессов, обусловленная близостью Ванкорской площади к зоне глубинного долгоживущего разлома, закартированного по результатам гелиевой съемки и космоструктурных исследований, а также насыщенность юрских отложений ОВ, способным генерировать углеводороды, привели к формированию нефтегазового Ванкорского месторождения.

Скважины (Западно-Лодочная-1, Ичемминская-1, Ячиндинская-1, Северо-Туколандская-1 и Хикиглинская-1), находящиеся западнее Ванкорского месторождения,

не являются продуктивными и, в основном, насыщены водой. Отсутствие залежей УВ в исследуемых отложениях, по всей видимости, можно объяснить недостаточной зрелостью нефтематеринских пород.

По нашему мнению, уменьшение интенсивности процессов эпигенетических преобразований пород в разрезах скважин, пробуренных западнее Ванкорского месторождения, обусловлено более слабыми притоками флюидов из глубоких горизонтов в связи с удаленным расположением этих скважин от зоны тектонической активизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате комплексных (литологических, минералого-петрографических, геохимических) исследований отложений Пур-Тазовской нефтегазоносной области (на примере девяти глубоких скважин – Северо-Ванкорской-1, Ванкорской-11, Восточно-Лодочной-1, Западно-Лодочной-1, Хикиглинской-1, Северо-Туколандской-1, Туколандо-Вадинской-320, Ячиндинской-1 и Ичемминской-1) получены следующие результаты:

1) Установлено, что наложенно-эпигенетические процессы в зоне стабилизации ВНК привели к развитию вторичного минералообразования (каолинита, карбонатов, слюд, кварца), образованию зон разуплотнения и цементации, формированию пород-коллекторов и запечатыванию пустотно-порового пространства, к битумообразованию и скоплению УВ. Выявлено, что процесс образования вторичного каолинита способствует развитию пустотного пространства, а регенерация кварца, формирование карбонатов, слюд, хлорита, твердых продуктов окисления углеводородов приводят к ухудшению коллекторских свойств пород.

2) Установлено перераспределение ряда химических элементов в ходе наложенного эпигенеза:

- каолинитизация приводит к выносу К, Ti, Cr, Mn, Fe, Rb, Ca, Sr, Ba;
- процесс регенерации кварца сопровождается незначительным повышением концентраций К и снижением – Ca, Ti, Cr, Mn, Fe;
- карбонатизация приводит к относительному накоплению Ca, Mn, Sr, Cr, Fe, Ti и выносу К и Rb.
- Зоны стабилизации ВНК в целом характеризуются выносом U. Максимально этот процесс проявлен в подзоне каолинитизации.

3) Выделенные по наличию отрицательных аномалий урана (с содержанием менее 1,5 г/т) интервалы могут соответствовать высокопористым породам, насыщенным УВ, а также водонасыщенным и уплотненным кальцитизированным породам. Вычислены уравнения линейных дискриминантных функций, позволяющие классифицировать породы-коллекторы по характеру насыщения на основе особенностей распределения ряда элементов К, Ca, Ti, Cr, Fe, Mn, Rb, Sr, Ba, Zr. Это позволяет выделить продуктивные отложения, насыщенные УВ, которые могут быть рекомендованы для испытаний.

4) Дана оценка перспектив нефтегазоносности по разрезам изучаемых скважин. По данным литогеохимических исследований, наиболее перспективными являются отложения, вскрытые скважинами Северо-Ванкорская-1, Ванкорская-11 и Восточно-Лодочная-1. Вероятно, это связано с повышенной интенсивностью флюидомиграционных процессов, обусловленных близостью Ванкорской площади к зоне глубинного долгоживущего разлома, а также насыщенностью юрских отложений

ОВ, способных генерировать углеводороды, что привело к формированию нефтегазового Ванкорского месторождения.

Скважины (Западно-Лодочная-1, Ичемминская-1, Ячиндинская-1, Северо-Туколандская-1 и Хикиглинская-1), находящиеся западнее Ванкорского месторождения, не являются продуктивными и, в основном, насыщены водой. Отсутствие залежей УВ в исследуемых отложениях, по всей видимости, можно объяснить недостаточной зрелостью нефтематеринских пород. Уменьшение интенсивности процессов эпигенетических преобразований пород в разрезах скважин, пробуренных западнее Ванкорского месторождения, по нашему мнению, обусловлено более слабыми притоками флюидов из глубоких горизонтов в связи с удаленным расположением этих скважин от зоны тектонической активизации.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что формирование коллекторов и самих залежей углеводородов в существенной степени зависит от процессов миграции углекислотных и углеводородных флюидов и обусловленных ими эпигенетических преобразований.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ:

1. Исаева, Е.Р. Литолого-геохимические особенности отложений яновстанской свиты Ванкорской площади / Н.Ф. Столбова, Е.Р. Исаева // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 11 (4). – С. 826–831.
2. Исаева, Е.Р. Исследование процессов флюидомиграции в нефтегазоносных отложениях Ванкорского месторождения / Е.Р. Исаева, Н.Ф. Столбова, // *Вестн. Том. гос. ун-та*. – Томск: Изд-во ТГУ, 2014. – № 389. – С. 228–234.
3. Исаева, Е.Р. Геохимические особенности распределения урана в отложениях Пур-Тазовской нефтегазоносной области (северо-восток Западной Сибири) / Е.Р. Исаева, Н.Ф. Столбова // *Известия ТПУ*. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015 – Т. 326, № 8. – С. 79–85.
4. Исаева, Е.Р. Геохимические обстановки и органический синтез углей и керогенов / В.П. Иванов, Е.Р. Исаева // *Кокс и Химия*. – М.: Metallurgizdat, 2015. – № 6. – С. 30–34.

В трудах научных конференций, совещаний и семинаров:

5. Исаева, Е.Р. Типичные литогеохимические особенности нефтегазоносных разрезов северо-восточной части Западно-Сибирской плиты на примере скважины Хикиглинская 1 / Е.Р. Исаева // *Материалы Всероссийской научной геологической молодежной школы «Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от В. А. Обручева, М. А. Усова, Н. Н. Урванцева до наших дней»*. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 71–73.
6. Исаева, Е.Р. Постседиментационные преобразования нефтегазоносных отложений и методы их изучения / Е.Р. Исаева // *Проблемы геологии и освоения недр: труды XVII Международного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова*. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 110–112.
7. Исаева, Е.Р. Особенности распределения урана в терригенных отложениях северо-восточной части Западной Сибири / Е.Р. Исаева, Столбова Н.Ф., Столбов Ю.М. // *Материалы IV международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека»*. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 221–223.
8. Исаева, Е.Р. Типичные литологические особенности нефтегазоносных разрезов северо-восточной части Западно-Сибирской плиты на примере скважины

- Хикиглинская 1 / Е.Р. Исаева // Материалы VII всероссийского литологического совещания «Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории». Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. ак. А.А. Трофимука СО РАН. Новосибирск: Изд-во ИНГГ СО РАН, 2013. – Т1. – С. 384–387.
9. Исаева, Е.Р. Особенности минерального состава нефтегазоносных отложений в зонах флюидомиграции Ванкорского месторождения / Е.Р. Исаева, Ю.М. Лопушняк, Н.Ф. Столбова // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVIII Международного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – С. 284–286.
 10. Исаева, Е.Р. Исследование процессов флюидомиграции в нефтегазоносных отложениях Ванкорской площади (северо-восток Западной Сибири) / Е.Р. Исаева // Материалы XV международной научно-практической конференции «Современные концепции научных исследований». – М.: Евразийский союз ученых, 2015. – №6(5) – С. 136–139.
 11. Исаева, Е.Р. Влияние постседиментационных процессов на фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов (Пур-Тазовская нефтегазоносная область) / Е.Р. Исаева // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – С. 235–238.
 12. Isaeva, E. R. Geochemical conditions and organic synthesis of coal and kerogens / V.P. Ivanov, E.R. Isaeva // *Coke and Chemistry*. – USA NY Allerton Press, Inc, 2015. – Vol 58, Issue 6. – pp 214-217.
 13. Isaeva, E.R. Post-sedimentation influence on filtration capacity reservoir rock properties (Pur-Tazov oil\gas-bearing area) / E.R. Isaeva, N.F. Stolbova, T.F. Dolgaya // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2015. – Vol. 27: Problems of Geology and Subsurface Development.