

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Геолого-геофизический факультет

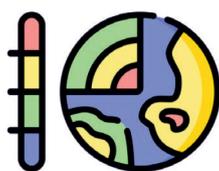
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ
им. А. А. Трофимука

ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ
им. В. С. Соболева

НАУКИ О ЗЕМЛЕ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Материалы VII Всероссийской молодежной
научно-практической школы-конференции

Геологический полигон «Шира»,
Республика Хакасия, Россия
2–8 августа 2024 г.



Новосибирск
2024

УДК 550+551+556+630
ББК Д.я431
Н340

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель оргкомитета
академик РАН *В. А. Верниковский*

Заместители председателя
зам. декана *Т. В. Костенко*
зам. декана *Е. В. Кузнецова*

Члены программного комитета:
академик РАН *М. П. Федорук*, академик РАН *В. С. Шацкий*, академик РАН *М. И. Энов*,
чл.-корр. РАН *В. Н. Глинских*, чл.-корр. РАН *Н. Н. Крук*, д-р геол.-минерал. наук *А. Э. Изох*,
д-р геол.-минерал. наук *Н. В. Сенников*, д-р геол.-минерал. наук *А. Н. Фомин*,
директор ФБГУ «Государственный заповедник “Хакасский”» *В. В. Непомнящий*

Члены оргкомитета
проректор НГУ *С. И. Малиновский*
д-р техн. наук *К. В. Сухорукова*
канд. геол.-минерал. наук *Д. А. Новиков*
канд. геол.-минерал. наук *М. В. Соловьев*
канд. геол.-минерал. наук *Д. А. Токарев*
канд. геол.-минерал. наук *О. А. Хохрякова*

Секретарь оргкомитета
канд. геол.-минерал. наук *А. В. Копылова*

Адрес оргкомитета
Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1, каб. 2112
Новосибирский государственный университет,
тел.: 83833634219; факс: 83833302658
https://events.nsu.ru/conference_geology/; email: geosciences@mail.ru

Н340 Науки о Земле. Современное состояние : материалы VII Всерос. молодежной науч.-практ. школы-конф. Геологический полигон «Шира», Республика Хакасия, Россия. 2–8 августа 2024 г. / Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2024. – 214 с.

ISBN 978-5-4437-1664-0

УДК 550+551+556+630
ББК Д.я431

ISBN 978-5-4437-1664-0
DOI 10.25205/978-5-4437-1664-0

© Новосибирский государственный университет, 2024



РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ТЕКТОНИКА

УДК 551.1/4

ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ КЕМБРИЙСКО-ОРДОВИКСКИХ ГАББРОИДНЫХ МАССИВОВ ЗАПАДНОГО САНГИЛЕНА

А. И. Э. Алагияванна¹, Е. В. Виноградов^{1,2}, Д. В. Метелкин^{1,2}

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

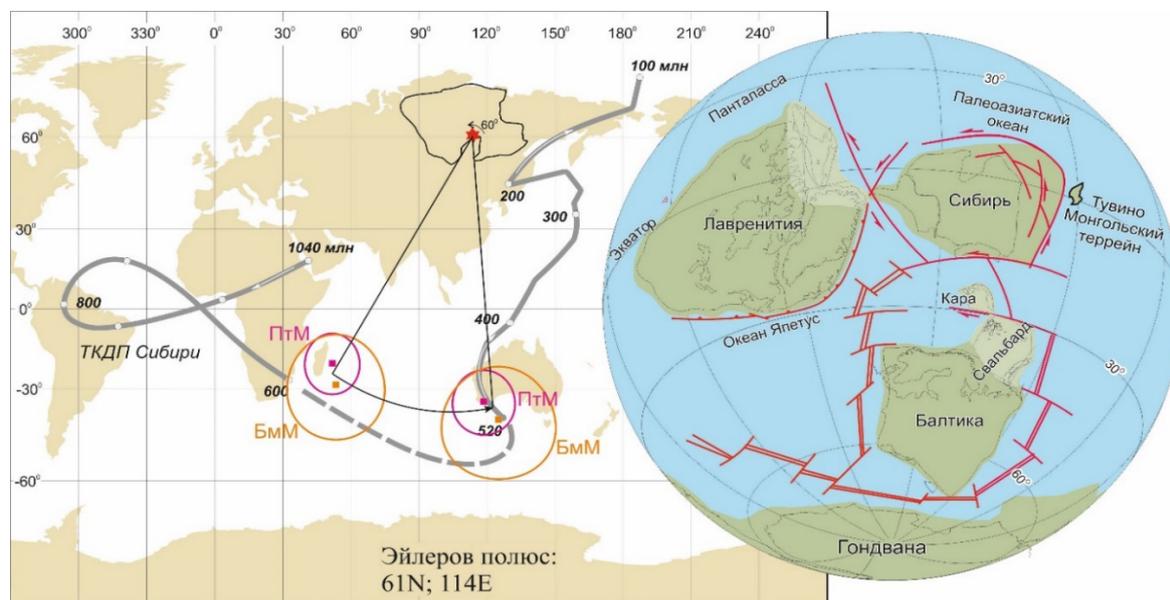
Объектами исследования являются Правотарлашкинский троктолит-анортозит-габбровый (ПтМ) и Башкымугурский вебстерит-габбронорит-монцодиоритовый (БмМ) массивы и дайки камптонитов агардагского щелочно-базальтоидного комплекса, которыми прорывают массивы. ПтМ имеет кембрийский возраст с датированиями 524 ± 9 млн лет (Ar-Ar) [1] и 494,6 млн лет (Sm-Nd) [2]. Возраст БмМ был определен с помощью трех изотопных методов: $464,6 \pm 5,7$ млн лет (U-Pb) [3], $465 \pm 1,2$ млн лет (Ar-Ar) [1], и 464 млн лет (Rb-Sr) [4]. Внедрение даек камптонитов является завершающей стадией эволюции структуры Западного Сангиленна, их возраст $444,0 \pm 7,5$ млн лет (U-Pb) [5].

Нами были изучены 260 образцов из 27 точек отбора. В результате проведения петромагнитных экспериментов установлено, что основным носителем намагниченности пород является магнетит. Также комплекс петрографических и петромагнитных наблюдений свидетельствует о потенциальной сохранности первичной палеомагнитной информации в породах ПтМ и БмМ, которая отвечает времени формирования пород. Сами массивы не претерпели существенных деформаций, которые могли бы изменить их первоначальное положение относительно палеогоризонтали, что критически важно для выбора системы координат при интерпретации палеомагнитных данных. В дайках камптонитов первичная магнитная текстура нарушена, регулярная компонента обнаружена только в двух дайках. Возможной причиной хаотического распределения компонент намагниченности в камптонитах является присутствие ксенолитов и интенсивное просачивание метасоматических флюидов [2].

Рассчитанные по выделяемой регулярной компоненте палеомагнитные полюса имеют координаты $20,72^\circ$ ю. ш., $51,77^\circ$ в. д. и $28,7^\circ$ ю. ш., $53,05^\circ$ в. д. для ПтМ и БмМ соответственно. Совпадение в пределах погрешности полученных палеомагнитных полюсов для массивов между собой и с уже имеющимися данными других авторов для разных участков Тувино-Монгольского террейна (ТМТ) для кембрийско-ордовикского времени [6, 7] указывает на первичный генезис намагниченности и показывает, что во время ее формирования Западный Санги-

лен являлся составной частью ТМТ. Все эти палеомагнитные полюса ТМТ в случае обратной полярности, учитывая, что в ордовикское время преобладала обратная полярность, располагаются в районе современного Мадагаскара, ближе к вендским полюсам траектории кажущегося движения полюса (ТКДП) Сибири. Это говорит о том, что ТМТ в ордовике не был жестко связан с Сибирью. Для необходимого совпадения наблюдаемых и ожидаемых полюсов нужен поворот, который предполагает относительные смещения ТМТ и палеоконтинента.

В рамках уже имеющейся сдвиговой модели [8] эволюции юго-западной Сибирской континентальной окраины венд-кембрийские островодужные террейны причленились к ней в ордовикском периоде. В позднем кембрии – ордовике фрагменты единой дуги сдвигались и поворачивались друг относительно друга, и в итоге заняли позиции близкие к современным. Аналогично этой модели объясняется разница между ордовикскими полюсами ТМТ и Сибири. Вращение палеомагнитных полюсов ПтМ и БмМ на 60° вокруг Эйлера полюса (61 с. ш., 114 в. д.) из модели [8], приводит к совпадению с кембрийско-ордовикским интервалом ТКДП Сибири (см. рисунок).



Положение палеомагнитных полюсов ПтМ и БмМ до и после поворота вокруг полюса Эйлера (61 с. ш., 114 в. д.) на 60° согласно принятой модели (слева); палеогеографическое положение ТМТ на рубеже кембрия – ордовика (~ 480 млн лет) (справа), положение других континентов по [9]

Рассчитанные для ПтМ и БмМ палеомагнитные полюсы позволяют утверждать, что в интервале 520–460 млн лет назад ТМТ находился вблизи Сибирского палеоконтинента и, вероятно, вместе с другими террейнами Алтае-Саянской области был включен в крупный аккреционный пояс, располагавшийся на его западной периферии; важнейшей чертой палеозойской тектоники этого пояса были левосторонние сдвиги, обусловившие взаимную переориентировку террейнов аккреционного пояса и формирование современного структурного плана складчатой области.

Список литературы

1. Изох А. Э., Шелепаев Р. А., Егорова В. В. Эволюция базитового магматизма кембро-ордовикского коллизионного этапа Алтае-Саянской складчатой области // *Фундаментальные*

проблемы геологии и тектоники Северной Евразии: Тез. докл. конф., посвященной 90-летию акад. А. Л. Яншина. Новосибирск: Изд-во СО РАН. Филиал «Гео». 2001. С. 24–26.

2. Гибшер А. А., Мальковец В. Г., Кузьмин Д. В., Ота Т., Сакагучи Ч., Кобаяши К., Накамура Э. Природа и возраст метасоматического преобразования литосферной мантии под Западным Сангиленом: Sr-Nd изотопные данные // Геология и минералогия Северной Евразии. 2017. С. 59.

3. Козаков И. К., Котов А. Б., Сальникова Е. Б., Бибилова Е. В., Ковач В. П., Кирнозова Т. И., Лыхин Д. А. Возраст метаморфизма кристаллических комплексов Тувино-Монгольского массива: результаты U-Pb геохронологических исследований гранитоидов // Петрология. 1999. 7(2). 174–190.

4. Петрова А. Ю., Костицын Ю. А. Возраст высокоградиентного метаморфизма и гранитообразования на Западном Сангилене // Геохимия. 1997. № 3. С. 343–347.

5. Гибшер А. А., Мальковец В. Г., Травин А. В., Белоусова Е. А., Шарыгин В. В., Конц З. Возраст камптонитовых даек агардагского щелочно-базальтоидного комплекса Западного Сангилене на основании Ar/Ar и U/Pb датирования // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 8. С. 998–1013.

6. Михальцов Н. Э., Казанский А. Ю., Сенников Н. В. О положении Тувинского террейна в ордовике // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. М.: ОИФЗ РАН. 1999. С. 8–40.

7. Сенников Н. В., Казанский А. Ю., Ивата К., Обут О. Т., Изох Н. Г., Крамаров А. С., Хлебникова Т. В. Палеомагнитные исследования палеозойских комплексов Каргинского грабена Западной Тувы и их палеогеодинамическая интерпретация // Мат. науч. совещания по Программе фундаментальных исследований. Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту), 2003.

8. Метелкин Д. В. Эволюция структур Центральной Азии и роль сдвиговой тектоники по палеомагнитным данным. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2012.

9. Metelkin D. V., Vernikovskiy V. A., Matushkin N. Yu. Arctida between Rodinia and Pangea // Precambrian Research, 2015. V. 259. Pp. 114–129. DOI: 10.1016/j.precamres.2014.09.013

УДК 551.24

КАМЕННОУГОЛЬНЫЕ ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ ТУВИНСКОГО ПРОГИБА: РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ГЕОХИМИЧЕСКИХ И ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ*

Т. А. Бирюкова

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск
Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск*

Тувинский прогиб представляет собой грабен северо-восточного простирания шириной 50–80 км и протяженностью более 500 км и рассматривается в составе девонской Алтае-Саянской рифтовой системы, сформированной на раннепалеозойских аккреционно-коллизийных

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-77-10069).

© Т. А. Бирюкова, 2024

комплексах [1]. Рифтогенные процессы начались в девонском периоде и привели к формированию вулканогенных образований бимодальной серии и многочисленных роев базитовых даек [1, 2]. Рифтогенез продолжался до каменноугольного периода и сопровождался формированием мощных осадочных толщ. Считается, что процессы рифтогенеза связаны с воздействием мантийного плюма на литосферу в северной части Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) [2].

Каменноугольный разрез Тувинского прогиба имеет мощность более ~1,6 км и представлен мелкогалечными конгломератами в основании, которые выше по разрезу сменяются известняками, редко мергелями, красными, серыми и желтыми алевролитами, крупно- и среднезернистыми песчаниками, туффитами. Для пород прогиба характерна слоистость и ритмичность, сменяющие друг друга красная, желтая и серая окраски. Текстурно-структурные признаки отложений восточной части Тувинского прогиба говорят о преимущественно озерных (ритмичность, слоистость), аллювиальных (линзовидная, косая слоистость) условиях их формирования. Наличие углей в верхних частях каменноугольного разреза (онкажинская свита) указывает на континентальное осадконакопление. В песчаниках из верхней части разреза каменноугольных образований были найдены округлые обломки диаметром от 1 до 6 см с оплавленными краями, интерпретированные как вулканические бомбы. По микроскопическим наблюдениям каменноугольных пород установлено преобладание угловатых и полуугловатых обломков, а также обнаружены лапилли и вулканическое стекло, что указывает на присутствие пепловых частиц. Наличие вулканического материала также отражено в слоистой текстуре, образованной чередованием красных терригенных и черных полос пеплового материала в кластитовых песчаниках (туффитах).

Геохимические особенности каменноугольных терригенных образований указывают на кислый состав и магматическое происхождение пород источников сноса. На диаграмме F1–F2 [3] поля каменноугольных пород прогиба располагаются в области составов, образованных в условиях континентального рифтогенеза. Кристаллы циркона из каменноугольных образований преимущественно идиоморфные, слабо окатанные из-за низкой степени истирания при переносе осадка. Результаты U–Pb изотопного анализа детритового циркона из ранне- и средне-верхнекаменноугольных пород (суглугхемской и онкажинской свит, соответственно) позволяет выделить две группы зерен: раннепалеозойскую с вероятностными пиками на 455 млн лет и 485 млн лет, и позднепалеозойскую с монопиком на 315 млн лет. Для всех детритовых зерен циркона характерны высокие соотношения Th/U (значительно больше 0,1) и осцилляторная зональность, что характеризует исследуемые породы как продукты разрушения преимущественно магматических пород.

Таким образом, по комплексу геологических, геохимических и геохронологических данных установлено, что каменноугольные отложения Тувинского прогиба были сформированы в результате разрушения ранне- и позднепалеозойских кислых магматических комплексов. Литературный анализ показал, что в пределах Юго-Восточной Тувы широко распространены раннепалеозойские гранитоидные массивы, которые могли являться источником обломочного материала, поступающего в Тувинский прогиб в каменноугольное время. Однако на современной дневной поверхности не обнаружено кислых магматических образований с позднепалеозойским U–Pb-возрастом циркона. Позднепалеозойские цирконы, зафиксированные в составе терригенных пород Тувинского прогиба, могли быть принесены в составе пеплового материала, оседавшего в каменноугольных озерах. Появление пеплового материала могло быть связано с каменноугольными вулканическими событиями на смежных территориях Монголии и Казахстана, однако такие события не исключены и в Тувинском сегменте ЦАСП.

Список литературы

1. Воронцов А. А., Ярмолук В. В., Федосеев Г. С., Никифоров А. В., Сандиминова Г. П. Изотопно-геохимическая зональность девонского магматизма Алтае-Саянской рифтовой области: состав и геодинамическая природа мантийных источников // *Петрология*. 2010. Т. 18. № 6. С. 621–634.
2. Ветров Е. В., Уваров А. Н., Андреева Е. С., Ветрова Н. И., Жимулев Ф. И., Степанов А. С., Вишневская И. А., Червяковская М. В. Среднепалеозойский магматизм Центрально-Тувинского прогиба (восточная часть Алтае-Саянской складчатой области): петрогенезис, тектоника и геодинамика // *Геология и геофизика*, 2022. Т. 63. № 12. С. 1607–1629.
3. Verma S. P., Armstrong-Altrin J. S. New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins // *Chemical Geology*, 2013. Vol. 355. pp. 117–133.

УДК 004.65

ГЕОПОРТАЛ ГГФ НГУ НА ПЛАТФОРМЕ COGIS

Д. А. Врацкий¹, А. И. Э. Алагияванна¹, М. В. Задорожный^{1,2}, О. А. Хохрякова¹

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск

² ООО «ДатаИст», Новосибирск

Цифровизация – современный тренд, который затрагивает все сферы современного общества, имеет множество аспектов, один из которых – появление цифровых экосистем (Yandex, СБЕР). Основой таких экосистем является технологическая платформа, которая объединяет в себе некий ситуационный центр, коммуникационную среду и «маркет-плейс».

Такая экосистема позволяет широкому спектру исследователей собирать, хранить, визуализировать и обрабатывать научные наблюдения наиболее эффективным образом. Инструменты платформы CoGIS позволяют обрабатывать данные в автоматических и полуавтоматических режимах, что значительно повышает качество научной информации, сокращает количество ошибок и уменьшает время подготовки и обработки данных, сокращает рутинные операции, оставляя больше времени и ресурсов для интерпретации и творческой обработки полученной информации. Распределенный доступ к ресурсам геопортала позволяет проводить междисциплинарные исследования с комфортными условиями для работы специалистов разных специальностей. Гибкость, присущая платформе CoGIS, дает возможность настроить удобное рабочее пространство для каждого из участников проекта.

Геопортал – сервер, предоставляющий пользователям прямой доступ к распределенным сетевым ресурсам пространственных данных и сервисам (геосервисам), которые могут быть найдены на геопортале как точке входа в такую сеть.

По сути, геопортал является Центром коллективного пользования по предоставлению геоинформационных сервисов всем заинтересованным лицам. ГИС-сервер, лежащий в основе геопортала, позволяет обходиться без установки настольных ГИС-приложений – работа осуществляется при помощи обычного браузера. Также пользователи могут работать с простран-

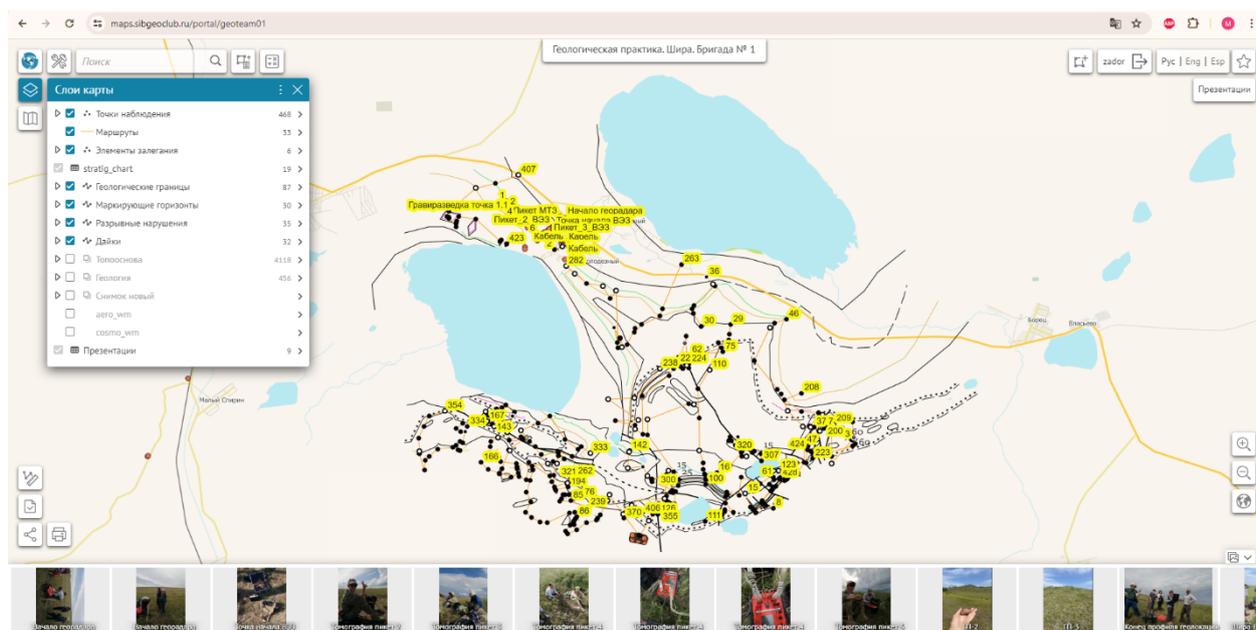
ственной информацией с любого сетевого (в том числе домашнего или портативного) компьютера, что немаловажно во время дистанционной/удаленной работы. Интерактивная карта может быть использована как презентация для научного доклада и решать другие повседневные задачи исследователя.

На сегодняшний день на нашем геопортале размещены три проекта.

1. Геологический музей НОЦ «Эволюция Земли» НГУ. На интерактивной карте представлен каталог образцов с двойной привязкой: можно посмотреть, где образец находится в пределах здания университета, а также место, где он был отобран. Есть возможность прикреплять фотографии и прочие файлы к экспонатам [1, 2].

2. Рабочая карта для студентов, проходящих геолого-картографическую практику на базе практик ГГФ НГУ в п. Колодезный (см. рисунок). Благодаря данному ресурсу студенты получили возможность пользоваться своими мобильными устройствами для хранения разнообразных картографических материалов (топографическая основа, спутниковые снимки и т. д.) и документирования своих наблюдений. Также присутствует частичная автоматизация заполнения атрибутивной информации и печати готовых карт (<https://maps.sibgeoclub.ru/portal/geoshira>).

3. Карта для оформления курсовой работы для студентов 3-го курса ГГФ НГУ. Карта позволяет оформлять список литературы и саму курсовую работу в виде автоматизированного отчета в соответствии с требованиями (<https://maps.sibgeoclub.ru/portal/fetisov>).



Интерфейс веб-карты для работы на геолого-картографической практике ГГФ НГУ

В данный момент все эти карты можно посмотреть по адресу <https://maps.sibgeoclub.ru/portal/catalog>. В дальнейшем планируется перенести проекты на собственный сервер НГУ. Будет настроена переадресация, что не позволит утратить данные.

Авторы уверены, что данный подход формирует культуру обращения с пространственными данными и обладает мощным образовательным потенциалом. Мы собираемся расширять набор наукоемких сервисов для сбора, хранения и обработки разнородной геологической информации.

Список литературы

1. Задорожный М. В., Высоцкий Е. М., Вишневский А. В., Смирнова Т. В., Моисеев Б. Е. Инфраструктура пространственных данных геопортала ИГМ СО РАН // Информационные технологии для наук о Земле и цифровизация в геологии и горнодобывающей промышленности. ITES-2022, Владивосток, 03–08 октября 2022 г.: Мат. VI Всероссийской конференции. С. 42.
2. Задорожный М. В., Вишневский А. В., Смирнова Т. В., Высоцкий Е. М., Моисеев Б. Е. Новый сайт коллекции Центрального сибирского геологического музея (г. Новосибирск) на картографической платформе «COGIS» // Минералогические музеи – 2019. Минералогия вчера, сегодня, завтра, СПб., С.-Петербург. гос. ун-т, 2019.: Мат. науч. конференции. С. 24–25.

УДК 551.24

СЕЙСМОДИСЛОКАЦИИ СИЛЬНОГО ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ЗОНЕ ТОЛБОНУРСКОГО РАЗЛОМА (АЛТАЙ)

О. В. Сафронов

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

Толбонурский разлом – одна из ключевых структур Алтайского орогена, заложенная еще в палеозое и разделяющая Алтае-Монгольский турбидитовый и Ульгийский офиолитовый террейны. На его северном фланге, в долинах рек Чаган-Бургазы и Саржематы, в результате полевых структурно-геоморфологических исследований и съемки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) была выявлена и детально закартирована ранее не известная система поверхностных разрывов палеоземлетрясения. Она имеет СЗ-простираение и протяженность 22 км. Поверхностные разрывы представлены разломными уступами с различными поднятыми крыльями, закономерно ориентированными трещинами растяжения и валами выжимания. При анализе значений вертикального отступа на разломных уступах и смещения эрозионных бортов долин водотоков, было установлено, что вертикальная компонента сейсмогенного смещения составляет 3,3 м, а горизонтальная правосдвиговая – 7 м. Суммарное смещение при землетрясении составило 7,7 м.

Для определения возраста и количества землетрясений, сформировавших систему поверхностных разрывов, было пройдено 3 траншеи в ее северной, центральной и южной частях. При анализе закартированных стенок траншей были обнаружены следы одного землетрясения, а его возраст, согласно результатам радиоуглеродного датирования отобранных образцов отложений коллювиальных клиньев, составляет около 3,4 тыс. лет.

Используя данные о величине сейсмогенной подвижки, было установлено, что, согласно шкале ESI 2007, интенсивность землетрясения могла достигать X баллов, а моментная магнитуда составила 7,3, что сопоставимо с параметрами Чуйского землетрясения 27.09.2003. Однако землетрясение такой магнитуды должно сформировать гораздо более протяженную систему поверхностных разрывов. Также при анализе изменения величины вертикального отступа на разломных уступах было установлено, что его значение увеличивается в ЮВ-направлении,

соответственно, и эпицентр находится на ЮВ. Летом 2023 г. нами была предпринята успешная попытка найти продолжение Чаган-Бургазинской системы поверхностных разрывов в пределах Монгольского Алтая. В бассейне р. Бор-Бургасны была выявлена и детально закартирована система поверхностных разрывов СЗ-простираия и протяженностью 11 км. Поверхностные разрывы здесь также представлены разломными уступами и закономерно ориентированными трещинами растяжения с валами выжимания, указывающими на правосдвиговую компоненту смещения. В центральной части Бор-Бургаснинской системы поверхностных разрывов через крупную трещину растяжения была пройдена траншея. Из отложений коллювиального клина были отобраны образцы для радиоуглеродного датирования. В случае, если результаты датирования дадут близкий возраст, то можно будет утверждать, что Чаган-Бургазинская и Бор-Бургаснинская системы являются единой системой палеосейсмодислокаций, протяженностью 55 км. В таком случае оценка моментной магнитуды землетрясения по протяженности поверхностных разрывов составит 7,1, что хорошо коррелируется с оценкой магнитуды по величине сейсмогенной подвижки.

УДК 551.24

СРАВНЕНИЕ НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ЮЖНОГО СКЛОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

В. А. Тимошина, Н. А. Бондаренко

Кубанский государственный университет, Краснодар

Интенсивная застройка Черноморского побережья южного склона Северо-Западного Кавказа служит причиной для более детального изучения инженерно-геологического строения территорий, включая исследования новейших структур.

Наиболее крупной структурой второго порядка Новороссийско-Лазаревского синклиория является Беттинская грабен-синклиналь, она имеет общекавказское простираие и ограничена наклонными разломами. Ядро складки выполнено породами палеоценового отдела, а крылья – верхнемелового. Структура разбита поперечным Беттинским разломом на два блока – Араратский и Криницкий. Смещение блоков по вертикальной амплитуде составляет примерно 50 м и фиксируется по подошве плейстоценовой морской террасы [1].

Для изучения территории проводились полевое обследование и теоретические построения. При полевом обследовании было уточнено геологическое строение территории, выполнена заверка элементов залегания и фотофиксация пликативных дизъюнктивных структур [2]. Установлено, что оба блока осложнены серией пликативных и дизъюнктивных нарушений, неравномерно распределенных по площади. Основная особенность дизъюнктивных нарушений заключается в том, что они чаще имеют комбинированный тип, что отчетливо фиксируется по разнонаправленным зеркалам и бороздам скольжения. Для Криницкого блока на протяжении нескольких километров вдоль побережья характерна серия сбросов и сдвига-сбросов по периферии и незначительное количество пликативных структур по сравнению с Араратским блоком.

Преобладающая кинематическая составляющая изучаемой территории взбросо-надвиговая, она определена исходя из структурно-кинематической схемы [3]. Детальное исследование Криницкого и Араратского блоков Беттинской грабен-синклинали подтвердило, что более низкое положение Криницкого блока, его характер дислоцированности и сглаженные формы рельефа определяются другим стресс-состоянием.

При проведении реконструкции неотектонических напряжений, структурно-геоморфологическом методом Л. А. Сим, с помощью ПО SimSGM – DEMO [4] было установлено, что для Криницкого блока преобладающим сдвигом является левый, образованный в геодинамической обстановке дополнительного растяжения, а для Араратского блока сохраняется взбросо-надвиговая кинематика.

Таким образом, несмотря на общее сжимающее состояние территории, в его пределах могут встречаться участки с преобладающим направлением растяжения.

Список литературы

1. Любимова Т. В., Бондаренко Н. А., Куропаткина Т. Н., Кириченко М. А.. Инженерно-геологические условия Черноморского побережья С-З Кавказа // Краснодар: Просвещение-Юг, 2009. 119 с.
2. Сим Л. А. Изучение тектонических напряжений по геологическим индикаторам (методы, результаты, рекомендации) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 1991. № 10. С. 3–22.
3. Ребецкий Ю. Л., Сим Л. А., Маринин А. В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методы и алгоритмы / Отв. редактор Ю. Г. Леонов // Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, М.: ГЕОС. 2017. 234 с.
4. Гордеев Н. А., Молчанов А. Б. Автоматизация структурно-геоморфологического метода реконструкции сдвиговых тектонических напряжений Л. А. Сим // Геоинформатика. 2019. № 2. С. 25–33.



ГЕОЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 550.4.02

ИЗУЧЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ПАЛЛАДИЯ В ХЛОРИДНЫХ И СУЛЬФИДНЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ФЛЮИДАХ *

Е. А. Рубцова, А. В. Зотов, Д. Р. Дягилева, Н. Н. Акинфиев, Б. Р. Тагиров

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Москва*

Палладий (Pd) среди элементов платиновой группы (ЭПГ) является наиболее подвижным металлом в гидротермальных флюидах. Исследования показывают, что Pd может эффективно переноситься гидротермальными флюидами при образовании рудных месторождений в различных средах, от высокотемпературных постмагматических ($> 700\text{ }^{\circ}\text{C}$) до низкотемпературных гидротермальных [1]. Изучение стабильности комплексов Pd(II) в гидротермальных флюидах необходимо для понимания процессов миграции и образования месторождений этого металла. Ряд экспериментальных исследований растворимости Pd в гидротермальных флюидах позволяют предположить, что хлоридные и гидросульфидные комплексы являются основными формами, ответственными за перенос Pd [2–4 и др.]. По литературным данным, хлоридные комплексы палладия представлены PdCl^+ , PdCl_2^0 , PdCl_3^- и PdCl_4^{2-} [3], среди гидросульфидных комплексов большинство исследователей выделяют $\text{Pd}(\text{HS})_2^0$, $\text{Pd}(\text{HS})_3^-$ [6]. Однако разные исследования предсказывают различные преобладающие комплексы палладия. Различаются данные и по константам их устойчивости. Задачи настоящей работы состояли в определении состава основных форм нахождения Pd в гидротермальных флюидах в широком диапазоне температур и давлений.

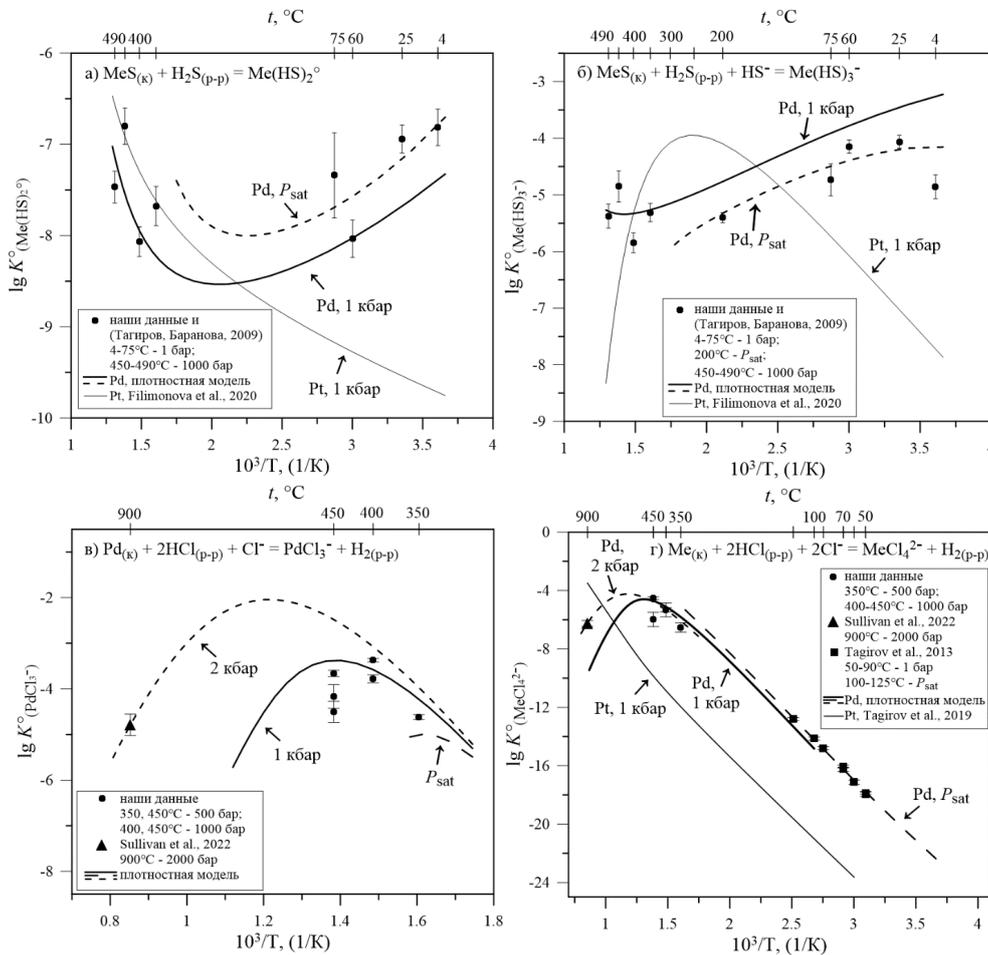
Эксперименты проводились при условиях $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 0,5 кбар и 400, 450, 490 $^{\circ}\text{C}$ и 1 кбар с использованием классической автоклавной методики отдельно для изучения хлоридных и сульфидных комплексов палладия. В первом случае в верхней части автоклава подвешивался металлический Pd, в автоклав помещался раствор HCl (0,02–0,2m) и NaCl (0,5–14,0m). Для изучения сульфидных комплексов в верхней части автоклава подвешивался синтетический PdS, в автоклав заливался раствор с H_2S (0,02–2,0m) и NaOH (0,05–0,4m). Содержание Pd определяли методом ИСП-МС.

По результатам экспериментов определен состав доминирующих комплексов палладия (PdCl_3^- и PdCl_4^{2-} в хлоридной системе при температурах $> 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\text{Pd}(\text{HS})_2^0$ и $\text{Pd}(\text{HS})_3^-$ в суль-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-17-00090).

© Е. А. Рубцова, А. В. Зотов, Д. Р. Дягилева, Н. Н. Акинфиев, Б. Р. Тагиров, 2024

фидной системе); рассчитаны значения свободных энергий Гиббса комплексов палладия; получены ключевые значение констант; рассчитаны параметры уравнений плотностной модели для температур до 900 °С и давлений до 2000 бар (см. рисунок).



Зависимость константы реакции растворения MeS (Me = Pd, Pt) (верх) и Me (Me = Pd, Pt) (низ) с образованием комплексов от обратной температуры:
а) $\text{Me}(\text{HS})_2^0$, б) $\text{Me}(\text{HS})_3^-$, в) MeCl_3^- и г) MeCl_4^{2-} [3, 4, 6, 7]

Установлено, что $\text{Pd}(\text{HS})_2^0$ и $\text{Pd}(\text{HS})_3^-$ ведут себя по-разному в зависимости от РТ-условий. Устойчивость $\text{Pd}(\text{HS})_3^-$, преобладающего при слабокислых и близнейтральных рН, незначительно снижается с ростом температуры. В отличие от $\text{Pt}(\text{HS})_3^-$, вклад которого в перенос Pt пренебрежимо мал при $t > 250$ °С, $\text{Pd}(\text{HS})_3^-$ является важной формой переноса Pd в высокотемпературных близнейтральных растворах, включая сверхкритические флюиды. Устойчивость $\text{Pd}(\text{HS})_2^0$ при $t < 300$ °С выше $\text{Pt}(\text{HS})_2^0$. Однако при более высоких температурах константы устойчивости этих комплексов близки. Вклад PdCl_3^- и PdCl_4^{2-} в перенос палладия в хлоридных системах возрастает с ростом температуры, однако при $t > 450$ °С устойчивость комплексов начинает резко снижаться. Максимальная растворимость Pd ожидается в диапазоне температур 400–600 °С (до 1 ppm Pd). Устойчивость PdCl_4^{2-} выше, чем устойчивость аналогичного комплекса платины.

Разница в зависимости устойчивости комплексов Pd и Pt от температуры может приводить к разделению этих металлов в гидротермальных системах. Полученные данные будут

использованы для моделирования гидротермального переноса палладия при образовании месторождений этого металла.

Список литературы

1. Nyman M. W., Sheets R. W., Bodnar R. J. Fluidinclusion evidence for the physical and chemical conditions associated with intermediate-temperature PGE mineralization at the New Rambler deposit, Southeastern Wyoming // *Can. Miner.*, 1990. Vol. 28. P. 629–638.
2. Тагиров Б. Р., Баранова Н. Н. Состояние палладия в сульфидных гидротермальных растворах: экспериментальное изучение методом растворимости // *ГЕОХИМИЯ*, 2009. №12. P. 1319–1327.
3. Tagirov B. R., Baranova N. N., Zotov A. V., Akinfiev N. N., Polotnyanko N. A., Shikina N. D., Koroleva L. A., Shvarov Yu. V., Bastrakov E. N. The speciation and transport of palladium in hydrothermal fluids: Experimental modeling and thermodynamic constraints // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2013, Vol. 117. P. 348–373.
4. Sullivan N. A., Zajacz Z., Brenan J. M., Hinde J. C., Tsay A., Yin Y. The solubility of gold and palladium in magmatic brines: Implications for PGE enrichment in mafic-ultramafic and porphyry environments // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2022, Vol. 316. P. 253–272.
5. Pan P., Wood S. A., Solubility of Pt and Pd sulfides and Au metal in aqueous bisulfide solutions II. Results at 200 ~ to 350 and saturated vapor pressure // *Mineral. Deposita*, 1994. Vol. 29. P. 373–390.
6. Filimonova O. N., Tagirov B. R., Zotov A. V., Baranova N. N., Bychkova Y. V., Tyurin D. A., Chareev D. A., Nickolsky M. S. The solubility of cooperite PtS(cr) at 25–450° C, Psat–1000 bar and hydrosulfide complexing of platinum in hydrothermal fluids // *Chemical Geology*, 2020. Vol. 559. P. 119968.
7. B. R. Tagirov, O. N. Filimonova, A. L. Trigub, N. N. Akinfiev, M. S. Nickolsky, K. O. Kvashnina, D.A. Chareev, A.V. Zotov, Platinum transport in chloride-bearing fluids and melts: insights from in situ X-ray absorption spectroscopy and thermodynamic modeling // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2019. Vol. 254. P. 86–101.

УДК 553.98

МОБИЛЬНОСТЬ ТИТАНА И НИОБИЯ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ГИДРОТЕРМАЛЬНОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ И ВЫВЕТРИВАНИИ ОКСИДОВ НИОБИЯ (ПИРОХЛОРА, ЛУЕШИТА) И ТИТАНА (РУТИЛА, АНАТАЗА)*

Д. А. Чеботарев¹, Б. Ю. Сарыг-оол¹, Е. Н. Козлов², Е. Н. Фомина², М. Ю. Сидоров²

¹ *Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск*

² *Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты*

Считается, что титан и ниобий не переносятся в растворах при низкотемпературных гидротермальных и гипергенных процессах [1, 2]. В то же время полиморфные модификации

* Исследование проведено за счет средств базового проекта НИР № 22041400241-5 (расходные материалы для экспериментов) и гранта РНФ № 23-77-01075 (исходные вещества, аналитические работы).

© Д. А. Чеботарев, Б. Ю. Сарыг-оол, Е. Н. Козлов, Е. Н. Фомина, М. Ю. Сидоров, 2024

оксидов титана (Ti-оксиды) часто встречаются в гидротермальных жилах различного генезиса, в том числе ассоциированных с щелочными породами (сиенитами и карбонатитами) или секущих их, причем как в высокотемпературных (400–300 °С), так и в средне- (300–150 °С) и низкотемпературных (150–50 °С). Зачастую в них обнаруживаются зональности по Ti, Fe, Si, Nb и др., а содержание Nb₂O₅ может достигать десятков массовых процентов, доходя до промышленных концентраций. В качестве ярких примеров можно назвать следующие карбонатитовые комплексы, с которыми ассоциированы промышленные редкометальные месторождения: Чукотский массив Чадобецкого комплекса (Красноярский край, Россия) [3], массив Вуориярви в Кольской щелочной провинции (КЩП) (Россия) [4, 5], Bear Lodge в США [6], Morros dos Seis Lagos в Бразилии (Giovannini et al., 2017). Причем в коре выветривания по карбонатитам Morros dos Seis Lagos описаны Ti-оксиды, сформировавшиеся как на поздней низкотемпературной гидротермальной стадии, так и в ходе выветривания [7]. На данный момент отечественными и зарубежными исследователями наработана экспериментальная база по изучению свойств минералов оксидов титана и ниобия в широком диапазоне температур и давлений в разных средах, включая растворы кислот и щелочей [например, 8], однако отсутствуют оценки подвижности титана и ниобия в условиях, моделирующих позднюю низкотемпературную гидротермальную стадию и выветривание смеси титан-ниобиевых минералов. Поэтому нами была проведена серия экспериментов при 50 и 200 °С по воздействию на смесь рутила, анатаза, пирохлора и луешита растворов кислот HF, HCl, H₂SO₄, которые могут образовываться при гидротермальном преобразовании и выветривании минералов карбонатитов.

Для проведения экспериментов были изготовлены смеси кристаллов рутила (из эклогитов Куры-Ваары, Кольский регион) и анатаза (г. Додо, Приполярный Урал) с кристаллами пирохлора (из карбонатитов массива Себлявр, КЩП) или луешита (из карбонатитов массива Салланлатва, КЩП). Минералы анализировались до и после экспериментов на сканирующем электронном микроскопе MIRA3 LMU (TESCAN, Чехия) с системой микроанализа INCA Energy 450+ на базе энергодисперсионного спектрометра X-MAX 80 (Oxford Instruments NanoAnalysis, Великобритания) (СЭМ). Навеска минералов каждой разновидности составляла не менее 10 мг. Готовые минеральные смеси помещались в автоклавы закрытого типа из политетрафторэтилена (ПТФЭ) высокого давления объемом 50 мл. К смеси минералов добавлялось 10 мл раствора 1,0 М минеральной кислоты (марок «ос. ч.» для соляной и плавиковой кислот и «х. ч.» для серной кислоты), после чего закрытые автоклавы помещались в нагревательный блок HOT BOX 300 («Сибирские аналитические системы», Россия). Таким образом, всего было приготовлено 12 смесей минералов и растворов кислот. Эксперименты по растворению проводились при 50 и 200 °С в течение 4 часов после установления температуры. По окончании эксперимента автоклавы охлаждались до комнатной температуры. Растворы кислот декантировались от смеси минералов и анализировались на содержание элементов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) на приборе iCAP Pro XP Duo (Thermo Scientific, США). Смеси минералов дважды промывались дистиллированной водой и сушились при комнатной температуре на протяжении нескольких часов до полного высыхания для повторного исследования указанным методом сканирующей электронной микроскопии. Аналитические и минералогические исследования проводились в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Результаты показали, что хлоридные растворы слабо насыщаются и переносят титан и ниобий, при этом их эффективность усиливается при повышенной температуре. Сульфатные растворы также практически не насыщаются титаном и ниобием при 50 °С, однако при 200 °С уже демонстрируют немного большее насыщение титаном и весьма существенно насыщаются ниобием – в раствор может перейти до 3,7 % исходного Nb₂O₅ в случае наличия пирохлора.

Плавиновая кислота наиболее интенсивно насыщается титаном и ниобием: в случае пирохлора в раствор может перейти около 2 % TiO_2 при 50 °С и около 3 % TiO_2 при 200 °С, в то время как для Nb_2O_5 эти показатели составляют около 91 и 74 % соответственно. Для образца с луешитом эти показатели составляют менее 1 % при 50 °С и 1,6 и 9,5 % соответственно. По анализам СЭМ так же видно, что луешит устойчив к воздействию использованных кислот, а рутил и анатаз не подверглись растворению, в то время как пирохлор при контакте с HF активно замещается флюоритом во всех экспериментах. При этом отдельных новообразованных фаз ниобия или титана не обнаружено. Из этого можно сделать вывод, что содержание титана и ниобия в растворах было обеспечено за счет распада пирохлора.

Проведенные исследования показывают, что титан и ниобий действительно могут переноситься низкотемпературными гидротермальными или гипергенными растворами, однако это зависит от состава растворов и температуры – наибольший эффект достигается в присутствии F⁻-ионов, но при низкотемпературных гидротермальных процессах сульфат-ионы также могут быть причиной массопереноса ниобия и титана.

Список литературы

1. Kurtz A. C., Derry L. A., Chadwick O. A., Alfano M. J. Refractory element mobility in volcanic soils // *Geology*, 2000. Vol. 28. Pp. 683–686.
2. Ewing R. C., Weber W. J., Lian J. Nuclear waste disposal-pyrochlore (A2B2O7): Nuclear waste form for the immobilization of plutonium and “minor” actinides. // *Journal of Applied Physics*, 2004 95, 5949–5971.
3. Chebotarev D. A., Doroshkevich A. G., Klemd R., Karmanov N. S. Evolution of Nb-mineralization in Chuktukon carbonatite massif, Chadobets upland (Krasnoyarsk territory, Russia). // *Periodico di Mineralogia*, 2017. Vo. 86. Pp. 99–118.
4. Фомина Е. Н., Козлов Е. Н. Комплексное исследование редкоземельных карбонатитов массива Вуориярви (Кольский регион) и модель их формирования // *Вестник Кольского научного центра РАН*, 2022. № 2. DOI:10.37614/2307-5228.2022.14.2.002
5. Kozlov E., Fomina E., Sidorov M., Shilovskikh V. Ti-Nb Mineralization of Late Carbonatites and Role of Fluids in Its Formation: Petyayan-Vara Rare-Earth Carbonatites (Vuoriyarvi Massif, Russia) // *Geosciences*, 2018. Vol. 8. № 8. 281 p. <https://doi.org/10.3390/geosciences8080281>
6. Andersen A. K., Clark J. G., Larson P. B., Neill O. K. Mineral chemistry and petrogenesis of a HFSE(+HREE) occurrence, peripheral to carbonatites of the Bear Lodge alkaline complex, Wyoming // *American Mineralogist*, 2016. Vol. 101. No. 7. Pp. 1604–1623. <https://doi.org/10.2138/am-2016-5532>
7. Giovannini A. L., Bastos Neto A. C., Porto C. G., Pereira V. P., Takehara L., Barbanson L., Bastos P. H. S. Mineralogy and geochemistry of laterites from the Morro dos Seis Lagos Nb (Ti, REE) deposit (Amazonas, Brazil) // *Ore Geology Reviews*, 2017. Vol. 88. Pp. 461–480. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.05.008>
8. Шаповалов Ю. Б., Чевычелов В. Ю., Коржинская В. С., Котова Н. П., Редькин А. Ф., Коньшев А. А. Физико-химические условия образования редкометальных месторождений во фторсодержащих гранитоидных системах по экспериментальным данным // *Петрология*, 2019. Т. 27. № 6. С. 617–637. DOI: 10.31857/S0869-5903276617-637



ПЕТРОЛОГИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

УДК 551.733+552.313

ВУЛКАНИТЫ В РАЗРЕЗЕ ОТУКДАШСКОЙ СВИТЫ СИСТИГХЕМСКОГО ПРОГИБА ТУВЫ: СОСТАВ И ВОЗРАСТ *

Д. Д. Булгакова

*Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН,
Новосибирск*

В пределах Центрально-Азиатского складчатого пояса, образованного в процессе эволюции Палеоазиатского океана, среди сложно построенного коллажа террейнов в северо-восточной его части расположен Тувинский сегмент, представляющий собой Тувино-Монгольскую островодужную систему, просуществовавшую в венд-кембрийский период и имеющую продолжение в структурах Озерной зоны Монголии [1, 2]. В ее строении в полной мере выделяются задуговая Восточно-Тувинская, островодужная Таннуольско-Хамсаринская и преддуговая Саяно-Тувинская зоны [1]. Систигхемский среднекембрийско-силурийский прогиб локализован в структурах ее преддуговой зоны и образован в ходе аккреционно-коллизийного этапа [3]. Большая часть прогиба перекрыта кембрий-девонскими стратифицированными отложениями осадочного чехла, офиолитовые комплексы, слагающие фундамент, проявлены в виде выходов мелких массивов [4]. По данным исследований, на территории современной Тувы происходило два этапа развития: венд-раннекембрийский островодужный и коллизийный, характеризующийся как позднекембрийско-ордовикский [1, 5]. Считается, что в силуре были завершены все тектонические перестройки в этой части ЦАСП [6], прекратилась вулканическая активность, связанная с кембро-ордовикскими островодужными террейнами и, исходя из современных представлений, силурийский период является амагматичным [5].

При проведении полевых работ в 2023 г. был детально изучен фрагмент разреза отукдашской свиты силура Систигхемского прогиба мощностью 34 м, в районе левобережья р. Баян-Кол. Установлено переслаивание трех горизонтов конгломератов, кварц-полевошпатовых песчаников и вулканитов. В ходе изучения обломков конгломератов определен их состав. Так, наиболее распространенными породами среди обломков валунно-галечной размерности являются гранитоиды нормальной щелочности – преимущественно лейкограниты и лейкоплагиограниты с возрастом 550–552 и 577 млн лет соответственно, кварцевые диориты; уступающие по количеству – гранитоиды пониженной и умеренной щелочности; широко распространены

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-77-10069).

© Д. Д. Булгакова, 2024

вулканиты среднего и кислого состава. В процессе исследования в осадочном разрезе впервые установлены прослои вулканитов, что не было упомянуто в описании свиты и никак не соотносится с нормально осадочным образованием свиты, без участия вулканизма, согласно литературным данным [7]. Таким образом, объектом исследования являются вулканиты из разреза отукдашской свиты силура Систигхемского прогиба Тувы, а цель работы – изучение их состава и геохронологическое обоснование возраста.

Прослои вулканитов бордового цвета трижды встречены в изученном фрагменте разреза. Петрографические исследования показали следующие содержания минеральных компонентов: калиевый полевой шпат (40 %), кварц (40 %), плагиоклаз (14 %), биотит (5 %), что позволило классифицировать данные прослои как прослои риолитов. Структура риолитов порфировая, в фенокристаллах распространены кристаллы кварца и калиевого полевого шпата, структура основной массы фельзитовая, без присутствия вулканического стекла, текстура флюидальная, с потокообразным расположением кристаллов. Для наиболее точного определения минерального состава проведены исследования с использованием сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA 3 (ИГМ СО РАН). Так, в кварц-калишпатовой основной массе со следами течения изучены акцессорные минералы – гранат, титанит, циркон с повышенными содержаниями Hf и Nb, апатит с хорошо выраженными кристаллографическими формами кристаллов с Ce и Sr, рутил, магнетит с примесью Ni, Cr и Ti. Следует отметить повышенные содержания Ba в калиевом полевоом шпате. Установлена повсеместно мелкокристаллическая минеральная фаза, насыщенная редкоземельными элементами. Вторичные изменения вулканитов проявлены в их интенсивной эпидотизации. Проведено U-Pb-датирование цирконов из пробы риолита методом лазерной абляции LA-SF-ICP-MS на масс-спектрометре высокого разрешения Element XR (ThermoFisherScientific) (ИГМ СО РАН). Проанализировано 40 зерен, 35 из которых имеют конкордантные значения, возраст цирконов составил $462,5 \pm 3,6$ млн лет, что соотносится со средним ордовиком, но не с силуром, как это считалось ранее и подтверждает присутствие обстановок вулканизма в ордовике в пределах Тувинского сегмента.

Этап вулканизма с близким возрастом (460 млн лет) проявлен в вулканитах верхнеордовикской адырташской свиты Таннуольского террейна [8]. Отмечено и подтверждено вулканическое событие в диапазоне 444–463 млн лет, включающее три этапа вулканической активности в его составе [8]. Вулканическое событие с данным возрастным диапазоном проявления также сопоставимо с геохимическими и геохронологическими данными интрузивных комплексов юга Тувы – Баянкольского и Башкымугурского комплексов и объясняется проявлением плюмового магматизма в конце кембрия-ордовика [9]. Вполне вероятно, что образование вулканитов в разрезе отукдашской свиты Систигхемского прогиба связано с данным этапом геологического развития Тувинского сегмента ЦАСП в ордовике.

Список литературы

1. Монгуш А. А. Тектоническая эволюция ранних каледонид Тувы и метаморфизм северо-западной окраины Тувино-Монгольского массива // Геология, магматизм и металлогения Центра Азии. 2018: Рудно-магматические системы Сангилен (щелочные интрузивы. карбонаты): Мат-лы I Всерос. полевой конф. с междунар. участием (14–30.07.2018, Сангилен, Россия). Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2018. С. 75–83.
2. Khukhuudei U., Kusky T., Otgonbayar O., Wang L. The Early Palaeozoic mega-thrusting of the Gondwana-derived Altay-Lake zone in western Mongolia: implications for the development of the Central Asian Orogenic Belt and Paleo-Asian ocean evolution // Geological Journal. 2020. Vol. 55. № 3. P. 2129–2149.

3. Монгуш А. А. Геологическое положение, геохимический и Sm-Nd-изотопный состав офиолитов Саяно-Тувинской преддуговой зоны // Известия Иркутского гос. ун-та. Серия: Науки о Земле. 2019. Т. 30. С. 56–75.
4. Монгуш А. А., Лебедев В. И., Ковач В. П., Сальникова Е. Б., Дружкова Е. К., Яковлева С. З., Плоткина Ю. В., Загорная Н. Ю., Травин А. В., Серов П. А. Тектономагматическая эволюция структурно-вещественных комплексов Таннуольской зоны Тувы в позднем венде – раннем кембрии (на основе геохимических, Nd изотопных и геохронологических данных) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 5. С. 649–665.
5. Руднев С. Н. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм Алтае-Саянской складчатой области и Озерной зоны Западной Монголии / Под ред. Г. В. Полякова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 300 с.
6. Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И., Натапов Л. М., Тектоника литосферных плит территории СССР. М.: Недра, 1990, кн. 1. 328 с.
7. Зубрилин Я. С. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Западно-Саянская. Лист М-46-IV (Баян-Кол). Объяснительная записка / Под ред. В. Г. Богомолва. М.: ВСЕГЕИ, 1963. 115 с.
8. Иванов А. В., Летникова Е. Ф., Ветров Е. В., Прошенкин А. И. Первые результаты геохимических исследований и U-Pb датирования цирконов пород адырташской свиты позднего ордовика (юго-запад Тувы) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). 2020. № 18. С. 128–129.
9. Владимиров А. Г., Изох А. Э., Поляков Г. В., Габбро-гранитные интрузивные серии и их индикаторное значение для геодинамических реконструкций // Петрология. 2013. Т. 21. № 2. С. 177–201.

УДК 552.48

МЕТАМОРФИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЭКЛОГИТА КЕМЬ-ЛУДСКИХ ОСТРОВОВ, БЕЛОМОРСКАЯ ЭКЛОГИТОВАЯ ПРОВИНЦИЯ*

В. М. Григорьева¹, А. Л. Перчук^{1,2}, В. М. Козловский³, Н. Г. Зиновьева¹

¹ *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

² *Институт экспериментальной минералогии им. акад. Д. С. Коржинского РАН,
Черноголовка, Московская область*

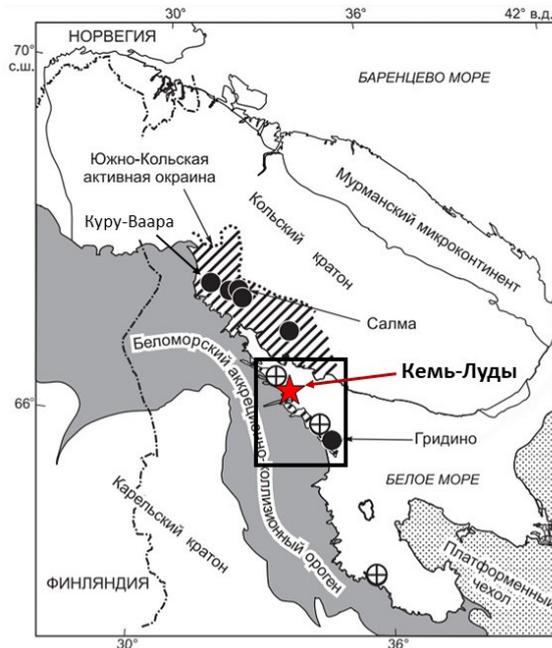
³ *Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Москва*

Беломорская эклогитовая провинция (БЭП) восточной части Балтийского щита является одним из древнейших эклогитовых метаморфических комплексов на Земле, предоставляющим возможность изучать процессы субдукции ранней Земли. БЭП приобрела известность благодаря многочисленным публикациям по петрологии и геохимии архейско-палеопротерозойских метаморфических пород высокого давления из районов Гридино, Салма и Куру-Ваа-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-17-00066).

© В. М. Григорьева, А. Л. Перчук, В. М. Козловский, Н. Г. Зиновьева, 2024

ра [1–5]. В данной работе приводятся результаты детального петрологического исследования представительного образца ретроградно измененного эклогита из малоизученного высокобарного участка на островах Кемь-Луды (см. рисунок), где эклогиты образуют линзовидные тела, имеющие согласные контакты с вмещающими гнейсами.



Выходы эклогитов в Беломорском подвижном поясе на схеме тектонического районирования Фенноскандинавского щита [3]. Красной звездой обозначено расположение участка Кемь-Луды

Ретроградный эклогит имеет массивную текстуру с мелкозернистой, среднезернистой, гранобластовой структурой. По крайней мере, три стадии метаморфизма были установлены в породе на основе структурных соотношений между минералами. Включения эпидота в ядрах порфиробластов граната отражают доэклогитовую стадию. Гранат, матричный омфацил и кварц соответствуют парагенезису пика метаморфизма. Плаггиоклаз-клинопироксеновые симплектиты по омфацилу, амфибол-плаггиоклазовые каймы вокруг граната и порфиробласты амфибола образовались на ретроградной стадии, отражающей взаимодействие флюида с породой.

С использованием гранат-клинопироксенового геотермометра и клинопироксен-плаггиоклаз-кварцевого геобарометра установлены пиковая температура метаморфизма, соответствующая 625–670 °С, и минимальное давление – 12–13 кбар. Ретроградная стадия соответствует условиям 600–725 °С и 6–7 кбар, определенным с помощью гранат-амфиболового, амфибол-клинопироксенового и амфибол-плаггиоклазового геотермометров, а также клинопироксен-плаггиоклаз-кварцевого и амфибол-плаггиоклазового геобарометров.

Метаморфическая P-T-эволюция ретроградного эклогита из района Кемь-Луды отличается от большинства эклогитов районов Гридино и Салма более низким давлением на пике метаморфизма и отсутствием разогрева при декомпрессии до условий гранулитовой фации. Мы полагаем, что породы Кемь-Лудских островов, вероятно, относятся к другому тектоническому фрагменту, чем породы из известных участков Гридино и Салма, где обсуждается неoarхейский и палеопротерозойский возраст метаморфизма. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы прояснить тектоническое положение пород, слагающих остров Кемь-Луды.

Список литературы

1. Минц М. В., Конилов А. Н., Докукина К. А., Каулина Т. В., Белоусова Е. А., Натопов Л. М., Гриффин У. Л., О'Рейлли С. Беломорская эклогитовая провинция: уникальные свидетельства мезо-неоархейской субдукции и коллизии // Доклады Академии наук. РАН, 2010. Т. 434. № 6. С. 776–781.
2. Konilov A. N., Shchipansky A. A., Mints M. V., Dokukina K. A., Kaulina T. V., Bayanova T. B., Natapov L. M., Belousova E. A., Griffin W. L., O'Reilly S. Y. The Salma eclogites of the Belomorian Province, Russia: HP/UHP metamorphism through the subduction of Mesoarchean oceanic crust // Ultrahigh-pressure metamorphism, Elsevier, 2011. P. 623–670.
3. Докукина К. А., Баянова Т. Б., Каулина Т. В., Травин А. В., Минц М. В., Конилов А. Н., Серов П. А. Беломорская эклогитовая провинция: последовательность событий и возраст формирования магматических и метаморфических пород ассоциации Гридино // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 10. С. 1335–1373.
4. Perchuk A. L., Morgunova A. A. Variable P–T paths and HP-UHP metamorphism in a Precambrian terrane, Gridino, Russia: Petrological evidence and geodynamic implications // Gondwana Research. 2014. V. 25. № 2. P. 614–629.
5. Slabunov A. I., Balagansky V. V., Shchipansky A. A. Mesoarchean to Paleoproterozoic crustal evolution of the Belomorian Province, Fennoscandian Shield, and the tectonic setting of eclogites // Russian Geology and Geophysics. 2021. V. 62, № 5. P. 525–546.

УДК 552.3

ПЕТРОГРАФО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЗДНЕМЕЛОВЫХ ГРАНИТОИДОВ ОМЕЛЬДИНСКОГО МАССИВА (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)*

М. В. Киселёв, И. А. Александров, А. Ю. Лебедев

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток

Омельдинский интрузивный массив сложен гранитоидами позднемелового эвурского комплекса и приурочен к одноименному вулканоплутоническому ареалу (ВПА) [1]. Массив располагается в пределах юрского аккреционного комплекса южной части Ульбанского террейна [2]. Гранитоиды интродуцируют позднемеловые вулканиды преимущественно среднего состава, а также вмещающие образования основания террейна, представленные юрскими терригенными отложениями с линзами яшм и кремнисто-глинистых пород. С магматическими образованиями Эвурского ВПА связывают золото-сульфидную минерализацию в пределах Ульбанского террейна, в частности крупное золоторудное месторождение Албазино [1].

Гранитоиды эвурского комплекса, по данным государственного геологического картирования [1], разделяют на четыре фазы, три из которых участвуют в строении Омельдинского массива. Согласно [1], к первой фазе относят диориты и кварцевые диориты, ко второй фазе –

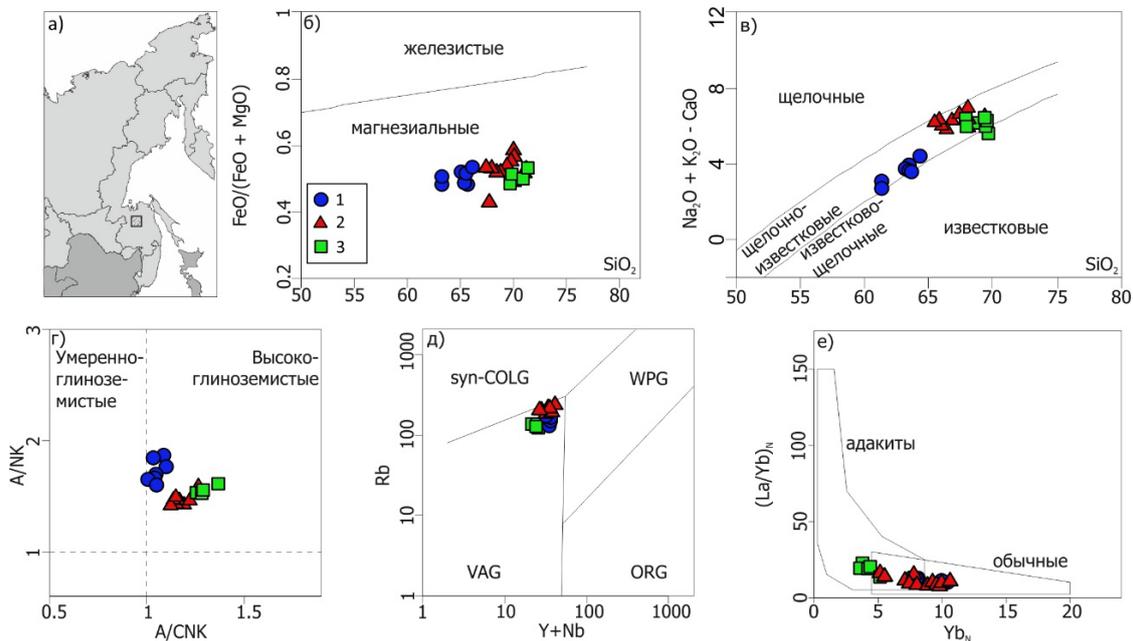
* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-17-00198) (<https://rscf.ru/project/22-17-00198/>).

© М. В. Киселёв, И. А. Александров, А. Ю. Лебедев, 2024

гранодиориты, граносиениты и кварцевые сиениты, а к третьей – лейкограниты. Омельдинский массив в значительной мере сложен породами второй фазы (до 95 %), он имеет линейную в плане форму с простираем на северо-восток и с крутым падением на северо-запад. В недавней работе [2] приводится U-Pb-датировка по цирконам гранитоидов Омельдинского массива, равная 78 млн лет, хотя детальная привязка авторами не представлена.

Нами были изучены 25 образцов пород трех фаз эвурского комплекса. Гранитоиды первой фазы имеют незначительное распространение в юго-западной части массива. Изученные образцы, согласно международной классификации QAPF, относятся к гранодиоритам (реже – тоналитам) и отличаются характерной диоритовой структурой, где на фоне основной мелкозернистой массы выделяются крупные, удлиненные кристаллы полевых шпатов и роговой обманки, а также гломеровые сростки плагиоклазов, пироксенов и амфиболов. Минеральный состав представлен кварцем (20–25 %), плагиоклазом (35–40 %), калиевым полевым шпатом (до 3–10 %), биотитом (до 5 %), амфиболом (10–15 %), и иногда пироксенами (до 5 %).

Наиболее распространенные породы второй фазы представлены амфибол-биотитовыми гранодиоритами и монцогранитами, имеющими гранитную, реже – профировидную структуру с крупными призматическими вкрапленниками полевых шпатов и среднезернистой основной массой. Средний минеральный состав: кварц (25–30 %), плагиоклаз (30–35 %), калиевый полевой шпат (15–20 %), биотит (5–10 %), амфибол (1–5 %). Гранитоиды третьей фазы эвурского комплекса представлены среднезернистыми биотит-амфиболовыми гранодиоритами и монцогранитами с гранитной структурой. Породообразующие минералы представлены кварцем (30–35 %), плагиоклазом (30–35 %), калиевым полевым шпатом (~15 %), амфиболом (10 %) и биотитом (5 %).



Обзорная карта с указанием исследуемого района (а) и геохимические диаграммы для изученных пород (б-е): б-г – по [3]; д – по [4]; е – по [5]. Значки на диаграммах – фазы гранитоидов эвурского комплекса: 1 – первая; 2 – вторая; 3 – третья

Изученные породы относятся к магнезиальным щелочно-известковым высокоглиноземистым гранитоидам I типа (см. рисунок, б, в). При этом глиноземистость возрастает от первой

к третьей фазе (см. рисунок, *в*). Содержание Na_2O в среднем плавно растёт от 1-й к 3-й фазе (от 2,9 до 3,6 вес.%). По K_2O 1-я и 2-я фаза отличаются более резко – медиана 3,6 и 4,6 вес.% соответственно. При этом калиевоств пород 3-й фазы ниже (медиана 3,75 вес.%), чем 2-й, при близких содержаниях SiO_2 . Вместе с почти двукратно более низкой концентрацией Rb это может свидетельствовать о фракционной кристаллизации калишпата из расплавов, сформировавших граниты 3-й фазы.

На нормированных к примитивной мантии мультиэлементных диаграммах образцы всех фаз демонстрируют сходный рисунок с типичной для I гранитов отрицательной TNT-аномалией (Ta, Nb, Ti) и, также Ba и P, положительной – по Pb и, менее проявленной, по Zr. Спектры на хондрит-нормализованных диаграммах РЗЭ также близкие, при большей фракционированности пород 3-й фазы, главным образом, за счет деплетированности тяжелыми РЗЭ (содержания в среднем от Tb к Lu снижаются от 10- до 5-кратных к хондриту). Значения La_N/Yb_N от 8,4 до 15,7 и 13,9–23,3, а сумма РЗЭ от 112 до 170 и 102–128 г/т для пород 1–2-й и 3-й фаз соответственно. Для большинства образцов характерна слабая отрицательная европиевая аномалия. На диаграммах Пирса (см. рисунок, *д*) породы попадают в поле гранитоидов вулканических дуг (VAG), что дополнительно свидетельствует в пользу их надсубдукционного происхождения. На диаграмме $\text{Yb}_N - (\text{La}/\text{Yb})_N$ породы 3-й фазы эвурского комплекса частично попадают в поле адакитов (см. рисунок, *е*), как и на диаграмме $\text{Y} - \text{Sr}/\text{Y}$. Однако вопрос о необходимости привлечения моделей образования адакитов (например, плавление слэба) для объяснения генезиса данных пород остается открытым, так как образцы попадают в поле адакитов исключительно в связи с низким содержанием тяжелых РЗЭ (и Y) при умеренных концентрациях La и Sr на уровне двух других фаз.

Список литературы

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист N-53 – Шантарские острова (объяснительная записка) / Под ред. Г. В. Роганова. Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007 .
2. Ханчук А. И., Кемкин И. В., Кириллов В. Е., Иванов В. В., Кирьянов М. Ф., Трушин С. И. Ульбанский террейн (зона) как часть юрского аккреционного комплекса Сихотэ-Алинского орогенного пояса // Тихоокеанская геология. 2024. Т. 43. № 3. С. 3–18.
3. Frost B. R., Barnes C. G., Collins W. J., Arculus R. J., Ellis D. J., Frost, C. D. A geochemical classification for granitic rocks // Journal of Petrology. 2001. Vol. 42. P. 2033–2048.
4. Pearce J A., Harris N. B., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // Journal of Petrology, 1984. Vol. 25. P. 956–983
5. Martin H. Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids // Lithos, 1999. Vol. 46. P. 411–429.

УДК 552.11

**ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД РАЙОНА Р. КРЕМЕНШЕТ
НА ТЕРРИТОРИИ БИРЮСИНСКОГО ПРИСАЯНЬЯ***

М. М. Козленко

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Изучение основных пород является важным для характеристики источников вещества, проходящих мантийных процессов и расшифровки геодинамических остановок. Получение минералогической, петрологической и геохимической характеристик основных пород района р. Кременьшет, попеременно относимых то к кремешетскому трахибазальтовому комплексу, то к нерсинскому интрузивному комплексу, может внести важный вклад в понимание геологических процессов в позднем неопротерозое в юго-западной части Сибирского кратона.

Основные породы района р. Кременьшет представлены широким спектром петрографических разновидностей с характерными вулканическо-гипабиссальными структурно-текстурными особенностями, с миндалекаменными, пойкилитовыми, долеритовыми, микродолеритовыми текстурами. Минеральный состав и химический состав основных породообразующих минералов в породах отражают эволюцию расплава. Так, наиболее магнезиальные разновидности сложены оливином, минералами группы шпинели (хромит), клинопироксеном ряда диопсид-геденбергит с авгитовым миналом. По мере снижения магнезиальности начинают преобладать такие породообразующие минералы, как плагиоклаз, преимущественно основного состава, клинопироксен, появляются такие минералы, как апатит, магнетит, ильменит, калиевый полевой шпат, кальциевый амфибол.

Породы по составу относятся к базальтовому-базальт-андезитовому ряду на основе диаграммы соотношения SiO_2 к $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ [2], и к щелочным базальтам на диаграмме соотношения SiO_2 к Zr/TiO_2 [2], к высокожелезистым и высокомагнезиальным толеитам на диаграмме $\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{FeO}^* + \text{TiO}_2) - \text{MgO}$ [1]. При понижении магнезиальности повышается содержание $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, TiO_2 , SiO_2 , Y, Fe_2O_3 , P_2O_5 , Zr, Ba и понижается CaO, Al_2O_3 , Ni, Cr, данные особенности распределения элементов находят отражение в минералогическом составе пород. Две группы исследуемых пород с высокими показателями магнезиальности (66–68) и более низкими Mg# (52–61) характеризуют наименее дифференцированный расплав, приближенный к первичному, с характерным низким содержанием таких несовместимых элементов, как Ti, Nb и относительно высокими значениями Ni (до 500 г/т), Y, Cr (до 900 г/т), REE по сравнению с породами нерсинского комплекса. На графиках конфигурации РЗЭ и редких элементов, нормированных к примитивной мантии, отмечается преобладание легких лантаноидов над тяжелыми ($\text{La}/\text{Ybn} = 2$), с отрицательной Eu-аномалией, положительная Pb-аномалия и отрицательная аномалия Ti и Nb-Ta относительно соседних элементов..

Особенности $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{pm}}$, $(\text{Nb}/\text{Y})_{\text{pm}}$, $(\text{Nb}/\text{La})_{\text{pm}}$ соотношений использованных для оценки параметров исходных расплавов и их источников [1], а также положение пород на диаграмме $\text{Th}/\text{Nb} - \text{TiO}_2/\text{Yb}$ свидетельствуют о двух возможных вариантах образования расплава для данных пород либо в результате плавления метасоматизированной литосферной мантии, либо на вклад в мантийный расплав материала континентальной коры, данные характеристики

* Исследование выполнено в рамках госзадания ИГМ СО РАН (проект № 122041400241-5).

© М. М. Козленко, 2024

отличают описываемые породы от пород, относимых к нерсинскому комплексу, для которых предполагается вклад в мантийный расплав как астеносферного, так и метасоматизированного мантийного литосферного компонентов [2].

Список литературы

1. Туркина О. И., Изох А. Э., Ножкин А. Д. Метабазиты зеленокаменного пояса Булунского блока (юго-запад Сибирской платформы) как индикаторы состава и изотопных параметров архейской мантии // Петрология. 2021. Т. 29. № 4. С. 365–387.
2. Gladkochub D. P., Wingate M. T. D., Pisarevsky S. A., Donskaya T. V., Mazukabzov A. M., Ponomarchuk V. A., Stanevich A. M. Mafic intrusions in southwestern Siberia and implications for a Neoproterozoic connection with Laurentia // Precambrian Research 147, 2006. P. 260–278.

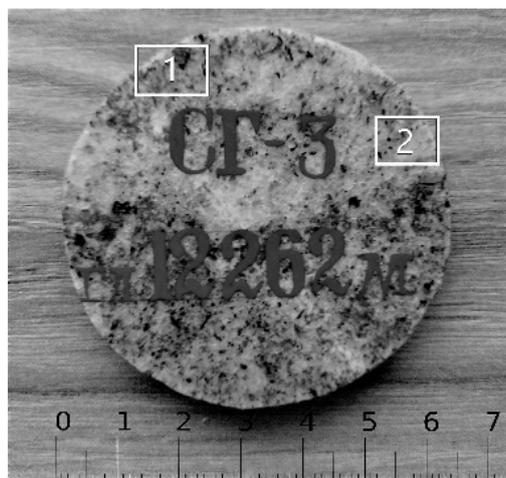
УДК 552.08:550.42

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА И ГИС-ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КЕРНА КОЛЬСКОЙ СВЕРХГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ

Я. С. Косарев

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

Самый глубокий керн представляет научный интерес для его исследования с применением современных физико-химических методов. Последние позволяют более детально изучить минеральный и химический состав архейских пород с забоя скважины Кольской сверхглубокой скважины – СГ-3 (см. рисунок). Это позволяет дополнить информацию об эволюции Земли и расширить представления о минерагеническом потенциале глубоких горизонтов.



Образец 1 с забоя СГ-3 с областями детальных исследований

Исследование проводилось для изучения минералого-геохимического состава 2-х образцов керна (с рудной минерализацией и без рудных минералов) из 10-й толщи разреза Кольской сверхглубокой скважины с глубины 12 262 м [1]. Используются следующие аналитические методы и методики: 1) описание в отраженном свете полированной поверхности аншлифа; 2) рентгенофлуоресцентный анализ (РФА); 3) рамановская спектроскопия; 4) статистическая обработка полученных данных. Исследования уникальных образцов выполнены в лабораториях Института геологии и нефтегазовых технологий КФУ. Обработка геохимических результатов выполнена автором с помощью кластерного анализа в программе STATISTICA и в геоинформационной системе Surfer, которые позволили выделить группы-кластеры элементов с предполагаемыми минералами (миналами) по химическому составу.

Микроскопическое описание поверхности аншлифов 2 образцов в отраженном свете проведено для 5 областей: для первого образца исследованы 2 области (см. рисунок), для второго образца – 3 области.

Для области 1 образца 1 построены модели распределения химических элементов в точках по сетке 224×175 . Это позволило обнаружить фемические и рудные минералы (титаномагнетит, биотит и сфен), что подтвердилось и рамановской спектроскопией. Для области 2 образца 1 созданы карты-модели по сетке 243×158 точек, которые показали наличие здесь сульфидов и сфена. Последний фиксируется по взаимному расположению аномалий Ca, Ti и отсутствию Fe. Аналогичным способом выделены участки с титаномагнетитом (содержание железа до 90 %), пиритом (совместные аномалии Fe и S), халькопиритом (высокие содержания Cu и S) [2]. Для области 1 образца 2 построены карты распределения 8 химических элементов (Al, Ca, Fe, K, Na, Si, Sr, Ti) по сетке 270×174 точек. Область 1 совпадает с полевошпатовым участком породы с небольшими включениями титаномагнетита; сфен здесь не обнаружен. Для области 2 построены моноэлементные карты по сетке 196×221 точек. Область также принадлежит полевошпатовому участку с более выраженным титаномагнетитом. Для области 3 образца 2 созданы карты распределения 9 химических элементов (с дополнительным фосфором) по сетке 288×164 точек. Здесь фосфор связан с кальцием (апатит), а титаномагнетит встречается в виде вкраплений.

В целом, результаты РФА для образцов 1 и 2 сопоставимы между собой. Различия заключаются в следующем. Если в образце 1 титан концентрируется в сфене, то в образце 2 – в титаномагнетите. Кроме того, в образце 2 нет сульфидов, но присутствует апатит.

Совместный анализ карт-моделей и многомерная статистическая обработка большого объема геохимических данных для образцов 1 и 2 с применением кластерного анализа позволил выделить 3 основные группы элементов и связанных с ними минералов: 1) Cu-S (халькопирит); 2) Fe-Ti (титаномагнетит); 3) Ca-Si-Al (полевые шпаты). Дополнительно проведена рамановская спектроскопия для области 2 образца 1, который обнаружил сфен, предсказанный по результатам РФА и созданным геохимическим моделям. Рамановская спектроскопия подтвердила также наличие магнетита и полевых шпатов (альбит-олигоклаз, микроклин).

Таким образом, комплексом физико-химических методов, многомерной статистики и визуализацией в виде ГИС-моделей показано, что образцы являются сфен-биотит-плагиооклазовыми гнейсами [3] с небольшим содержанием рудных минералов. Магнетит и пирит являются продуктами метаморфизма гидротермального пирротина с присутствием сфена.

Список литературы

1. Яковлев Ю. Н., Яковлева А. К., Серов П. А. Новые данные о строении и составе архейского комплекса разреза СГ-3 // Вестник Кольского научного центра РАН, 2017. № 3 (9). С. 88–98.

2. Косарев Я.С. Изучение самого глубокого керна на Земле // Итоговая научно-образовательная конференция студентов Казанского федерального университета 2023 г. Казань. 2023. С. 321–322.

3. Смирнов Ю. П., Горбацевич Ф. Ф., Никитин А. Н., Тюремнов В. А. Характеристики текстуры, структуры, анизотропии пород по разрезу Кольской сверхглубокой скважины // Вестник МГТУ. 2007. № 2 (10). С. 285–295.

УДК 549.01

ПОВЕДЕНИЕ ЦИРКОНИЯ В ПОЗДНЕМАГМАТИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ НА ПРИМЕРЕ КИВАККСКОГО РАССЛОЕННОГО МАССИВА (СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ)

Е. П. Микляева¹, А. Ю. Бычков², И. Ю. Николаева², М. Е. Тарнопольская³

¹ Геологический институт РАН, Москва

² Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

³ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва

Циркон – ключевой минерал для геохронологии и геохимии. Важным свойством этого минерала является стабильность в широком диапазоне природных условий, поэтому циркон широко используется в датировании и как петрохимический индикатор.

Однако появляется все больше свидетельств мобильности циркония и образования циркона в ходе гидротермальных процессов, при температуре около 250 °С в метаосадочных породах [1, 2], а также в постмагматических процессах в щелочных гранитах [3]. Большинство случаев гидротермального переноса циркония связано с содержащими фтор флюидами.

Фторид-ион является важным лигандом для высокозарядных элементов, в том числе для циркония. Комплексообразование циркония во фторидных растворах изучалось ранее преимущественно в сильноокислых, либо сильнощелочных средах. Были изучены комплексы $Zr(OH)_3F(aq)$ и $Zr(OH)_2F_2(aq)$ в гидротермальных растворах [4, 5], однако с их помощью не удалось объяснить высокую растворимость минералов циркония в работе [6], где показано, что такая растворимость может быть обеспечена комплексом ZrF_6^{2-} , который преобладает во фторидных растворах при близонейтральном значении pH.

Расчеты показали, что устойчивость комплекса может обеспечить высокую растворимость циркона во фторсодержащих растворах. При постоянной концентрации фторида в растворах растворимость циркона будет зависеть от pH. Реакции растворения показывают, что при $pH < pK_{HF}$ растворимость увеличивается, достигает максимума при $pH = pK_{HF}$ и при $pH > pK_{HF}$ снижается.

Выполнен расчет растворимости циркона по данным работы [6] при концентрации фтора 0,1 моль/кг, что является характерным для постмагматических флюидов. Результаты расчетов показали, что при $pH = pK_{HF}$ концентрация циркония в растворе достигает 300–700 мг/л.

Проведено экспериментальное исследование растворимости циркона в буферном растворе HF-NaF при суммарной концентрации фтора, равной 0,1 моль/кг. Для опытов использованы

монокристаллы циркона, предварительно обработанные плавиковой кислотой. Опыты проводились в автоклавах из никелевого сплава при 200, 250, 300, 350 °С и давлении насыщенного пара воды. Время достижения равновесия было определено серией кинетических экспериментов и составило при 300 °С 7 суток. Концентрация циркония в экспериментальных растворах определялась методом РФА.

Результаты исследования совпали с термодинамическими расчетами. Максимальная концентрация циркония составила 300–700 мг/л, снижаясь при увеличении и уменьшении рН от точки со значением $pH = pK_{HF}$. Такая высокая растворимость циркона возможна лишь в узком диапазоне рН, который определяется константой диссоциации HF.

В свою очередь, pK_{HF} зависит от температуры, и меняется от 3,17 при 25 °С до 7,12 при 350 °С и давлении насыщенного пара воды. Следовательно, при низких температурах растворимость циркона во фторидных растворах максимальна в кислой области, при росте температуры до 350 °С максимум смещается к нейтральной области. В породах рН флюида контролируется равновесием с минералами породы и слабо зависит от температуры. Для гранитов рН флюидов составляет около 5,5. Таким образом, при остывании массива pK_{HF} неизбежно пересечет значение рН флюида, что приведет к росту растворимости циркона, а при дальнейшем остывании – к падению растворимости и переотложению циркона. Переотложение циркония будет происходить на постмагматической стадии формирования любого массива, при достаточном содержании фтора во флюиде.

Тонкие оторочки гидротермального циркона на зернах ильменита были найдены нами в лейкократовых стяжениях Верхней приконтактной зоны (ВПЗ) Киваккского расслоенного массива. Образование циркона может быть объяснено путем термодинамических расчетов, используя оценки температуры и давления, полученных при исследовании ВПЗ [7].

Полученные парагенезисы в целом отвечают наблюдаемым вторичным минералам в ВПЗ. Во всех парагенезисах присутствует циркон и F-апатит. Устойчивость апатита приводит к тому, что активность HF в растворе задается его растворимостью. В результате общая концентрация фтора составила 0,006–0,012 моль/кг. При температуре свыше 200 °С преобладает комплекс ZrF_6^{2-} , он обеспечивает высокую растворимость циркона, достигающую 180 ppm. В этих условиях практически весь фтор оказывается связан с цирконием. При снижении температуры в интервале 400–300 °С происходит резкое уменьшение концентрации циркония и отложение гидротермального циркона.

Результаты расчетов показали, что при постмагматических процессах в присутствии фтора на уровне насыщения по F-апатиту растворимость циркона велика и может обеспечить его переотложение.

Список литературы

1. Hay D. C., Dempster T. J. Zircon behaviour during low-temperature metamorphism // *J. Petrol.* 2009. V. 50. № 4. P. 571–589.
2. Rasmussen B. Zircon growth in very low grade metasedimentary rocks: evidence for zirconium mobility at $\approx 250^\circ\text{C}$ // *Contributions to Mineralogy and Petrology.* 2005. № 150. Pp. 146–155.
3. Gysi A. P., Williams-Jones A. E. Hydrothermal mobilization of pegmatite-hosted REE and Zr at Strange Lake, Canada: A reaction path model // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2013. № 122. Pp. 324–352.
4. Ryzhenko B. N., Kovalenko N. I., Prisyagina N. I., Starshinova N. P. and Krupskaya V. V. Experimental determination of zirconium speciation in hydrothermal solutions // *Geochem. Int.* 2008. V. 46. № 4. Pp. 328–339.

5. Migdisov Art. A., Williams-Jones A. E., van Hinsberg V., Salvi S. An experimental study of the solubility of baddeleyite (ZrO₂) in fluoride-bearing solutions at elevated temperature // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2011. V. 75. № 23. Pp. 7426–7434.

6. Tarnopolskaia M. E., Bychkov A. Yu. An experimental study of ZrF₆²⁻ stability in hydrothermal solutions at 90–255 °C // *Moscow Univ. Geology Bull.* 2020. V. 75. № 1. Pp. 105–109.

7. Bychkova Y. V., Mikliaeva E. P., Koptev-Dvornikov E. V., Borisova A. Y., Bychkov A. Y., Minervina E. A. Proterozoic kivačka layered mafic-ultramafic intrusion, northern Karelia, Russia: Implications for the origin of granophyres of the upper boundary group // *Precambrian Research*. 2019. V. 331. Pp. 1–21.

УДК 551.14

ТЕРМАЛЬНОЕ СТРОЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА МЕЗОЗОЙСКОЙ ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ РАЙОНА КУОЙКСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ КСЕНОКРИСТАЛЛОВ КЛИНОПИРОКСЕНА *

Е. А. Муравьева, Н. С. Тычков

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск

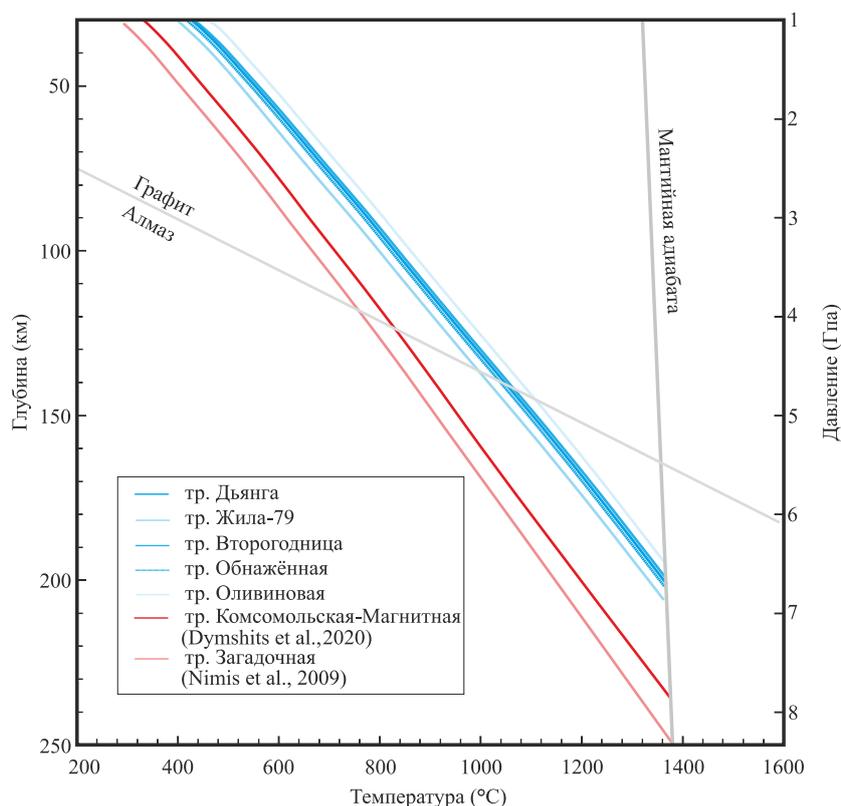
Новизна данной работы заключается в комплексном исследовании термальных характеристик и состава литосферной мантии района Куойкского кимберлитового поля на мезозойское время с помощью ксенокристаллов клинопироксена. Изучение большого количества объектов (5 кимберлитовых трубок: Обнаженная, Второгодница, Оливиновая, Дьянга, Жила-79) позволяет создать модель кимберлитового поля – достоверно реконструировать палеогеотерму (термальное состояние литосферной мантии) и описать характерные черты и состав горных пород, слагающих литосферную мантию района. Отдельную часть в работе занимает описание химического состава ксенокристаллов клинопироксена и определение их парагенезисов. Парагенетический анализ проводился на основе ксенокристаллов клинопироксена из концентрата, так как наличие мантийных ксенолитов сильно ограничено и находится в пределах одной трубки Обнаженная. Для определения типов парагенезисов были использованы бинарные диаграммы: Cr₂O₃-Al₂O₃ [1], MgO-Al₂O₃ [2], Na₂O-Cr₂O₃ [3]. Таким образом, характеристика химического состава и парагенетический анализ на основе ксенокристаллов клинопироксена являются достоверными источниками информации о составе литосферной мантии в районе Куойкского поля.

Изучаемое Куойкское кимберлитовое поле находится в районе Биректинского террейна в бассейне р. Оленек в пределах Оленекского поднятия. Более точно его расположение можно описать географически, используя реки. Южной границей поля считается р. Оленек, с востока – р. Бээнчима (левый приток р. Оленек). На севере граница поля проводится по северной окраине выхода трапповых пород, расположенных в междуречье рек Бээнчима и Куойки, с западной стороны поле ограничено по водоразделу рек Кыран и Куойка [4].

* Исследование выполнено в рамках госзадания ИГМ СО РАН (проект № 122041400157-9).

© Е. А. Муравьева, Н. С. Тычков, 2024

Результатом реконструкций мантийных палеогеотерм для 5 кимберлитовых трубок Куойкского поля на основе модели [5] является расчет значений теплового потока, который варьирует в узких пределах – от 37,7 до 38,6 мВт/м² со стандартным отклонением от 0,83 до 2,51 (в среднем 1,4 по 5 объектам). В общем, на основании полученных данных, тепловой поток для литосферы района Куойкского кимберлитового поля на время внедрения кимберлитов может быть определен как 38,2 мВт/м². Мощность термической литосферы принимает значения 197–208 км (см. рисунок).



Сравнение палеогеотерм литосферной мантии для Куойкского кимберлитового поля (синие линии) с палеогеотермами для Далдын-Алакитского (Загадочная) и Верхне-Мунского (тр. Комсомольская-Магнитная) полей (красные линии)

На основе диаграммы $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ [1] было выяснено, что основным парагенезисом ксенокристаллов клинопироксена из кимберлитов Куойкского поля является гранатовый зернистый лерцолит, аналогично палеозойским кимберлитам центральной части Сибирского кратона. Характерной чертой Куойкского кимберлитового поля является наличие большого количества низкоалюминиевых клинопироксенов из безгранатовых перидотитов, что хорошо видно на диаграмме $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ [2]. На диаграммах $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ [1] и $\text{Na}_2\text{O-Cr}_2\text{O}_3$ [3] отмечается большое количество пироксенитов, что также можно отнести к отличительному признаку данного поля [3, 6]. Эклогитовые клинопироксены и клинопироксены мегакристовой ассоциации практически отсутствуют.

Список литературы

1. Ramsay R., Tompkins L. The geology, heavy mineral concentrate mineralogy, and diamond prospectivity of the Boa Esperanca and Cana Verde pipes, Corrego D'anta, Minas Gerais, Brasil. In

Proceedings of the Geology, Heavy Mineral Concentrate Mineralogy, and Diamond Propectivity of the Boa Esperanca and Cana Verde Pipes Corrego D'anta // Minas Gerais, Brasil. 1994. Pp. 329–345.

2. Nimis P. Evaluation of diamond potential from the composition of peridotitic chromian diopside // European Journal of Mineralogy. 1998. Pp. 505–520.

3. Tychkov N. S., Pokhilenko N. P., Kuligin S. S., Malygina E. V. Composition and origin of peculiar pyropes from lherzolites: evidence for the evolution of the lithospheric mantle of the Siberian Platform // Russian Geology and Geophysics. 2008. V. 49. Pp. 225–239.

4. Зайцев А. И., Смелов А. П. Изотопная геохронология пород кимберлитовой формации Якутской провинции // Я.: ИГАБМ СО РАН. 2010. 108 с.

5. Hasterok D., Chapman D., Heat production and geotherms for the continental lithosphere // Earth and Planetary Science Letters. 2011. V. 307. Pp. 59–70.

6. Pokhilenko N. P., Sobolev N. V., Kuligin S. S., Shimizu N. Peculiarities of distribution of pyroxenite paragenesis garnets in Yakutian kimberlites and some aspects of the evolution of the Siberian craton lithospheric mantle // 7th International Kimberlite Conference. 1999. V. 2. Pp. 689–698.

УДК 552.312

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КАМПТОНИТОВЫХ ДАЕК ЗАПАДНОГО САНГИЛЕНА *

В. Р. Трофимова

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Камптонитовые дайки агардагского комплекса приурочены к северо-западной окраине Западного Сангилена. Они образуют рой, имеющий субширотное простирание, при протяженности отдельных даек до 2 км и мощности до 10 м. Макроскопически это темно-серые, почти черные плотные породы, обладающие пятнистой текстурой и лампрофировой структурой.

Характерной особенностью камптонитов является присутствие мегакристаллов оливина, амфибола, пироксена, флогопита. Для мегакристаллов характерен размер более 1 см. Вкрапленники представлены оливином и клинопироксеном, редко амфиболом. Для них характерен меньший размер и наличие вторичных изменений. Основная масса сложена клинопироксеном, биотитом, амфиболом и значительно измененным нефелином, в меньшей степени титаномагнетитом, апатитом и плагиоклазом. Отсутствие вкрапленников калиевых минералов и присутствие нефелина в основной массе позволяет отнести породу к щелочным лампрофирам, камптонитам. Отмечаются как простые дайки, так и комбинированные (камптониты и сиениты). В зависимости от минералов вкрапленников дайки делятся на четыре типа: 1 – содержащие оливин и клинопироксен; 2 – только клинопироксен; 3 – клинопироксен с флогопитом; 4 – клинопироксен с флогопитом и амфиболом.

Определение состава минералов проводилось на растровом сканирующем электронном микроскопе с ЭДС-системой химического анализа Tescan Mira 3LMU. Мегакристаллы и вкра-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-27-00224).

© В. Р. Трофимова, 2024

пленники оливина соответствуют хризолиту ($Mg\# = 100Mg / (Mg + Fe + Mn)$ 79–86 мол.%, MnO до 0,5 мас.%). Мегакристаллы клинопироксена имеют зональность: центральная часть – ксенокристаллы геденбергита, затем состав изменяется от авгита до диопсида TiO_2 до 2,5–5,2 мас.%. Вкрапленники и клинопироксены основной массы по составу также соответствуют диопсиду. Амфиболы мегакристаллов и вкрапленников классифицируются как керсутит ($Mg\#$ до 71 мол.%, TiO_2 до 5,4 мас.%), а в основной массе присутствуют феррокерсутит и ферропаргасит. Слюды достаточно сильно варьируют по своему составу от мегакристаллов флогопита до биотита в основной массе ($Mg\#$ 26–80 мол.%).

Петрохимические и геохимические исследования проводились с помощью рентгенофлуоресцентного анализа и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в ЦКП МИИ СО РАН. Породы агардагского комплекса по TAS-диаграмме относятся к щелочным базальтам. Для них характерно низкое содержание SiO_2 от 36,95 до 49,58 мас.%, а $Na_2O + K_2O$ от 3,95 до 8,34 мас.%. Породы разделены на 4 группы: 1 и 2 – соответствуют простым дайкам 1-го и 2-го типов, по составу отвечают фойдитам, 3 – включает комбинированные дайки 3-го и 4-го типов и соответствуют тефритам, 4 – данные лейкократовых частей, попадают в поля трахидацитов и тефрифенолитов, что соответствует сиенитам. По диаграммам редкоземельных и мультиэлементных спектров для пород характерны: отрицательный наклон спектров, отсутствие европиевой аномалии, но присутствие свинцового и бариевого максимума, а также обогащение Nb и Ta.

Порядок кристаллизации вкрапленников, изменение состава в ряду мегакристалл – вкрапленник – основная масса и выделение по петрохимическому составу четырех групп даек отражает кристаллизационную дифференциацию в промежуточной камере. Геохимические особенности отвечают внутриплитному магматизму.

УДК 552.16

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ ЭНДЕРБИТОВ И ЛЕЙКОГРАНИТОВ МАССИВА ПОНЬГОМА-НАВОЛОК, КАРЕЛИЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЙ *

С. А. Ушакова¹, О. Г. Сафонов^{1,2}, В. М. Козловский³, В. О. Япаскурт¹

¹ *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

² *Институт экспериментальной минералогии им. акад. Д. С. Коржинского РАН, Черноголовка, Московская область*

³ *Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва*

Архейские эндербит-чарнокит-гранитные комплексы широко представлены в пределах Беломорского подвижного пояса Карелии. Магматические породы этих комплексов часто подвержены наложенному палеопротерозойскому метаморфизму [1]. Массив Поньгома-Наволоки уникален из-за хорошей сохранности архейских и раннепротерозойских гранитоидов, бло-

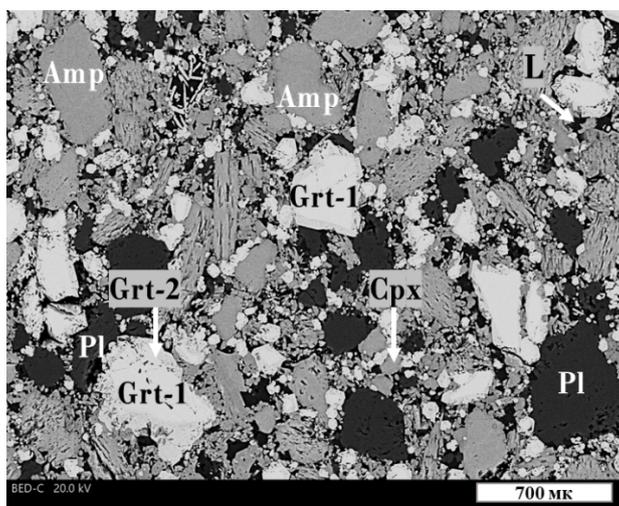
* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-17-00066).

© С. А. Ушакова, О. Г. Сафонов, В. М. Козловский, В. О. Япаскурт, 2024

ки которых заключены между палеопротерозойскими зонами пластических деформаций [2]. Главная фаза внедрения массива представлена двупироксеновыми эндербитами, а более поздняя – жилами лейкогранитов. Крупные блоки амфиболитов в массиве представляют собой, вероятно, останцы кровли или стенок магматической камеры, захваченные магмой [3].

Петрографические и петро-геохимические особенности пород и результаты моделирования Р–Т-условий показывают, что эндербитовые магмы массива Поньгома-Наволока формировались при давлении около 11 кбар и температурах более 900 °С, вероятно, в ходе частичного плавления амфиболитов. По отношению к происхождению лейкогранитов предлагаются две гипотезы. Если эндербиты и лейкограниты массива имели единый магматический источник, то лейкограниты, имеющие сильно варьирующие геохимические характеристики, могли образоваться в ходе дифференциации эндербитовой магмы с накоплением SiO_2 , K_2O и летучих компонентов (H_2O , F , Cl). Однако лейкограниты могли формироваться также при преобразовании ранее сформировавшихся эндербитов внешним флюидом, а их геохимическая вариативность обусловлена различной степенью метасоматической переработки и, возможно, сопутствующего частичного плавления эндербитов.

С целью моделирования некоторых процессов, ответственных за образование пород массива Поньгома-Наволока, проведены предварительные эксперименты по частичному плавлению амфиболита при 15 кбар и 800–950 °С и взаимодействию эндербита с флюидом $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{KCl}$ с разными соотношениями $\text{KCl} / (\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2)$ при 5 кбар и 900 °С. Амфиболит начинает плавиться при 900 °С с образованием нового амфибола и граната, а при 950 °С появляется клинопироксен и расплав, близкий к составу эндербитов (см. рисунок).



Фазы, полученные в результате эксперимента по плавлению амфиболита при $P = 15$ кбар и $T = 950$ °С

Воздействие флюида $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{KCl}$ на эндербит приводит к реакциям биотита и ортопироксена с плагиоклазом с замещением их ассоциацией клинопироксена и калиевого полевого шпата, а также частичному плавлению с образованием расплава, близкому к составу лейкогранитов.

Список литературы

1. Король Н. Е. Метаморфическая эволюция Поньгомнаволоцкого гранулит-эндербит-чарнокитового комплекса Беломорского подвижного пояса. // Геология и полезные ископаемые Карелии. Тр. Кар НЦ. Петрозаводск. 2018. № 11. С. 34–56.

2. Козловский В. М., Травин В. В., Травин А. В., Саватенков В. М. Первые данные о возрасте и Р-Т-условиях формирования зон пологого разгнейсования Беломорского подвижного пояса // Доклады РАН. 2018 Т. 480. № 2. С. 204–209.

3. Козловский В. М., Курдюков Е. Б., Якушик М. А., Травин В. В., Зингер Т. Ф., Якушев А. И., Фугзан М. М., Кирнозова Т. И., Ушакова С. А. Источник и условия генерации гранитоидных расплавов в архейских чарнокит-эндербитовых комплексах Карелии (на примере массива Поньгома-Наволока) // Геохимия. 2023. Т. 68. №. 11. С. 1113–1132.

УДК 552.321

ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД ТИГИРЕКСКОГО МАССИВА, РОССИЙСКИЙ АЛТАЙ *

Е. В. Хамедова, О. А. Хохрякова

*Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН,
Новосибирск
Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

Тигирекский массив расположен на территории Горного Алтая в пределах Коргонско-Терехтинского тектонического блока, имеет площадь выхода на поверхность около 600 км². Массив залегает в известково-глинистых сланцах верхнего силура и кислых вулканогенно-осадочных породах среднего девона [1].

Изучения Тигирекского массива начались в 1919 г. и продолжаются по настоящее время. Исследователями ранее было выделено две разновидности пород массива: лейкограниты, расположенные в осевой части массива, и биотитовые граниты в его периферийных частях. При рассмотрении петрографических характеристик пород массива, а именно – состава и текстурно-структурных особенностей, нами были выделены три разновидности среди пород Тигирекского массива, отличающиеся по составу и текстурно-структурным характеристикам: кроме описанных предшественниками крупнозернистых порфиroidных биотитовых гранитов и двуслюдяных лейкогранитов, также выделены среднезернистые равномернозернистые биотитовые граниты. Выделение трех разновидностей пород ярко подтверждается особенностями составов слюд и поведением редкоэлементных спектров.

В среднезернистых лейкогранитах присутствуют как темные, так и светлые слюды, в то время как в двух других разновидностях пород присутствуют лишь биотиты, аннитового состава в равномернозернистых гранитах и флогопитового – в порфиroidных.

Спектры порфиroidных биотитовых гранитов более пологие, имеют более высокие концентрации как по редко-, так и по мульти-элементным спектрам, а самые минимальные значения концентраций элементов имеют среднезернистые лейкограниты (рис. 1). Это говорит о том, что лейкограниты являются продуктом дифференциации первичной магмы, из которой образовывались крупнозернистые порфиroidные биотитовые граниты.

* Исследование выполнено в рамках госзадания ИГМ СО РАН (проект № 122041400044-2).

© Е. В. Хамедова, О. А. Хохрякова, 2024

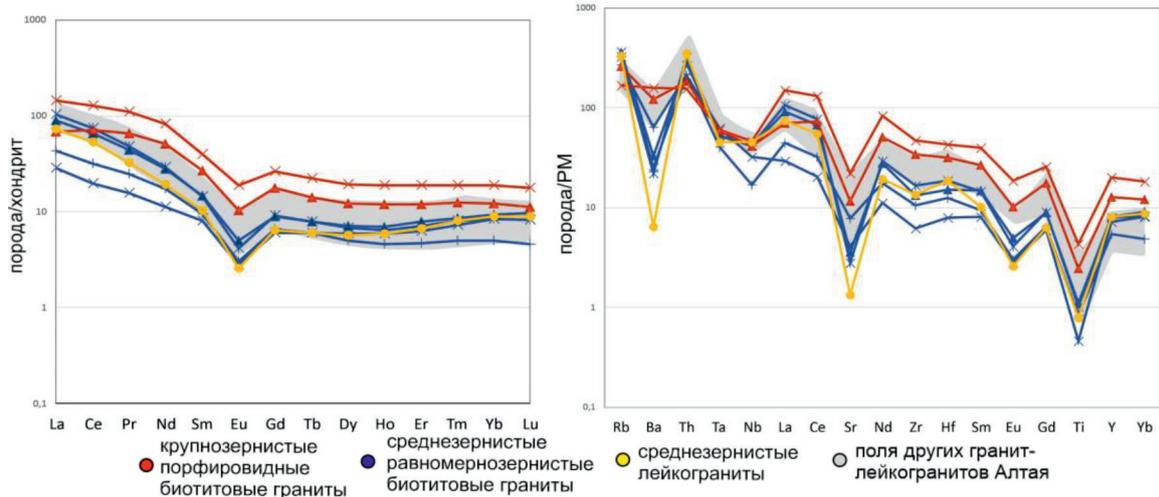


Рис. 1. Редко- и мультиэлементные спектры пород Тигирекского массива (нормировка на хондрит по [2], нормировка на примитивную мантию по [3])

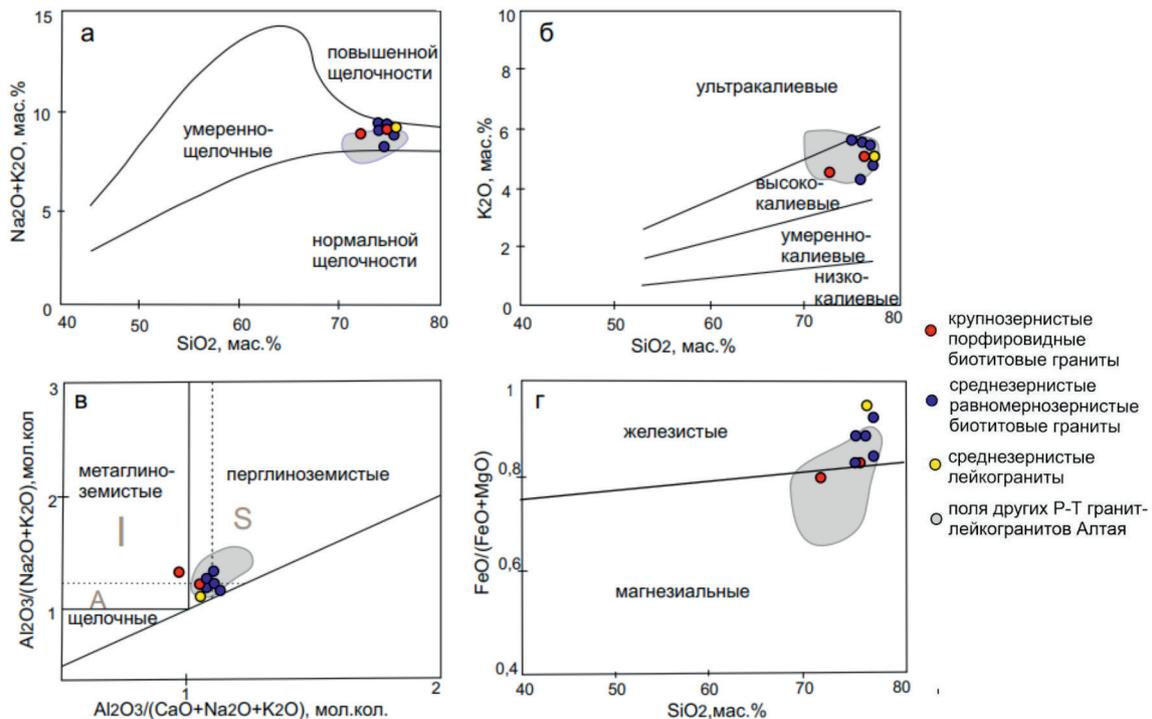


Рис. 2. Петрохимические диаграммы для пород Тигирекского массива: а – TAS-диаграмма. Границы полей приведены в соответствии с [4]; б – диаграмма «SiO₂-K₂O». Границы полей – в соответствии с [5]; в – диаграмма «Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) – Al₂O₃/(Na₂O+K₂O)» (молекулярные количества [6]; г – диаграмма «SiO₂-FeO_{tot}/ (FeO_{tot}+MgO)» [7]

Петрохимические характеристики гранитов не позволяют отнести их к какому-либо одному геохимическому типу: по показателям калиевости и железистости все разновидности пород можно отнести к А-гранитам, однако по известково-щелочному индексу точки пород лежат в поле гранитов S-типа, а по индексу Шенда – занимают промежуточное положение между гранитами S-, I- и А-типов (рис. 2). Неоднозначная принадлежность к определенному

типу гранитов характерна и для других гранит-лейкогранитных массивов Алтая этого возрастного рубежа, что позволяет говорить о том, что в анорогенных условиях могут образовываться разные геохимические типы гранитов.

Список литературы

1. Ковалев В. П. О генезисе магнетитовой минерализации в гранитоидах Тигирекского массива на Алтае // Геология и геофизика. 1962. С. 66–76.
2. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes // Geological Society, London, Special Publications. 1989. Pp. 313–345.
3. Wakita H., Rey P., Schmitt R.A. Abundences of the 14 rare-earth elements and 12 other trace elements in Apollo 12 samples: five igneous and one breccia rocks and four soils. // Pros. 2nd Lunar Sci Conf. 1971. Pp. 1319–1329.
4. Le Maitre R. W. A classification of igneous rocks and glossary of terms: recommendations of the international union of geological sciences // Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Oxford: Blackwell. 1989. 193 p.
5. Rickwood P. C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. // Lithos. 1989. Pp. 247–263.
6. Maniar P. D., Piccoli P. M. Tectonic discrimination of granitoids // Geol. Soc. Amer. Bull. 1989. Pp. 635–643.
7. Frost B. R., Barnes C. G., Collins W. J., Arculus R. J., Ellis D. J., Frost C. D. A geochemical classification for granitic rocks // Journal of Petrology. 2001. Pp. 2033–2048.

УДК 549.2

НИСНИТ (Ni_3Sn) ИЗ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД ДЖАЛТУЛЬСКОГО МАССИВА, КУРЕЙСКИЙ РАЙОН, ЦЕНТРАЛЬНАЯ СИБИРЬ, РОССИЯ*

М. О. Хмельницкая¹, О. С. Верещагин¹, Н. С. Власенко¹, А. Г. Копылова²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

² Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск

Ниснит открыт в 2009 г. [1], однако еще в 80-х гг. прошлого века соединение никеля и олова со стехиометрией $\sim 3 : 1$ было описано в габбро-долеритах интрузии г. Озерная, Курейского района (северо-запад Сибирской платформы) [2]. Интрузии Курейского района являются одними из немногих земных месторождений с проявлениями самородного железа, для образования которого необходимы резко восстановительные условия, редко реализуемые в приповерхностных условиях земной коры. В 1980-х и 2010-х гг. был издан ряд работ, посвященных детальным исследованиям акцессорных бескислородных минералов, связанных с самородным железом, и теорий их образования [2, 3]. Современные аналитические возможности позволя-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-77-10025) на базе РЦ СПбГУ «Геомодель», «Центр микроскопии и микроанализа», «Нанофотоника» и кафедры минералогии СПбГУ.

© М. О. Хмельницкая, О. С. Верещагин, Н. С. Власенко, А. Г. Копылова, 2024

ют получить новые знания о минералогии железосодержащих габбро-долеритов Курейского района.

Объектом исследования послужила коллекция из 4 образцов габбро-долеритов с выделениями самородного железа Джалтульской интрузии (Джалтул) Курейского района. Образцы проанализированы методами оптической (рудной) микроскопии, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии и дифракции обратно отраженных электронов (EBSD).

Ниснит впервые обнаружен в Джалтульской интрузии, что является первой достоверной находкой в России. Соединение никеля и олова было обнаружено предшественниками в породах г. Озерной [2], однако был изучен только химический состав фазы (при отсутствии рентгеновских данных). Минерал встречается в виде зерен размером 1–2 мкм на границах эмульсионных выделений меди в железе, часто на контакте меди и когенита, и является сравнительно распространенным (установлено более 40 зерен). В отраженном свете цвет минерала серый со слабым коричневатым оттенком. Было обнаружено, что ориентировки кристаллов ниснита и железа совпадают, но отличаются от ориентировок меди и когенита. Интересно, что в нисните присутствуют примеси палладия (до ~5 мас.%) и сурьмы (до ~7 мас.%), которые не отмечались предшественниками [2].

Простые вещества в габбро-долеритах Курейского района

№ п/п	Название минерала	Формула	Частота встречаемости	Метод диагностики
1	Железо	Fe	•	1, 2, 3
2	Тэнит	(Fe,Ni)	◆	1, 2
3	Тетратэнит	FeNi	◆	1, 2, 3
4	Аваруит	Ni ₃ Fe	◆	1, 2, 3
5	Вайрауит	CoFe	□	2
6	Медь	Cu	•	1, 2, 3
7	Аурикуприд	Cu ₃ Au	□	2
8	Тетрааурикуприд	CuAu	□	2
9	Золото	Au	□	1, 2
10	Серебро	Ag	□	2
11	Кобальт	Co	□	2
12	Графит	C	•	1, 2
13	Свинец	Pb	□	1, 2
14	Ниснит	Ni ₃ Sn	◆	1, 2, 3
15	Кабриит	Pd ₂ CuSn	□	1, 2
16	Брейтгауптит	NiSb	□	2
17	Садбериит	PdSb	□	2
18	Фрудит	PdBi ₂	□	2
19	Соболевскит	PdBi	□	2
20	Когенит	Fe ₃ C	•	1, 2, 3
21	Муассонит	SiC	□	1, 2
22	Шрейберзит	Fe ₃ P	□	1, 2

Примечание: • – часто, ◆ – редко, □ – по литературным данным. 1 – оптическая микроскопия, 2 – зондовый микроанализ, 3 – дифракция отраженных электронов (EBSD).

В исследованных нами образцах преобладает металл в системе Fe-Ni (см. таблицу), который представлен: самородным железом (беспримесным и никельсодержащим – наиболее распространенные), тэнитом, тетратэнитом и аваруитом. Помимо этого, нами были обнаружены зерна кобальтсодержащего железа размером до 12 мкм с максимальным соотношением (Fe + Ni) : Co = 2 : 1 (Co ~33 мас.%), тогда как в литературе отмечаются находки вайрауита, где (Fe + Ni) : Co = 1 : 1 (Co 44,81 мас.%) [3]. Среди прочих самородных элементов и интерметаллидов были отмечены медь и графит. Медь (ярко-оранжевая в отраженном свете) широко распространена в виде эмульсионной вкрапленности (размер капель до 15 мкм) и в виде сростков с сульфидами (троилит FeS, макинавит $Fe_{1+x}S$; размер зерен меди до 200 мкм) в железе и когените. Графит (коричнево-серый в отраженном свете) образует чешуйчатые агрегаты размером до 0,8 мм неправильной, сферической и кубической форм как на границах железа и вмещающих пород, так и внутри железа (или продуктов его замещения). В литературе также были описаны самородные золото, серебро, кобальт, свинец, соединения золота и меди (аурикуприд и тетрааурикуприд), соединения с палладием (садбериит, фрудит и соболевскит), брейтгауптит и кабриит [3, 4]. Когенит (кремовый в отраженном свете) широко распространен в виде извилистых включений размером до первых мм в самородном железе. Высокое содержание никеля в карбиде может указывать на возможное присутствие хаксонита $(Fe,Ni)_{23}C_6$. Муассонит был обнаружен предшественниками [2] исключительно в искусственных шлихах и, вероятно, является продуктом загрязнения при истирании. Также в литературе отмечаются единичные находки фосфида – шрейберзита [4] в интрузии г. Озерная, который, однако, не был обнаружен в исследованных образцах Джалтульской интрузии.

Список литературы

1. Rowe R., Grice J. D., Poirier G., Stanley C. J., Horváth L. Nisnite, Ni_3Sn , a new nickel mineral species from the Jeffrey mine, Asbestos, Quebec //The Canadian Mineralogist, 2011. Т. 49. № 2. С. 651–656.
2. Олейников Б. В., Округин А. В., Томшин М. Д., Левашов В. К., Копылова А. Г., Панков В. Ю. Самородное металлообразование в платформенных базитах // Якутск: ЯФ СО АН СССР. 1985. 188 с.
3. Рябов В. В. Экзотические полиминеральные рудные скопления в трапповых интрузиях Сибирской платформы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2014. № 3с-1. С. 101–104.
4. Ryabov V. V., Lapkovsky A. A. Native iron (–platinum) ores from the Siberian Platform trap intrusions //Australian Journal of Earth Sciences. 2010. Т. 57. № 6. С. 707–736.



ЛИТОЛОГИЯ И СЕДИМЕНТОЛОГИЯ

УДК 551.1/4, 552.514

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ДЕВОН-РАННЕКАМЕННОУГОЛЬНЫХ ПЕСЧАНИКОВ АГИНСКОГО ТЕРРЕЙНА, ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ*

И. А. Батаев^{1,2}, И. Ю. Сафонова^{1,2}, А. К. Крутикова^{1,2}, О. Т. Обут³

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск

² Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск

³ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

Образования чиндантской, усть-борзинской и уртуйской свит входят в состав Агинского террейна Монголо-Охотского складчатого пояса, сформированного между Сибирским континентом и коллажем островных дуг Южной Монголии в ходе эволюции и закрытии Монголо-Охотского океана в позднем палеозое – начале мезозоя [1]. Чиндантская свита сложена филлитовидными серицит-кварцевыми сланцами, в которых присутствуют линзы и прослои туффитов, песчаников, яшмоидов, известняков. Раннедевонский возраст свиты определен по редким находкам ругоз в известняках. Усть-борзинская свита представлена филлитовидными серицит-кварцевыми сланцами с прослоями песчаников, яшмоидов и алевролитов. В верхней части разреза в песчаниках обнаружены споры, по которым определен средне-позднедевонский возраст свиты. Уртуйская свита состоит из базальтов, алевролитов, песчаников, конгломератов, известняков. Палеонтологический возраст нижнеуртуйской подсвиты определен по конодонтам из редких линз криноидных известняков позднего визея раннекаменноугольного периода [2]. В ходе полевых работ были детально изучены геологические разрезы свит на ключевых участках. Темно-серые и серо-зеленые песчаники чередуются с крутопадающими тонко рассланцованными аргиллитами и алевролитами. Контакты между толщами стратиграфические либо задернованы. Для определения вещественного состава и проведения U-Pb-датирования обломочных цирконов отобраны песчаники из чиндантской, усть-борзинской и уртуйской свит.

Песчаники чиндантской свиты мелко-среднезернистые серые; усть-борзинской свиты – мелко-среднезернистые светло-серые; уртуйской свиты – темно-серые, от мелко- до крупнозернистых, плохо сортированные. По петрографическому составу песчаники всех свит соответствуют грауваккам и содержат обломки магматических пород среднего и кислого состава,

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-77-20022).

© И. А. Батаев, И. Ю. Сафонова, А. К. Крутикова, О. Т. Обут, 2024

осадочных пород, кварца и полевого шпата. В соответствии с классификацией Шутова [3] песчаники трех свит являются кварцевыми и кварц-полевошпатовыми граувакками. По геохимической классификации [4] песчаники являются граувакками и литаренитами. Согласно значениям индексов химического выветривания ($CI_A = 61-69$) и зрелости осадков ($ICV = 1,6-1,7$) все изученные песчаники являются незрелыми осадками, в области сноса которых преобладали породы со слабой степенью выветривания, что характерно для граувакк.

Содержания основных породообразующих оксидов для песчаников всех трех свит близки между собой: $SiO_2 = 68-71$, $TiO_2 = 0,5-0,6$, $Al_2O_3 = 13,8-15,6$, $MgO = 0,7-1,1$ мас.%. На бинарных диаграммах SiO_2 – породообразующие оксиды наблюдаются отрицательные тренды по Ti, Al, Fe, которые также наблюдаются и для надсубдукционных вулканических пород основного-среднего состава [5]. Спектры распределения редких элементов, нормированных на хондрит, для песчаников всех свит схожи и ниже уровня PAAS. На мультиэлементных спектрах, нормированных на примитивную мантию, наблюдается отрицательная аномалия по Nb ($Nb/La_{pm} = 0,3-0,6$, $Nb/Th_{pm} = 0,1-0,2$), что характерно для надсубдукционных вулканических пород.

Поскольку изученные песчаники всех трех свит по петрографическому и геохимическому составу являются граувакками, т. е. незрелыми осадками первого цикла, то их образование связано с разрушением магматических дуг. Согласно дискриминационным диаграммам [6, 7], песчаники чиндантской, усть-борзинской и уртуйской свит образовались при размыве континентальной дуги или активной континентальной окраины. Диаграмма $Zr/Sc-Th/Sc$ [8] показывает, что состав магматических протолитов для песчаников трех свит близок к дацитам, что в целом согласуется с данными по петрографии и геохимии.

Список литературы

1. Гордиенко И. В., Метелкин Д. В., Ветлужских Л. И. Строение Монголо-Охотского складчатого пояса и проблема выделения Амурского микроконтинента // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 3. С. 318–341.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист М_50 – Борзя / авторы Е. А. Шивохин, А. Ф. Озерский (отв. исполнители), Н. А. Артамонова, А. А. Духовский, В. В. Карасев, А. В. Куриленко, Т. Н. Надеждина, Ю. В. Павленко, Н. И. Раитина, Г. М. Шор. Научный редактор В. В. Старченко. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010. 553 с. + 6 вкл. (Минприроды России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГУГП «Читагеолсъемка»).
3. Шутов В. Д. Классификация песчаников // Литология и полезные ископаемые. 1967. № 5. С. 86–102.
4. Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever R. Sand and Sandstones // New York, Springer-Verlag. 1972. 553 p.
5. Tatsumi Y. The subduction factory: How it operates in the evolving Earth // Geological Society of America Today. 2005. V. 15, №7. P. 4–10.
6. Dickinson W. R., Beard L. S., Brakenridge G. R., Erjavec J. L., Ferguson R. C., Inman K. F., Knepp R. A., Lindberg F. A., Ryberg P. T. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting // The Geological Society of America Bulletin. 1983. V. 94. № 2. P. 222–235.
7. Bhatia M. R., Crook K. A. W. Trace elements characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1986. V. 92. P. 181–193.

8. McLennan S. M., Hemming S., McDaniel D. K., Hanson G. N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: M. J. Johnsson, A. Basu (Eds.), Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments // Geological Society of America Special Papers. 1993. V. 28. P. 21–40.

УДК 551.793

К ВОПРОСУ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ТЕРРАС В РАЙОНЕ Г. КРАСНОЯРСКА*

Е. А. Бордюгова

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

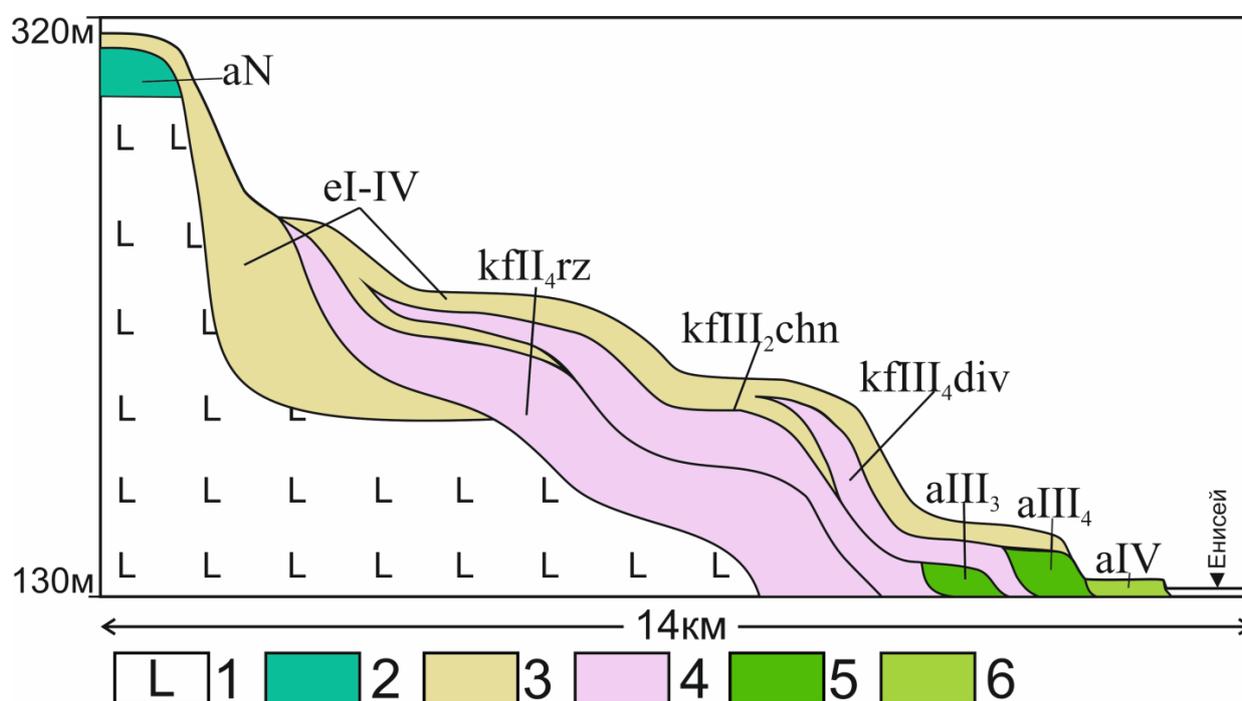
Участок исследования прилегает к долине Енисея на отрезке от поселка Бузим на севере до Красноярской ГЭС – на юге. Объект исследования – разрезы четвертичных отложений Среднего Енисея в районе города Красноярска и на прилегающей к нему территории. Актуальность работы вызвана необходимостью пересмотра и уточнения местной стратиграфической схемы долины р. Енисей в районе г. Красноярска основанной на выделении надпойменных региональных циклоклиматических террас. В литературе можно часто встретить одни и те же отложения, выделенные под разными названиями и, соответственно, отнесенные к разным террасам. И наоборот, часто описываются отложения, отнесенные к одной террасе, но встречающиеся в бортах реки на разных гипсометрических отметках. Сложившаяся ситуация абсолютно не приемлема, особенно на территории Красноярского мегаполиса, где непрерывно ведутся строительные работы. В настоящее время на территории Минусинских котловин выделяется 8 надпойменных террас (НПТ): пойменная терраса (2–6 м над Енисеем); I НПТ (4–8 м) – бузуновская; II НПТ (12–15 м) – ладейская; III НПТ (15–25 м) – красноярская; IV НПТ (25–35 м) – березовская; V НПТ (35–60 м) – лагерная; VI НПТ (60–80 м) – собакинская; VII (80–120 м) – торгашинская; VIII НПТ (120–135 м) – худоноговская. Иногда выделяется бадалыкская IX НПТ на высотах до 200 м. К концу XX в. начало складываться мнение о том, что террасовая стратиграфия долины Енисея должна быть пересмотрена. В результате полевых исследований в долине Среднего Енисея стало понятно, что закономерности строения четвертичных отложений, не получившие адекватного объяснения на основе концепции формирования лестницы террас, находят объяснение с учетом представлений о гляциальных суперпаводах, проходивших по долине Верхнего и Среднего Енисея при прорывах ледниковых плотин, перегораживавших выход из Дархадской межгорной котловины.

В результате полевых исследований 2023 г. под научным руководством д-ра геол.-минерал. наук И. Д. Зольникова был установлен новый порядок формирования четвертичных отложений долины Среднего Енисея в районе г. Красноярска. Он представляется в виде следующей последовательности: самые древние изученные отложения относятся к неогеновому водораздельному аллювию (aN) до енисейской гидросети. Эти галечники и пески вскрываются на выравненной поверхности на высоте 190–200 м над урезом воды. Ранее этот аллювий

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-17-00140).

© Е. А. Бордюгова, 2024

принимался за самую высокую террасу – VIII и VII НПТ. На них залегает субэральная лесовидная толща (eI-IV), которая в свою очередь облекается двумя суперпаводками. Нижний, и самый древний, – разлогский катафлювиал (kfII₄rz) относится к верхней ступени среднего неоплейстоцена (150–200 тыс. лет). Второй суперпаводок чанинский (kfIII₂chn) залегает в стратиграфической последовательности ниже II НПТ и имеет возраст 60 тыс. лет. Вероятнее всего, именно эти суперпаводковые отложения принимались предыдущими исследователями [1–3] за отложения высоких аллювиальных террас. В нижней части разреза сформированы низкие I и II типичные аллювиальные террасы (aIII₃ aIII₄). Разделяет I и II НПТ суперпаводок конца ПЛМ МИС-2 (около 20 тыс. лет) – дивнинский катафлювиал (kfIII₄div), представленный в разрезах толщами параллельно-слоистых песков. Завершает разрез пойменная терраса (aIV) голоценового возраста высотой до 5 м над уровнем Енисея. На основе этих данных была создана авторская принципиальная схема взаимоотношений четвертичных отложений для района исследования (см. рисунок).



Принципиальная схема взаимоотношений четвертичных отложений в районе г. Красноярск.

Условные обозначения: 1 – дочетвертичные образования; 2 – неогеновый водораздельный аллювий; 3 – субэральный комплекс; 4 – суперпаводковые (катафлювиальные) отложения; 5 – аллювий низких террас; 6 – голоценовая пойма

Построенная схема взаимоотношений четвертичных отложений для района Красноярск имеет важность, как для геологического картирования территории, так и для инженерно-геологических изысканий при строительных работах (особенно, учитывая особенность суперпаводков залегать на склонах под углом 45 и более градусов).

Таким образом, опровергается наличие «высоких» и «средних» аллювиальных НПТ Енисея. Вместо них предлагается установить наличие трех разновозрастных толщ катафлювиальных отложений: разлогская (II₄ rz), чанинская (III₂ chn), дивнинская (III₄ div) и неогенового водораздельного аллювия до енисейской гидросети [4].

Список литературы

1. Архипов С. А. Четвертичный период в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1971. 329 с.
2. Горшков С. П. Проблема сопоставления плейстоценовых отложений внеледниковой зоны Приенисейской Сибири с событиями в ледниковой зоне. Четвертичные оледенения Средней Сибири. М.: Наука. 1986. С. 95–101.
3. Дроздов Н. И., Чеха В. П., Хазартс П. Геоморфология и четвертичные отложения Куртаковского геoarхеологического района (Северо-Минусинская впадина). Красноярск: РИО. КГПУ им. В. П. Астафьева, 2005. 112 с.
4. Зольников И. Д. Новая концепция строения отложений верхнего неоплейстоцена в магистральных долинах // Доклады РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 513. № 1. С. 46–52.

УДК 552.53

ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ СОЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Д. С. Горяйнов^{1,2}, И. В. Вараксина², И. Г. Закирьянов^{1,2}

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

Актуальность изучения соляных отложений обусловлена прежде всего практической значимостью сосредоточенных в них полезных ископаемых. В последнее время резко возросло внимание к высококонцентрированным рассолам в подсолевых и межсолевых отложениях, которые нередко обладают повышенными содержаниями редких и рассеянных элементов, в том числе наиболее востребованного на данный момент лития. Восточно-Сибирский венд-кембрийский соленосный бассейн является одним из наиболее перспективных регионов для разработки литиеносных рассолов. Однако эффективные поиски невозможны без знания закономерностей размещения солей в разрезе и по площади, а также их литолого-геохимических особенностей.

Восточно-Сибирский соленосный бассейн охватывает южную и центральную части Сибирской платформы. Исследователями были выделены два уровня солености в вендском разрезе и шесть в кембрийском [1–6]. Самые древние каменные соли установлены в тирском горизонте верхнего венда на севере Предпатомского регионального прогиба и представлены торсальской пачкой. В вышележащем даниловском горизонте венда галит вскрыт в катангской и собинской свитах Ковинской и Иркутской фациальных зон и в Нижнеангарском районе на восточном окончании Присаяно-Енисейской синеклизы. В соленосных пачках венда пласты галита чередуются с пластами аргиллитов, глинисто-ангидритистых доломитов и ангидритов.

В кембрийской части осадочного чехла на юге Сибирской платформы выявлено пять уровней соленакпления, а западнее (Тынепская впадина) в майском ярусе установлен еще и шестой. В направлении от внутренних соленосных районов к краевым зонам происходит выклинивание солей и их замещение сульфатно-карбонатными породами. Нижнеусольский

соленосный уровень (усольская свита) включает две пачки галитов с прослоями доломитов и залегающую между ними пачку слабозасолоненных доломитов. Максимальная мощность зафиксирована в Ангаро-Непском районе. Северо-восточнее соли из разреза исчезают. Верхнеусольский соленосный уровень представлен шестью пачками, нижние части которых сложены чередованием пластов доломитов и каменных солей, а верхние – в основном галитом. В Нижнеангарской зоне Байкитско-Катангского района усольская свита на подсвиты не разделяется, так как возрастной аналог среднеусольской подсвиты на 80–85 % сложен солью. Верхнебельский соленосный уровень (бельская свита) разделяется на две пачки: нижняя представлена чередованием доломитов с каменной солью, в составе верхней пачки преобладают доломиты с прослоями солей. Последний этап соленакопления в нижнем кембрии связан с ангарской свитой Иркутско-Байкитской области и ее стратиграфическим аналогом – чарской свитой Ботуобинско-Сюгджерской области, в составе которых выделяется шесть-семь пачек с преобладанием доломитов или галитов. В среднем кембрии уровень соленакопления приурочен к верхней подсвите литвинцевской свиты, в составе которой пласты доломитов чередуются с каменной солью. Пласты галита присутствуют в метегерской свите, являющейся возрастным аналогом литвинцевской свиты в Ботуобинско-Сюгджерской фациальной области.

На основании проведенных исследований [6–8] в венд-кембрийском разрезе было установлено семь седиментационных циклов 1-го порядка, мощностью до 1000 м и более, имеющих двучленное строение. Их нижние части (до 150–200 м), относительно выдержанные по составу и мощности, существенно карбонатные. Верхние части образуют главные уровни соленакопления (до 500–1200 м) и представлены главным образом солями с подчиненным количеством сульфатных, сульфатно-карбонатных и карбонатных пород.

При изучении отложений венд-кембрийского соленосного бассейна узконаправленных литологических, минералогических и геохимических исследований соленосных пачек проводилось немного, причем главным образом это происходило в 50–70-е гг. прошлого столетия. Подробная литолого-минералогическая характеристика соляных пород кембрия приведена в ограниченном объеме работ, в которых было выделено 5 типов соляных пород, различающихся по минералогическому составу: каменная соль; сильвинсодержащие соляные породы; карналлитсодержащие соляные породы; смешанные соли: сильвин-карналлитсодержащие соляные породы; соляные породы с железистыми хлоридами. Согласно результатам исследований, среди соленосных пород в венд-кембрийском разрезе резко преобладает каменная соль [2, 4, 7].

Химическая характеристика соляных пород кембрия представлена в очень незначительном ряде работ, в которых определялся стандартный набор химических элементов: калий, натрий, хлор, бром, нерастворимый остаток. В единичных публикациях [9] имеются данные по распределению лития в нижнекембрийских подсолевых и межсолевых породах Иркутского амфитеатра, согласно которым содержание Li в несолевых частях разреза довольно низкое, особенно в песчано-алевритовых и карбонатных породах подсолевой части, а наиболее высокое отмечается в ангидрито-доломитовых породах. Данные по содержанию лития непосредственно в солях крайне скудные. В работе [10] приводятся результаты анализа образцов, отобранных из нижнекембрийских галитовых отложений Тасеевского соляного месторождения Красноярского края, согласно которым содержание лития в галитовых пробах ничтожно.

Таким образом, анализ опубликованных работ показал, что основной объем данных о мощностях, строении, распространении и условиях седиментации солевых пачек был получен в результате масштабных геологоразведочных работ на нефть и газ. При этом первостепенное внимание уделялось породам-коллекторам подсолевого комплекса. Соленосные и меж-

солевые горизонты практически не изучались, отбор кернa с этих интервалов производился в незначительных объемах. На сегодняшний день изученность солей литологическими и особенно минералого-геохимическими методами исследований низкая и проводилась главным образом в период после 1950 г. до конца 70-х гг.

Список литературы

1. Жарков М. А., Яншин А.Л. Геология и калиеносность кембрийских отложений юго-западной части Сибирской платформы. Новосибирск: Наука. 1974. 420 с.
2. Чечель Э. И., Машович Я. Г., Гилев Ю. Г. Закономерности строения соленосных отложений кембрия юга Сибирской платформы. М.: Недра. 1977. 144 с.
3. Анциферов А. С., Бакин В. Е., Варламов И. П. и др. Геология нефти и газа Сибирской платформы / Под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова, А. А. Трофимука. М.: Недра. 1981. 552 с.
4. Жарков М. А., Машович Я. Г., Чечель Э. И., Взаимоотношения соленосной и перекрывающей ее красноцветной формации кембрия на юге Сибирской платформы. Н.: Наука. 1982. 130 с.
5. Мельников Н. В., Якшин М. С., Шишкин Б. Б. и др. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Новосибирск: Гео. 2005. 428 с.
6. Мельников Н. В. Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы. (Стратиграфия, история развития). Изд. 2-е, доп. Новосибирск: СНИИГГиМС. 2017. 177 с.
7. Жаркова Т. М. Типы пород кембрийской соленосной формации Сибирской платформы // Труды ИГГ СО РАН. Вып. 262. Новосибирск. 1976. 306 с.
8. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР. 1962. Т. 3. 549 с.
9. Юдина З. Д. Некоторые особенности распределения Li, Rb, K в нижнекембрийских отложениях Иркутского амфитеатра // Геохимия. 1975. № 1. С. 92–100.
10. Лепешков И. Н., Шапошникова А. Н., Зайцева И. С. О распределении лития в природных солях // Геохимия. 1970. № 11. С. 1322–1328.

УДК 552.51:553.98

ПАРФЕНОВСКИЙ ГОРИЗОНТ КОВЫКТИНСКОЙ ЗОНЫ ГАЗОНАКОПЛЕНИЯ (СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА) И ЕГО СЕДИМЕНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

А. О. Драчёва

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Парфеновский горизонт (B₅), выделяемый в объеме верхнечорской подсвиты венда, является основным продуктивным горизонтом Ковыктинской зоны газонакопления. В строении парфеновского горизонта выделяются два песчаных пласта: П₁ и П₂. Горизонт имеет сложное строение: в северо-восточном направлении отсутствует глинистая перемычка между пластами. Также в северо-восточном направлении увеличиваются толщины парфеновского горизонта.

Нижний пласт (P_2) сложен в основном косослоистыми грубозернистыми, разнозернистыми песчаниками, по составу они относятся к граувакковым разностям с повышенным содержанием обломков пород и полевых шпатов.

Верхний пласт (P_1) имеет более сложное строение: в юго-западной части пласт сложен косослоистыми грубозернистыми песчаниками, а в северо-восточном направлении песчаники сменяются на крупно-средне-мелкозернистые. Песчаники по вещественному составу характеризуются как кремекластово-кварцевые, с повышенной долей кварца.

В современном представлении существуют различные модели седиментации отложений парфеновского горизонта. По литературным данным известно, что накопление парфеновского горизонта на Ковыктинском месторождении происходило в дельтовых обстановках [1].

Для решения вопросов корреляции и построения седиментологической модели парфеновского горизонта применялся секвенс-стратиграфический подход [2, 3].

На основе результатов детального седиментологического исследования керна скважин в строении парфеновского горизонта выделены две полные секвенции, представленные преимущественно песчаными отложениями (породами-коллекторами) с маломощными глинистыми прослоями. Первая секвенция соответствует пласту P_2 , вторая секвенция соответствует пласту P_1 . Третья секвенция в рамках верхнечорской подсветы неполная, она представляет собой покрывку и сложена породами-неколлекторами.

Для каждой секвенции выделяются тракты низкого стояния (LST), трансгрессивные системные тракты (TST) и тракты высокого стояния относительно уровня моря. В силу субконтинентальной природы отложений тракты LST и TST рассматриваются как единый цикл.

Парфеновский пласт P_2 на тракте низкого стояния и на трансгрессивном этапе сформирован в условиях дельты с преобладанием речного стока, на тракте высокого стояния преобладали обстановки приливно-отливной дельты.

Пласт P_1 характеризуется аналогичным строением. В строении второй секвенции также выделяются два седиментационных цикла: на этапе происходит проградация аллювиально-дельтовой системы в сторону бассейна, на тракте высокого стояния относительного уровня моря под влиянием приливно-отливной динамики происходит частичная аградация дельтовой системы.

В результате установлено, что в парфеновское время происходило изменение дельтовых систем: на тракте низкого стояния и на трансгрессивном системном тракте развивались дельты с преобладанием речного стока, на тракте высокого стояния – дельты приливно-отливного типа.

Список литературы

1. Гой В. Ю. Палеогеографическая модель формирования парфеновского горизонта с целью прогноза зон нефтегазоносности Ангаро-Ленской ступени // «ГЕО-Сибирь 2010» – VI Международная выставка и научный конгресс. Новосибирск. ИНГГ СО РАН. 19–29 апреля 2010 г.: Мат. конференции. С. 102–106.
2. Габдуллин Р. Р., Кобаевич Л. Ф., Иванов А. В. Секвентная стратиграфия: Учебное пособие. М.: МАКС Пресс. 2008. 113 с.
3. Позаментьер Г., Аллен Дж. П. Секвентная стратиграфия терригенных отложений. Основные принципы и применение / Пер. с англ. Ижевск: Ин-т компьютерных исследований. 2014. 436 с.

УДК 553.98

**СТРОЕНИЕ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЧЕРКАШИНСКОЙ СВИТЫ
В ПРЕДЕЛАХ ПРИОБСКО-НАДЫМСКОГО СТРУКТУРНО-ФАЦИАЛЬНОГО
РАЙОНА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА
ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ**

Е. М. Дружинина

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск
ООО «Газпром нефть НТЦ»*

В Обско-Иртышском междуречье наиболее перспективной частью разреза являются отложения нижнего мела, а именно ахская и черкашинская свиты. Основными же продуктивными пластами данного района являются пласты АС₁₀ и АС₁₁² черкашинской свиты. Однако они имеют локальное распространение, а зоны присутствия коллектора чередуются с зонами полной глинизации пластов. Поэтому более подробное изучение литолого-фациальных особенностей неокомских отложений позволит уточнить строение залежей углеводородов и проследить изменение коллекторских свойств пород как по разрезу, так и по площади.

Территория исследования расположена в юго-западной части Мансийской синеклизы, надпорядковой отрицательной замкнутой тектонической структуры, где ее осложняет Демьянское куполовидное мезоподнятия. Изученный район входит в состав южной части Салымского НГР и расположен в юго-западной части Фроловской НГО [1].

Черкашинская свита делится на две подсвиты – нижнюю и верхнюю. Граница между подсвитами совпадает со стратиграфической. Нижняя подсвита рассматривается в объеме верхней части нижнего и полного верхнего готерива. Верхняя подсвита соответствует барремскому ярусу [2].

В работе был изучен разрез нижней части черкашинской свиты. В качестве основного метода исследования использовался литолого-фациальный анализ. Метод основан на изучении совокупности генетических признаков пород. Эти признаки в первую очередь обусловлены условиями формирования пород [3].

На начальных этапах работы было проведено послойное макроскопическое описание керна, после чего были построены седиментационные разрезы черкашинской свиты в скважинах № 1–4. Разрезы имеют подобное строение – нижняя часть характеризуется более мелкозернистым составом, в основном это переслаивание аргиллитов и разномерных алевролитов с пологоволнистой и линзовидно-волнистой слоистостью. В центральной части материал более грубозернистый, здесь же нефтенасыщенные и карбонатизированные мелко- и мелко-среднезернистые косослоистые песчаники. В верхней части зернистость пород снова уменьшается.

На основе выполненного описания керна были выделены литофации с определенным набором признаков. И была выполнена реконструкция обстановок осадконакопления с использованием детального текстурного анализа, литологических особенностей, следов жизнедеятельности организмов и органических остатков. Реконструкция была выполнена с учетом существующей модели прибрежных обстановок в пределах территории исследования.

Так в пределах изученного разреза черкашинской свиты было выделено девять основных литофаций, соответствующих следующим обстановкам: продельта, дистальная и проксимальная части устьевого бара, центральная часть эстуария волнового типа, приливно-отливная песчаная, смешанная и глинистая отмели, распределительный канал и солоновато-водный марш.

Также были соотнесены фильтрационно-емкостные свойства пород с обстановками их формирования и выявлены обстановки с наиболее благоприятными коллекторскими свойствами. Так было установлено, что наилучшими коллекторскими свойствами в изученных разрезах обладают породы, сформировавшиеся в обстановке распределительного канала, средними – в пределах устьевого бара и приливно-отливной песчаной отмели. Самыми плохими коллекторскими свойствами характеризуется литофация центральной части эстуария волнового типа.

Список литературы

1. Конторович В. А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 253 с.
2. Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири (Новосибирск, 2003 г.). Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. 114 с.
3. Ботвинкина Л. Н., Жемчужников Ю. А., Тимофеев П. П. и др. Атлас литогенетических типов угленосных отложений среднего карбона Донецкого бассейна. М.: Изд-во АН СССР. 1956. 386 с.

УДК 552.541

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ВЕРХНЕОРДОВИКСКИХ КАЛИПТР ГОРНОГО АЛТАЯ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ*

И. Г. Закирьянов, Д. С. Горяинов

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

В 2016 г. на разрезе «Азраткан (Еланду)» (Ануйско-Чуйская структурно-фациальная зона Горного Алтая) в верхнеордовикских породах были обнаружены небольшие тела, впоследствии отнесенные к калиптрам [1–3].

Помимо оптико-петрографических исследований, были проведены изучения калиптр методом сканирующей электронной микроскопии. В ходе этого удалось установить следующее.

В спаритовой оболочке калиптр встречается незначительная доля (не более 1 %) терригенной примеси кварца. Здесь же присутствуют полости, заполненные аутигенными минералами группы SiO₂. Эти минералы также достаточно уверенно диагностируются при применении СЭМ (рис. 1).

* Исследование выполнено в рамках госзаданий РАН по Фундаментальным научным исследованиям (проекты FWZZ-2022-0003, FWZZ-2022-0007).

© И. Г. Закирьянов, Д. С. Горяинов, 2024

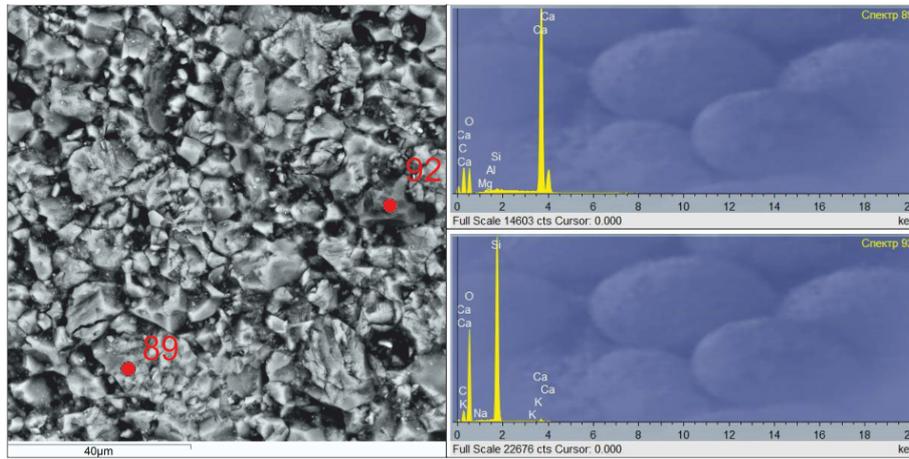


Рис. 1. СЭМ-фотография оболочки калиптры разреза «Чакыр-Азраткан» и спектры. Режим BSE

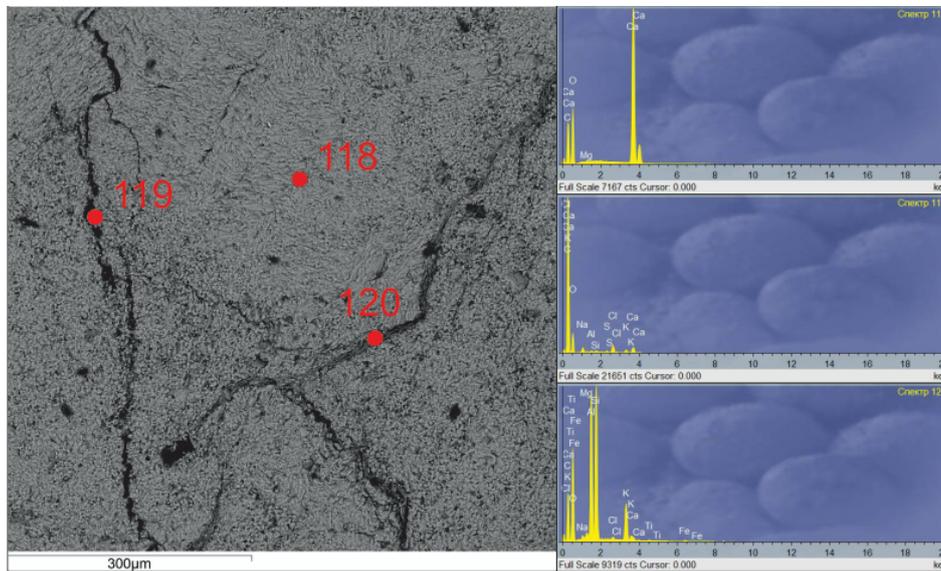


Рис. 2. СЭМ-фотография трещиноватых пород разреза «Чакыр-Азраткан» и спектры. Режим BSE

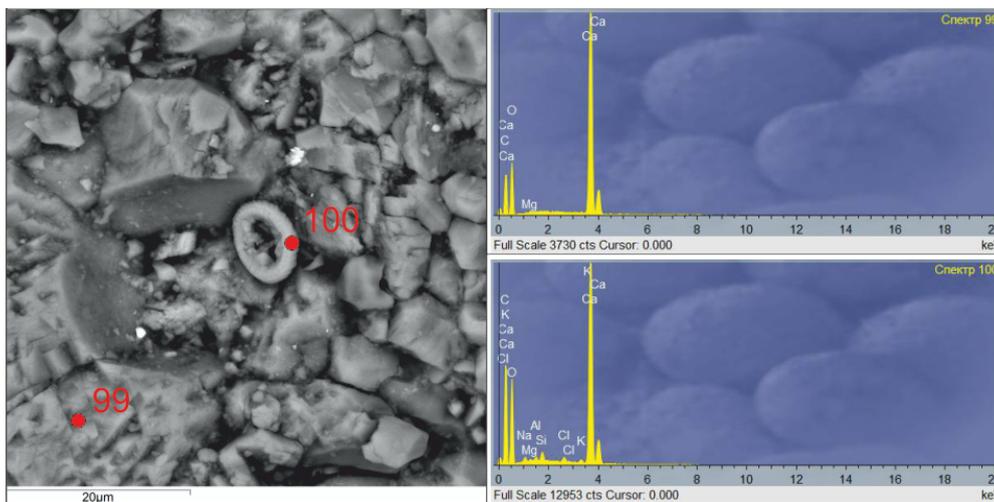


Рис. 3. СЭМ-фотография органогенного остатка неясного систематического положения в разрезе «Чакыр-Азраткан» и спектры. Режим BSE

Породы, вмещающие калиптры, разбиты многочисленными разнонаправленными трещинами, заполненными кальцитом или буровато-коричневой смесью органического и глинистого материала (рис. 2). Возможно, развитие трещиноватости способствовало проникновению кремнезема в межкристаллические пустоты оболочек. С помощью СЭМ были обнаружены неопределимые остатки (рис. 3). Они имеют субизометричную форму, небольшой диаметр (~10 мкм), сложены кальцитом с незначительной примесью калия, натрия, магния и хлора.

Список литературы

1. Сенников Н. В., Лучинина В. А., Обут О. Т., Токарев Д. А., Хабибулина Р. А. Позднеордовикские «кораллово-микробиально-водорослевые луга» в северо-западной части Горного Алтая // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: Мат. XIII Международной научной конференции. Новосибирск. 2017. Т. 1. С. 150–154.
2. Sennikov N. V., Obut O. T., Lykova E. V., Timokhin A. V., Gonta T. V., Khabibulina R. A., Shcherbanenko T. A., Kipriyanova T. P. Ordovician sedimentary basins and paleobiotas of the Gornyy Altai // Publishing House of SB RAS. Novosibirsk. 2019. 184 p.
3. Закирьянов И. Г., Сенников Н. В., Лучинина В. А. Биогенная природа и строение куполообразных микропостроек – калиптр в верхнеордовикских известняках центральной части Горного Алтая // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: Мат. XVIII Международной научной конференции. Новосибирск. ИНГГ СО РАН. 2022. Т. 2. № 1. С. 186–193.

УДК 551.1/4, 571.15, 552.514

ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ ЗАСУРЬИНСКОГО АККРЕЦИОННОГО КОМПЛЕКСА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО АЛТАЯ: ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, СОСТАВ, ВОЗРАСТ И ИСТОЧНИКИ СНОСА *

А. К. Крутикова^{1,2}, И. Ю. Сафонова^{1,2}, А. А. Перфилова¹, О. Т. Обут³

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск

² Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск

³ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

Образования Засурьинского аккреционного комплекса (АК) по И. Ю. Сафоновой [1] (или засурьинской серии по Н. В. Сенникову [2]) представляют собой фрагменты позднекембрийско-раннеордовикской океанической коры Палеоазиатского океана, находящиеся в тектонических взаимоотношениях с окружающими раннекембрийскими (?) и позднеордовикско-силурийскими терригенными породами. Они входят в состав Чарыш-Теректинской сутурной зоны Северо-Западного Горного Алтая, состоящей из Инской, Курья-Акимовской, Чарышской, Засурьинской и Талицкой структурных единиц по М. М. Буслову [3] или из Чарышско-Инской, Талицкой и Ануйско-Чуйской структурно-фациальных зон по Н. В. Сенникову [2]. Отложения Засурьинского АК слагают Засурьинскую структурную единицу или представлены во всех трех структурно-фациальных зонах. В составе Засурьинского АК выделяется три свиты (снизу вверх): листовенная, талицкая и марчетинская [2]. Листовенная свита состоит из базальтов,

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №21-77-20022).

© А. К. Крутикова, И. Ю. Сафонова, А. А. Перфилова, О. Т. Обут, 2024

кремнистых и терригенных отложений. Палеонтологический возраст свиты определен по находкам в кремнях конодонтов аксайского и батырбайского веков позднего кембрия. Геохимический состав базальтов предполагает их океаническое происхождение [1]. Талицкая свита представлена чередующимися пачками зеленых и пестроцветных аргиллитов, алевролитов и песчаников. Радиолярии и конодонты в верхней части свиты позволяют установить ее возраст в интервале позднего тремадока – раннего фло. В остальной части свиты фауна отсутствует. Марчетинская свита сложена кремнями, аргиллитами, алевролитами и песчаниками с прослоями туфов. Конодонты, радиолярии и кремневые губки определяют возраст свиты на уровне флоского яруса [2]. Кирпично-красные кремни имеют массивную или ленточную текстуру и содержат остатки конодонтов и радиолярий батырбайского и тремадок-флоского возраста [2]. Кремнистые аргиллиты табачного, серого или зеленого цвета, сильно рассланцованные. Песчаники серого цвета, плохо сортированные, массивные или с блочной отдельностью. Ассоциация песчаников с глубоководными осадками и субвертикальное залегание слоев предполагают аккреционную природу Засурьинского АК [1, 2].

Распределение U-Pb-возрастов обломочных цирконов из песчаников трех свит имеет унимодальный характер, что указывает на их происхождение в обстановке внутриокеанической дуги. Основные пики возрастов приходятся на 488 (лиственная св.), 491 (талицкая св.) и 485 (марчетинская св.) млн лет. Незначительное количество цирконов с докембрийскими возрастными установлено только в образцах лиственной и талицкой свит. Максимальный возраст осадконакопления, который оценивается по средневзвешенному значению популяций самых молодых цирконов, из песчаников всех трех свит определен в интервале от 466 до 464 млн лет.

Петрографическое изучение показало, что все песчаники содержат обломки вулканических пород основного кислого состава, кремнистых осадочных пород, кварца и полевого шпата. По классификации Шутова [4] песчаники трех свит соответствуют полевошпатовым и кварц-полевошпатовым грауваккам. По классификации $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ песчаники трех свит являются граувакками. По индексам химического выветривания ($\text{CIA} = 42-69$) и зрелости осадков ($\text{ICV} = 2,0-2,8$) песчаники являются незрелыми, слабо выветрелыми, что также характерно для граувакк. Для песчаников лиственной и талицкой свит характерны более высокие содержания кремнезема ($\text{SiO}_{2\text{ср.}} = 68,5 \%$), чем для песчаников марчетинской свиты ($\text{SiO}_{2\text{ср.}} = 58,5 \%$). По соотношению SiO_2 и породообразующих оксидов в песчаниках отмечаются отрицательные тренды по TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 , которые характерны для магматических серий основного и среднего состава [5]. Спектры распределения концентраций редкоземельных элементов, нормированные на хондрит, и мультиэлементные спектры, нормированные на примитивную мантию, для песчаников всех трех свит ниже уровня PAAS. Форма и уровень концентраций всех спектров схожи, но песчаники лиственной свиты более обогащены легкими лантаноидами ($\Sigma\text{LREE}_{\text{ср.}} = 118$), чем песчаники талицкой ($\Sigma\text{LREE}_{\text{ср.}} = 104$) и марчетинской ($\Sigma\text{LREE}_{\text{ср.}} = 80$). На всех спектрах наблюдается отрицательная аномалия по Nb ($\text{Nb}/\text{La}_{\text{pm}} = 0,2-0,6$, $\text{Nb}/\text{Th}_{\text{pm}} = 0,1-0,3$), что также характерно для надсубдукционных вулканических пород.

Во всех образцах положительные значения $\varepsilon\text{Hf}(t)$ в цирконах (от +4,3 до +20,1) и $\varepsilon\text{Nd}(t)$ по породе (от +0,6 до +4,8), что указывает на ювенильные характеристики магматических пород в питающей провинции. Однако образцы лиственной и талицкой свит имеют более низкие значения $\varepsilon\text{Nd}(t)$ (+1,3 и +0,8 соответственно), чем образец марчетинской свиты (+4,7). Данные по изотопам Nd указывают на то, что образцы лиственной и талицкой свит содержат больше рециклированного материала, в то время как протолиты для песчаников марчетинской свиты имеют ювенильные характеристики. Данные по изотопам Hf свидетельствуют, что все магма-

тические протолиты песчаников Засурьинского АК происходят из ювенильного магматического источника, т. е. образовались в обстановке внутриокеанической дуги.

Геологическое положение песчаников, данные U-Pb цирконометрии, граувакковая природа и изотопно-геохимические характеристики предполагают, что песчаники всех трех свит Засурьинского АК образовались при разрушении магматических пород, сформированных в позднем кембрии – раннем ордовике в обстановке внутриокеанической дуги. Отложение песчаников происходило в преддуговом (марчетинская свита) и задуговом (лиственная и талицкая свиты) бассейнах, куда также мог попадать более кислый материал со смежной континентальной окраины или дуги.

Список литературы

1. Safonova I. Y., Sennikov N. V., Komiya T., Bychkova Y. V., Kurganskaya E. V. Geochemical diversity in oceanic basalts hosted by the Zasur'ya accretionary complex, NW Russian Altai, Central Asia: Implications from trace elements and Nd isotopes // Journal of Asian Earth Sciences. 2011. V. 42. № 3. P. 191–207.
2. Сенников Н. В., Обут О. Т., Буколова Е. В., Толмачева Т. Ю. Литолого-фациальная и биоиндикаторная оценка глубины формирования раннепалеозойских осадочных бассейнов палеоазиатского океана // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 10. С. 1488–1516.
3. Буслов М. М., Сафонова И. Ю., Бобров В.А. Экзотический терреин позднекембрийско-раннеордовикской океанической коры в северо-западной части Горного Алтая (засурьинская свита): структурное положение и геохимия // Доклады Академии наук, 1999. Т. 368. № 5. С. 650–654.
4. Шутов В. Д. Классификация песчаников // Литология и полезные ископаемые. 1967. № 5. С. 86–102.
5. Tatsumi Y. The subduction factory: How it operates in the evolving Earth // Geological Society of America Today. 2005. V. 15. № 7. P. 4–10.

УДК 551.793

ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕЙ ОБИ*

П. С. Левицкая

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Район исследований располагается в Ямало-Ненецком автономном округе на территории распространения четвертичных покровных оледенений, но южнее области приповерхностного залегания морских отложений. Объектом исследований являются четвертичные отложения аллювиального генезиса, обнажающиеся в береговых обрывах.

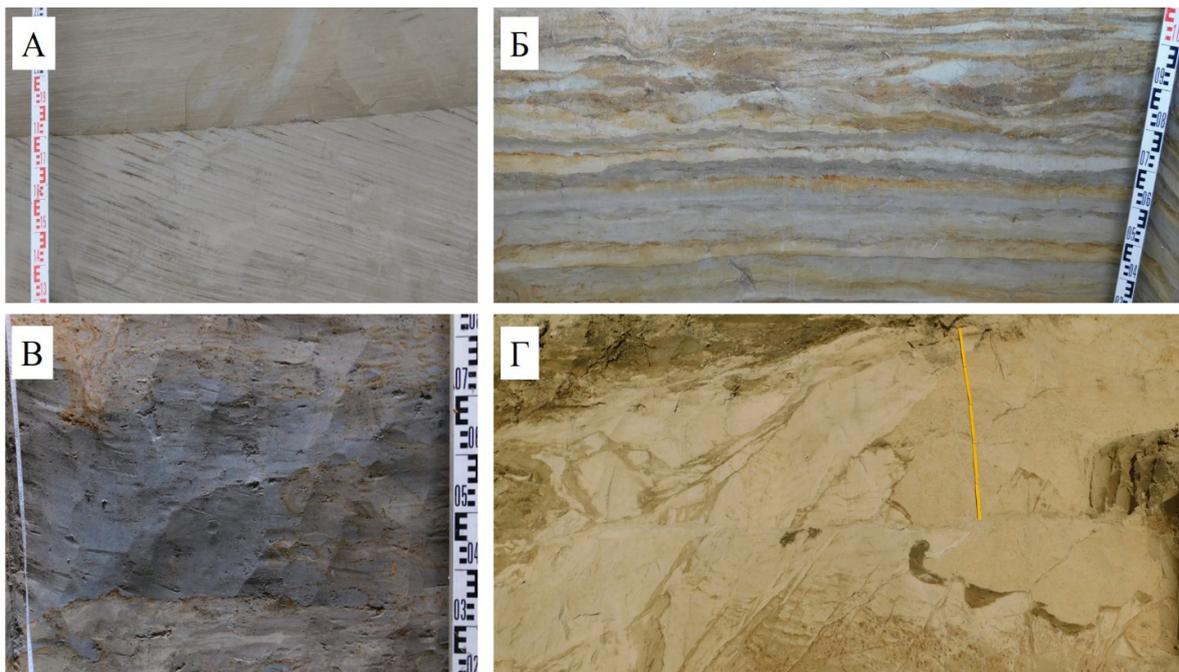
На территории Арктики и Субарктики основное внимание при изучении четвертичных покровов уделялось моренам и связанным с ними озерно-ледниковым отложениям [1–3], поскольку именно эти генетические типы являются основными стратиграфическими реперами

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-17-00140).

© П. С. Левицкая, 2024

в этих широтах. Песчаным отложениям обычно отводилась второстепенная роль межморенных пачек. Вместе с тем аллювиальные пески слагают значительную часть разрезов, но, как правило, ранее они не расчленялись ни в фациально-генетическом, ни в стратиграфическом аспекте. Макровизуальное сходство определенных литотипов разного генезиса на фоне сложного строения геологического разреза изучаемой территории способствует неграмотной интерпретации стратиграфической последовательности формирования отложений района Нижней Оби. Очевидно, что это препятствует созданию достаточно приемлемой по детальности и достоверности местной стратиграфической схемы. Всем вышесказанным определяется актуальность, а также практическая и теоретическая значимость постановки наших исследований.

Аллювиальные отложения на правобережье Большой Оби широко развиты, имеют большое литологическое разнообразие и несколько возрастных генераций. С аллювиальных питлярских песков (250–180 т. л. н.) начинается разрез четвертичных отложений района, золотомысский аллювий (130–100 т. л. н.) фиксирует первое межледниковье верхнего неоплейстоцена, а кушеватский аллювий (60–25 т. л. н.) слагает II НПТ [4]. Детальное изучение аллювиальных отложений с хорошей сохранностью текстурно-структурных особенностей и широким распространением позволило выделить русловую, пойменную и старичную фации речных отложений в районе Большой Оби, а также диагностировать аллювиальные гляциоотторженцы в толще хашгортской морены (см. рисунок).



Фации аллювиальных отложений Большой Оби:

А – русловая; Б – пойменная; В – старичная; Г – гляциоотторженцы

При проведении макровизуальной генетической диагностики аллювиальных отложений в районе Большой Оби внимание также уделялось определению гранулометрического состава. В полевых условиях диагностика фаций речных отложений по гранулометрическому составу может быть достаточно точной в отношении старичного аллювия, поскольку содержание в этих отложениях физической глины (частиц размером менее 0,05 мм) явно превосходит аналогичный параметр в других фациальных генерациях. В случае с диагностикой других фаций

аллювия определение гранулометрического состава в полевых условиях не всегда достаточно и может требовать дополнительных лабораторных исследований.

Отсутствие верного представления о формировании песчаных отложений района Большой Оби приводило к неверной фашиально-генетической диагностике. За аллювий могли выдаваться флювиогляциальные отложения и эоловые пески, что приводило к ошибкам при построении местных стратиграфических схем (например, эоловые отложения получались рассеченными террасами). Нахождение аллювия на высоких гипсометрических отметках могло расцениваться как присутствие неотектоники, и что за короткое четвертичное время аллювий оказывался на разных высотах при достаточно равномерном гидродинамическом режиме Оби.

Аллювиальные отложения на правом берегу Большой Оби не встречаются в разрезах выше 5–6 м над бровкой бечевника. Этот факт служит решающим для диагностики флювиальных песков на высоких гипсометрических отметках, поскольку песчаные геологические тела на высоте больше 10 м над уровнем бечевника должны интерпретироваться как флювиогляциальные, если, конечно, они обладают характерными флювиальными текстурами. В противном случае их генезис следует относить к эоловым отложениям. Основная сложность в расчленении песчаных геологических тел связана со стратиграфическим делением аллювиальных отложений, поскольку они накапливались на приблизительно одинаковом гипсометрическом уровне.

В связи с вышеизложенным полученные результаты являются важными для использования дополнительных критериев при распознавании аллювиальных отложений в расчистках, шурфах и раскопах с локальной малоплощадной степенью вскрытия и незначительной обнаженностью грунтов.

Список литературы

1. Архипов С. А., Вотях М. Р., Гольберт А. В., Гудина В. И., Довгаль Л. А., Юдкевич А. И. Последнее оледенение в Нижнем Приобье. Новосибирск: Наука. 1977. 213 с.
2. Астахов В. И., Назаров Д. В. Стратиграфия верхнего плейстоцена севера Западной Сибири и ее геохронометрическое обоснование // Региональная геология и металлогения. 2010. № 43. с. 36–47.
3. Шумилова Е. В. Литология и генезис доказанцевских четвертичных отложений Нижней Оби. Новосибирск: Наука. 1974. 73 с.
4. Зольников И. Д., Анойкин А. А., Филатов Е. А., Левицкая П. С., Чупина Д. А., Глушкова Н. В., Бордюгова Е. А. Геологическое строение четвертичных отложений правобережья Большой Оби (север Западной Сибири) // Отечественная геология. №5. 2022. С. 38–47.

УДК 552.52

ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОНЕЖСКОГО ПРИЛЕДНИКОВОГО ОЗЕРА*

В. И. Малов^{1,2}, В. Д. Страховенко^{1,2}, Д. А. Субетто², М. С. Потахин³,
Н. А. Белкина³

¹ *Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск*

² *Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена,
Санкт-Петербург*

³ *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск*

Современное изменение климата и его воздействие на пресноводные экосистемы играют значимую роль в вопросе безопасности жизни человека и хозяйственной деятельности. Изучение подобных событий в прошлом позволяет строить модели реакций водных экосистем на современные изменения климата. Одним из ключевых объектов для таких исследований являются донные отложения озер.

Донные отложения малых озер (Полевское, Лавозеро), расположенных на территории, затопленной в прошлом водами Онежским Приледниковым озером, и донные отложения современного Онежского озера являются уникальными объектами для палеоклиматических реконструкций на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена, когда по мере деградации ледника последнего валдайского оледенения формировался современный облик территории.

Цель работы – сравнение литохимического состава донных отложений Онежского Приледникового озера с литохимическим составом донных отложений Онежского озера.

Объект и методы исследования. Объектом исследования являются плейстоценовые донные отложения Онежского озера и малых озер (Полевское, Лавозеро), расположенных на территории республики Карелия.

Отбор колонок донных отложений осуществлялся с применением штангового торфяного бура в зимнее время со льда, а также с помощью ударной грунтовой трубки длиной 3 м и диаметром 127 мм общим весом 200–300 кг с борта НИС «Эколог», в летнее время.

Определения концентраций макроэлементов выполнены рентгеноспектральным флуоресцентным анализом на приборе ARL-9900-XP (Applied Research Laboratories, США). Пробоподготовка сводилась: 1) к высушиванию пробы при 105 °С в течение 1,5 ч (для определения гигроскопической влажности); 2) прокаливанию при 960 °С в течение 2,5 ч для определения потерь массы при прокаливании; 3) смешиванию с флюсом в соотношении 1 : 9 (общий вес смеси составляет 5 г). Состав флюса 66,67 % тетрабората лития; 32,83 % метабората лития и 0,5 % лития бромистого.

Расчет геохимических индексов производился по следующим формулам: гидролизатный модуль (ГМ) = $(Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO + MnO)/SiO_2$; железный модуль (ЖМ) = $ЖМ = (FeO + Fe_2O_3 + MnO)/(Al_2O_3 + TiO_2)$; индекс химического выветривания (CIA) = $Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O) \times 100$, *не карбонатный [1, 2].

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-17-00206), <https://rscf.ru/project/24-17-00206/>

© В. И. Малов, В. Д. Страховенко, Д. А. Субетто, М. С. Потахин, Н. А. Белкина, 2024

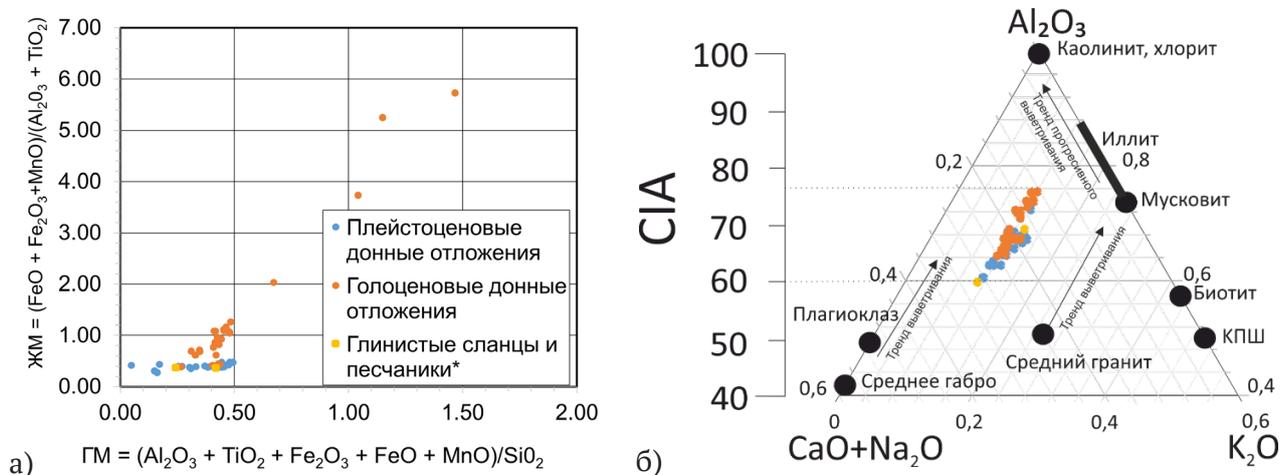
Аналитические работы по изучению отобранного фактического материала выполнены в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, г. Новосибирск.

Результаты и выводы. Изучение литохимического состава донных отложений Онежского Приледникового озера показало, что они характеризуются значениями гидролизатного модуля (ГМ) в диапазоне от 0,05 до 0,49 и значениями железного модуля (ЖМ) от 0,27 до 0,47 (см. рисунок). Данные значения сходны со значениями для наиболее встречающихся осадочных пород континента – глинистых сланцев и песчаников [3]. Согласно [2], по значениям ГМ и ЖМ донные отложения стоит относить к силлитам и сиаллитам.

Голоценовые донные отложения отличаются более высокими значениями ГМ и ЖМ. Значения ГМ варьируют от 0,27 до 1,47, ЖМ варьируют от 0,38 до 5,73, что позволяет относить голоценовые донные отложения к сиферлитам и гидролизатам.

Различие литохимических характеристик плейстоценовых и голоценовых донных отложений объясняется различием в условиях формирования. Так, плейстоценовые донные отложения формировались в нивальном типе седиментогенеза, для которого характерно преобладание механического выветривания. Формирование голоценовых донных отложений происходило с увеличением доли химического выветривания, что позволяет предполагать гумидизацию климата.

Об увеличении доли химического выветривания свидетельствуют значения индекса химического выветривания CIA и формирующийся тренд на диаграмме А-CN-K [1] (см. рисунок). Значения CIA для плейстоценовых в среднем равны 70, для голоценовых в среднем равны 66.



Модульная диаграмма по [2] (а); диаграмма А-CN-K [3] (б)

Таким образом, можно сделать выводы, что формирование плейстоценовых донных отложений Приледникового Онежского озера происходило при более низкой доли химического выветривания, относительно голоценовых донных отложений Онежского озера. При этом увеличении доли химического выветривания привело к ужелезнению (увеличение значений ЖМ) донных отложений.

Список литературы

1. Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // nature. 1982. Т. 299. № 5885. С. 715–717.
2. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. 2000.

3. Ронов А. Б. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. Наука, 1990.

УДК 550.4:552.52

**ЛИТОХИМИЯ УРДЮКХАИНСКОЙ И ПАКСИНСКОЙ СВИТ
ПОЛУОСТРОВА НОРДВИК
(ВЕРХНЯЯ ЮРА – НИЖНИЙ МЕЛ СЕВЕРА СРЕДНЕЙ СИБИРИ)***

К. К. Мельников

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск*

Изученный непрерывный и хорошо стратиграфически расчлененный верхнеюрско-нижнемеловой разрез располагается на побережье моря Лаптевых и является важным объектом в изучении нефтегазоносного потенциала лаптевоморского шельфа. Данная толща изучалась специалистами различного профиля, однако данных о составе слагающих ее пород в литературных источниках немного, а литохимические исследования единичны.

Рассматриваемый разрез является эталонным для Паксинского фациального района Обь-Ленской фациальной области [1]. В тектоническом плане территория исследований приурочена к восточной части Анабаро-Хатангской седловины, разделяющей Енисей-Хатангский региональный прогиб на западе и Лено-Анабарский мегапрогиб на востоке. Объектом исследований являлись верхняя часть урдюкхаинской и низы паксинской свит, соответствующие интервалу от верхнего оксфорда до низов бореального берриаса.

В рамках проводимых комплексных исследований объекта было выполнено детальное изучение глинистых, глинисто-алевритовых и песчаных глауконитовых пород. Ранее были изучены минералого-петрографические характеристики разреза [2]. Проведенный на следующем этапе анализ содержания в породах породообразующих оксидов позволил выявить основные литохимические характеристики отдельных слоев и пачек разреза, которые обнаруживают тесную связь с выявленными ранее минералого-петрографическими характеристиками.

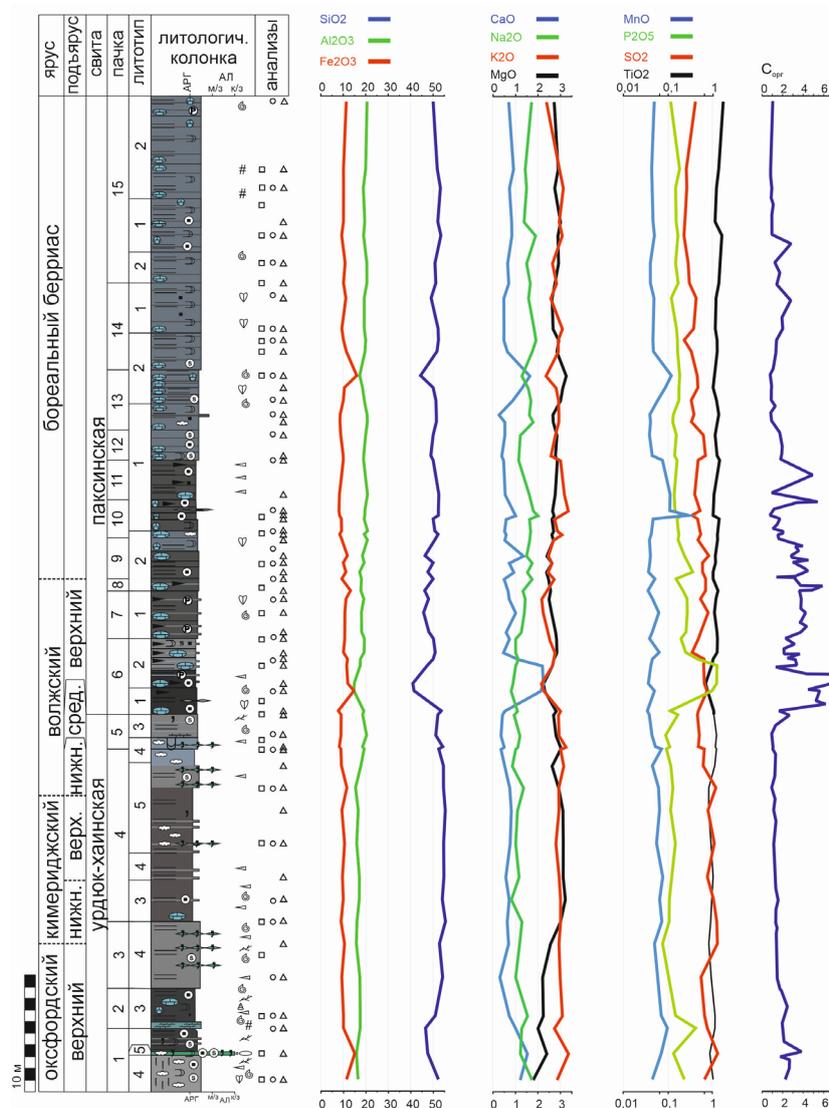
Выполненные литохимические исследования (см. рисунок) показали, что для урдюкхаинской свиты характерно достаточно выдержанное содержание SiO_2 , а также понижение содержания MgO при повышении Na_2O и CaO в нижних слоях и возрастание доли Al_2O_3 и снижение $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ.}}$, SO_3 в верхних слоях свиты. В базальных слоях паксинской свиты фиксируются понижения содержания SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , MgO и значительное увеличение $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ.}}$, CaO и P_2O_5 . Вышележащие слои свиты характеризуются слабым увеличением долей Na_2O , Al_2O_3 , TiO_2 и снижением $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ.}}$, SO_3 .

Анализ петрохимических модулей [3] позволил отнести исследуемые породы к гипогидролизатам нормально щелочным и нормально титанистым с неравномерно повышенной железистостью. Анализ индекса химического выветривания (CIA) [4], с учетом гидролизатного модуля, показал, что породы в источниках сноса подвергались умеренно высокому химическому

* Исследования выполнены в рамках ФНИ (FWZZ-2022-0008).

© К. К. Мельников, 2024

выветриванию. Анализ расположения фигуративных точек изученных пород на генетической диаграмме Розера – Корша [5], характеризующей состав материнских толщ, показал, что большая часть их сосредоточена вблизи границы магматических основных и средних пород с некоторым смещением в сторону богатых кварцем пород, что, вероятно, отражает также влияние кислого магматического источника.



Седиментационная колонка с кривыми содержания породообразующих оксидов.
C_{орг.} по данным [6]

Комплексные данные о минералого-петрографических и литохимических характеристиках разреза позволили сделать некоторые выводы об условиях формирования морской толщи. Урдюкхайнская свита формировалась при относительно низких темпах седиментации вблизи пограничной зоны окислительно-восстановительных условий придонных вод. Базальные слои паксинской свиты отражают крайне низкие темпы седиментации и диокисные условия придонных вод. Вышележащая часть паксинской свиты формировалась при общем увеличении гидродинамической активности с постепенным увеличением доли обломочной примеси и нарастающей доли кислорода в придонных водах.

Список литературы

1. Никитенко Б. Л., Шурыгин Б. Л., Князев В. Г., Меледина С. В., Дзюба О. С., Лебедева Н. К., Пещевицкая Е. Б., Глинских Л. А., Горячева А. А., Хафаева С. Н. Стратиграфия юры и мела Анабарского района (Арктическая Сибирь, побережье моря Лаптевых) и бореальный зональный стандарт // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1047–1082.
2. Мельников К. К., Попов А. Ю. Состав и строение верхнеюрско-нижнемеловых отложений п-ова Нордвик (север Средней Сибири) // Науки о Земле. Современное состояние: Мат. VI Всерос. молодежной науч.-практ. школы-конф. Геологический полигон «Шира», Республика Хакасия, Россия. 30 июля – 5 августа 2023 г. С. 107–109.
3. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 2011. 742 с.
4. Nance W. B., Taylor S. R. Rare earth element patterns and crustal evolution—I. Australian post-Archean sedimentary rocks // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1976. Т. 40. № 12. С. 1539–1551.
5. Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 715–717.
6. Никитенко Б. Л., Пещевицкая Е. Б., Каширцев В. А., Фурсенко Е. А., Попов А. Ю., Хафаева С. Н., Брагин В. Ю. Микрофоссилии, высокоразрешающая стратиграфия, геохимия и литология верхней юры и нижнего мела (урдюкхайнская и паксинская свиты) п-ова Нордвик, Анабарский залив, море Лаптевых // Геология и геофизика, 2023. Т. 64. № 11. С. 1586–1615.

УДК 551.583

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОСАДКОВ ОЗЕРА КАНДРЫКУЛЬ (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)*

Д. И. Муликова, А. Р. Юсупова

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казань*

Известно, что донные отложения озер являются носителем информации об изменениях условий окружающей среды. Проведение комплексных исследований непрерывных кернов осадков озер позволяет провести реконструкцию изменения климата в позднечетвертичное время.

Проведено комплексное исследование осадков озера Кандрыкуль, поскольку обзор уже выполненных региональных исследований показывает, что проведение детальных исследований позволит дополнить и расширить палеоклиматические данные в изучаемом районе.

Озеро расположено в пределах лесостепной зоны Башкортостана (Туймазинский район). Площадь зеркала составляет 15,6 км², средняя длина 6,5 км (максимальная – 8,1 км), средняя ширина озера – 2,4 км, средняя глубина – 7,2 м (максимальная – 15,6 м), площадь водосбора – 67,1 км². Озеро Кандрыкуль имеет карстово-провальное происхождение, котловина об-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-47-08001).

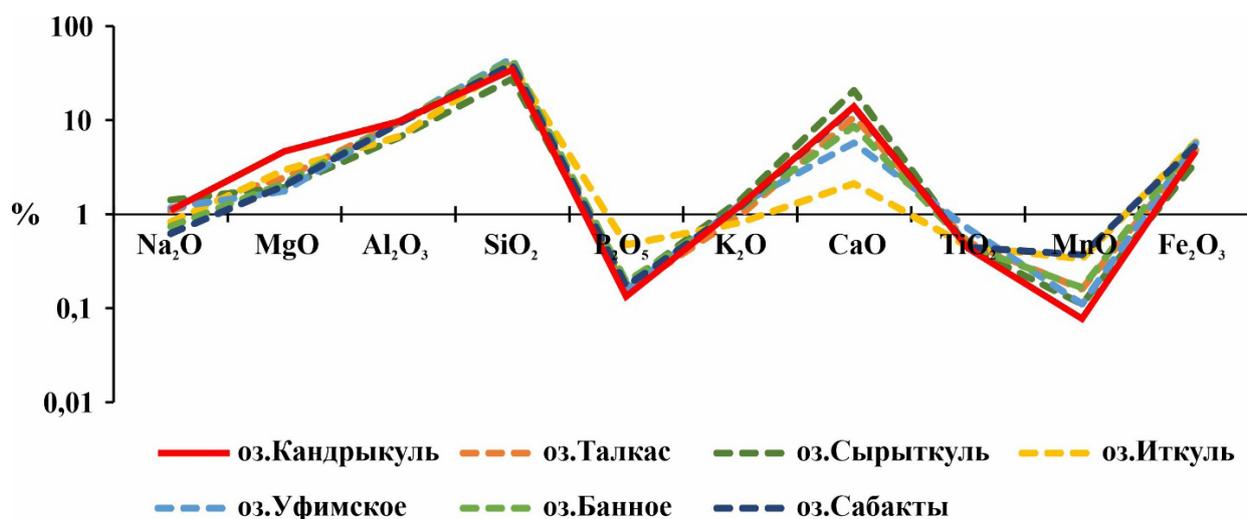
© Д. И. Муликова, А. Р. Юсупова, 2024

разовалась в карстующихся карбонатных и сульфатных породах кунгурского яруса, который перекрыт терригенными отложениями уфимского яруса верхней перми [1].

Всего на акватории озера было отобраны 4 длинные керновые колонки. На основе предварительных сейсмоакустических исследований, а также первичного литологического описания для детальных исследований была выбрана керновая колонка №3 (54°29'42,5" N; 54°03'26,5" E). Мощность изученной колонки – 5,24 м, шаг отбора составил 2 см.

Комплексный анализ включал в себя измерение: магнитной восприимчивости (МВ), коэрцитивную спектрометрию, гранулометрический анализ, а также определение химического и минерального состава.

Измерение магнитной восприимчивости (МВ) проведено на приборе каппа-мост MFK1-FA (фирмы AGICO). Для определения гистерезисных характеристик изучаемых осадочных отложений использовался коэрцитивный спектрометр J_meter [2, 3]. В автоматическом режиме для образцов были получены кривые нормального остаточного намагничивания при непрерывном росте внешнего магнитного поля до 1,5 Тл. Полные петли гистерезиса получены одновременно по остаточной и индуктивной намагниченностям. По кривым нормального намагничивания был определен вклад в магнитную составляющую осадка различных компонент озерных отложений: ферромагнитной, диа-/парамагнитной и суперпарамагнитной (k_{super}) [4]. Гранулометрический анализ проводился методом лазерной гранулометрии с использованием анализатора размера частиц Bluewave (Microtrac, США), совмещенного с системой загрузки и циркуляции пробы с интегрированным ультразвуковым диспергатором. Пробоподготовка проводилась согласно [5]. Для определения литологических разностей использована классификация нелитифицированных осадков по [6]. С целью определения минерального состава осадочных отложений был проведен рентгенодифракционный анализ, который проводился при помощи рентгеновского дифрактометра D2 PHASER. Сканирующая электронная микроскопия проводилась при помощи автоэмиссионного сканирующего электронного микроскопа Merlin компании Carl Zeiss (Германия), оснащенного детектором элементного анализа Aztec X-MAX. Элементный состав осадков был изучен при помощи рентгенофлуоресцентного спектрометра Bruker S8 Tiger.



Сравнение содержания главных оксидов в озере Кандрыкуль и озерах Южного Урала [6, 8, 9]

Установлено, что значения МВ изменяются в диапазоне $(0,54 \cdot 10^{-7} - 21,94 \cdot 10^{-7}) \text{ м}^3/\text{кг}$. Значения парамагнитной компоненты изменяются от $3,31 \cdot 10^{-5}$ до $7,72 \cdot 10^{-5}$, ферромагнитной –

от $1,59 \cdot 10^{-5}$ до $156,93 \cdot 10^{-5}$ и суперпарамагнитной – от $0,03 \cdot 10^{-5}$ до $2,45 \cdot 10^{-5}$. По разрезу устанавливается преобладание алевритовой фракции. Аллотигенные минералы представлены кварцем, хлоритом, каолинитом, альбитом, слюдами. Карбонатные минералы представлены кальцитом, арагонитом и доломитом. Содержание пирита незначительно (1–2 %). Также в изучаемых осадках установлено присутствие гипса. Полученный химический состав осадков озера Кандрыкуль был сопоставлен с данными по озерам Среднего и Южного Урала [7–9] (см. рисунок).

Установлено, что осадки озера Кандрыкуль более обогащены Mg, что, вероятно, связано с содержанием аутигенного доломита в отложениях, и обеднены Mn по сравнению с осадками озер Южного Урала, что может быть связано с распространением озер в магматических и метаморфических комплексах по сравнению с озером Кандрыкуль, имеющего приуроченность к терригенным осадочным породам.

Список литературы

1. Гареев А. М. Кандрыкуль. Башкирская энциклопедия. Т. 3. Уфа: Башк. энцикл. 2007. 304 с.
2. Буров Б. В., Нургалиев Д. К., Ясонов П. Г. Палеомагнитный анализ. Казань: КГУ, 1986. 166 с.
3. Нургалиев Д. К., Ясонов П. Г. Патент на полезную модель «Коэрцитивный спектрометр» №81805. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 27 марта 2009 г.
4. Kosareva L. R., Nourgaliev D. K., Kuzina D. M. et al. Ferromagnetic, dia/paramagnetic and superperamagnetic components of Aral Sea sediments: significance for environmental reconstruction // ARPN J. Earth Sci, 2015. Vol. 4. No. 1. P. 1–6.
5. Пробоотбор и пробоподготовка образцов почв к рентгенографическому фазовому анализу. Казань: Изд-во КГУ. 2007. С. 14–17.
6. Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород (с основами методики исследования). М.: Высш. шк. 1984. 416 с.
7. Масленикова А. В., В Удачин. Н., Дерягин В. В. Палеоэкология и геохимия озерной седиментации голоцена Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН. 2014. 136 с.
8. Юсупова А. Р. Литологические особенности и условия осадконакопления плейстоцен-голоценовых донных отложений озер Банное и Сабакты, Южный Урал: Дис. ... канд. геол.-минер. наук. Казань: КФУ, 2023.
9. Юсупова А. Р., Нургалиева Н. Г., Кузина Д. М., Рогов А. М., Нигаматзянова Г. Р. Литологические особенности донных отложений озера Банное (Южный Урал) как индикатор изменений природной среды и климата голоцена // Литосфера. 2024. Т. 24. №1. С. 173–194.

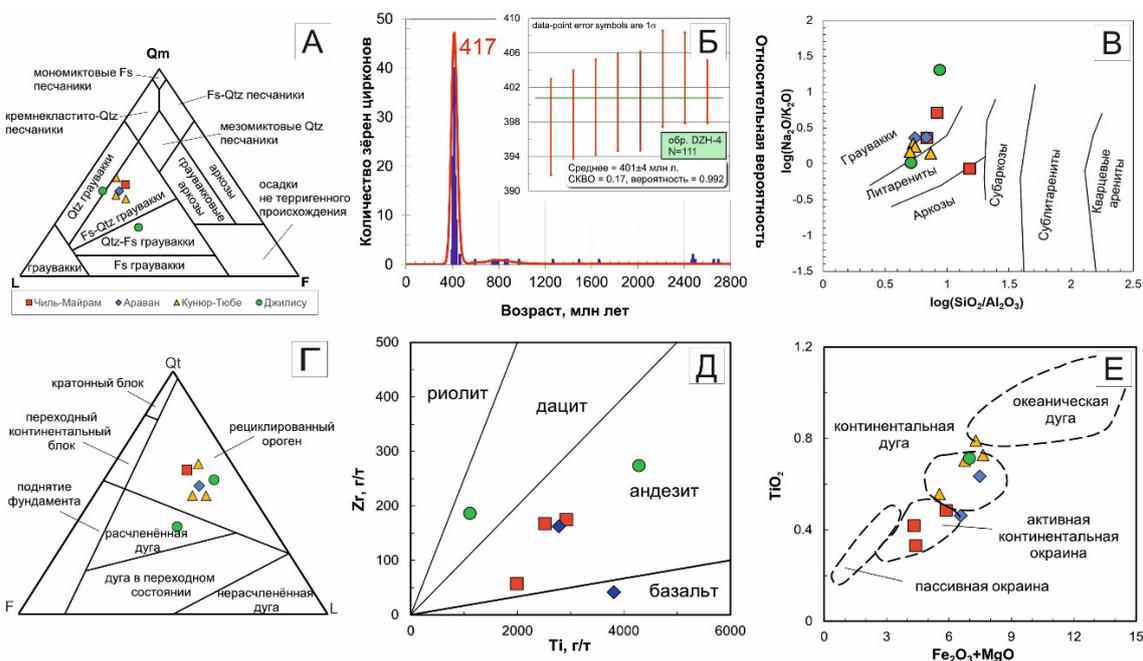
УДК 552.514

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ, СОСТАВ И ВОЗРАСТ СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД АЛАЙСКОГО ХРЕБТА (ЮЖНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)*

К. В. Оганян, И. Ю. Сафонова, А. А. Перфилова

*Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН,
Новосибирск*

Изучение обломочных пород в составе орогенов тихоокеанского типа играет важную роль для реконструкции тектонических событий и построения геодинамических моделей. Комплексные петрографические, изотопно-геохимические и геохронологические исследования позволяют определить состав, возраст и обстановку образования исходных магматических пород в области сноса. **Целью работы** является изучение среднепалеозойских обломочных пород Алайского хребта, относящихся к структуре аккреционного комплекса. **Регион исследования** находится в пределах Южного Тянь-Шаня (ЮТШ), расположенного в юго-западной части Центрально-Азиатского складчатого пояса. ЮТШ состоит из блоков докембрийской коры, палеозойских терригенных, вулканических и карбонатных пород, а также фрагментов офиолитов. Структура ЮТШ сформирована в конце палеозоя при сближении Казахстанского и Таримского континентов [1].



А — классификационный треугольник Qm-F-L для песчаников по [2], Б — гистограмма U-Pb-возрастов с кривой распределения и диаграмма определения нижней границы осадконакопления для песчаника каиндинской свиты, В — классификационная диаграмма для осадочных пород по [3], Г — классификационный треугольник Qt-F-L по [4], Д — дискриминантная диаграмма Ti-Zr по [5], Е — дискриминантная диаграмма $(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})$ -TiO₂ по [6]

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-77-20022).
© К. В. Оганян, И. Ю. Сафонова, А. А. Перфилова, 2024

Обломочные породы Алайского хребта, отобранные из силурийских и девонских толщ и свит, находятся в ассоциации с кремнистыми аргиллитами и алевролитами, реже с известняками, на некоторых участках входят в состав турбидитовой ассоциации. По результатам петрографического изучения определено, что плохо сортированные породы представлены полевошпат-кварцевыми, в меньшей степени кварцевыми и кварц-полевошпатовыми граувакками (см. рисунок, А), сложенными угловатыми и полуокатанными фрагментами обломков пород, полевых шпатов и кварца.

U-Pb-датирование обломочных цирконов из среднезернистого песчаника каиндинской свиты (S-D1) показало унимодальный характер спектра распределения цирконов с пиком магматизма на 417 млн лет (ранний девон) и единичными докембрийскими возрастными (10 % от общей выборки) (см. рисунок, Б). Нижняя граница осадконакопления определена по средневзвешенному значению восьми самых молодых зерен цирконов и соответствует 401 млн лет (эмский ярус раннего девона) (см. рисунок, Б).

Для большинства изученных песчаников отмечается повышенное содержание кремнезема (72–80 мас.%). Часть образцов характеризуется содержанием $MgO > 3$ мас.%, что предполагает вклад мафических пород. По величинам химических индексов CIA (40–65), ICV (1,9–3) и основным петрохимическим модулям ($AM < 0,20$, $TM < 0,06$) определено, что песчаники являются незрелыми осадками, а в их источнике сноса преобладали слабо выветрелые породы. На геохимической классификационной диаграмме [3] точки составов попадают в область граувакк (см. рисунок, В). На редкоземельных спектрах отмечается отрицательная Eu-аномалия, характерная также и для постархейских глинистых сланцев (PAAS), а на мультиэлементных спектрах – отрицательные аномалии по Ta, Nb и Ti ($(Ta/Th)_{PM} = 0,14–0,21$, $(Nb/La)_{PM} = 0,26–0,49$), характерные для надсубдукционных магматических пород.

По результатам изотопных исследований установлено отрицательное значение $\epsilon Nd(T) = -7$ с модельным возрастом $T_{DM} = 1681$ млн лет, что указывает на обогащенный источник протолита для магматических пород в области сноса. Согласно петрографическому треугольнику [4], отражающему тектонические обстановки области сноса, определено, что изученные породы образовались преимущественно при размыве рециклированного орогена и, в меньшей степени, расчлененной (зрелой) дуги (см. рисунок, Г). На основе геохимических дискриминантных диаграмм установлено, что для изученных граувакк исходными породами в области сноса являются андезиты, в меньшей степени – дациты и базальты (см. рисунок, Д), образованные в обстановках континентальных дуг или активных континентальных окраин (см. рисунок, Е).

Список литературы

1. Бискэ Г. С. Палеозойская структура и история Южного Тянь-Шаня. СПб.: Издательство С.-Петербургского ун-та, 1996. 192 с.
2. Шутов В. Д. Классификация песчаников // Литология и полезные ископаемые, 1967. № 5. С. 86–102.
3. Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever R. Sand and sandstone. Springer, Berlin Heidelberg New York, 1972. 553 p.
4. Dickinson W. R., Beard L. S., Brakenridge G. R., Erjavec J. L., Ferguson R. C., Inman K. F., Knepp R. A., Lindberg F. A., Ryberg P. T. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting // The Geological Society of America Bulletin, 1983. V. 94. № 2. Pp. 333–361.

5. Roser B. P., Korsch R. J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data // *Chemical geology*, 1988. V. 67. № 1–2. Pp. 119–139.

6. Bhatia M. R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // *The Journal of Geology*, 1983. V. 91. № 6. Pp. 611–627.

УДК 552.52:551.763.1(571.54/.55)

ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

В. А. Тимофеева

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Обнажение Миддендорфа расположено в Монголо-Охотской складчато-надвиговой системе, Уртуйском терейне, который является частью раннекарбонового задугового бассейна. Закрытие Монголо-Охотского океана происходило неравномерно, начавшись в западной части в конце карбона – перми, достигло центральных областей (Восточное Забайкалье) в середине юры и завершилось на востоке (Приморье) только в раннем мелу, кинематика этого процесса напоминает «ножницы» [1]. В результате левого сдвига Сибирского кратона при закрытии Монголо-Охотского океана в поздней юре и раннем мелу территория Забайкалья была вовлечена в развитие рифтогенных структур, сопровождающееся бимодальным вулканизмом. Рифтовые бассейны затрагивают огромную территорию, охватывающую южную окраину Байкало-Витимского террейна, Забайкалье Монголо-Охотского пояса, Южную Монголию и Северный Китай [2].

Открытие в Северо-Восточном Китае формации Исянь провинции Ляонин ископаемых биоты Джахол уникальной сохранности – птерозавров, оперенных динозавров, млекопитающих – породили новую волну интереса к тургинскому горизонту. В обнажении Миддендорфа рыбы (*Lycoptera middendorfi*) и конхостраки (*Eosestheria middendorfi*), составляющие ядро биоты Джахол, обладают высокой степенью сохранности, что позволяет рассматривать обнажение в качестве консервационного лагерштетта.

Для нижнего мела Восточного Забайкалья на основании различных групп пресноводной фауны и флоры выделяют лишь два стратиграфических горизонта: тургинский (берриас – середина апта) и кутинский (середина апта – начало альба). Разрез тургинской свиты в Тургино-Харанорской впадине является стратотипическим для тургинского горизонта [3]. Тургинская свита в Юго-Восточном Забайкалье в изолированных впадинах несогласно залегает на разновозрастных отложениях и с угловым несогласием (реже согласно) перекрывается кутинской и ножийской свитой. По последним данным тургинская свита имеет возраст конец баррема – начало апта [4]. Свита объединяет разнофациальные континентальные образования, представленные двумя типами разрезов. В одних впадинах преобладают осадочные и туфогенно-осадочные, в других значительную часть образований составляют вулканиды контрастной трахибазальт-трахириолитовой ассоциации [5].

В результате полевых исследований лаборатории палеонтологии и стратиграфии мезозоя и кайнозоя ИНГГ СО РАН в 2022 г. разрез обнажения Миддендорфа был вскрыт пятью канавами: первые две вскрывают нижнюю часть разреза, третья, четвертая и пятая – верхнюю. Из каждой вскрытой части разреза были отобраны образцы на петрографический анализ и геохимический анализ (РФА).

Петрографические исследования показали, что все образцы сложены мелкопелитовыми существенно гидрослюдистыми аргиллитами с синхронным погасанием частиц с равномерной, неравномерной или с концентрированной в определенном слое терригенной примесью. Обломки от мелкоалевритовой до крупнопесчаной размерности, в основном, слабо окатанные и угловатые, представлены кварцем и полевым шпатом. Выделяется три преобладающих типа микротекстуры.

1. Неясно слоистая текстура, сложенная ориентированными по напластованию пелитовыми частицами, с параллельным погасанием. Слоистость подчеркивается протяженными скоплением растительного детрита, остатками фауны, рыбным костным скелетом, которые концентрируются по слою. Проследить отдельные слойки невозможно, это может свидетельствовать о том, что в период формирования отложений в озере не было явно выраженных сезонных колебаний влажности и температуры.

2. Тонкая горизонтальная ритмичная слоистость характерна для 8 из 12 образцов, представлена чередованием более мощных светло-палевых (до 0,7 мм) и более тонких палевато-коричневых глинистых слойков, насыщенных органическим веществом и остатками фауны. Образование данной слоистости может происходить в результате сезонных колебаний влажности и/или температуры, а для ее сохранения необходимы спокойные гидродинамические условия, типичные для глубоководной или полуглубоководной озерной обстановки.

3. Градационная слоистость с прямой сортировкой материала от алевrolита до аргиллита наблюдается в 4 образцах из 12. Отличительной чертой данных прослоев являются эрозионные нижние границы, что может указывать на быстротечность образующих их процессов и характерно для отложений мутьевых потоков.

Также были выделены прослои толщиной от 3 мм до 3–5 см, сложенные измененным пирокластическим материалом с высоким содержанием гидроокислов железа. Граница с нижележащим слоем выраженная эрозионная, наблюдается черная кайма. Слой представляет собой градационную последовательность от крупноалевритовой до мелкопелитовой размерности. По результатам геохимических исследований в прослоях зафиксированы низкие значения алюмокремниевого модуля при высоких значениях гидролизатного модуля, что характерно при концентрации железистого вулканогенного материала в осадке [6]. Присутствие вулканогенных прослоев имеет важное значение для корреляции, так как мезозойские отложения расположены в многочисленных изолированных впадинах, что затрудняет их корреляцию.

Тонкая структура пород указывает на то, что рассматриваемые отложения формировались при значительном удалении от береговой линии. Отсутствие биотурбации, с учетом достаточно высокой эвтрофности озера, может указывать на дефицит кислорода в придонной воде, а отсутствие видимых следов хемогенного осадконакопления предполагает открытый гидрологический режим озера.

По имеющимся данным, наиболее вероятна гипотеза рифтогенного образования озерной котловины [7]. Для подтверждения теории необходимо более детальное изучение конгломератов, их границы с мелкообломочными породами, а также объяснить резкие перепады в скоростях осадконакопления.

Список литературы

1. Гордиенко И. В., Метелкин Д. В., Ветлужских Л. И. Строение Монголо-Охотского складчатого пояса и проблема выделения Амурского микроконтинента // Геология и геофизика, 2019. Т. 60. № 3. С. 318–341.
2. Jolivet M., Arzhannikov S., Chauvet A., Arzhannikova A., Vassallo R., Kulagina N. Akulova V., Accommodating large-scale intracontinental extension and compression in a single stress-field: A key example from the Baikal Rift System // Gondwana Research, 24, 2013. Pp. 918–935.
3. Решения 4-го межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию и фанерозою юга Дальнего Востока и Восточного Забайкалья (Хабаровск, 1990) / М. Т. Турбин, В. А. Бажанов, Г. В. Беляева, В. Ю. Забродин, Г. В. Роганов. Хабаровск, ХГГГП, 1994. 124 с.
4. Косенко И. Н., Пещевицкая Е. Б., Ефременко В. Д., Метелкин Е. К., Ян П. А., Родченко А. П., Никитенко Б. Л., Мирзабаев Д. А. Тургинский лагерштетт (обнажение Миддендорфа, Восточное Забайкалье, баррем-апт): стратиграфическое положение и палеообстановки // Геология и геофизика. 2023. Т. 64. № 11. С. 1628–1653.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Лист М50 – Борзя. Объяснительная записка // СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. 553 с. + 6 вкл. (Минприроды России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГУГП «Читагеол-съемка»).
6. Интерпретация геохимических данных: Учеб. пособие / И73 Е. В. Скляров и др. / Под ред. Е. В. Склярова. М: Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с.
7. Цеховский Ю. Г., Стукалова И. Е. Нижнемеловые озерные горючие сланцы в рифтовых впадинах Забайкалья и Монголии. Ст. 1. Строение разрезов, структурный и формационный анализы // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел Геологический. 2014. № 3. С. 53–62.



ГЕОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ НЕФТИ И ГАЗА

УДК 553.98

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ДОЮРСКИХ ОСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ

Г. В. Арапов

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

С начала 2000-х гг. на северо-востоке Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции в пределах Таймырского и Гыданского полуостровов проводятся геолого-геофизические работы, целью которых является уточнение геологического строения и перспектив нефтегазоносности как юрско-кайнозойского плитного чехла, так и его основания. С 2021 г. были пробурены две скважины – Лескинская-178 и Гыданская-118, впервые вскрывшие палеозойские отложения в фундаменте северо-восточной части Западно-Сибирской плиты (ЗСП). Данные, полученные по итогам исследования этих скважин, позволяют уточнить геологическое строение и перспективы нефтегазоносности фундамента плиты в пределах исследуемой территории.

Таким образом, для уточнения геологического строения территории были использованы результаты исследования двух скважин (Лескинская-178, Гыданская-118) и материалы сейсмопрофилирования МОГТ разных лет, общий объем которых составляет более 3 500 пог. км.

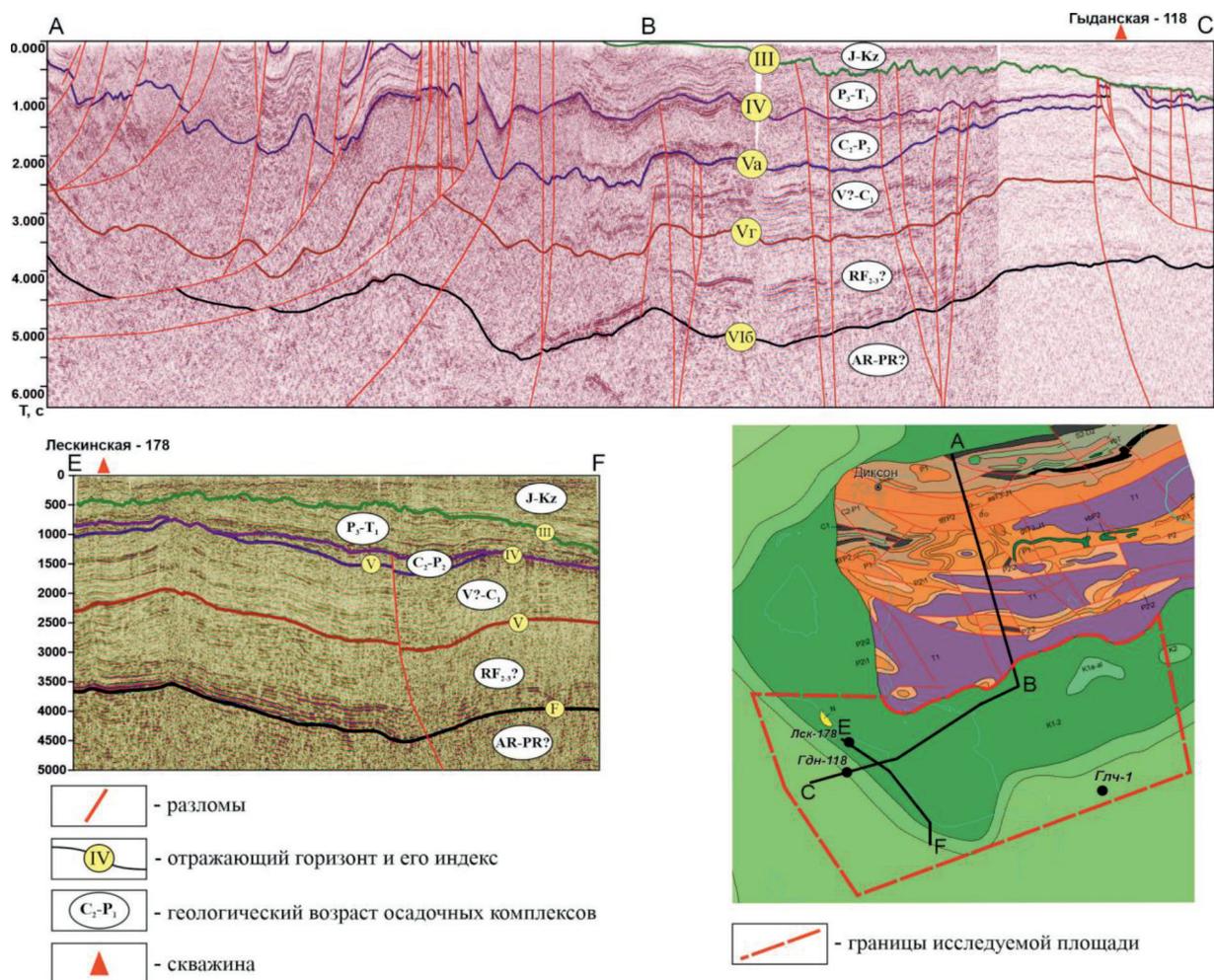
Материалы исследования скважин в совокупности с данными комплексных геолого-геофизических исследований позволили установить связь между осадочными комплексами, залегающими под юрско-кайнозойским чехлом ЗСП, и вулканогенно-осадочными доюрскими образованиями, обнаженными в западной части Таймырской складчатой области.

В результате интерпретации сейсмических данных в доюрской части разреза было выделено пять сейсмических комплексов, которым, согласно материалам геолого-геофизических исследований в скважинах и геологических съемок на п-ве Таймыр, соответствуют 5 разновозрастных осадочных комплексов (см. рисунок): фундамент (AR-PR?), средне-верхнерифейский(?) (RF2-3?), венд(?)-нижнекаменноугольный (V?-C1), среднекаменноугольно-среднепермский (C2-P2), верхнепермско-нижнетриасовый (P3-T1). Комплексы отличаются условиями образования и имеют характерные черты, проявляющиеся на сейсмических профилях в виде резко отличающихся по форме и расположению осей синфазности отражений. Границами осадочных комплексов являются несогласные сейсмические границы, наиболее

значимые из которых связаны с региональными тектоническими перестройками и перерывами осадконакопления.

По каждому из выделенных осадочных комплексов построены сеточные модели карт изохрон, мощностей и структурных карт, на основе которых составлены обновленные структурно-тектоническая схема и модели поверхности доюрского основания ЗСП и поверхности рифей-палеозойских (дотрапповых) комплексов.

Согласно структурно-тектонической схеме, на исследуемой территории выделяются две структурно-тектонические зоны. В восточной зоне наблюдается продолжение структурного плана Таймырской складчатой области, для нее характерны чередование амплитудных структур северо-восточного простирания. В то же время в западной зоне, наоборот, отмечается относительно спокойное залегание комплексов и развитие структур северо-западного простирания.



Сейсмогеологические разрезы по композитному профилю АВС и профилю ЕФ

По совокупности данных, осадочные комплексы фундамента ЗСП, развитые в пределах исследуемой площади, имеют характерные черты осадочного чехла древней платформы, претерпевшего постседиментационную дислокацию вследствие тектонических движений герцинского и киммерийского времени, влияние которых наиболее проявлено в вышеупомянутой восточной структурно-тектонической зоне и Таймырской складчатой области.

В ходе исследований были также рассмотрены факторы и признаки потенциальной нефтегазоносности основания ЗСП, такие как наличие нефтегазоматеринских толщ, представленных силурийскими граптолитовыми сланцами и пермскими аргиллитами [1, 2], потенциальных коллекторов, представленных кавернозно-трещиноватыми доломитизированными карбонатами девона и терригенными отложениями пермского возраста [3], многочисленных положительных структур различного порядка, с которыми могут быть связаны зоны нефтегазонакопления, а также наличие дизъюнктивных нарушений различной кинематики, способствующих образованию тектонически экранированных ловушек.

Список литературы

1. Болдушевская Л. Н., Филиппов Ю. А., Ладыгин С. В., Романов А. П. Нефтегазоматеринские толщи палеозойского разреза Западного Таймыра и корреляционные связи: органическое вещество пород – нафтиды // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, 2012. № 4(12). С. 26–33.
2. Бакай Е. А., Морозов Н. В., Абля Э. А., Пронина Н. В., Фролов С. В., Полудеткина Е. Н., Манько И. Э., Тарасенко А. А. Силурийские граптолитовые сланцы зоны сочленения Гыданской и Енисей-Хатангской нефтегазоносных областей как возможный источник нефти и газа // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти, 2022. Т. 7. № 4. С. 94–108.
3. Букатова Е. М., Ужегова Ю. А., Погребнюк С. А., Федоров С. А., Вилесов А. П., Морозов Н. В., Перетолчин К. А., Грановский А. М. Перспективы нефтегазоносности ордовикско-каменноугольных отложений слабоизученной зоны Западного Таймыра в условиях ограниченных данных // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти, 2022. Т. 7, № 4. С. 28–39.

УДК 553.98

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМА ДИНАМИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ВРЕМЕННОЙ ШКАЛЫ НА ПРИМЕРЕ ЧКАЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ, ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

И. А. Барабаш

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Сегодня месторождения нефти и газа характеризуются все более сложными особенностями геологического строения. Рост объема данных, необходимых для геолого-геофизических исследований скоплений углеводородов, увеличивает время работы и затраты на трудоемкие ручные операции, в частности, связанные с интерпретацией сейсморазведочных данных. В связи с этим повышается значимость разработки методов и, в особенности, интегрирования этих методов в программные обеспечения, способствующие увеличению эффективности изучения геологических особенностей месторождений. Поэтому реализация метода сейсмостратиграфической привязки скважинных и сейсмических данных на основе алгоритма динамической трансформации временной шкалы (DTW) является актуальной задачей.

Чкаловское нефтегазоконденсатное месторождение в административном отношении расположено в Александровском районе Томской области, в тектоническом плане приурочено к одноименному локальному поднятию. По классификации запасов и ресурсов нефти и газа оно относится к классу мелких месторождений. По геологическому строению считается сложным в связи с выделением в его пределах двух основных продуктивных залежей, приуроченных к пласту Ю₁¹ васюганской свиты и пласту М₁, представленному карбонатно-глинистой толщей палеозойского возраста. Пласт Ю₁¹ является основным продуктивным пластом и основным объектом разработки месторождения. Данный пласт довольно хорошо выдержан и однороден по площади распространения. Нефтегазоматеринскими толщами на исследуемом регионе являются баженовская и тогурская свиты [1].

В юго-восточной части Западной Сибири, на временных разрезах в интервале верхней юры может быть выделено несколько отражающих горизонтов. В данной работе рассматриваются два: горизонт П^а – подошва баженовской свиты, регионально выдержанный репер, считающийся наиболее стабильным в регионе и горизонт, приуроченный к пласту углей У₁ верхневасюганской подсвиты, обладающий на территории исследований высокой энергетической выраженностью и представляющий существенный интерес для сейсмостратиграфической привязки.

Для увязки скважинных и сейсморазведочных данных в среде программирования Python было проведено одномерное моделирование по одной из скважин месторождения, заключающееся в создании синтетической сейсмотрассы по данным акустического (АК) и гамма-гамма плотностного каротажа (ГГК-П). По результатам вертикального сейсмопрофилирования был получен закон «время – глубина», который позволил сопоставить по оси времени синтетическую сейсмотрассу с интервалом сейсмотрассы, извлеченной из сейсмического 3D-куба.

Для более точной увязки данных был использован алгоритм динамической трансформации временной шкалы (DTW-алгоритм, Dynamic Time Warping), позволяющий найти оптимальное соответствие между временными последовательностями, сдвинутыми друг относительно друга по оси времени. Данный алгоритм находит расстояния между компонентами временных рядов, после чего рассчитывает минимальное оптимальное расстояние для каждого значения или путь трансформации, который необходимо преодолеть для сопоставления трасс (рис. 1).

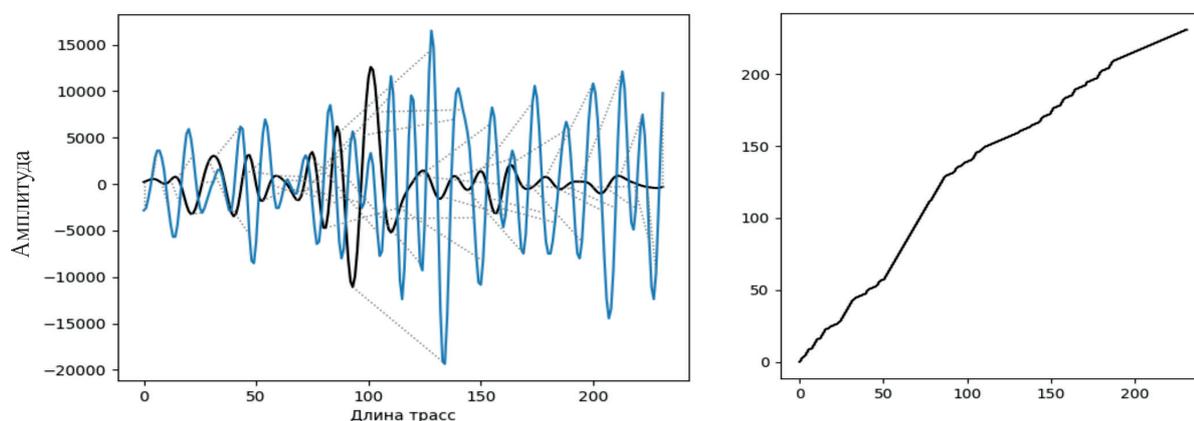


Рис. 1. Реализация DTW-алгоритма в среде программирования Python.

Слева – визуализация соответствия синтетической сейсмотрассы (черный цвет) с интервалом реальной сейсмотрассы (синий цвет). Справа – путь трансформации

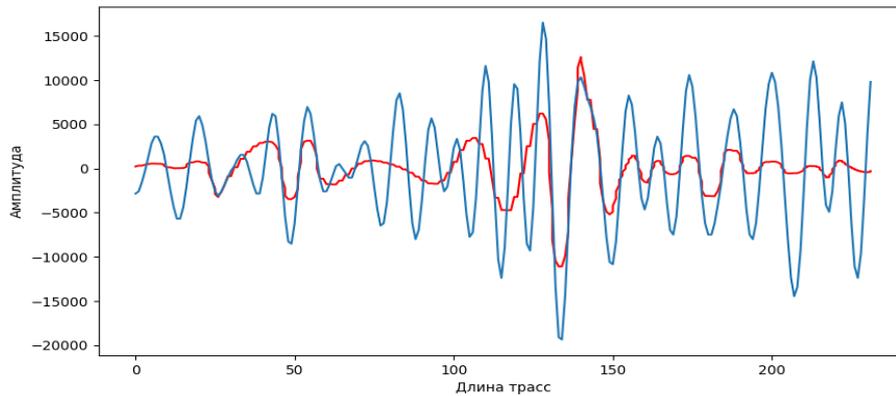


Рис. 2. Реализация DTW-алгоритма в среде программирования Python. Визуализация увязанной синтетической сейсмотрассы с интервалом реальной сейсмотрассы

В результате применения DTW-алгоритма была выполнена увязка синтетической сейсмотрассы с реальной (рис. 2), что позволило определить расположение реперных отражающих горизонтов на сейсмическом профиле.

Список литературы

1. Конторович В. А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири // Новосибирск: СО РАН, филиал «ГЕО», 2002. 253 с.

УДК 511.763.1:553.98(571.121/.511)

МОДЕЛЬ СТРОЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ПОКРОВНОГО ПОДКОМПЛЕКСА НЕОКОМСКОГО НГК ГЫДАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА*

В. Н. Бардачевский

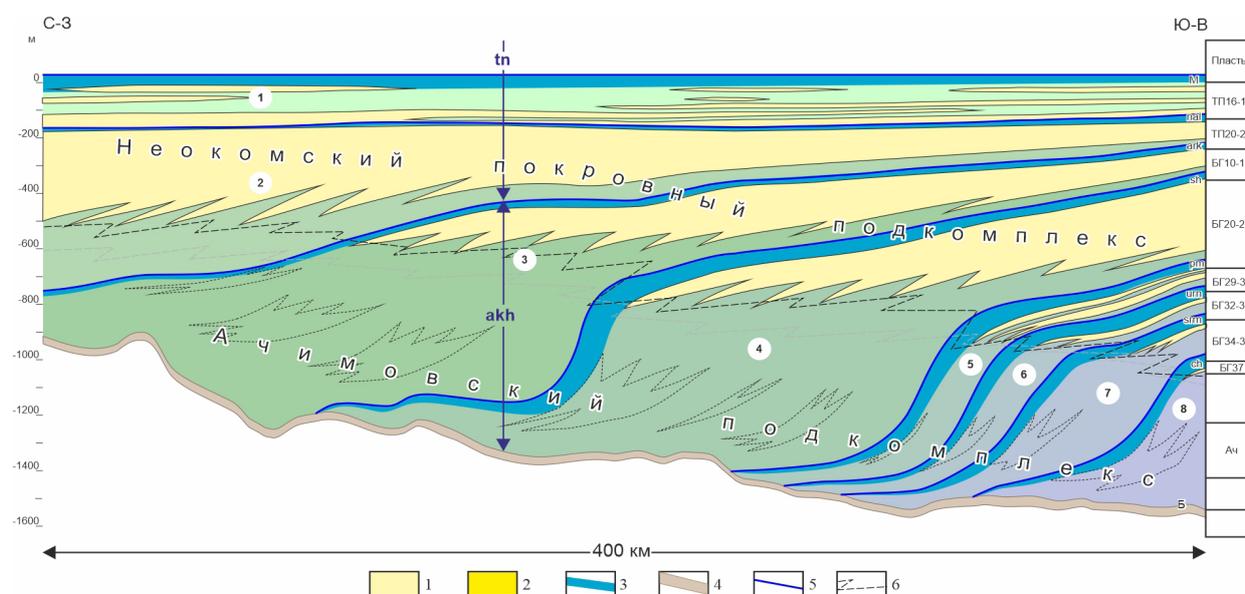
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

Добыча углеводородов (УВ) в Арктической зоне России имеет в настоящее время огромное значение, где одним из наиболее перспективных регионов является Гыданский полуостров. На данный момент в его пределах уже открыты крупные месторождения углеводородов в юрских и меловых отложениях, например, Салмановское (Утреннее), Геофизическое, Антипаютинское и другие. Однако из-за удаленности и труднодоступности этих мест изученность бурением остается очень низкой. На территории исследования основные перспективы добычи УВ связывают с крупным неокомским нефтегазоносным комплексом (НГК), в котором широ-

* Исследование выполнено в рамках научной темы № FWZZ-2022-0009 Государственной программы фундаментальных научных исследований.

© В. Н. Бардачевский, 2024

кое распространение получили неантиклинальные ловушки. Первая его особенность – клиноформное строение разреза, причиной которого послужило боковое заполнение относительно глубоководного бассейна в результате лавинной седиментации. Вторая особенность НГК заключается в формировании двух уровней песчаных тел-коллекторов, один из которых связан с покровными пластами мелководно-морского, прибрежно-морского и континентального генезиса (неокомский покровный подкомплекс), второй – с линзовидными телами глубоководных конусов выноса (ачимовский клиноформный подкомплекс) [1] (см. рисунок).



Резервуары берриас-нижнеаптских отложений Гыданского полуострова:

1–2 – песчаные пласты: 1 – мелководно- и прибрежно-морские, 2 – относительно глубоководные (конусы выноса); 3 – региональные флюидоупоры; 4 – баженовская свита и ее возрастные аналоги; 5 – границы региональных резервуаров; 6 – условная граница между неокомским покровным и ачимовским подкомплексом. Свиты: akh – ахская, tn – танопчинская. Резервуары: 1 – поднейтинский; 2 – подалымский; 3 – подарктический; 4 – подсеяхинский; 5 – подпимский; 6 – подуренгойский; 7 – подсармановский; 8 – подчеуский. Пачки: М – нейтинская (кошайская), nal – нижнеалымская, ark – арктическая, sh – сеяхинская, pm – пимская, urn – уренгойская, srm – сармановская, ch – чеускинская

На Гыданском полуострове основные залежи углеводородов выявлены в покровном подкомплексе неокомского НГК. Под «резервуарами» в неокомском НГК Западной Сибири понимается совокупность песчаных тел-коллекторов покровных пластов одной клиноформы и региональных глинистых пачек вышележащих клиноформ, которые сформировались в периоды трансгрессий при относительном подъеме уровня моря и значительном удалении береговой линии [2]. Пачки имеют собственные названия и большинство из них в настоящее время закреплены в стратиграфической схеме берриас-нижнеаптских отложений Западной Сибири. Толщина пачек в пределах прибрежной и мелководной частях бассейна может достигать 100 м. Песчаные пласты покровного подкомплекса, сформировавшиеся в более активной гидродинамической обстановке, которая способствовала сортировке материала и выносу глинистых частиц в глубь бассейна, обладают лучшими коллекторскими свойствами, чем песчаники, которые сформировались в глубоководных обстановках [3].

В результате проведенных исследований в неокомском покровном подкомплексе на территории Гыданского полуострова автором было выделено и зартировано восемь продуктивных

региональных резервуаров валанжин-раннеаптского возраста: подчеуский (пласт БГ₃₇), подсармановский (пласты БГ₃₄–БГ₃₆), подуренгойский (пласты БГ₃₂–БГ₃₃), подпимский (пласты БГ₂₉–БГ₃₁), подсеяхинский (пласты БГ₂₀–БГ₂₈), подарктический (пласты БГ₁₀–БГ₁₉), подальмский (пласты ТП₂₀–ТП₂₆) и поднейтинский (пласты ТП₁₆–ТП₁₉), изученность бурением которых увеличивается вверх по разрезу. Нижние резервуары (до подпимского включительно) имеют слабую изученность бурением из-за труднодоступности территории и глубокого залегания в центральных и юго-восточных частях Гыданского полуострова. Тем не менее эти резервуары считаются перспективными, что подтверждается открытием в 2020 г. на юго-востоке Гыданского полуострова Новоогненного месторождения с залежами в пластах подчеуского и подсармановского резервуаров. В верхних резервуарах (подсеяхинский, подарктический, подальмский, поднейтинский), изученность которых выше, сосредоточены основные запасы углеводородов неокомского НГК исследуемого района. Залежи газоконденсата и газа открыты на Салмановском, Гыданском, Ладертойском, Геофизическом, Солетском и Ханавейском, а также Трёхбугорном месторождениях. Нефтяные залежи выявлены только на Геофизическом в поднейтинском резервуаре.

Список литературы

1. Бардачевский В. Н. Строение региональных резервуаров ачимовского нефтегазоносного комплекса Гыданского полуострова // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2021. Т. 16. № 4. 22 с. https://www.ngtp.ru/upload/iblock/ea7/34_2021.pdf
2. Ершов С. В. Закономерности размещения залежей углеводородов в берриас-нижнеаптских отложениях северных районов Западно-Сибирского осадочного бассейна // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2019. Т. 14. № 4, 26 с. https://www.ngtp.ru/upload/iblock/974/38_2019.pdf
3. Казаненков В. А., Ершов С. В., Рыжкова С. В., Борисов Е. В., Пономарева Е. В., Попова Н. И., Шапорина М. Н. Геологическое строение и нефтегазоносность региональных резервуаров юры и мела в Карско-Ямальском регионе и прогноз распределения в них ресурсов углеводородов // Геология нефти и газа, 2014. № 1. С. 27–49.

УДК 552.5, 550.84

АНАЛИЗ МИКРОСНИМКОВ РАЗНЫХ УРОВНЕЙ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ (ЗАОЗЕРНАЯ СКВАЖИНА 1, ХМАО – ЮГРА)

А. А. Ваганова^{1,2}, А. Д. Дюкова¹

¹ *Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт, Москва*

² *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

Актуальность работы. Ханты-Мансийский автономный округ – Югра является одним из наиболее перспективных регионов нефтегазодобычи Западной Сибири. Невыдержанность пластов коллекторов является причиной их неполной изученности, что требует применения комплексного подхода для изучения коллекторских свойств.

Объект исследования – отложения тюменской свиты (J_{2b-bt}) Заозерной скважины, расположенной в Карабашской нефтегазоперспективной поисковой зоне, тектонически приуроченной к Западно-Сибирской геосинеклизе, Фроловскому геоблоку [1].

Отобрано 27 образцов для петрографических исследований и анализа цифровых изображений [2], полученных методами оптической и растровой микроскопии. Особое внимание уделялось исследованию емкостного пространства, выделено три типа: межзерновые, внутризерновые поры (см. рисунок, А) и микропоры (см. рисунок, Б, В).

Под межзерновой пористостью предполагается первичная пористость, образующаяся между зернами осадочной породы, морфология и объем которой определяются взаиморасположением пород зерен и цемента. Внутризерновая пористость образуется в результате выщелачивания – химического процесса, при котором минералы реагируют с щелочными или кислотными растворами, что приводит к разрушению и растворению минералов (в образцах приурочена к обломкам полевых шпатов). Под микропористостью подразумеваются межагрегатные поры размером менее 0,01 мм, в том числе в аргиллите и между пачками аутигенного каолинита, слагающего цементирующую часть в песчаниках.

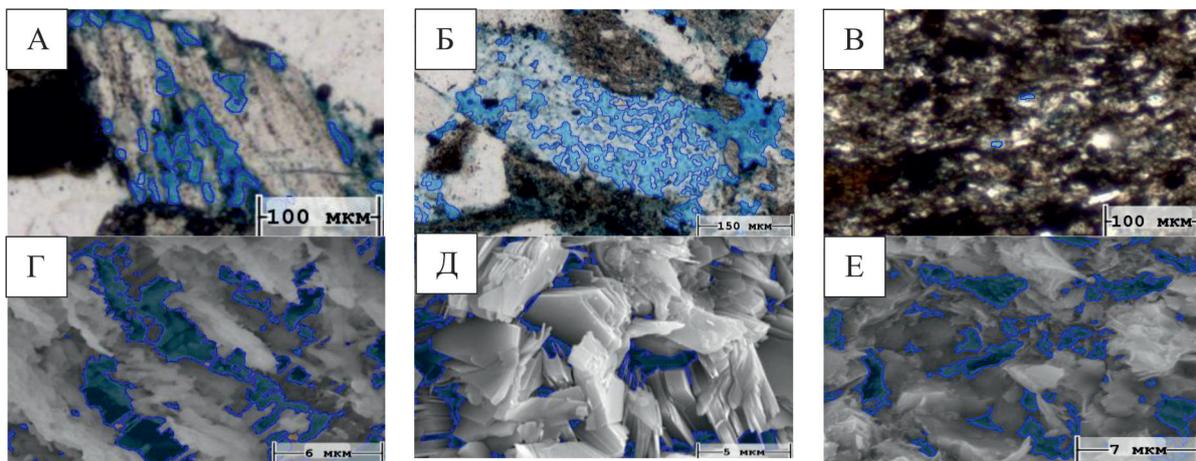
Двадцать исследуемых образцов представлены песчаниками мезомиктово-кварцевыми, единично полевошпатово-кварцевыми, от мелко-тонкозернистых до средне-мелкозернистых с глинистым (от 13 до 40 %), в том числе каолиновым, гидрослюдистым цементом. Относительная доля межзерновой пористости в объеме пустотного пространства варьирует от 2 до 91 %, внутризерновой – от 0,7 до 86 %, микропористости – от 2 до 48 % [3]. Три образца – алевролиты мелко-крупнозернистые песчаные с глинистым каолиновым, гидрослюдистым цементом (в количестве 20–24 %). Относительная доля межзерновых пор – 30–39 %, внутризерновых – до 18 %, микропор – до 52 %. Для рассмотрения микропористости выбрано 4 образца аргиллитов гидрослюдистого и каолинового состава (количество глинистого вещества – 50–69 %). Относительная доля микропор – 53–81 %, межзерновых и внутризерновых пор – до 47 %.

Оптическая микроскопия имеет более низкую разрешающую способность по сравнению с растровой электронной микроскопией (РЭМ) из-за физических ограничений, связанных с дифракцией света, в частности, возникают затруднения в идентификации отдельных микропор и участков их развития. В РЭМ, в свою очередь, используется пучок электронов, что позволяет достичь значительно большей разрешающей способности за счет кратной меньшей длины волны электронов по сравнению со светом.

Анализ микроизображений, полученных методом РЭМ, позволил оценить морфологические характеристики каждой пустоты (размер, периметр, площадь, фактор изрезанности и удлинения). В результате исследований установлено, что доля внутризерновых пор (см. рисунок, Г) составляет от 6,0 до 10,7 %. Для данного типа пор характерны относительно крупные размеры (0,1–4,4 мкм), площадь (0,01–42,5 мкм²) и периметр (0,3–94,5 мкм). Фактор изрезанности имеет большие значения (стремится к единице – 0,913), что объясняется особенностью процесса выщелачивания зерен: часть материала растворяется, а другая – остается в виде фрагментов зерна внутри поры, образуя сложное внутреннее строение, напоминающее «арматуру» или перекрестно-связанные элементы [4]. Микропористость в каолиновом цементе составляет 4–7 % (см. рисунок, Д). Микропоры имеют малый размер (0,08–0,36 мкм), площадь (0,01–13 мкм²), периметр (0,25–30,5 мкм), более ровные контуры (фактор изрезанности до 0,8), изометричные формы (фактор удлинения – 0,5), обусловленные особенностью строения кристаллической решетки каолинита – алюминийевые атомы обладают относительно малым размером и ионным радиусом, что позволяет им плотно упаковываться в слое [5]. Это способствует образованию плотных и ровных структур в микропорах. Доля микропористо-

сти в аргиллите несколько выше – достигает 9,3 % (см. рисунок, Е). Микропоры в аргиллите имеют схожий размер (0,12–0,43 мкм) с микропорами в аутигенном каолиновом цементе обломочных пород, но более вытянутую форму (фактор удлинения – 0,6), что обусловлено морфологическими особенностями чешуек глинистых минералов аргиллита.

Оптический микроскоп предоставляет относительную простоту использования, возможность анализа структуры пор, их типизации в отдельной плоскости среза горной породы (в шлифе), при разрешающей способности до 500х. РЭМ обладает более высоким, тысячекратным, разрешением, позволяет исследовать как шлиф, так и скол породы с возможностью более детального исследования морфологических особенностей структурных и емкостных параметров породы. Методы микроскопии дополняют друг друга и позволяют более комплексно исследовать особенности пород-коллекторов.



Фотографии шлифов (А–В) и образцов в РЭМ (Г–Е) с масками image-анализа:
 А, Г – внутризерновые поры; Б, Д – участки микропористости в каолиновом цементе;
 В, Е – микропористость в аргиллите

Список литературы

1. Тектоническая карта центральной части Западно-Сибирской плиты. Масштаб 1:2 000 000 / Под ред. Шпильмана В.И., Змановского Н.И., Подсосовой Л.Л. // Тюмень: АУ «НАЦ РН им. В. И. Шпильмана», 1998.
2. Методика измерений размерных характеристик пустотного пространства в окрашенных петрографических шлифах методом оптической микроскопии // ООО «СИАМС», Екатеринбург, 2018. 17 с.
3. Ваганова А. А., Дюкова А. Д. Применение метода image-анализа для характеристики пустотного пространства тюменской свиты средней юры параметрической скв. Заозерная, 1 (ХМАО – Югра) / Разведка и охрана недр, 2023. Вып. 6. С. 66–77.
4. Коровина Т. А. Вторичные процессы в терригенных коллекторах Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Минеральные индикаторы литогенеза, Сыктывкар, 14–17 марта 2011 г.: Материалы Российского совещания с международным участием. С. 271–274.
5. Коробов А. Д. Аутигенное глинообразование как показатель нефтегазоносности осадочных пород Западной Сибири // I Российское рабочее совещание «Глины, глинистые минералы и слоистые материалы», Москва, ИГЕМ РАН, 2011. С. 134–136.

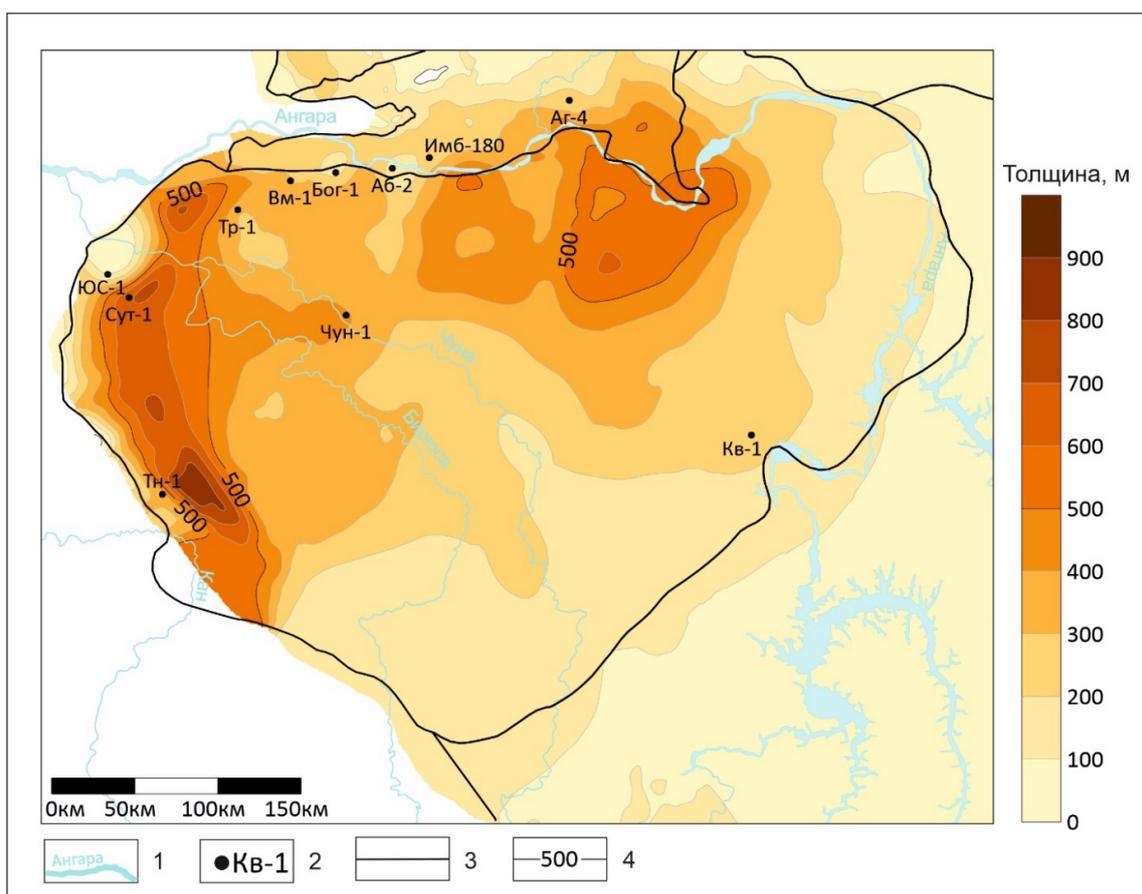
УДК 553.9

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ТЕРРИГЕННОГО ВЕНДА ПРИСАЯНО-ЕНИСЕЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

Э. С. Волгина

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Присяно-Енисейская синеклиза расположена в зоне с развитой транспортной и промышленной инфраструктурой, где проходят действующие нефтепроводы «Восточная Сибирь – Тихий океан» и «Куюмба – Тайшет». На соседних территориях (Ангаро-Ленская нефтегазоносная область (НГО), Нижнеангарский самостоятельный нефтегазоносный район (СНГР)) в настоящее время ведется достаточно активная разработка месторождений, поэтому изучение перспектив нефтегазоносности является на сегодняшний день важной и актуальной задачей. Присяно-Енисейская НГО расположена в юго-западной части Сибирской платформы на территориях Красноярского края и Иркутской области и входит в состав Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции.



Карта суммарных толщин песчаных пластов терригенного венда:

1 – реки; 2 – скважины; 3 – контуры нефтегазоносных областей; 4 – изопахиты суммарных толщин песчаных пластов терригенного венда

Осадочный чехол Присаяно-Енисейской синеклизы сложен в основном рифейскими, вендскими, кембрийскими и ордовикскими отложениями, мощность которых в центральной части достигает 8–10 км. Перспективы нефтегазоносности связаны с рифейским, вендским, верхневендским-нижнекембрийским и кембрийским нефтегазоносными комплексами [1].

В изучаемых отложениях терригенного венда в редколесной свите выделен одноименный песчаный пласт Рд-1, продуктивность которого доказана на Абаканском и Имбинском месторождениях. В мошаконской свите также выделяется продуктивный песчаный пласт Мш-1. В чистяковской свите продуктивны песчаные пласты Чс-1, Чс-2, Чс-3 на Абаканском месторождении. Эти пласты разделены локальными глинисто-доломитовыми экранирующими горизонтами. В алешинской свите выделяются песчаные пласты Ал-1, Ал-2, Ал-3 [2]. По данным интерпретации геофизических исследований скважин общая пористость всех песчаных пластов колеблется от первых долей до 10 %.

Наиболее перспективными районами на поиски углеводородов будут являться территории, где песчаные пласты имеют однородное строение, хорошую сортировку и окатанность песчаного материала. Такие зоны выделяются в тектонических районах Богучано-Манзинского выступа, Чуно-Бирюсинской седловины, Чуно-Бирюсинской и Усть-Илимской моноклиналях, а по фациальному районированию – в Ковинской и Имбинской зонах. Суммарная мощность продуктивных горизонтов в этих зонах изменяется от 100 до 400 м. Максимальные мощности фиксируются в Тасеевской и Агалеевской фациальных зонах и составляют более 500 м (см. рисунок).

В результате проведенных исследований были выделены перспективные зоны на поиски залежей углеводородов в вендских терригенных отложениях.

В первой зоне (Чуно-Бирюсинская и Усть-Илимская моноклинали) формирование залежей приурочено к юго-восточному борту Присаяно-Енисейской синеклизы и предположительно происходило в песчаных пластах чорской свиты преимущественно в структурных, структурно-литологических ловушках с возможным тектоническим экранированием.

Во второй зоне формирование залежей приурочено к Богучано-Манзинскому выступу и предположительно происходило в песчаных пластах редколесной свиты также преимущественно в структурных, структурно-литологических ловушках с возможным тектоническим экранированием.

Список литературы

1. Губин И. А., Конторович А. Э., Бурштейн Л. М., Константинова Л. Н., Кузнецова Е. Н., Моисеев С. А., Сафронов П. И. Присаяно-Енисейская перспективная нефтегазоносная область и ее ресурсный потенциал // Геология и геофизика, 2024. Т. 65. № 4. С. 568–583.
2. Мельников Н. В., Якшин М. С., Шишкин Б. Б., Ефимов А. О., Карлова Г. А. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления // Новосибирск: Гео, 2005. 428 с.

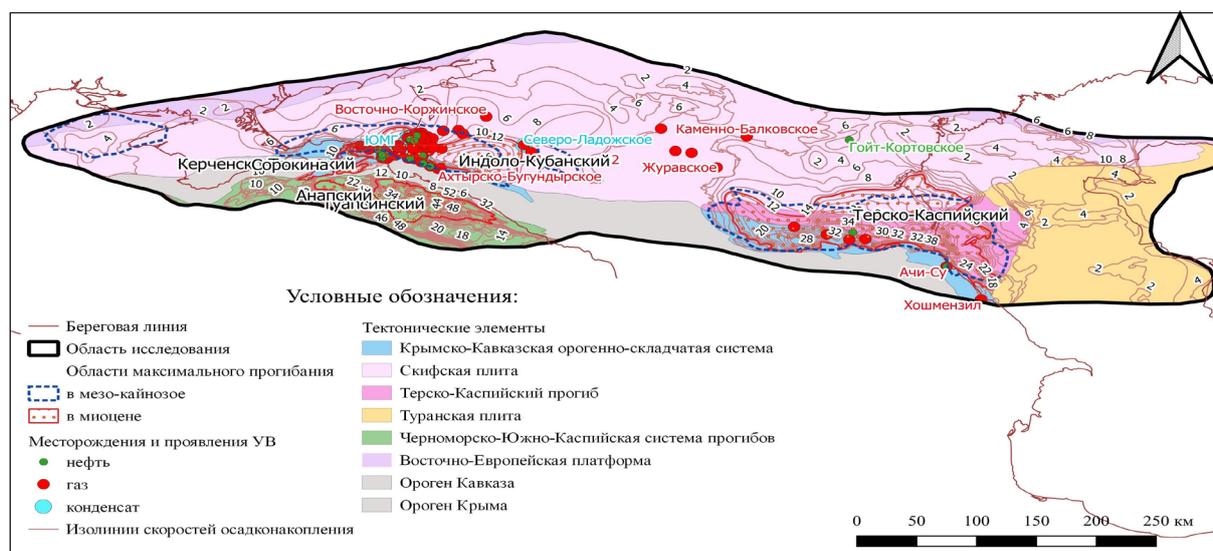
УДК 550.8.05, 550.849

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ МИОЦЕНА КРЫМСКО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА

Е. В. Вяткина, Е. А. Лавренова

*Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе,
Москва*

Миоценовые отложения являются одним из ключевых объектов наращивания ресурсного потенциала в Предкавказье, где разведанные запасы углеводородов практически выработаны. Миоценовый интервал осадочного разреза продуктивен на всей территории Крымско-Кавказского региона. Большинство месторождений приурочено к крупным осадочно-породным бассейнам: Индоло-Кубанскому и Терско-Каспийскому. Однако благодаря хорошей 3D-сейсмической изученности Индоло-Кубанского прогиба, миоцен обеспечивает около половины текущей добычи нефти в Краснодарском крае. В Терско-Каспийском прогибе запасы миоценовых залежей находятся на завершающей стадии разработки и, хотя в пределах некоторых продуктивных пластов скважины продолжают давать безводную нефть [1], значительное количество – обводнено.



Карта расположения миоценовых депоцентров

Анализ распределения признаков нефтегазоносности выявил латеральные и вертикальные закономерности в распределении, которые позволяют сгруппировать месторождения в пять кластеров: «Таманский», «Индоло-Кубанский», «Тимашевской ступени», «Ставропольского свода» и «Терско-Каспийского прогиба». Каждая группа месторождений характеризуется специфическими особенностями типа флюида в залежах, а также их вертикальным распределением в миоценовом интервале пород. Отмеченные закономерности указывают на принад-

лежность месторождений нескольким независимым генерационно-аккумуляционным углеводородным системам (ГАУС), с разновозрастными нефтегазоматеринскими толщами (НГМТ), что согласуется с результатами геохимических исследований пород и нефтей Индоло-Кубанского прогиба [2].

Целью работы является оценка региональных предпосылок формирования самостоятельных ГАУС в миоценовых отложениях осадочного чехла для дальнейшего определения новых направлений поисков.

Формирование миоценовых бассейнов обусловлено активизирующимся в этот период орогенезом на Кавказе. В пределах изучаемой территории выделяются крупные депоцентры – Терско-Каспийский, Индоло-Кубанский (восточная часть), Туапсинский, а также небольшие – Сорокина, Анапский, Керченско-Таманский (см. рисунок). На остальной территории, по-видимому, заполняется аккомодационное пространство, сохранившееся от майкопской трансгрессии, а в Крыму и в пределах Ставропольского свода осадки практически не накапливаются. Максимальные скорости осадконакопления (от 20 до 40 см/тыс. лет) отмечаются в Терско-Каспийском и Туапсинском прогибах [3, 4].

Выполненные в рамках настоящей работы палеогеографические реконструкции указывают на благоприятные условия для формирования необходимых элементов ГАУС в миоценовой части разреза.

По результатам проведенного численного моделирования зрелые породы в миоценовой части разреза прогнозируются только в Индоло-Кубанском и Терско-Каспийском бассейнах. Их зрелость не превышает уровня ранней нефтегенерации. Эмиграция УВ в очагах началась в конце миоцена, критический момент не преодолен до настоящего времени. Наиболее интенсивно процессы генерации и эмиграции протекали во второй половине неогена.

Результаты проведенного исследования показали, что самостоятельные ГАУС в миоцене существуют в двух крупных бассейнах (форландах) испытывающих последовательное погружение со второй половины миоцена, условия осадконакопления в которых были благоприятны для формирования элементов ГАУС, скорости осадконакопления в миоцене – квартере способствовали созреванию ОВ и формированию очагов генерации. Миграция в основном вертикальная и в северном, северо-западном направлении.

Список литературы

1. Бейтуганова М. А., Гридин В. А. Оценка перспектив нефтегазоносности территории Восточного Предкавказья и зон возможной локализации углеводородов // Наука. Инновации. Технологии. 2018. С. 101–114.
2. Обласова Н. В., Гончарова И. В., Дердуга А. В., Куницына И. В. Генетические типы нефтей восточной части Крымско-Кавказского региона // ГЕОХИМИЯ, 2020. Т. 65. № 11. С. 1129–1150.
3. Яндарбиев Н. Ш., Козлова Е. В., Фадеева Н. П., Крылов О. В., Наумчев Ю. В. Геохимия углеводородов Терско-Каспийского прогиба // Георесурсы. 2017. Спецвыпуск. Ч. 2. С. 227–239.
4. Холодов В. Н., Недумов Р. И. Литология и геохимия среднего миоцена Восточного Предкавказья // М.: Наука, 1981. 207 с.

УДК 550.42

**ГЕОЛОГИЯ И ОРГАНИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ
ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГИБА***

М. И. Евтушенко

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

В связи с открытием за последние десятилетия на территории западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба (ЕХРП) месторождений с промышленными запасами нефти в меловых отложениях (Пайяхское, Западно-Иркинское, Байкаловское и др.), которые числятся на государственном балансе, возникла необходимость в уточнении прогноза нефтегазоносности этой территории, так как большая часть открытых здесь месторождений газовые и газоконденсатные [1]. Основным источником меловых нефтей считается органическое вещество (ОВ) акагенного генезиса верхней части гольчихинской свиты (верхи верхнего бата – низы берриаса) и яновстанской свиты (верхи кимериджа – низы берриаса), которые являются стратиграфическими аналогами баженовской толщи (верхи нижнего титона – низы берриаса) [2]. Тем не менее источником нефтяных углеводородов (УВ) могли быть существенно глинистые толщи нижне- и среднеюрского возраста, формировавшиеся в периоды трансгрессий и содержащие ОВ аквагенного генезиса. Органическое вещество юрских отложений ЕХРП имеет смешанную природу – содержания террагенного и аквагенного материала в его составе примерно равны или террагенный преобладает. В связи с этим поиск и оценка потенциально нефте- и газопродуцирующих толщ в юрских отложениях на данной территории является актуальной задачей.

В настоящей работе была проанализирована коллекция из 35 образцов возрастом от средней юры до нижнего мела, включающая 3 пробы вымской, 7 проб леонтьевской, 11 проб малышевской, 10 проб гольчихинской и 2 пробы яновстанской свит из скважин Паютская-1, Пеляткинская-15 и Сузунская-4. Пробы были отобраны сотрудниками лаборатории геохимии нефти и газа ИНГГ СО РАН (Н. С. Ким и А. П. Родченко), предпочтение отдавалось аргиллитам и алевролитистым аргиллитам так как именно они являются потенциальными нефтематеринскими отложениями. Комплекс геохимических исследований образцов проводился в лаборатории геохимии нефти и газа ИНГГ СО РАН и включал определение концентраций органического углерода ($C_{орг}$, %) в породе и пиролитических характеристик S_1 , S_2 , T_{max} , HI и PI (35 образцов), замеры отражательной способности витринита в иммерсионной среде (R_{vt}^0 , %), выполненные д-ром геол.-минерал. наук А. Н. Фоминым (21 образец). Отклонения изотопного состава органического углерода $\delta^{13}C_{орг}$ (‰) относительно международного белемнитового (V-PDB) стандарта (28 образцов) были получены на масс-спектрометре IRMS FinniganTM MAT-253, снабженного элементным анализатором Flash EA 1112, работающим в комплексе с интерфейсом проточного режима Conflo III в Аналитическом центре МИИ ИГМ СО РАН (аналитик – канд. хим. наук, н. с. А. Н. Пыряев).

В изученных аргиллитах и алевролитистых аргиллитах концентрации ОВ в среднем выше кларковых значений, характерных для глинистых толщ (0,9 % на породу [3]), что позволяет отнести изученные свиты к потенциально нефтегазоматеринским. Для образцов из среднеюрских отложений концентрации $C_{орг}$ варьируют от 0,73 до 5,66 % на породу (среднее по 23 об-

* Исследование выполнено в рамках научной темы № FWZZ-2022–0011 программы ФНИ РФ.

© М. И. Евтушенко, 2024

разцам составляет 2,11 %), тогда как для образцов верхнеюрских отложений содержание ОВ изменяется от 0,53 до 4,27 % на породу (среднее по 12 пробам – 1,79 % на породу). Концентрации $C_{орг}$ незначительно ниже кларковых значений (0,80; 0,73 и 0,86 % на породу) были выделены в трех пробах малышевской свиты на Сузунской (гл. 3431,5 и 3405,4 м) и Пеляткинской (гл. 3294,1 м) площадях соответственно.

Для интерпретации типа ОВ использовались значения $\delta^{13}C_{орг}$ и водородного индекса (НИ). Для большей части изученной коллекции определен террагенный состав исходного ОВ, для которого характерен изотопно-тяжелый состав $C_{орг}$ ($\delta^{13}C_{орг}$ –26,8...–23,1 ‰) и пониженные значения водородного индекса (НИ <150 мг УВ/г $C_{орг}$). ОВ аквагенного генезиса было определено в гольчихинской свите в скв. Пеляткинская-15 ($\delta^{13}C_{орг}$ –29,5...–28 ‰; НИ 131–335 мг УВ/г $C_{орг}$), а также в двух образцах малышевской свиты ($\delta^{13}C_{орг}$ –30,2 и –28,8 ‰; НИ 126 и 371 мг УВ/г $C_{орг}$) и одном образце вымской свиты ($\delta^{13}C_{орг}$ –28,7 ‰; НИ 142) в скв. Сузунская-4. Яновстанская свита на Сузунской площади характеризуется смешанным генетическим типом ОВ ($\delta^{13}C_{орг}$ –27,9...–27,3 ‰; НИ 155–195 мг УВ/г $C_{орг}$). Аквагенное ОВ гольчихинской свиты Пеляткинской площади имеет высокий нефтегазогенерационный потенциал (7,24–11,1 мг УВ/г породы). Смешанное ОВ яновстанской свиты в скв. Сузунская-4 также характеризуется высоким генерационным потенциалом (5,4–7,1 мг УВ/г породы). Для террагенного ОВ генерационный потенциал варьирует от низкого до умеренного (0,3–5,7 мг УВ/г породы).

Катагенетическая преобразованность ОВ в изученных разрезах соответствует глубинной зональности катагенеза и изменяется от начального мезокатагенеза ($МК_1^1$) до глубинного мезокатагенеза ($МК_3^1$) по шкале А. Э. Конторовича [4]. Наименее преобразованное ОВ наблюдается в южной части территории исследования на Сузунской площади, тогда как наибольшей зрелостью характеризуется ОВ соответствующих возрастных интервалов на Паютской площади. В скв. Сузунская-4 преобразованность ОВ для вымской, леонтьевской и малышевской свит находится в пределах главной зоны нефтеобразования (ГЗН) ($МК_1^2$; R_{vt}° 0,63–0,79 %, T_{max} 39–450 °С), выше по разрезу катагенез ОВ яновстанской свиты соответствует градации катагенеза $МК_1^1$ (R_{vt}° 0,62 %) и началу ГЗН (T_{max} 435–438 °С). В скв. Паютская-1 катагенез ОВ леонтьевской свиты определяется градацией $МК_3^1$ (R_{vt}° 1,32–1,42 %) и соответствует глубинной зоне газообразования (T_{max} 467 °С), ОВ малышевской свиты находится в конце ГЗН ($МК_2$, R_{vt}° 0,83–1,12 %, T_{max} 449–455 °С), тогда как ОВ гольчихинской свиты наименее преобразовано ($МК_1^2$, R_{vt}° 0,76 %, T_{max} 445–452 °С). В скв. Пеляткинская-15 катагенез ОВ вымской и леонтьевской свит соответствует градации $МК_2$ (R_{vt}° 0,85 %) и концу ГЗН (T_{max} 458 °С), ОВ малышевской и гольчихинской свит – $МК_1^2$ (R_{vt}° 0,76 %) и середине ГЗН (T_{max} 436–456 °С).

Таким образом, показано, что изученные средне-верхнеюрские толщи содержат как террагенное ОВ с низким и умеренным генерационными потенциалом различной степени преобразованности, которое генерировало газообразные УВ, так и аквагенное и смешанное ОВ с высоким потенциалом, способное к генерации нефтяных УВ. Подтверждены нефтематеринские свойства верхней части гольчихинской свиты и яновстанской свиты. К потенциально нефтематеринским толщам также можно отнести отдельные прослои в малышевской и вымской свитах, но для оценки возможности этих пород образовывать жидкие УВ и вклада в генерацию нефтей региона необходимо провести детальные битуминологические исследования и сравнение с нефтями на молекулярном уровне.

Список литературы

1. Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири. Вып. 3. Енисей-Хатангский бассейн / Под ред. А.Э. Конторовича // Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1994. 71 с.

2. Конторович А.Э., Богородская Л.И., Борисова Л.С., Бурштейн Л.М., Исмагилов З.Р., Ефимова О. С., Костырева Е. А., Лемина Н. М., Рыжкова С. В., Созинов С. А., Фомин А. Н., Лившиц В. Р. Геохимия и катагенетические превращения керогена баженковского горизонта // Геохимия, 2019. Т. 64. № 6. С. 585–593.
3. Справочник по геохимии нефти и газа / Под ред. С. Г. Неручева // СПб.: Недра, 1998, 576 с.
4. Фомин А. Н. Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна // Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011. С. 331.

УДК 553.98

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ АЧИМОВСКОЙ ТОЛЩИ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАДЫМ-ПУР-ТАЗОВСКОГО РЕГИОНА

Д. Д. Ерохина¹, М. В. Соловьев^{1,2}, М. А. Кунцевич³

¹ Новосибирский государственный университет

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

³ Группа компаний «Газпром нефть»

В настоящее время одним из перспективных направлений исследований являются ачимовские отложения на месторождениях Надым-Пур-Тазовского региона. Из-за клиноформного строения, резкой изменчивости фильтрационно-емкостных свойств пород, литологической неоднородности, присутствия зон с подвижной водой ачимовская толща является сложнопостроенным объектом, а содержащиеся в ней запасы – трудноизвлекаемыми. На текущий момент отсутствуют единые представления о геологическом строении ачимовских отложений, что создает значительные трудности при моделировании, создании концептуальных и цифровых трехмерных (3D) геологических моделей для целей подсчета запасов углеводородов (УВ).

Территория исследования расположена в северной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, в пределах южной части положительной структуры II порядка – Центрально-Уренгойского мезовала [1]. Ачимовские отложения представляют собой линзовидные песчано-алевролитовые пласты мощностью до 190 м, залегающие в основании сортымской свиты [2]. Отложения образовались в условиях лавинной седиментации и представляют собой фондоформные части валанжинских клиноформ [3]. В данной работе объектом исследования является пласт Ач3 уникального месторождения.

Одной из ключевых проблем в работе с ачимовскими отложениями является присутствие зон с подвижной водой и наличие воды в куполах (выше по абсолютным отметкам газонасыщенных и нефтенасыщенных зон). Для решения подобных проблем были рассмотрены основные гипотезы о наличии подвижной воды в разрезе. За базовую концепцию геологического строения была выбрана гипотеза о гидродинамически изолированных линзах, согласно которой отложения ачимовского конуса выноса могут быть представлены как гидродинамически

единым телом, так и комплексом мелких гидродинамически изолированных линз, где каждая линза является терминальной лопастью конуса выноса и характеризуется контрастным типом насыщения [4].

С учетом данной гипотезы была создана цифровая 3D геологическая модель объекта исследования в программном комплексе Petrel. Первым этапом было построение структурного каркаса. Далее на основе результатов испытаний на приток, результатов интерпретации геофизических исследований скважин (РИГИС) и сейсмических данных были выделены и внесены в модель полигоны линз с контрастным насыщением. РИГИС и результаты испытаний показывают, что на исследуемом участке скважины с чисто водяным притоком находятся выше по абсолютным отметкам глубин относительно скважин с чисто газовым и нефтяным притоком, что не соответствует антиклинально-гравитационной концепции формирования и строения залежей УВ.

Вторым этапом было создание петрофизической модели пласта. Были построены кубы свойств – литологии, песчанистости, пористости. Методикой распространения свойств является стохастическое (вероятностное) моделирование на основе вариограмм. Моделирование кубов проницаемости и водонасыщенности выполнялось с использованием петрофизических уравнений, полученных по данным керновых исследований.

Обычно подсчет запасов УВ проводится с помощью детерминированного метода, по результатам которого получается единственное значение запасов. Однако в случае с ачимовскими отложениями существует множество неопределенностей геологической модели, и усреднение параметров может привести к неточности при подсчете запасов УВ. Для полноценного учета всех неопределенностей и описанной базовой гипотезы внутреннего строения ачимовского комплекса в работе предлагается использование многовариантного моделирования с получением вероятностной оценки ресурсной базы объекта моделирования. При использовании вероятностных методов определяются следующие оценки запасов и ресурсов: пессимистичная (P90) – оцененное значение запасов и ресурсов подтверждается с вероятностью 0,9; наиболее вероятная (P50) – с вероятностью 0,5; оптимистичная (P10) – с вероятностью 0,1 [5].

На первом этапе вероятностного моделирования были выбраны и проанализированы следующие геологические неопределенности – значение главного латерального ранга вариограммы, соотношение главного и второстепенного рангов вариограммы, доля коллектора, среднее значение распределения пористости, а также диапазон неопределенности для облака точек керновых исследований параметра начальной и остаточной водонасыщенности пласта. Дополнительно было проанализировано влияние выделения границы газонасыщенной линзы (площадь терминальной лопасти).

Анализ неопределенностей состоит из двух этапов. На первом этапе был создан автоматизированный алгоритм, с помощью которого было рассчитано 100 реализаций 3D-модели пласта АчЗ, позволивших получить распределение запасов газа с учетом имеющихся геологических неопределенностей. Моделирование проводилось с помощью метода Монте-Карло, путем случайной генерации выбранных параметров в соответствии с заданными функциями распределений. На втором этапе был проведен анализ чувствительности, который характеризует степень влияния изменения геологических параметров на общее изменение запасов. Суть анализа чувствительности заключается в итеративном изменении изучаемого параметра при неизменных остальных параметрах модели. По результатам анализа ключевые неопределенности связаны с долей коллектора, площадью и водонасыщенностью выделенных линз.

Таким образом, без полного понимания механизмов формирования залежей возникают трудности и неточности при прогнозе насыщенности пластов, характера распределения флюидов в них. Для планирования программы доразведки или опытно-промышленной разработки

подобных сложнопостроенных объектов необходимо использование комплексных вероятностных моделей. Разработанный авторами подход и выбранная базовая гипотеза концептуального строения для целей вероятностной оценки ресурсной базы позволяют оценить степень неопределенности запасов УВ с учетом особенностей геологического строения ачимовских отложений и наличия подвижной воды в разрезе. Описанный подход возможно тиражировать для целей оценки перспектив ачимовских отложений на соседних месторождениях с похожим геологическим строением.

Список литературы

1. Конторович В. А., Беляев С. Ю., Конторович А. Э., Красавчиков В. О., Конторович А.А., Супруненко О. И. Тектоническое строение и история развития Западно-Сибирской геосинеклизы в мезозое и кайнозое // Геология и геофизика, 2001. Т. 42, № 11–12. С. 1832–1845.
2. Стратиграфия СССР. Меловая система. Полутом 2 / Под ред. М. М. Москвина. М.: Недра, 1987. 326 с.
3. Нежданов А. А., Пономарев В. А., Туренков Н. А., Горбунов С. А. Геология и нефтегазоносность ачимовской толщи Западной Сибири. М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. 247 с.
4. Плешанов Н. Н., Пескова Д. Н., Забоева А. А., Наумов А. А., Останков А. В., Ниткалиев И. М. Комплексный анализ факторов, влияющих на прогноз зон подвижной воды в ачимовских пластах на лицензионных участках компании «Газпром нефть» // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти, 2020. № 3. С. 16–25.
5. Грунис Е. Г., Хасанов Д. И. Подсчет запасов объемным и вероятностным методами с помощью программного комплекса Petrel-2013 // Геология нефти и газа, 2017. № 5. С. 113–118.

УДК 553.98

УТОЧНЕНИЕ ГРАНИЦ ЛОВУШЕК УГЛЕВОДОРОДОВ СУХОТУНГУССКОГО ВАЛА, СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА

А. Р. Жабяк

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск
Сибирский научно-исследовательский институт геологии,
геофизики и минерального сырья, Новосибирск*

В последние десятилетия объемы добычи на территории Сибирской платформы увеличились в несколько раз, инфраструктура, связанная с добычей углеводородов, получили развитие, произошел прирост извлекаемых запасов. И так как основной объем исследований на данной территории пришелся на вторую половину прошлого века, имеет смысл вновь вернуться к изучению потенциала нефтегазоносности с привлечением новых данных, а также с использованием специализированного программного обеспечения.

С точки зрения нефтегазогеологического районирования район исследования входит в Лено-Тунгусскую нефтегазоносную провинцию, Турухано-Норильский самостоятельный

нефтегазоносный район. С тектонической точки зрения исследуемой структурой является Сухотунгусский вал, который, в свою очередь, является частью Курейско-Бакланихинского мегавала.

Район исследования находится в пределах Туруханского поднятия, которое представляет собой тектонический покров, сложенный верхнепротерозойскими-среднекембрийскими отложениями, надвинутый в восточном направлении на окраинную часть Курейской синеклизы. Данная положительная структура разделена на три блока: западный (Туруханский, или Стрельногорский, Центральный (Голоярский), Восточный. [1]. Данные блоки представляют собой чешуи, надвинутые друг на друга с запада на восток. Район исследования находится в пределах Восточного блока и ограничен с западной стороны Вороновским разломом, с восточной – Имангдино-Летнинским разломом. В его пределах простирается Сухотунгусская антиклиналь, в пределах которой выделяются Подкаменное поднятие, Горный купол, Дьявольский купол.

Следует рассматривать данные структуры с точки зрения складчато-покровного парагенезиса. Как правило, в данных структурах сначала происходит формирование надвигов, а затем уже складок, связанных с движением по надвигам. Данные структуры зачастую являются перспективными в отношении залежей нефти и газа [2].

Исходя из практики геофизических работ, нацеленных на поиск УВ, наиболее применимым является сейсмическое профилирование методом общей глубокой точки (МОГТ). Преимущество данного метода заключается в возможности с достаточной точностью дифференцировать разрез на значительной по площади территории. Таким образом, существует необходимость в построении сейсмогеологической модели Сухотунгусского вала с целью изучения его структур и последующего выявления залежей углеводородов.

В процессе работы в целях наполнения модели геологической информацией была проведена интерпретация материалов сейсмопрофилирования МОГТ-2D (протяженностью 232 пог. км), уточнены стратиграфические разбивки по глубоким скважинам, рассчитаны прогнозные разбивки, загружены данные геологических карт. Совокупность сейсмических данных и скважинного материала позволила коррелировать отражающие горизонты, соответствующие границам стратиграфических подразделений, а также проследить их на изучаемой территории. На основе вышеизложенной информации были проведены структурные построения.

Анализ сейсмических данных и скважинного материала позволил выделить следующие отражающие горизонты (ОГ), соответствующие границам стратиграфических подразделений:

- ОГ Ф – предполагаемая кровля фундамента;
- ОГ R₀ – кровля рифея, соответствующая эрозионному срезу;
- ОГ K₁ – кровля костинской свиты, над которой с размывом залегает летнинская свита.

Также были выделены Вороновский разлом, являющийся тыловым надвигом, и подстилающий надвиг. По данным интерпретации, с привлечением скважинных разбивок и данных с геологических карт были построены карты изохрон, соответствующие кровле костинской свиты и кровле рифея. Для поверхности K₁ была построена структурная карта.

По результатам анализа полученных картографических материалов были уточнены контуры трех положительных структур, перспективных в отношении залежей УВ, осложняющих Сухотунгусский вал: Подкаменное поднятие, Горный купол, Дьявольский купол.

Список литературы

1. Бакай Е. А. Нефтематеринские рифей-кембрийские отложения Туруханского поднятия (Восточная Сибирь): Дис. ...канд. геол.-мин. наук, М., 2012.
2. Гайдук В. В., Прокопьев А. В., Фридовский В. Ю. Разломы (морфология, геометрия и кинематика). Якутск: ЯФ СО РАН, 2004. 148 с.

УДК 553.982.2+551.243

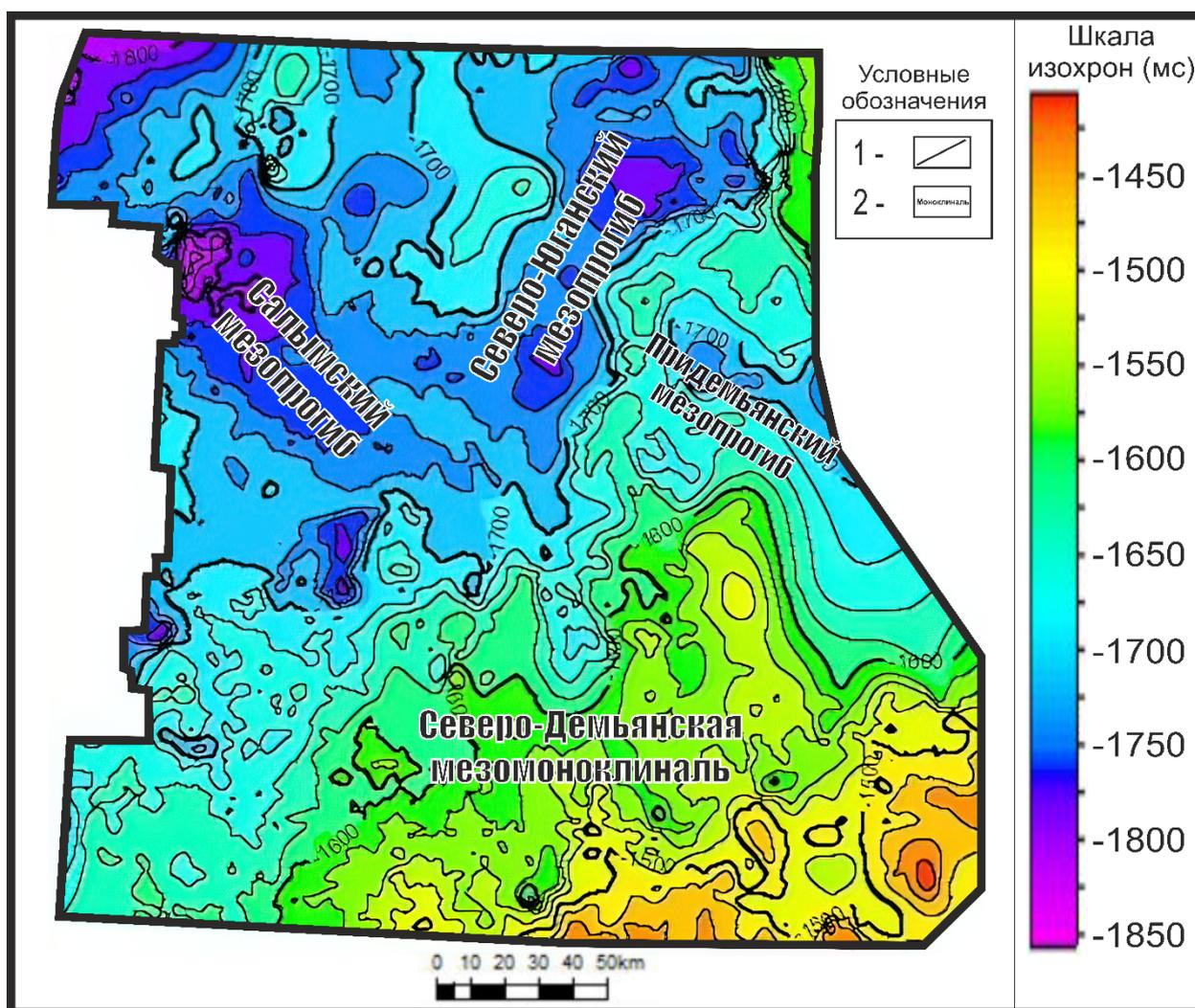
СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЮГАНСКОЙ ПОИСКОВОЙ ЗОНЫ

С. С. Иващенко

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Рассматриваемая Юганская поисковая зона расположена на юго-западе Западно-Сибирской равнины, в южной части Ханты-Мансийского автономного округа.

Основные перспективы нефтегазоносности территории исследования связаны с нижне-меловыми резервуарами неокомского клиноформного комплекса и резервуарами юрских комплексов.



Карта изохрон по отражающему горизонту М:
1 – изохроны; 2 – название тектонических элементов

© С. С. Иващенко, 2024

Баженовская свита является главной нефтепроизводящей толщей в Западно-Сибирском бассейне и одновременно региональным экраном для залежей углеводородов.

Согласно схеме нефтегазогеологического районирования, исследуемая территория относится к юго-западной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, выделена в составе Фроловской, Среднеобской, Каймысовской нефтегазоносных областей [1].

Геологическая изученность Юганской поисковой зоны весьма неравномерная, как по глубине, так и по площади. Во впадинах пробурено мало скважин, большинство которых локализованы в пределах положительных структур, что связано с основными направлениями геолого-разведочных работ прошлых лет, по поиску залежей в антиклинальных ловушках [2].

Основной целью исследования является создание геологической модели и уточнение нефтегазоносности нижнемеловых и юрских продуктивных комплексов Юганской зоны на основе комплексной интерпретации и увязывания данных сейсморазведки, используемых ранее в локальных научно-исследовательских работах, (структурные карты по сейсмическим горизонтам А (кровля доюрского комплекса), Б (кровля баженовской свиты), М (кровля кошайской пачки в алымской свите), Г (подшва кузнецовской свиты)).

В пределах исследуемой территории выделен ряд нефтяных месторождений: Тайлаковское, Угутское, Салымское, Западно-Салымское, Гавриловское, Северо-Чупальское и др. Залежи углеводородов располагаются в песчаных пластах широкого стратиграфического диапазона: от ачимовской толщи в нижней части сортымской свиты нижнего мела до тюменской свиты средней юры [3].

Результатом работы являются: структурная характеристика района исследования, восстановление истории тектонического развития, а также анализ архитектуры рельефа баженовской свиты во времени, определение перспектив нефтегазоносности.

В качестве примера одного из результатов работ является карта изохрон по отражающему горизонту М (см. рисунок). На территории района исследования, согласно карте, по кровле кошайской пачки выделяется наиболее погруженный участок на территории Салымского мезопроггиба –1850 мс. Наиболее поднятой частью является Северо-Демьянская мезомоноклиналь –1400 мс. Выделяется несколько отрицательных структур: в северо-западной части Салымский мезопрогиб, Северо-Юганский и Придемьянский мезопроггибы в северо-восточной части.

Особый интерес в отношении накоплении углеводородов представляют поднятия, располагающиеся между данными структурами или осложняющие Северо-Демьянскую мезомоноклиналь.

Список литературы

1. Конторович В. А., Беляев С. Ю., Конторович А. Э., Красавчиков В. О., Конторович А. А., Супруненко О. И. Тектоническое строение и история развития Западно-Сибирской геосинеклизы в мезозое и кайнозое // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 11–12. С. 1832–1845.
2. Киселев В. П., Казаненков В. А., Павлова М. А. Строение и нефтегазоносность пограничных отложений юры и мела Юганского Приобья по геофизическим данным // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2007. № 6. С. 47–56.
3. Шпильман А. В., Волков В. А. Реализация концепции поисковых зон на примере Юганско-Колтогорской зоны Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Геология нефти и газа. 2017. № 2. С. 27–36.

УДК 553.982.2

СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГНОЗ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ПУДИНСКОГО МЕЗОПОДНЯТИЯ

К. А. Канзычаков, К. И. Канакова

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Исследуемый район расположен в юго-западной части Томской области в Парабельском районе. Площадь территории – 1693 км², на ней отработана густая сеть сейсмических профилей МОГТ 2D, длина которых составляет 2362,7 км, а плотность – 1,39 км/км², кроме того, большая часть района покрыта площадной 3D-съемкой. На территории пробурено 86 скважин поисковых, разведочных и эксплуатационных.

В работе выполнена геолого-геофизическая характеристика района на основе материалов стратиграфии, данных по тектоническому и нефтегазогеологическому районированию, проведен анализ структурных карт, полученных по результатам трассировки основных отражающих горизонтов, выполнен анализ истории тектонического развития района исследования. Также проведена интерпретация геофизических исследований скважин, пробуренных на изучаемой территории, выполнена межскважинная корреляция песчаных и угольных пластов в составе верхнеюрских отложений. Осуществлено построение прогнозных карт распространения углеводородов на территории исследования. Выполнена динамическая интерпретация материалов 3D-сейсморазведки с целью выделения молодых разрывных нарушений.

В результате проведенного анализа в структурном плане горизонта П^а были выделены замкнутые положительные структуры, которые являются ловушками углеводородов (рис. 1).

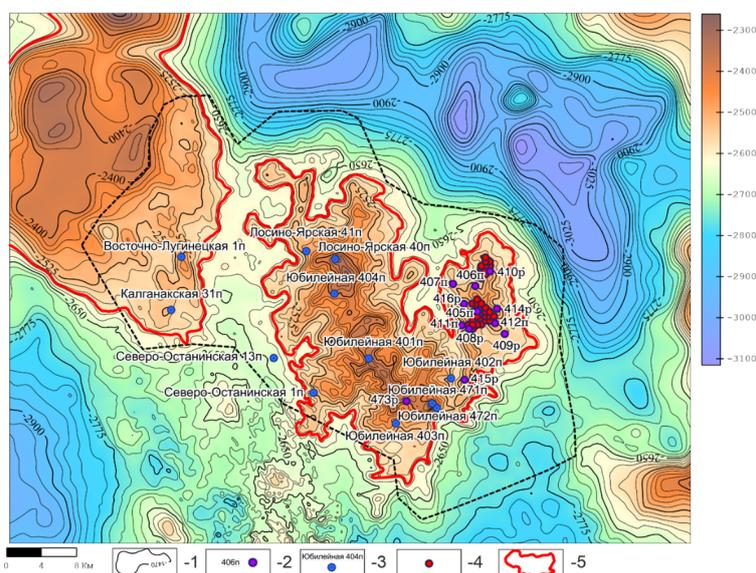


Рис. 1. Структурная карта по отражающему горизонту П^а (подшва баженовской свиты):
1 – изогипсы отражающего горизонта П^а; 2 – поисковые и разведочные скважины Рыбального месторождения; 3 – поисковые скважины; 4 – эксплуатационные скважины Рыбального месторождения;
5 – оконтуривающая изогипса куполовидных поднятий

Также были прослежены разрывные нарушения, секущие склоновую часть Рыбальной структуры и, предположительно, имеющие кайнозойский возраст. Данные разрывные нарушения хорошо прослеживаются на срезе когерентности сейсмического куба, по зоне, где волновое поле наименее когерентно (рис. 2).

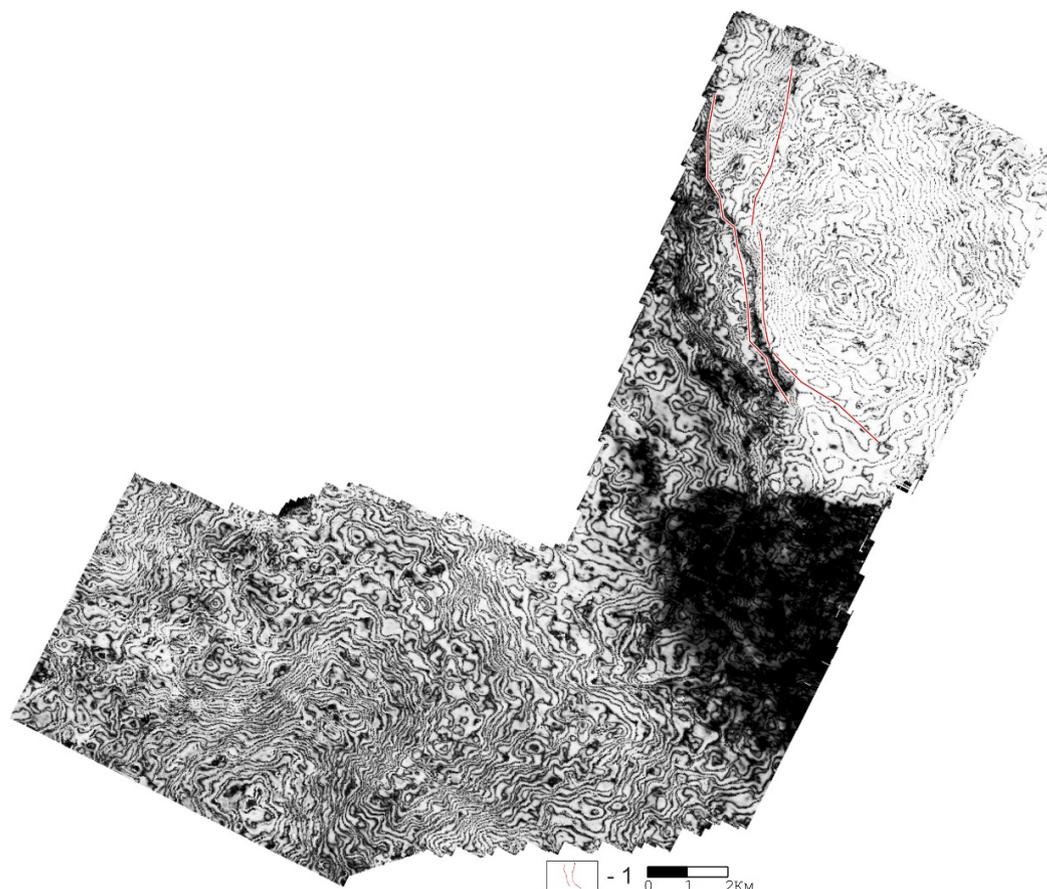


Рис. 2. Срез когерентности для III горизонта:
1 – разрывные нарушения

Основные перспективы нефтегазоносности на территории исследований связаны с отложениями верхней юры васюганской свиты – пласты группы Ю₁, также перспективны отложения тюменской свиты – пласты групп Ю₃, Ю₄. В конце нижней юры район исследования располагался в области континентального осадконакопления, к келловее уже в мелководно-морских и переходных условиях [1].

Таким образом, в отложениях групп пластов Ю₃, Ю₄ наилучшими коллекторскими свойствами обладают линзовидные песчаные тела, предположительно руслового генезиса.

Что касается отложений горизонта Ю₁, то осадки накапливались в переходной области седиментации, что обуславливает на данной территории неравномерное переслаивание песчаников, алевролитов, аргиллитов и скользящий характер перехода границ прибрежно-морских отложений (васюганская свита) к континентальным (наунакская свита) [2].

Список литературы

1. Конторович А. Э., Конторович В. А., Рыжкова С. В., Шурыгин Б. Н., Вакуленко Л. Г., Гайдебурова Е. А., Данилова В. П., Казаненков В. А., Ким Н. С., Костырева Е. А., Москвин В. И.,

Ян П. А. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика, 2013. Т. 54. № 8. С. 972–1012.

2. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система / Под ред. Б. Н. Шурыгина // Н.: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2000. 480 с.

УДК 553.98

СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗАПАДНО-ЯКУТСКОЙ БАРЬЕРНОЙ РИФОВОЙ СИСТЕМЫ

М. А. Кизилова

*Сибирский научно-исследовательский институт геологии,
геофизики и минерального сырья, Новосибирск*

В настоящее время одним из наиболее динамично развивающихся нефтегазоносных центров страны является Восточная Сибирь. Строительство нефтепроводной системы «Восточная Сибирь – Тихий океан» обусловило активное освоение территорий в пределах Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (НГП) и наращивание ресурсной базы ведущих нефтегазовых компаний. Основные залежи нефти и газа Лено-Тунгусской НГП открыты в подсолевых отложениях рифея, венда и раннего кембрия [1, 2].

Наибольший потенциал для прироста ресурсной базы углеводородов (УВ) Восточной Сибири связывают с кембрийскими отложениями, занимающими практически всю территорию Сибирской платформы. Одним из наиболее перспективных объектов в пределах Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции и Республики Саха (Якутия) считается кембрийская барьерная рифовая система.

Как показывает мировая практика изучения недр, органогенные постройки, сформировавшиеся в определенных геодинамических условиях, могут представлять собой ловушки для аккумуляции УВ. Так, месторождения нефти и газа, приуроченные к ископаемым рифам, выявлены и эксплуатируются в различных регионах мира [3]. Поскольку отложения, слагающие органогенно-рифовые комплексы, имеют неоднородные коллекторские свойства, резервуары УВ могут быть приурочены к отдельным проницаемым зонам, имеющим различное положение в пределах органогенных комплексов. Так, одним из наиболее интересных объектов для поисков УВ в пределах Лено-Тунгусской провинции является кембрийская барьерная рифовая система.

На территории Сибирской платформы зона развития барьерных рифов – Анабаро-Синский фациальный регион – протягивается сравнительно узкой полосой (около 100 км) в северо-западном направлении от среднего течения реки Алдан через реки Лену, Вилюй, Марху и далее на запад, к междуречью Бахты и Подкаменной Тунгуски, которая рассматривается в качестве седиментационного барьера.

Практика геофизических работ показывает, что наиболее успешно применяющимся и информативным методом при решении задач в нефтегазовой геологии оказывается сейсмиче-

ское профилирование методом общей глубинной точки (МОГТ). Эффективность этого метода заключается в возможности с достаточной точностью оценивать фациальный состав пород на обширной территории в отличие от изучения скважинной информации, которая в сравнении является точечной. Таким образом, предстает необходимым построение сейсмогеологической модели Западно-Якутской барьерной рифовой системы с целью ее детального изучения и последующего обнаружения залежей УВ.

Для обеспечения модели геологической информацией в ходе работы была проведена интерпретация данных геофизических исследований 23 скважин (ГИС) и материалов сейсмопрофилирования МОГТ-2D (протяженностью 2200 пог. км) в пределах исследуемой территории. Интерпретация сейсмических данных в комплексе со скважинным материалом позволила провести корреляцию отражающих горизонтов, соответствующих границам стратиграфических подразделений и, как следствие, проследить их в пределах всей исследуемой территории. Также прослеживание отражающих горизонтов обеспечило возможность проведения структурных построений.

Анализ волновых полей на сейсмических разрезах в совокупности с анализом ГИС позволил провести корреляцию отражающих горизонтов (ОГ), соответствующих границам стратиграфических подразделений:

- ОГ Chuk – кровля чукукской свиты средне-верхнекембрийского возраста;
- ОГ Н – кровля метегерской, удачининской и куонамской свиты среднего кембрия;
- ОГ II – кровля билирской свиты нижнего кембрия;
- ОГ KV – кровля терригенного венда.

Полученный в ходе работы комплект карт позволил охарактеризовать геологическое строение исследуемого района. Так, карта толщин отложений, заключенных между ОГ II и Н, характеризующая изменение мощности нижне-среднекембрийских отложений, подтвердила существование нескольких фациальных регионов в пределах территории исследования. Структурная карта по ОГ Н – одновозрастной границе в разных фациальных регионах, объединяющей кровлю метегерской, удачининской и куонамской свиты, – позволила определить границу карбонатной платформы в области перехода к глубоководному бассейну.

С целью картирования юго-западной границы распространения барьерного рифового комплекса был проведен динамический анализ волнового поля в пределах распространения рифовых отложений. Была построена карта среднеквадратичных значений амплитуд во временном интервале распространения органогенных построек. По характеру распределения амплитуд было установлено, что пакетам с регулярной записью, характеризующим чередование акустически контрастных пород (пластов каменной соли и карбонатов), соответствуют высокие значения среднеквадратичных амплитуд, тогда как в области распространения рифогенного барьера наблюдаются пониженные значения, характеризующие пакеты с хаотической записью. Таким образом, была закартирована юго-западная граница барьера.

На основании проведенной работы предоставляется возможность говорить о перспективах нефтегазоносности Западно-Якутской барьерной рифовой системы.

По результатам работы были выделены перспективные зоны распространения четырех возможных типов ловушек УВ. Вдоль западной границы барьерного рифа протягивается перспективная зона возможного распространения ловушек, связанных с литологическим замещением зарифовых фаций, представленных преимущественно обломочными карбонатными породами, на непроницаемые сульфатно-карбонатные породы периферийной части солеродного бассейна. Второй возможный тип ловушек может быть связан с верхней частью барьерного

рифового массива, кровля которого может быть значительно прокаристованной. Эти перспективные зоны связываются с положительными незамкнутыми структурами типа структурный мыс. Также были выделены зоны возможного распространения ловушек, обусловленных одинокими органогенными постройками чукукской свиты или зонами их агградации. Также в пределах каждого органогенного комплекса были выделены зоны предполагаемого распространения тектонически экранированных ловушек.

Список литературы

1. Масленников М. А., Сухов С. С., Соболев П. Н., Наумова Е. Г., Процко А. Н., Ракитина И. В., Константинова О. Л. Перспективы нефтегазоносности кембрийских барьерных рифовых систем Сибирской платформы в свете новых геолого-геофизических данных // Геология нефти и газа, 2021. № 4, С. 29–50.
2. Парфёнова Н. М., Косякова Л. С., Григорьев Е. Б., Шафиев И. М., Логинов В. А., Наренков Р. Ю., Кубанова М. М., Люгай А. Д. Нефтяной потенциал Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции // Вести газовой науки, 2021. № 2. С. 63–80.
3. Еременко Н. А. Геология нефти и газа. М.: Недра, 1968. 385 с.

УДК 553.98

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. М. Кравченко^{1,2}, С. В. Можегова¹

¹ *Апрелевское отделение Всероссийского научно-исследовательского геологического нефтяного института, Апрелевка*

² *Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина, Москва*

В работе рассмотрены основные геохимические характеристики органического вещества (ОВ) баженовской свиты и ее аналога марьяновской свиты в пределах Томской области Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Исследования проводились на основе результатов изучения кернового материала методом пиролиза на приборе Rock-Eval 7.

Целевой объект исследований в данной работе – баженовский горизонт, который на изученной территории представлен баженовской свитой (на западе) и ее стратиграфическим аналогом – марьяновской свитой (на востоке). Выполнены геохимические исследования образцов керна скважин, расположенных в северо-западной части Томской области.

В пределах территории исследований наблюдается латеральное замещение глубоководных фаций баженовской свиты центральных районов Западной Сибири алевритисто-глинистой марьяновской свитой, накапливавшейся в относительно мелководных условиях [1, 2]. Смена фаций отражается и на распределении ОВ в отложениях по площади.

Карбонатно-глинисто-кремнистые отложения баженовской свиты по содержанию ОВ схожи с аналогичными центральных районов Западной Сибири [1, 3]. Содержание органического углерода (ТОС) в породах достигает 15–18 %. Но, в отличие от центральных районов провинции, на юго-востоке максимальные концентрации ТОС приурочены к средней части

разреза свиты. Вверх и вниз по разрезу наблюдается некоторое снижение содержания ОВ – ТОС уменьшается до 5–10 %.

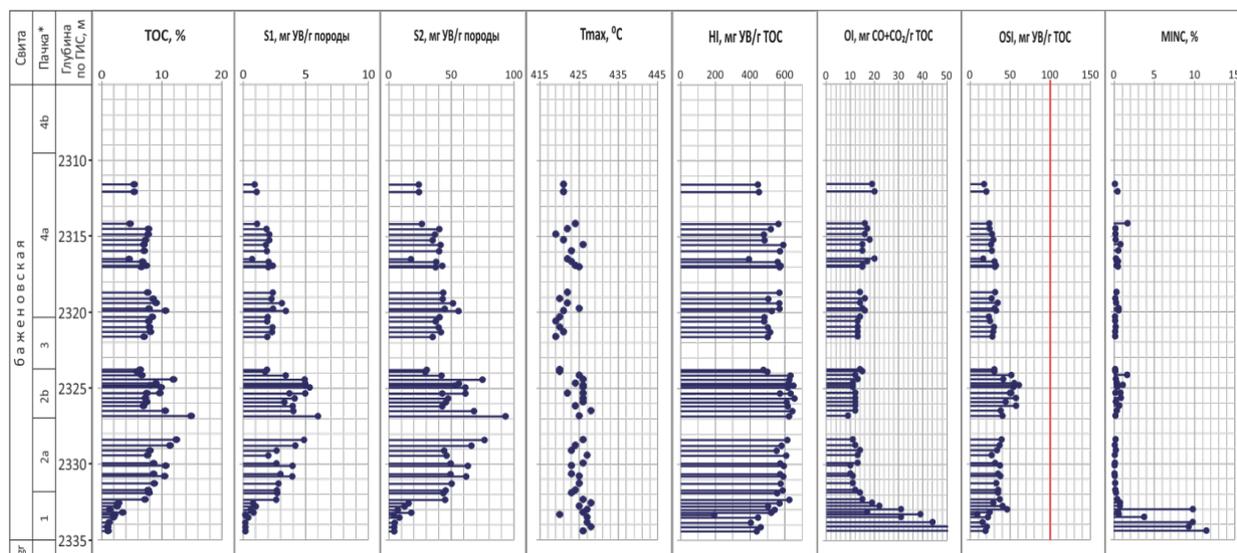
Средневзвешенные концентрации ТОС меняются от 8–10 % на западе рассматриваемого участка до 5–6 % в восточных районах, в переходной к марьяновской свите, зоне. Породы обладают высоким генерационным потенциалом – S2 30–90 мг УВ/г породы, HI 400–600 мг УВ/г ТОС (см. рисунок), что свидетельствует о сапропелевом типе ОВ. Мощность отложений на территории исследования меняется от 10 м в западных районах до 50 м и более на востоке.

На востоке исследуемой территории обогащенность ОВ баженовского горизонта резко снижается. В зоне развития марьяновской свиты горизонт представлен глинами алевритистыми темно-серыми, иногда буроватыми с прослоями алевролитов темно-серых. Общая обогащенность пород ОВ пониженная и неравномерна по всему разрезу. Мощность марьяновской свиты составляет 80–100 м и увеличивается в восточном направлении.

В скв. Восток 1 керном охарактеризована нижняя половина марьяновской свиты. Верхняя часть изученного интервала представлена глинами мощностью до 4 м с содержанием ТОС 2–4 %. Породы обладают невысоким (по сравнению с баженовской свитой) генерационным потенциалом – S2 10–20 мг УВ/г породы, HI ~ 400 мг УВ/г ТОС, T_{max} – 415–425 °С (ПК1). Ниже по разрезу выделяется 23-метровая пачка алевритистых глин с содержанием ТОС 1,0–1,5 %, S2 ~ 5 мг УВ/г породы, HI ~ 100–150 мг УВ/г ТОС.

Степень катагенетической превращенности ОВ баженовской свиты, установленная по параметру T_{max} Rock-Eval, на большей части изученной территории соответствует начальному мезакатагенезу – градации МК1 (T_{max} 430–440 °С).

Максимальный катагенез наблюдается в наиболее погруженных районах – в центральной зоне Нюрольской мегавпадины и Колтогорском прогибе (скв. Глуховская 4, Западно-Квензерская 4, Воскресенская 1, Панковская 1, Горстовая 91 и др.), где значения T_{max} достигают 437–445 °С, что соответствует пику «нефтяного окна» (МК2).



Геохимический разрез баженовской свиты скв. Восточно-Никольская 1

Схема, в целом, согласуется с региональным распределением зрелости керогена верхнеюрских отложений Западной Сибири, учитывающей замеры и рассчитанные значения отражательной способности витринита подстилающих и перекрывающих толщ [4].

Таким образом, степень реализации генерационного потенциала высокоуглеродистых отложений баженовской свиты достигла 30–50 % в наиболее зрелой погруженной зоне (Нюрольская мегавпадина).

По результатам исследований получены закономерности распределения концентраций и генерационного потенциала ОВ по изучаемому разрезу. Также дана оценка катагенеза органического вещества баженовской и марьяновской свит.

В юго-восточных районах распространения баженовской свиты наиболее высоким содержанием ОВ (ТОС 11–16 %) характеризуется средняя часть разреза. Уровень катагенеза ОВ в изученном районе меняется от градации ПКЗ до МК2/МК3. Зона наибольшей зрелости (T_{\max} 437–445 °С) приурочена к центральным, наиболее погруженным районам Нюрольской мегавпадины и Колтогорского мегапрогиба.

Алевритисто-глинистые отложения марьяновской свиты характеризуются значительно меньшим содержанием ОВ (ТОС не превышает 5 %). По полученным значениям водородного (НІ) и кислородного (ОІ) индексов ОВ марьяновской свиты относятся к смешанному сапропелево-гумусовому типу. Низкая зрелость ОВ (ПКЗ) свидетельствует об еще не начавшихся процессах генерации УВ в изученном районе.

Список литературы

1. Брадучан Ю. В., Гурари Ф. Г., Захаров В. А. и др. Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность). Новосибирск: Наука, 1986, 216 с.
2. Вакуленко Л. Г., Аксенова Т. П., Ельцов И. Н., Замирайлова А. Г., Ян П. А. Литолого-фациальная характеристика юрских отложений южной части Предъенисейской нефтегазодной субпровинции Западной Сибири // Геология и геофизика, 2010. Т. 51. № 4. С. 425–436.
3. Фомин А. Н. Катагенез органического вещества и нефтегазодность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011. 331 с.
4. Конторович В. А. Генерационный потенциал волжских отложений в юго-восточных районах Западной Сибири // Геология нефти и газа, 2001. № 1. С. 26–32.

УДК 553.982.2

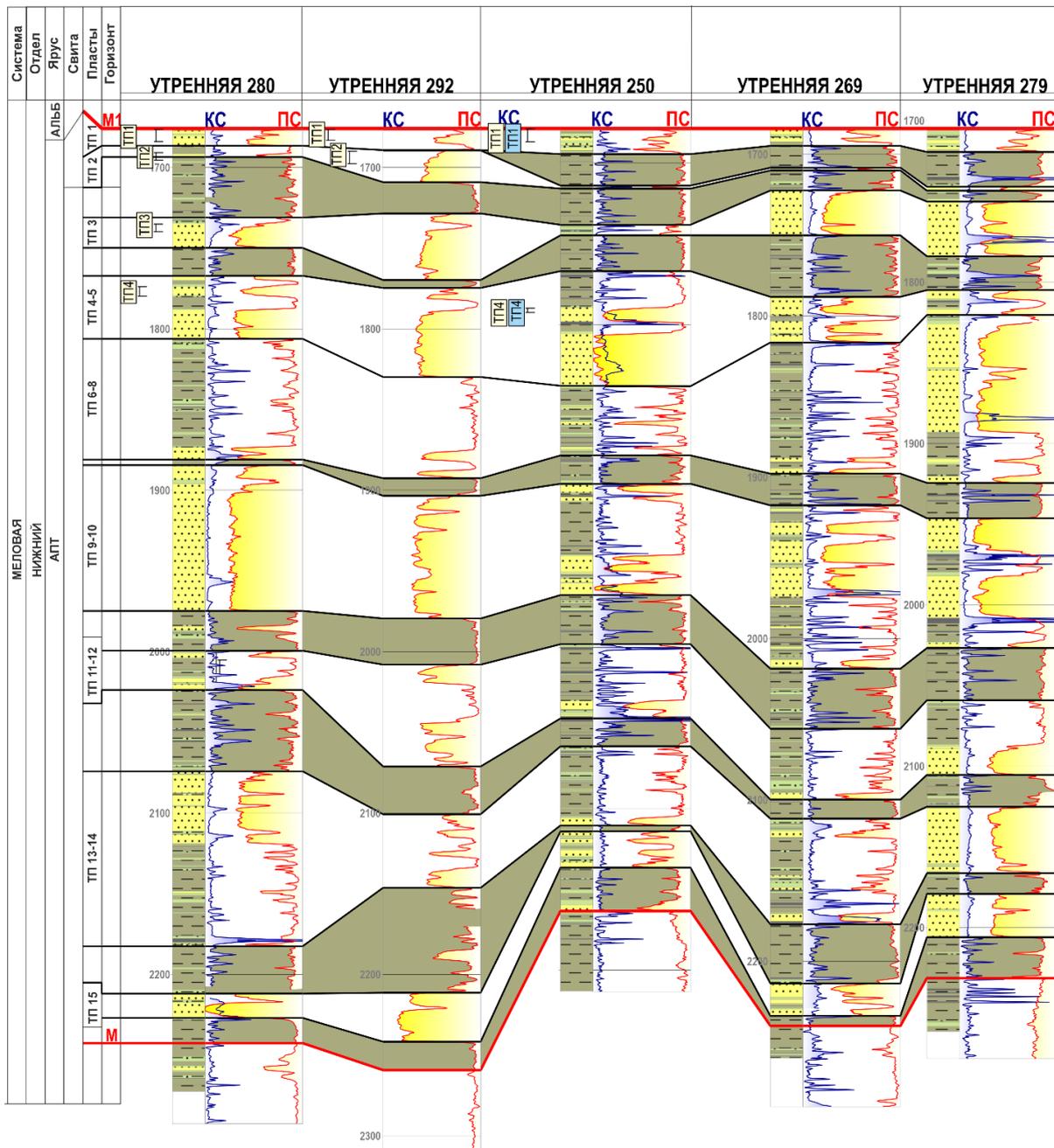
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ АПТ-АЛЬБ-СЕНОМАНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРА ГЫДАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА НА ПРИМЕРЕ САЛМАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

С. П. Малыгин, С. М. Ибрагимова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

Работа посвящена исследованию апт-альб-сеноманских отложений Салмановского месторождения, которое находится на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, на Гы-

данском полуострове. Данные отложения представляют большой интерес в плане нефтегазоносности.



Корреляционная схема пластов группы ТП по скважинам Утренняя 280, 292, 250, 269, 279

В данной работе приведена геолого-геофизическая характеристика района, которая включает в себя описание стратиграфии, тектонического районирования и нефтегазоносности. В ходе исследования для поставленных целей была выполнена структурная характеристика района по основным отражающим горизонтам, а также восстановлена история тектонического развития. Также в работе представлено геологическое строение и нефтегазоносность Салмановского месторождения по основным продуктивным пластам танопчинской свиты (пласты

ТП_{1,2,3,15} и ТП₄₋₅) и по продуктивному горизонту марресалинской свиты (продуктивный горизонт ПК₁). Эти свиты прослеживаются на всей территории исследования и обладают выдержанной мощностью, флюидоупорами для них служат глинистые толщи яронгской и кузнецовской свит соответственно [1].

В ходе работы для построения геологической модели и уточнения нефтегазоносности использовались корреляционные схемы основных песчаных пластов альб-сеноманских и средне-верхнеаптских отложений, для построения которых был рассмотрен материал по 25 скважинам, содержащий электрический и радиоактивный каротаж.

Средне-верхнеаптские отложения представлены верхней частью таноупчинской свиты, которую, по данным геофизических исследований скважин (ГИС), можно охарактеризовать как толщу преимущественно песчанистого, алевроито-песчанистого состава с прослоями аргиллитов и углей. Песчаные пласты индексируются как ТП₁–ТП₁₅. и хорошо прослеживаются на всей Утренней площади. При корреляции также были вынесены данные по испытаниям скважин в результате чего было сделано наблюдение о чередовании полученных промышленных притоков газа и воды, исходя из которых можно предположить гидродинамическую изолированность пластов группы ТП (см. рисунок).

Альб-сеноманские отложения представлены яронгской и марресалинской свитами. Яронгская свита характеризуется неоднородностью литологического состава. Верхняя часть разреза сложена чередованием песчаных пластов группы ХМ, алевролитов и аргиллитов. Нижняя часть преимущественно аргиллитовая. Яронгская свита является флюидоупором для песчаных пластов группы ТП и хорошо прослеживается на корреляционных схемах. Марресалинская свита представлена преимущественно алевроито-песчанистыми отложениями, с прослоями и линзами аргиллитов, редких углей в нижней части разреза. Песчаные пласты имеют маркировку ПК₁–ПК₁₀. Наиболее достоверно прослеживается продуктивный горизонт ПК₁, для которого флюидоупором являются глины кузнецовской свиты.

В ходе исследования было уточнено площадное распространение эффективных толщин пластов, и выделены перспективные зоны и зоны отсутствия коллекторов.

В ходе построения структурных карт кровли пластов, карт эффективных толщин и карт распределения углеводородов были сделаны следующие основные выводы: сеноманская залежь в горизонте ПК₁ – газовая, массивная, сводовая; верхнеаптские залежи (пласты ТП_{1,2,3,15} и ТП₄₋₅) – газовые, пластовые, разделены непроницаемыми глинистыми толщами.

Список литературы

1. Казаненков В. А. Геологическое строение и нефтегазоносность региональных резервуаров юры и мела в Карско-Ямальском регионе и прогноз распределения в них углеводородов // Геология нефти и газа: Электрон. науч. журнал, 2014. №1. С. 29–51.

УДК 553.98

СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЯ ВЕНДСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АНГАРО-ЛЕНСКОЙ СТУПЕНИ (ИЛИРО-ИЙСКАЯ И ЗАПАДНО-ИЙСКАЯ ПЛОЩАДИ)*

П. А. Новоселя, А. М. Фомин

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

В работе рассмотрены Илиро-Ийская и Западно-Ийская площади, которые в административном отношении расположены на юге Иркутской области, а в тектоническом – на юго-западе Ангаро-Ленской ступени. По схеме нефтегазоносного районирования площадь работ расположена в Ангаро-Ленской нефтегазоносной области Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции.

Целью данной работы являлось изучение зоны сочленения юго-западного борта Ангаро-Ленской ступени и юго-восточной бортовой части Присяяно-Енисейской синеклизы на основе сейсморазведочных работ 2D и данных скважин глубокого бурения.

Верхний комплекс осадочного чехла сложен четвертичными образованиями и отложениями макаровской свиты ордовика. Солевой комплекс представлен галогенно-карбонатными осадками нижнего-среднего кембрия и включает отложения литвинцевской, ангарской, булайской, бельской и усольской свит. Подсолевой комплекс сформирован венд-кембрийскими отложениями и разделяется на тэтэрскую, собинскую, катангскую, чорскую и тыптинскую свиты [1, 2].

В осадочном чехле Ангаро-Ленской ступени выделяется ряд регионально выдержанных продуктивных горизонтов, из которых на ряде площадей получены притоки нефти, газа и пластовой воды.

Результаты бурения глубоких скважин на смежных участках к территории исследования позволяют говорить о наличии пластов с удовлетворительными фильтрационно-емкостными свойствами, а также о наличии условий для миграции и скопления углеводородов.

Основные перспективы нефтегазоносности связаны с парфеновским горизонтом, выделенном в объеме песчаных отложений верхнечорской подсвиты венда и распространенным на всей территории исследования [3].

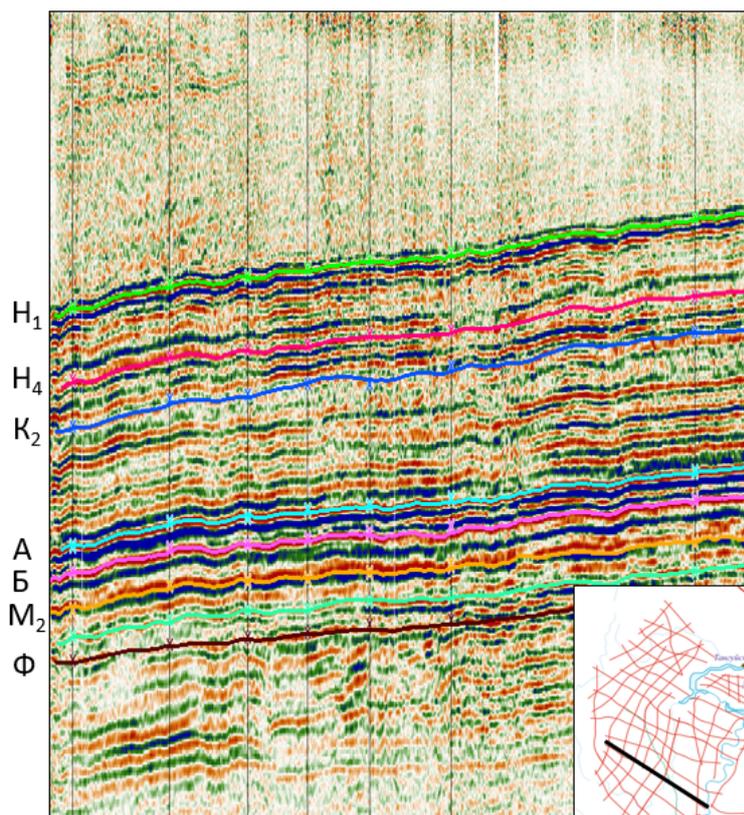
Материалом для исследования стали дела 14 скважин с комплексом геофизических исследований и сейсмические данные в объеме 37 профилей суммарной длиной 3481,8 км.

На исследуемой территории корреляция и стратиграфическая привязка горизонтов не представила трудностей в силу моноклиналиного залегания и отсутствия крупных разломных структур (см. рисунок).

В ходе работы изучен структурный план по поверхности кристаллического фундамента и по ряду отражающих горизонтов осадочного чехла, характеризующих строение зоны сочленения юго-западного борта Ангаро-Ленской ступени и юго-восточной бортовой части Присяяно-Енисейской синеклизы.

* Исследование выполнено в рамках проекта фундаментальных научных исследований № FWZZ-2022-0008.

© П. А. Новоселя, А. М. Фомин, 2024



Моноклиналиное залегание на примере профиля на юге Западно-Ийского участка

Все отражающие горизонты регионально погружаются в северо-западном направлении. Моноклиналиный склон осложнен структурными носами, структурными террасами и разделяющими их прогибами.

Выявлены тектонические нарушения, затрагивающие разрез осадочного чехла и фундамент.

Список литературы

1. Геология нефти и газа Сибирской платформы / Под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова, А. А. Трофимука. М.: Недра, 1981. 552 с.
2. Мельников Н.В. Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы (Стратиграфия, история развития). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 176 с.
3. Скузоватов М. Ю. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности вендского терригенного комплекса Ангаро-Ленской нефтегазоносной области. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2017. 150 с.

УДК 550.8.05, 550.849, 550.4.01

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Д. А. Павёлкина, А. М. Высоколян, Е. А. Лавренова

*Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе,
Москва*

В разрезе осадочного чехла Лено-Анабарского прогиба и сопряженной с ним Анабаро-Хатангской седловины, принадлежащими северной окраине Сибирской платформы, установлены признаки нефтегазоносности, что указывает на присутствие активных генерационно-аккумуляционных углеводородных систем (ГАУС) и высокие перспективы нефтегазоносности территории. При этом интерес для поисков углеводородов (УВ) представляет также акваториальная часть зоны сочленения Лаптевоморской плиты и Сибирской платформы, так как бассейны осадконакопления, включающие ГАУС, характеризуются трансграничным (суша/море) положением.

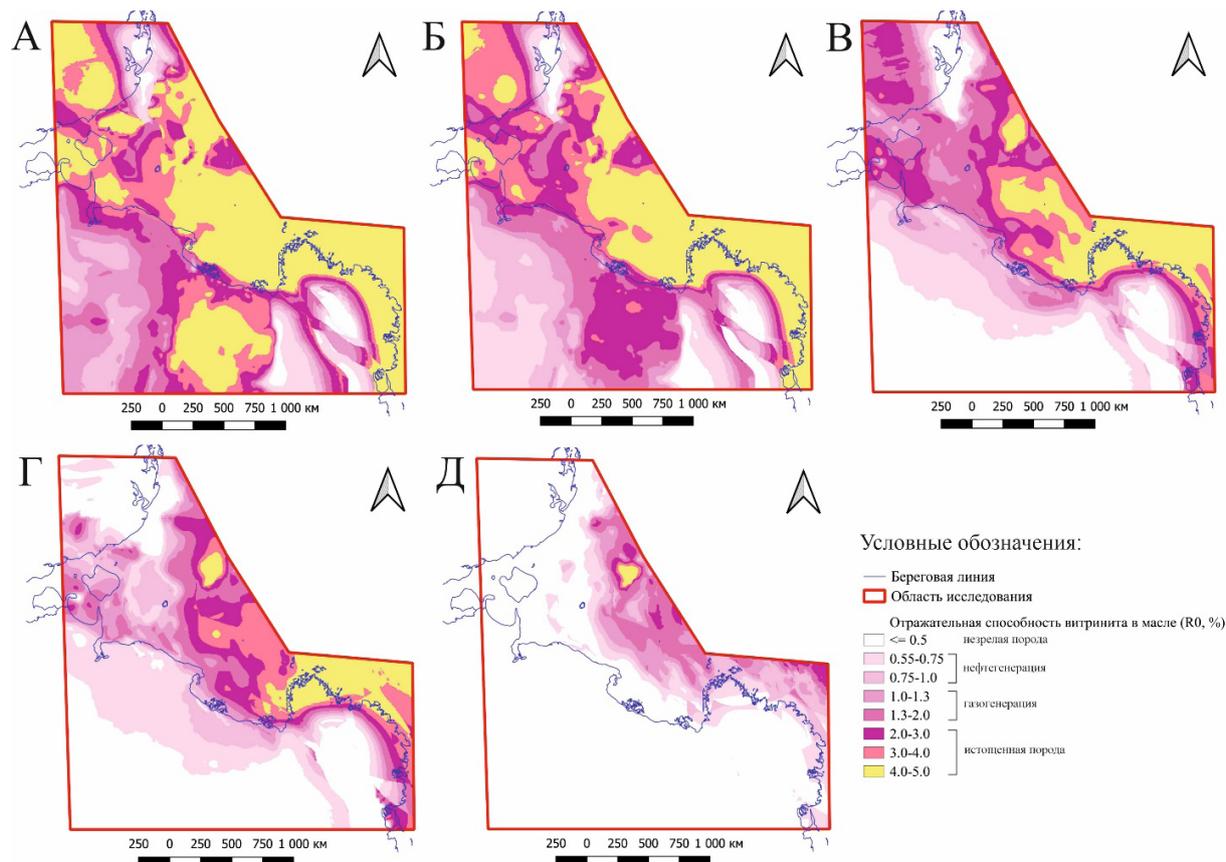
До настоящего времени изучение перспектив нефтегазоносности зоны сочленения выполнялось отдельно для акваториальной и континентальной областей [1–6], что снижает качество оценки углеводородного потенциала этой территории и определяет актуальность разработки единой региональной геологической модели в качестве основы для проведения нефтегазгеологического исследования.

Целью настоящего исследования является установление границ осадочных бассейнов зоны сочленения Лаптевоморской плиты и Сибирской платформы, построение пространственно-временной цифровой геологической модели, а также выделение в разрезе осадочного чехла нефтегазоматеринских толщ (НГМТ), изучение их генерационного потенциала с применением метода численного бассейнового моделирования.

Исходными данными для настоящего исследования послужили опубликованные и фондовые геологические материалы. В рамках подготовки геологической модели подготовлены структурные карты по следующим отражающим горизонтам: R (в подошве рифейских отложений), VIII (в кровле кембрийских отложений), VII (в подошве пермских отложений), III (в подошве юрских отложений) – для прибрежной части рассматриваемой территории; A (в подошве аптского яруса нижнемеловых отложений), mBU (в подошве палеогеновых отложений), UB (в подошве олигоценых отложений), RU (в подошве неогеновых отложений) – для акваториальной части.

По результатам анализа результатов геохимических исследований установлено, что в разрезе осадочного чехла Лено-Анабарского прогиба и Анабаро-Хатангской седловины нефтегазоматеринскими свойствами могут обладать верхнерифейские, верхневендские, девонские, пермские (тустахская, нижнекожевниковская и верхнекожевниковская свиты) и верхнеюрские отложения.

В результате проведенного исследования построены карты распределения свойств, изучаемых НГМТ, рассчитана их зрелость и оценен генерационный потенциал, а также выделены очаги генерации в верхнерифейских, верхневендских, девонских, пермских и верхнеюрских отложениях (см. рисунок). Наиболее богатой по объему сгенерированных УВ является верх-



Карты зрелости НГМТ:

А – верхнерифейской; Б – верхнедевонской; В – девонской; Г – пермской; Д – верхнеюрской

невендская НГМТ (389,263 млрд ТУТ (тонна условного топлива)). Количество УВ, сгенерированных пермской НГМТ, составляет 137,172 млрд ТУТ. Вклад верхнеюрской и девонской НГМТ в углеводородный потенциал территории оценивается в 90,241 и 79,213 млрд ТУТ соответственно. Несмотря на крупные очаги генерации, верхнерифейская НГМТ, в сравнении с остальными, сгенерировала наименьшее количество УВ – 46,595 млрд ТУТ.

Список литературы

1. Бакай Е. А., Смирнова М. Е., Коробова Н. И., Надежкин Д. В. Литолого-геохимическая характеристика Пермского нефтегазозосного комплекса Лено-Анабарского прогиба (на примере скважины Усть-Оленекская-2370) // Вестник Моск. ун-та, 2016. № 1. С. 71–81.
2. Конторович В. А., Конторович А. Э., Калинин А. Ю., Калинина Л. М., Лапковский В. В., Лунев Б. Л., Моисеев С. А., Соловьев М. В. Сейсмогеологическая и структурно-тектоническая характеристика континентальной окраины Сибирской платформы (Хатангско-Ленское междуречье) // Геология и геофизика, 2021. Т. 62. № 8. С. 1153–1171.
3. Лежнин Д. С., Афанасенков А. П., Соболев П. Н., Найденов Л. Ф. Геологическое строение и перспективы нефтегазозности рифей-палеозойских отложений Хатангско-Ленского междуречья // Геология нефти и газа, 2021. № 4. С. 7–28.
4. Полякова И. Д., Борукаев Г. Ч. Структура и нефтегазовый потенциал Лаптевоморского региона // Литология и полезные ископаемые, 2017. № 4. С. 322–339.
5. Соболев П. Н., Лежнин Д. С., Панарин И. А., Гаврилова Е. Н., Пименова А. М. Геохимические критерии нефтегазозности рифей-палеозойских отложений Лено-Анабарского

регионального прогиба и сопредельных территорий // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2019. № 8. С. 62–74.

6. Фролов С. В., Коробова Н. И., Бакай Е. А., Курдина Н. С. Углеводородные системы и перспективы нефтегазоносности Анабаро-Ленского прогиба // Георесурсы, 2017. Спецвыпуск. Ч. 2. С. 173–185.

УДК 553.98

ГЕОХИМИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ВЕРХНЕКОЖЕВНИКОВСКОЙ СВИТЫ НА КРЯЖЕ ПРОНЧИЩЕВА (СЕВЕР СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

И. Д. Попова, Е. А. Костырева

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

Комплексом геохимических методов впервые было изучено органическое вещество (ОВ) верхнепермских пород кряжа Прончищева (Лено-Анабарская НГО). Все исследования (пиролиз, битуминология, газожидкостная хроматография и хромато-масс-спектрометрия) проводились по схеме, утвержденной в лаборатории геохимии нефти и газа ИНГГ СО РАН. Материалом для исследования послужила коллекция из 17 образцов с открытых выходов пермских пород вдоль берегов реки Песчаная.

В структурном плане Прончищевский вал (Лено-Анабарская НГО) вытянут в северо-восточном направлении, центральная часть изучена сейсморазведкой [1]. Разрез перми кряжа Прончищевых представлен верхнекожевниковской свитой, сложенной неравномерным чередованием пакетов песчаников, алевролитов с редкими пластами аргиллитов [2].

Среднее значение $C_{орг}$ в аргиллитах (НО = 87 %) равно 2,39 % на породу и 1,66 % в алевролитах (НО = 87 %). Образцы верхнекожевниковской свиты имеют повышенное значение $C_{орг}$ в сравнении с кларковыми значениями (кларковое зн. для глинистых отложений 1,05 % и для песчано-алевритовых 0,83 %).

Выход хлороформенного битумоида для образцов верхнекожевниковской свиты изменяется от 0,02 до 0,07 % на породу в аргиллитах и от 0,01 до 0,05 % на породу в алевролитах глинистых. Содержания битумоидов в породах в среднем превышают кларковые значения ($XБ > 0,021$ % для глинистых пород, $XБ > 0,033$ % для песчано-алевритовых) [3]. Битумоидный коэффициент для коллекции не выше 3,2 %. Аллохтонных битумоидов в коллекции диагностировано не было.

Генерационный потенциал по классификации [4] в среднем для всей коллекции бедный (ср. знач. $S_2 = 1,41$ мг УВ/г породы), но отдельные слои имеют значения $S_2 > 2$ мг УВ/г породы, которые можно отнести к породам с умеренным генерационным потенциалом. По внешнему облику пирограмм можно сказать, что завышение реального генерационного потенциала асфальтово-смолистыми компонентами нет, так как у подножия пика S_2 отсутствует выраженный пик S_2' . Максимальное значение водородного индекса (НИ) = 78 мг УВ/г $C_{орг}$, минимальное –

26 мг УВ/г $C_{орг}$. Изученные породы, слагающие верхнекожевниковскую свиту, по классификации [5], содержат зрелое ОВ (среднее значение $T_{max} = 443$ °С). Степень преобразованности органического вещества по определениям отражательной способности витринита R_{vt}^0 (ср. знач. = 0,73 %) А. Н. Фомина соответствует стадии MK_1^2 , что не противоречит пиролитическому параметру зрелости (T_{max}) и ранее опубликованным материалам [6].

Распределение n-алканов в большинстве битумоидов одномодальное с максимумами на УВ C_{23} (10,99–13,77 в % на сумму нормальных алканов).

Соотношение n- $C_{27}/n-C_{17}$ в среднем равно 2 (при разбросе от 1 до 5), что указывает на преобладание высокомолекулярных алканов, связанных с высшей наземной растительностью. Обстановки осадконакопления верхнекожевниковской свиты Прончищевской структурно-фациальной зоны были разнообразны (характер распределения значений отношения пристана к фитану от 0,35 до 2,82 (от восстановительных до окислительных). Органическое вещество, согласно зависимости $Ph/n-C_{17}$ от $Pr/n-C_{18}$, зрелое, накапливающееся в прибрежных условиях.

Разброс значений Dia/Reg указывает на смену обстановок накопления с безкислородных к окислительным (мин. знач. > 0,3, макс. знач. > 0,5). Значения Nh_{35}/Nh_{34} не превышают 1, это связывают с пресноводными обстановками осадконакопления.

В насыщенной фракции битумоидов в составе стеранов доминируют стераны C_{29} (до 81,69 %). Значения стеранового (C_{29}/C_{27}) индекса больше 3,52, а трицикланового индекса больше 1,5, что характерно для ОВ континентального генезиса.

Результаты исследования ароматических соединений в битумоидах верхнекожевниковской свиты указывают также на их связь с континентальным ОВ (содержание дибензотиофена (ДБТ) – 4 %), что согласуется с результатами других исследований.

Континентальное ОВ верхнекожевниковской свиты кряжа Прончищева по биомаркерным параметрам имеет невысокую степень преобразованности (ср. K_1 (соотношение стереохимических эпимеров стеранов $C_{29}) = 0,35$, ср. K_2 (соотношение между изостеранами и исходными биостеранами состава $C_{29}) = 0,59$, соотношение триснорнеогопана и трисноргопана Ts/Tm не превышает 0,12, $4MДБТ/1MДБТ = 2,1 \div 3,6$), что не противоречит приведенным выше пиролитическим и углепетрографическим определениям (R_{vt}^0 , T_{max}) и соответствует главной фазе нефтеобразования.

Список литературы

1. Конторович В. А., Конторович А. Э., Губин И. А., Зотеев А. М., Лапковский В. В., Малышев Н. А., Соловьев М. В., Фрадкин Г. С. Структурно-тектоническая характеристика и модель геологического строения неопротерозойско-фанерозойских отложений Анабаро-Ленской зоны // Геология и геофизика, 2013. Т. 54. № 8. С. 1253–1274.
2. Попова Е. А., Попова И. Д. Биостратиграфия верхней перми по фораминиферам и геохимия органического вещества в разрезах кряжа Прончищева, север Средней Сибири // Фундаментальные, глобальные и региональные проблемы геологии нефти и газа: Мат. Всерос. научн. конф., посвященной 90-летию со дня рождения акад. РАН А. Э. Конторовича. Новосибирск, ИНГГ СО РАН, 29 января – 1 февраля 2024 г. С. 196–197.
3. Справочник по геохимии нефти и газа // СПб.: Недра, 1998. 576 с.
4. Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М.: Мир, 1981. 499 с.
5. Espitalie J. Use of T_{max} as a maturation index for different types of organic matter; Comparison with vitrinite reflectance. In Thermal Modeling in Sedimentary Basins // Proceeding of Meeting: 1st IFP Exploration Research Conference, Carcans, France, 1986. June 3–7.

6. Лежнин Д. С., Афанасенков А. П., Соболев П. Н., Найденов Л.Ф. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности рифей-палеозойских отложений Хатангско-Ленского междуречья // Геология нефти и газа, 2021. № 4. С. 7–28. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-4-7-2

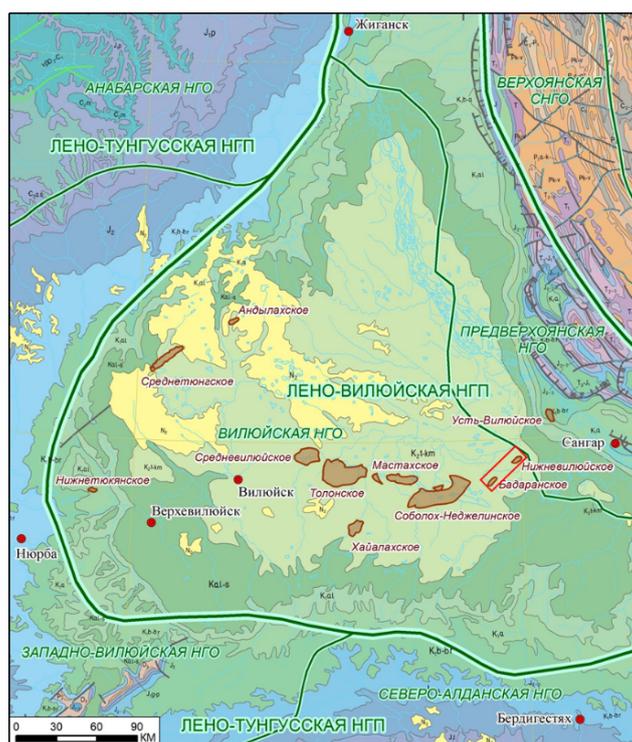
УДК 553.98

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МОНОМСКОЙ СВИТЫ НА ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ ХАПЧАГАЙСКОГО МЕГАВАЛА (ВИЛЮЙСКАЯ НГО)

М. С. Резникова

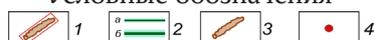
*Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт,
Новосибирский филиал, Новосибирск*

Рассматриваемая территория расположена на территории Лено-Вилюйской нефтегазоносная провинция (НГП) (Вилюйская нефтегазоносная область (НГО)) (см. рисунок). В ее пределах открыто два месторождения газа: Бадаранское и Нижневилюйское.



Обзорная карта района работ.

Условные обозначения



1 – участок работ; 2 – границы:

a – нефтегазоносных областей, *б* – нефтегазоносной провинции; 3 – месторождения; 4 – города

Бадаранское газовое месторождение открыто в 1962 г. Выявлены залежи газа в пластах нижнетриасового и нижнемелового возраста (пласты T_1 -III, T_1 -X и K_1). В тектоническом отношении оно приурочено к локальному поднятию, осложняющему восточный склон Хапчагайского мегавала.

Нижневиллюйское газовое месторождение открыто в 1977 г. Промышленно газоносными являются отложения нижнего триаса и нижней юры (пласты J_1 -I; T_1 -I – T_1 -III). Расположено в 16 км на северо-восток от Хапчагайского мегавала.

Покрышкой для нижнетриасовых залежей является региональный флюидоупор – мономская свита (мощностью 120–164 м).

В районе Хапчагайского мегавала во время формирования мономской свиты в раннеоленекское время располагался (согласно палеорекострукциям) мелководный морской залив с многочисленными отмелями и авандельтами [1, 2]. Увеличение глинистости к северу и северо-востоку от мегавала связывается с формированием осадков в сублиторальных фациях.

Данные месторождения расположены в Верхоянской сейсмофациальной области (СФО), а именно в Виллюйской сейсмофациальной зоне (СФЗ). Виллюйская СФЗ включает: Средневиллюйский район – зона выклинивания триасовых отложений; Нижневиллюйский район – внутренняя часть Виллюйской синеклизы и Неджели-Мастахскую площадь [3].

На основе интерпретации сейсморазведочных работ 2D, выполненных в 2020 г. на участке указанных месторождений и окружающих их площадей, а также результатов бурения 18 скважин были получены следующие результаты.

В ходе работы были построены карты: изохрон и структурная по кровле мономской свиты. Выполнена схема корреляции по скважинам. Анализ геолого-геофизических данных по скважинам: на Бадаранском месторождении суммарная мощность песчаных прослоев изменяется от 50 до 67 м при пористости 13–18 %, а на Нижневиллюйском – от 7 до 26 м при пористости 11–16 %.

Для того чтобы рассмотреть отображение изменения состава мономской свиты в сейсмическом поле, были построены карты амплитуд в интервале 15, 32, 60 мс, рассчитанные от кровли мономской свиты. Анализ карт динамического параметра свидетельствует о том, что в пределах Бадаранской площади отмечается зона повышенных амплитуд, что говорит о ее повышенной песчаности. Данное положение подтверждается двумерным моделированием, которое было выполнено для идентификации в сейсмическом поле изменения физических свойств отложений при различном соотношении песчаников и аргиллитов. Зоны глинизации разреза характеризуются пониженными значениями амплитуд сейсмической записи.

На основе выполненных построений и с учетом данных бурения была уточнена граница фациальной зоны – Неджели-Мастахской площади.

Список литературы

1. Сластенов Ю. Л., Королева Р. В., Алексеев Н. Н. Литология и экранирующие свойства глинистых горизонтов в разрезе мезозоя Лено-Виллюйской газоносной провинции // Н.: Наука, 1975. С. 3–13.
2. Фролов С. В. Особенности строения, осадочные комплексы и углеводородные системы Лено-Виллюйского нефтегазоносного бассейна // Георесурсы. науч.-техн. журнал, 2019. Т. 21, № 2, 13 с. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.13-30>
3. Девятов В. П. Стратиграфия триасовых отложений Верхоянской фациальной области (Центральная Якутия) // Региональная геология, 2012. Т. 10. № 2. С. 24–37.

УДК 553.982.2

СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГНОЗ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЧКАЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

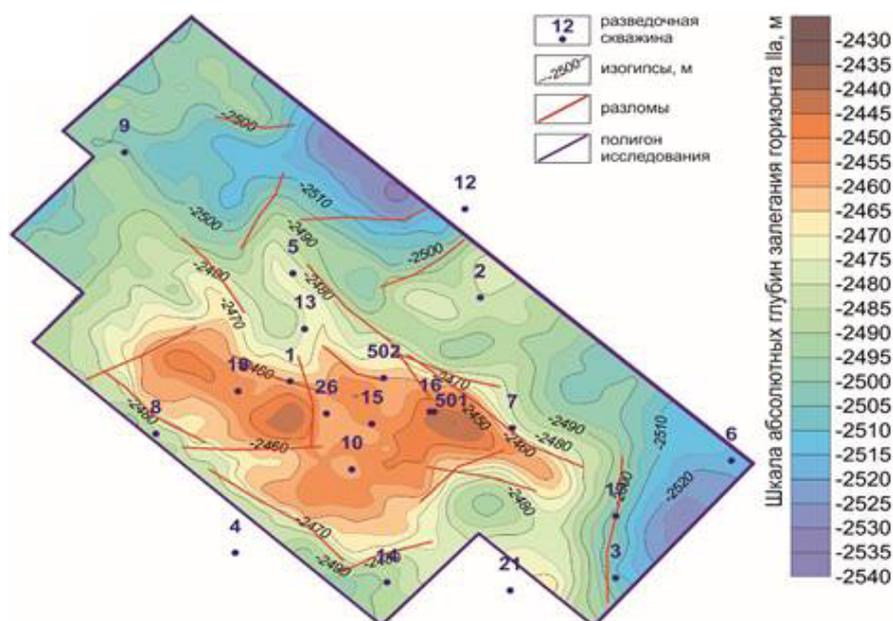
Д. Е. Тараненко, А. Ю. Космачева

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

Объектом исследования являются палеозойские и мезозойско-кайнозойские отложения Чкаловского месторождения, расположенного в Александровском районе Томской области.

В работе представлен анализ геолого-геофизической характеристики района на основе материалов стратиграфии, данных по тектоническому и нефтегазогеологическому районированию исследуемой территории, приведены результаты анализа структурных карт и карт изопахит по выделенным, в пределах территории исследования, отражающим горизонтам, выполнен анализ истории тектонического развития. Также приведены результаты интерпретации геофизических исследований скважин, пробуренных на изучаемой территории, и построенные на их основе корреляционные схемы. Осуществлено построение прогнозных карт распространения углеводородов на территории исследования.

Результаты исследований указывают на схожесть структурных поверхностей исследуемых отражающих горизонтов. Тектоническая активность в регионе наблюдалась в раннеюрский, раннемеловой и поздне меловой периоды. Положительные структуры, служащие потенциальными ловушками углеводородов, были сформированы в юрскую эпоху в пределах исследуемого района и с тех пор оставались относительно неизменными (см. рисунок) [1].



Структурная карта по подошве баженовской свиты (отражающий горизонт II^a) построил
 Д. Е. Тараненко на основе данных сейсмических материалов

Основные перспективы нефтегазоносности месторождения связаны с верхнеюрским терригенным комплексом и палеозойским карбонатным комплексом пород. Залежи нефти приурочены к отложениям палеозоя – пласту М и пласту Ю₁¹ горизонта Ю₁ васюганской свиты, залежь газа только к отложениям палеозоя (пласт М) [2].

В результате анализа карт перспективности нефтегазоносности для пласта Ю₁¹ была выявлена одна крупная залежь нефти, которая в западной части контролируется литологическим экраном, а уровень водонефтяного контакта предполагается на отметке –2490 м. Для пласта М, коры выветривания палеозоя, было выявлено три залежи углеводородов, две из которых нефтяные и одна газоконденсатная, все они контролируются тектоническими и структурными факторами, уровень водонефтяного контакта установлен на отметке –2850 м, а уровень газоводяного контакта предполагается на отметке –2920 м.

Список литературы

1. Конторович В. А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири // Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2002. 253 с.

2. Паровинчак К. М. Концептуальная модель строения доюрских отложений Чкаловского месторождения // Территория Нефтегаз, 2013. № 2. С. 44–51.

УДК 553.982.23

ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ, ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ *

С. И. Чернышева¹, А. Г. Замирайлова², С. В. Рыжкова²

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

Углеродистые породы баженовской свиты верхней части нижневолжского подъяруса – низов рязанского яруса Западно-Сибирского осадочного бассейна, накопление которых шло в морской обстановке, привлекают внимание как с точки зрения формирования нефтематеринских отложений, так и в связи с перспективой добычи из них сланцевой нефти. Подстиляется и перекрывается баженовская свита на юго-востоке Западной Сибири глинистыми георгиевской (верхи оксфорда-кимеридж) и куломзинской (берриас) свитами соответственно. Результаты изучения разрезов баженовской свиты, расположенных на юго-востоке Западной Сибири, позволят уточнить и дополнить данные о составе пород и на основе их комплексного анализа развить существующие представления об условиях формирования нефтеносной баженовской свиты.

В рамках настоящей работы изучались разрезы баженовской свиты, вскрытые бурением на Западно-Квензерской площади в северо-восточной части Нюрольской мегавпадины,

* Исследование выполнено в рамках тем FWZZ-2022-0007 и FWZZ-2022-0012 Государственной программы ФНИ.

© С. И. Чернышева, А. Г. Замирайлова, С. В. Рыжкова, 2024

на Южно-Майской площади Лавровского наклонного мезовала, на Средне-Юлжавской площади Северо-Межовской мегамоноклинали. В волжское время изученная территория являлась частью области морского осадконакопления с глубинами моря 100–200 м.

Методика исследований включала детальное описание пород по керну, петрографический анализ в шлифах, текстурный анализ на макрокопическом и микрокопическом уровнях, химический анализ образцов методами рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) форм железа в солянокислых вытяжках и пересчет на минералогический состав по методике О. М Розена и Ю. А. Нистратова [1]. Классификация пород проводилась по А. Э. Конторовичу с соавторами [2]. Результаты анализа форм железа в солянокислых вытяжках использовались для расчета значений степени пиритизации железа (СП) с целью определения окислительно-восстановительных обстановок формирования пород [3]. Для геофизической характеристики использованы данные электрического и радиоактивного каротажа скважин. Изученные разрезы существенно отличаются по электрическому сопротивлению: в Западно-Квензерском разрезе в среднем оно составляет 453 Ом·м, в Южно-Майском – 18 Ом·м, а в Средне-Юлжавском – 8 Ом·м. Значения индукционной проводимости в Средне-Юлжавском разрезе почти вдвое больше, а радиоактивность пород, наоборот, вдвое меньше – 22 мкР/ч. На Южно-Майской и Западно-Квензерской площадях разрезы в нижней части представлены высокоуглеродистыми породами (кероген 11–14 %) – силицитами керогеновыми ($m = 0,6$ м), микститами кероген-глинисто-кремнистыми и микститами кероген-кремнисто-глинистыми ($m = 2–5$ м) преимущественно биогенными породами. Порода черная с коричневым оттенком с горизонтально-линзовидно-слоистой микротекстурой. Слоистость подчеркнута линзочками глинистого материала, неравномерно обогащенными керогеном. Наблюдается фосфатный материал костей рыб, крючки теутид, обломки раковин двустворок, реликты радиолярий, полости которых выполнены кремнистым материалом. Отмечаются прослои карбонатов, в которых содержание радиоляритов более 50 %. На Западно-Квензерской площади средняя часть разреза ($m = 7,6$ м) представлена силицитами и силицитами керогеновыми, в которых содержание кремнистого материала более 50 % и керогена 11–14 %. Силициты характеризуются линзовидно-слоистой микротекстурой. Слоистость обусловлена линзочками керогена. В силицитах отмечаются фосфатный материал костей рыб, крючки теутид. В пределах пачки присутствует два типа силицитов, которые в разрезе чередуются друг с другом: 1) породы со значительным количеством (до 50 %) реликтов радиолярий, пространство между которыми выполнено скрытокристаллическим кремнистым и глинистым материалом; 2) породы, основная масса которых представлена глинисто-кремнистым материалом, содержание реликтов радиолярий в них составляет от 3 до 10 %. Верхняя часть разрезов сложена микститами кремнисто-глинистыми ($m = 2–8$ м). Микстит темно-серый с коричневым оттенком, трещиноватый, с обломками раковин двустворок, фосфатным материалом костей рыб, крючками теутид, с линзовидно-слоистой микротекстурой. Слоистость подчеркнута линзочками глинистого материала, в разной степени обогащенными керогеном. Глинистый материал и скрытокристаллический кремнезем составляют основную массу породы. Реликты радиолярий выполнены скрытокристаллическим кремнеземом, реже кальцитом, некоторые из них частично пиритизированы. В средней части пачки отмечаются реликты кокколитофорид, представленные кальцитом размером 5–10 мкм. Содержание глинистого материала в этих породах выше (до 40 %), чем в микститах нижней части разреза (26–29 %), а керогена ниже (6–8 %). На Средне-Юлжавской площади разрез в нижней части представлен микститами кремнисто-глинистыми (SiO_2 – 22–42 %, глинистых минералов 27–30 %, кероген <7 %, $m = 4$ м). В породах этого типа отмечаются редкие реликты кокколитофорид, представленных кальцитом и прослои ($m = 8–10$ см) мелкокристаллического доломита с реликтами радиолярий. Радиолярии (5–7 %) выполнены карбонатным материалом. Далее они сменяются микститами

кероген глинисто-кремнистыми (SiO_2 – 39–41 %, глинистых минералов – 26–27 %, кероген – 12–13 %, $m = 17,5$ м). Также в разрезе отмечается несколько прослоев (0,5–1 см), насыщенных фосфатными обломками скелетов рыб. Подобные прослои в баженовской свите наблюдаются и в других районах Западно-Сибирской геосинеклизы рассматриваются нами как массовые заморы рыб в соответствующие периоды. На территории исследования установлены мало-мощные прослои (до 0,5 м) микститов с реликтами кокколитофорид, а в некоторых разрезах они вовсе отсутствуют. Анализ степени пиритизации железа показал, что во время формирования баженовской свиты на территории Нюрольской мегавпадины существовали высоковосстановительные условия (степень пиритизации $> 0,8$).

В результате исследования установлены следующие различия в литологии и условиях формирования баженовской свиты юго-восточной части Западной Сибири:

- в пределах Нюрольской мегавпадины баженовская свита характеризуется повышенной кремнистостью, что объясняется более глубоководными условиями формирования и некоторой удаленностью от источника сноса этого района;
- кокколитофоридовые водоросли на территории исследования были существенно менее распространены, по сравнению с центральными районами Западно-Сибирского осадочного бассейна;
- условия на протяжении всего периода формирования баженовской свиты были высоковосстановительными (степень пиритизации $> 0,8$).

Список литературы

1. Розен О. М., Нистратов Ю.А. Определение минерального состава осадочных пород по химическим анализам // Советская геология, 1984. № 3. С. 76–83.
2. Конторович А. Э., Ян П. А., Замирайлова А. Г., Костырева Е. А., Эдер В. Г. Классификация пород баженовской свиты // Геология и геофизика, 2016. Т. 57. № 11. С. 2034–2043.
3. Raiswell R., Buckley F., Berner R. A., Anderson T. F. Degree of pyritization of iron as a paleoenvironmental indicator of bottom-water oxygenation // J. Sediment. Petrol, 1988. Vo. 58. № 5. P. 812–819.

УДК 550.8.013

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН ДЛЯ РЕШЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

А. К. Шатыров

*Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе,
Москва*

Традиционно геофизические исследования в скважинах (ГИС) относятся к детализационным работам и выполняются на стадии разведки и эксплуатации месторождений углеводородов. Данные каротажа используются для корреляции и литологического расчленения геологического разреза, изучения петрофизических свойств пород, а также их флюидонасыщения. Сочетание высокого разрешения и большой точности позволяет использовать результаты

© А. К. Шатыров, 2024

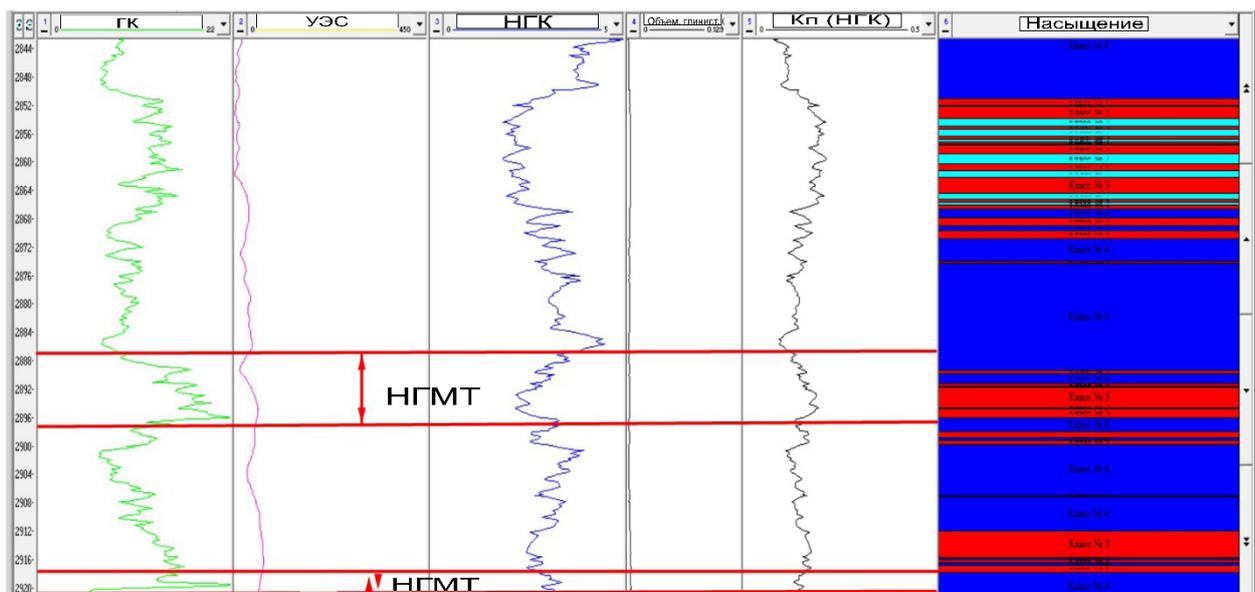
для количественных измерений и детальной корреляции стратиграфических свойств. При этом ГИС обладают значительным потенциалом и для решения региональных нефтегазопроисловых геологических задач, который пока слабо реализуется. Выявление и характеристика нефтегазоматеринских пород в разрезе осадочного чехла в настоящее время является, по сути, единственным примером такого использования. Существует несколько методик выделения в разрезе отложений с высоким содержанием органического вещества, базирующихся на интерпретации результатов гамма-каротажа в сочетании с плотностным, нейтронным, акустическим, электрическим каротажем [1, 2]. Преимуществом каротажных диаграмм является непрерывная запись изучаемого параметра, что позволяет в том числе установить мощность нефтегазоматеринских толщ. Привлечение результатов лабораторных измерений органического углерода в отдельных интервалах для калибровки дает возможность прогнозировать содержание $C_{орг}$ по всему разрезу.

Целью настоящего исследования является изучение возможностей применения ГИС в процессе выполнения бассейнового анализа с позиции концепции генерационно-аккумуляционных углеводородных систем (ГАУС), включая теоретическое обоснование и практическое использование в различных геологических обстановках. Результаты интерпретации каротажных данных планируется применять для решения следующих геологических задач: установление закономерностей изменения литолого-фациальных условий формирования осадочного чехла (седиментационных трендов), выявление в разрезе необходимых элементов углеводородных систем, разделение активных и неактивных нефтегазоматеринских толщ (НГМТ), детектирование процессов миграции углеводородов из очагов генерации.

Верификация и калибровка результатов интерпретации ГИС выполняется с привлечением данных геохимических исследований керна, а также материалов численного бассейнового моделирования.

На рисунке приведен пример выделения НГМТ в разрезе скважины Нордвик.

Для выявления НГМТ в разрезе применялся комплекс ГИС, включающий гамма- (ГК), плотностной (ГГК-п), нейтронный (НГК), акустический (АК) каротаж, а также удельное электрическое сопротивление (УЭС) (см. таблицу).



Пример наличия НГМТ по геофизическим исследованиям скважин.

Условные обозначения в колодце насыщения: синий – газ; красный – нефть; бирюзовый – вода

Комплекс ГИС для выделения НГМТ в разрезе

Метод	Показания	Интерпретация
Гамма (ГК)	Высокие за счет высокого содержания урана и тория в органическом веществе	Неактивная НГМТ в отсутствие аномалий ГГК-п, АК, УЭС
Нейтронный (НГК)	Высокие из-за содержания водорода в органическом веществе	Неактивная НГМТ в отсутствие аномалий ГГК-п, АК, УЭС
Плотность (ГГК-п)	Низкие за счет присутствия УВ в порах	Активная НГМТ при наличии аномалий ГК, НГК
Акустический (АК)	Большее время прохождения из-за нарушения целостности породы и образование трещин в результате генерации УВ	Активная НГМТ при наличии аномалий ГК, НГК
Удельное электрическое сопротивление (УЭС)	Высокие при значительном количестве УВ в порах	Активная НГМТ при наличии аномалий ГК, НГК

Предварительные результаты, полученные на примере зоны сочленения Сибирской платформы и Лаптевоморской плиты, показали в целом хорошую эффективность от применения результатов геофизических исследований скважин для решения региональных геологических задач и целесообразность продолжения исследований в этом направлении.

Список литературы

1. Urooj S., Muiyassar H., Muhammad Fahad M., Masood A., Tausif A., Syed Mamoon S., Hafiz Shahzad A. and Nouman M. Source Rock Potential and Thermal Maturity of Datta Shale Using Well Logs Data of Chanda Deep-01 well, Upper Indus Basin, Pakistan // Journal of Himalayan Earth Sciences. 2021. № 1. P. 101–111.
2. Rouse W. A., Houseknecht D. W. Modified method for estimating petroleum source-rock potential using wireline logs, with application to the Kingak Shale, Alaska North Slope: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2016. 40 p., <http://dx.doi.org/10.3133/sir20165001>.

УДК 553.98

**ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ
ПАЛЕОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ АРХИПЕЛАГА СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ
С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗА КОЛЛЕКТОРОВ**

К. И. Энбом

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

Северо-Карский осадочный бассейн слабо изучен и до 2020 г. не был охарактеризован скважинными данными, поэтому основная информация об элементах нефтяных систем – коллекторах, нефтегазоматеринских толщах и флюидоупорах – может быть получена на основе анализа каменного материала с архипелага Северная Земля. Ключом к пониманию законо-

© К. И. Энбом, 2024

мерностей распространения элементов нефтяных систем является реконструкция обстановок осадконакопления.

Цель работы – реконструировать обстановки осадконакопления терригенных венд-кембрийских, ордовикских, девонских, каменноугольно-пермских пород на архипелаге Северная Земля. На основе гранулометрического анализа в шлифах и описания шлифов определен минерально-петрографический состав, определены размеры зерен, особенности структуры и текстуры, минеральные включения. Удалось проинтерпретировать кумулятивные кривые, диаграмму Р. Пассеги [1], которая применяется для выяснения генезиса песчаных пород на основе разных механизмов перемещения обломочных частиц, и уточнить условия накопления палеозойских терригенных свит, установленных в ходе геологического картирования [2].

Методика работы: под микроскопом измерялся размер зерен в мм и оценивалось процентное содержание зерен одного размера с шагом 0,01 мм. Были построены столбчатые диаграммы, гистограммы, кумулятивные кривые. По нарастающей (кумулятивной) кривой были определены средний размер зерен (медиана), коэффициент сортировки и коэффициент асимметрии [3]. Данные были обработаны и нанесены на диаграмму Р. Пассеги [1].

Результаты. Опираясь на данные, полученные при интерпретации диаграммы Р. Пассеги [1] были сделаны следующие выводы: в ордовике осадконакопление происходило в придонных частях шельфа, девонские породы накопились на шельфе, а в позднекаменноугольно-раннепермское время – в фации рек и направленных течений. Одновозрастные отложения имеют схожую сортировку. Сортировка более древних пород лучше, по сравнению с более молодыми породами. Это может свидетельствовать об отступании моря или появлении нового источника сноса обломочного материала вблизи арх. Северная Земля, в позднекаменноугольно-раннепермское время, вероятно, в результате орогенеза в Северо-Таймырской зоне.

Список литературы

1. Пассеги и Бирамджи, Диаграмма Р. Пассеги. 1957, 1964 и 1969 гг.
2. Качурина и др. Объяснительная записка к государственной геологической карте Российской Федерации серии Северо-Карско-Баренцевоморская и Таймырско-Североземельская, лист Т-45-48 – м. Челюскин. СПб. картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013.
3. Шванов В. Н. Песчаные породы и методы их изучения (распространение, структуры, текстуры). Л.: Недра. 1969. 232 с.



ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 550.42:556.523

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ CS-137 И СО-60 КАК ВРЕМЕННЫХ МАРКЕРОВ ДЛЯ ДАТИРОВКИ СЛОЕВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ ЕНИСЕЙ*

В. И. Вахрушев^{1,2}, А. Я. Болсуновский¹

¹ *Институт биофизики СО РАН, Красноярск*

² *Сибирский федеральный университет, Красноярск*

Радионуклид ^{137}Cs широко используется в качестве реперного маркера для датировки слоев донных отложений (ДО). В качестве реперной даты для максимумов содержания ^{137}Cs в слоях ДО приняты даты глобальных выпадений ^{137}Cs во время ядерных испытаний (1961–1964 гг.) и во время Чернобыльской аварии (1986 г.) [1]. Для ДО реки Енисей отмеченные выше даты глобальных выпадений ^{137}Cs имели место, но наиболее существенным и масштабным поступлением ^{137}Cs было во время крупных паводков. Самым крупным паводком за последние 60 лет с расходом воды до $18000 \text{ м}^3/\text{с}$ был паводок 1966 г., во время которого отмечен смыв техногенных радионуклидов в р. Енисей с промышленной зоны горно-химического комбината (ГХК) «Росатом» [2]. Помимо паводка 1966 г. были и другие крупные паводки, например, в 2006 г., после которого нами регистрировались максимумы ^{60}Co в верхних слоях ДО. Выявленное максимальное содержание техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{60}Co в отдельных слоях ДО р. Енисей в момент крупных паводков 1966 и 2006 гг. может служить основой для рассмотрения перспективы использования этих радионуклидов при датировании слоев ДО. Целью работы является оценка применимости техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{60}Co в качестве временных маркеров крупных паводков 1966 и 2006 гг. для датировки слоев ДО р. Енисей.

Отбор проб ДО проводился на пойменных участках р. Енисей в ближней зоне влияния ГХК вблизи села Балчуг. Для отбора кернов ДО использовали стальные цилиндрические пробоотборники с лепестковым затвором. Пробы кернов ДО в дальнейшем анализировали полойно по 2–3 см. Анализ радионуклидного состава проб проводили на полупроводниковых γ -спектрометрах.

Анализ вертикальных распределений кернов ДО р. Енисей с аномальным содержанием ^{137}Cs по течению реки, проведенный ранее Ф. В. Сухоруковым с соавт. [3] и сотрудника-

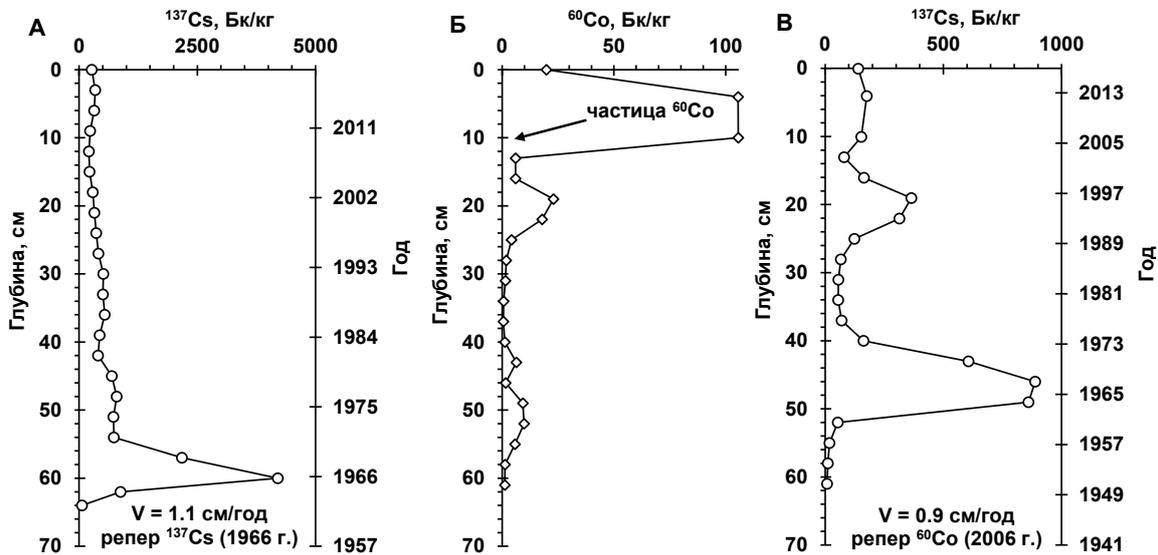
* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-27-20003), Красноярского краевого научного фонда.

© В. И. Вахрушев, А. Я. Болсуновский, 2024

ми ИБФ СО РАН, показал, что обнаруженные аномальные слои явились следствием переноса ^{137}Cs во время паводка 1966 г. из зоны ГХК. Такие слои с аномальными максимумами ^{137}Cs могут служить реперными маркерами даты паводка 1966 г. при определенных условиях [2]. На рисунке (А) представлен пример расчета скорости осадконакопления (V , см/год) по реперу ^{137}Cs с его максимальным поступлением (слой 54–62 см) в период паводка 1966 г. Скорости осадконакопления, рассчитанные для кернов из ближней зоны ГХК по реперному маркеру ^{137}Cs (1966 г.), были в интервале 0,6–1,5 см/год и совпадали со скоростями, полученными методом отношения $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ (0,6–1,7 см/год).

Во время экспедиций в зоне влияния ГХК после крупного паводка 2006 г. был обнаружен максимум ^{60}Co в верхних слоях кернов ДО, который мог возникнуть вследствие смыва ^{60}Co с зоны ГХК во время экстремального паводка (2006 г.). Кроме этого, в верхних слоях ДО обнаружены радиоактивные частицы с повышенной активностью ^{60}Co [3]. Максимум в распределении ^{60}Co на примере керна ДО на рисунке (Б) может служить маркером времени (2006 г.) для расчета скорости и хронологии осадконакопления (В). В характере вертикального распределения радионуклидов в ДО этого керна отмечен максимум ^{137}Cs (В) в нижнем слое (42–45 см) и максимум ^{60}Co (Б) в верхних слоях (4–15 см). На основании скорости осадконакопления (0,9 см/год), рассчитанной с помощью реперного максимума ^{60}Co , даты паводка 2006 г. по примеру (Б, В), максимальное поступление ^{137}Cs (слой 40–52 см) в ДО датируется периодом паводка 1966 г. [4].

Скорости осадконакопления, рассчитанные для кернов из ближней зоны ГХК по реперному маркеру ^{60}Co (2006 г.) и реперному маркеру ^{137}Cs (1966 г.) совпадали (0,5–1,4 см/год и 0,6–1,5 см/год соответственно). Для контрольного участка выше по течению р. Енисей от ГХК для расчета скорости осадконакопления использовался метод на основе неравновесного ^{210}Pb , интервалы скоростей которого показали согласие с данными ближней зоны ГХК, полученными методами репера ^{137}Cs (1966 г.) и репера ^{60}Co (2006 г.).



Примеры вертикального распределения ^{137}Cs (А) и ^{60}Co (Б) с хронологией поступления ^{137}Cs (А, В) в ДО р. Енисей ниже зоны ГХК

В результате работы нами показана хорошая применимость двух методов расчета скоростей осадконакопления на основе реперных маркеров ^{137}Cs и ^{60}Co крупных паводков 1966

и 2006 гг. Анализ скоростей осадконакопления показал корреляцию данных по реперным маркерам ^{137}Cs и ^{60}Co в интервале 0,5–1,7 см/год с данными, рассчитанными другими методами. Датировка слоев ДО р. Енисей по реперным маркерам ^{137}Cs и ^{60}Co позволила логично датировать многие максимумы радионуклидов. Использование разных методов датировки слоев ДО реки Енисей позволит оценить масштаб радиоактивного загрязнения реки в разные периоды времени.

Список литературы

1. Foucher A. et al. A worldwide meta-analysis (1977–2020) of sediment core dating using fallout radionuclides including ^{137}Cs and ^{210}Pb // Earth System Science Data Discussions. 2021. Т. 2021. С. 1–61.
2. Болсуновский А. Я., Дементьев Д. В., Вахрушев В. И. Масштабный перенос техногенных радионуклидов по течению реки Енисей во время экстремального паводка 1966 г. // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 498. № 2. С. 189–194.
3. Сухоруков Ф. В., Дегерменджи А.Г., Белолипецкий В. М. и др. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине реки Енисей. Новосибирск: Изд-во СО РАН. Филиал «Гео», 2004. 287 с.
4. Вахрушев В. И., Болсуновский А. Я., Дементьев Д. В. Использование радиоизотопных методов для хронологии поступления Cs в донные отложения реки Енисей // Вестник Удмуртского ун-та. Серия Биология. Науки о Земле. 2023. Т. 33. № 2. С. 178–190.

УДК 551.34

ОЦЕНКА ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТА НА ОПОЛЗНЕВОМ СКЛОНЕ В ДОЛИНЕ Р. ВОРКУТЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ

А. Н. Вихоть

Институт геологии им. акад. Н. П. Юшкина Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

Замерзание и оттаивание почвы и грунтов – природное циклическое явление. Около 50 % территории Земли подвержено промерзанию в какой-либо момент годового цикла, при этом 20 % Земли покрыто вечной мерзлотой [1]. Температурный режим почв и грунтов и глубина их промерзания в основном задается такими климатическими параметрами, как температура воздуха в зимний период, высота, плотность, структура и теплопроводность снежного покрова [2, 3]. Содержание влаги в почве и грунтах, их тепловые свойства, количество осадков и скорость ветра также играют немаловажную роль при определении глубины промерзания. В настоящее время измерения этих параметров проводятся эпизодически под определенные практические задачи. Наши исследования проводились в районе оползня г. Воркута (67°30' с. ш. 64°02' в. д.) на ул. Шахтерская набережная. Город располагается в области распространения островной многолетней мерзлоты. Исследования включали уточнение мощности геологических горизонтов, слагающих оползневый склон, расчет глубины промерзания грунта и сравнение получен-

ных результатов с некоторыми наблюдаемыми данными, предоставленными ГКУ РК «Геокриологическая служба».

Оползневое тело находится на очень крутом эрозионном склоне современной речной долины р. Воркута, длина оползневого участка около 400 м. С помощью вертикального электрического зондирования и Геологической карты [4] установлено строение верхней части геологического разреза: до глубины 0,4–1,5 м и реже до 3 м залегают техногенные образования (тН) неоднородного состава со значениями удельного электрического сопротивления 280–970 Ом·м; до глубины 4,0–6,8 м находятся ледниково-морские суглинки (gmE-lrg) с содержанием гравия и гальки в подошве до 25 % и прослоями песков и супесей; далее до 13–14 м залегают полускальные отложения (P₁₋₂lv₂) и представляют собой переслаивающиеся сильно выветрелые трещиноватые глыбо-щебенистые песчаники, алевролиты, аргиллиты, углистые аргиллиты и угли, возможно их переслаивание со скальными породами.

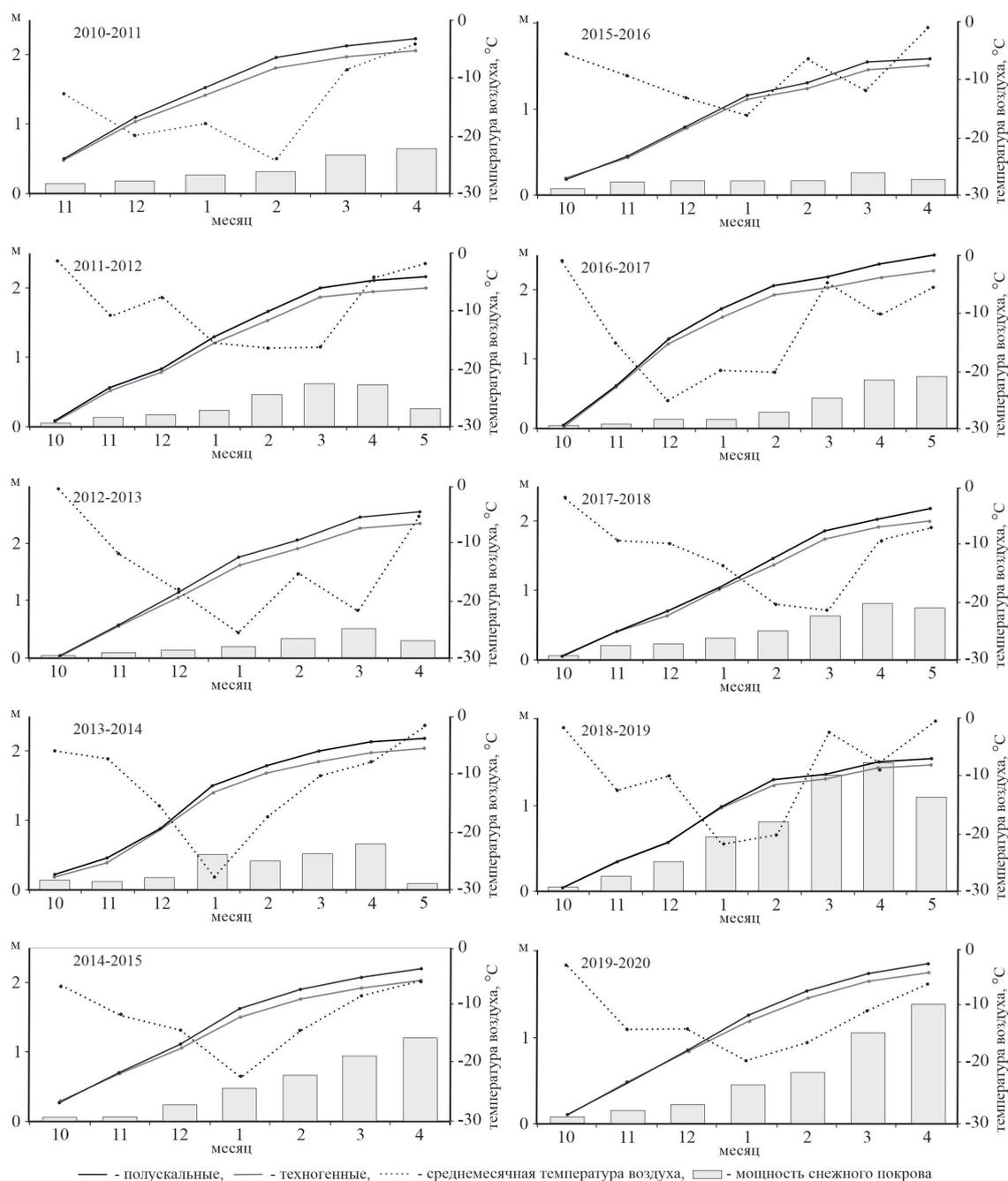
Наблюдения за температурой воздуха с целью эмпирического определения глубины промерзания почвы и грунтов были использованы еще в 1890 г. [5]. Уравнение Стефана – одна из первых известных теоретических формул для расчета промерзания геологической среды. Это уравнение получено из фундаментального уравнения движения потока и сохранения тепла и имеет вид при наличии снежного покрова:

$$h_{\text{пр.}} = \sqrt{\frac{2\lambda_{\text{м}}t_{\text{н}}\tau}{Q_{\text{ф}} + C_{\text{ом}}\frac{t_{\text{н}}}{2} + h_{\text{м}}^2}} - h_{\text{м}},$$

где $\lambda_{\text{м}}$ – коэффициент теплопроводности мерзлой породы, Вт/м·°С, $t_{\text{н}}$ – средняя температура воздуха, °С, τ – продолжительность промерзания на конец месяца холодного периода, ч, $Q_{\text{ф}}$ – теплота фазового перехода, Вт·ч/м³, $C_{\text{ом}}$ – объемная теплоемкость мерзлых пород, Вт·ч/м·°С, $h_{\text{м}}$ – условная мощность слоя теплоизоляции (снежного покрова), м.

Режим промерзания грунтов был рассчитан для верхней части оползневого склона у бровки оползневого срыва и для склоновой части. Изменение глубины промерзания грунта, хода среднемесячной температуры воздуха в холодный период и накопления снежной толщи (см. рисунок) отражают то, когда установился снежный покров или наступили отрицательные температуры воздуха и как интенсивно они менялись в течение зимы и как они сказывались на режиме промерзания. В октябре наступают климатические условия для устойчивого сезонного промерзания верхнего слоя горных пород, тогда же начинает формироваться постоянный снежный покров, средняя температура воздуха октября за период исследований составляет –3 °С. Основное промерзание происходит к концу января. Оценка глубины промерзания дает значение корреляции с наблюдаемыми климатическими параметрами: среднемесячной температурой воздуха – 0,55–0,81, мощностью снежного покрова – 0,32–0,67. Минимальное значение связи «глубина промерзания – температура воздуха» отмечается в самую многоснежную зиму за весь период исследований – 2018–2019 гг. На некоторых графиках выделяется резкий рост глубины промерзания в месяцы с максимально морозной температурой воздуха до –27,8 °С. Сравнение результатов расчетов с некоторыми наблюдаемыми данными по двум термометрическим скважинам показало, что расхождение расчетных и наблюдаемых глубин промерзания техногенного грунта составляет до 30 % при сильном коэффициенте корреляции 0,76–0,92. Расчетные данные в целом воспроизводят динамику процесса промерзания.

Исследования показали, что из двух климатических параметров, применяемых в расчете по методу Стефана, определяющее влияние на глубину промерзания грунтов на оползневом склоне в долине р. Воркуты оказывает среднемесячная температура воздуха зимнего периода.



Расчитанные глубины промерзания и климатические параметры

Принимая во внимание, что связь «глубина промерзания – мощность снежного покрова» умеренная и значительная, в дальнейших исследованиях предполагается провести анализ особенности накопления снежного покрова и взаимосвязи «глубина промерзания – интенсивность снегопадов».

Список литературы

1. Henry Hugh A. L. Climate change and soil freezing dynamics: historical trends and projected changes / A. L. Henry Hugh // Climatic Change, 2008. Vol. 87. P. 421–434. DOI: 10.1007/s10584-007-9322-8

2. Шерстюков А. Б. Корреляция температуры почвогрунтов с температурой воздуха и высотой снежного покрова на территории России // Криосфера Земли, 2008. Т. XII. № 1. С. 79–87.
3. Erlingsson S., Saliko D. Correlating air freezing index and frost penetration depth – a case study for Sweden // The 9th International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements – Mairepav 9: Proceedings of the Conference, 2020. Vol. 76. P. 847–857.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Изд. 2-е. Масштаб: 1:200000. Серия: Полярно-Уральская. Q-41-V, VI (Воркута) / Под ред. А. И. Водолазского. Сыктывкар: ЗАО «ГТК МИРЕКО», 2005.
5. Stefan J. Ueber die Theorie der Eisbildung, insbesondere über die Eisbildung im Polar-meere // Annalen der Physik, 1890. Vol. 278. Is. 2, 18:965.

УДК 504.06/504.4/550.4

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РОДНИКОВЫХ ВОД ЩЕЛКОВСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Д. С. Гусарова, Д. А. Яблонская, Т. Н. Лубкова, О. Р. Филатова

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

В работе определены геохимические характеристики родниковых вод территории Щелковского городского округа (северо-восток Московской области), расположенного на стыке Мещёрской низменности (междуречье Оки, Москвы-реки и Клязьмы) и Смоленско-Московской возвышенности (междуречье Клязьмы и Вори). Расположение района в центральной части Восточно-Европейской платформы определяет его характерное двухэтажное геологическое строение: нижний этаж, сложенный древними породами архейской и протерозойской эры, и верхний этаж, объединяющий мелководные морские и континентальные отложения палеозоя, мезозоя и кайнозоя [1]. Четвертичные отложения представляют собой ледниковые образования трех морен и сопутствующих им водно-ледниковых отложений. Гидрогеологические условия Московской области характеризуются наличием зоны активного водообмена, которая охватывает до 10 и более водоносных горизонтов [2]. Область питания родниковых вод, активно эксплуатируемых жителями округа в качестве питьевых, как правило, связана с четвертичными отложениями. Вариации мощности современных отложений и активная антропогенная нагрузка на территории округа увеличивают риск техногенного загрязнения подземных вод и приводят к снижению качества вод родников.

Опробование родников проводилось в сентябре 2023 г. и феврале 2024 г., отобрано по 12 проб воды. В ходе отбора фиксировались координаты местоположения родников, измерялся расход родника, а также температура воды, рН и электропроводность (с использованием портативного анализатора BLE-C600). Для определения содержания микроэлементов порцию воды фильтровали через мембранный фильтр 0,45 мкм и консервировали азотной кислотой. Содержание ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- определяли методом объемного титрования [3], Na^+ , NH_4^+ и NO_3^- – методом потенциометрии, SO_4^{2-} – методом рентгенофлуоресцентного анализа с предконцентрированием по методу высушенной капли [4], величину химического потребления кис-

лорода (ХПК) – методом фотометрии [5]. Спектры поглощения растворенного органического вещества (РОВ) природной воды регистрировали при комнатной температуре относительно дистиллированной воды на спектрофотометре Solar PB2201 в диапазоне длин волн 200–700 нм с шагом сканирования 1 нм. Спектры испускания флуоресценции РОВ измеряли на спектрофлуориметре Solar SM2203 при длинах волн возбуждения флуоресценции λ_{ex} 270 нм, 310 нм, 355 нм с шагом 1 нм.

Результаты посезонного опробования вод родников свидетельствуют о постоянстве их состава. Отобранные воды пресные, слабоминерализованные ($M = 0,1-0,7$ г/л), значения рН варьируют от 5,2 до 7,0. Величина ХПК в воде большинства родников меньше 12 мгО/л, максимумом 40 мгО/л. В трех из исследованных родников содержание нитрат-иона в воде составляет 12–16 мг/л, в остальных – 2–10 мг/л. Полученные данные о кислотнo-щелочных условиях, минерализации и содержании основных ионов в исследованных водах позволяют составить формулу Курлова (в упрощенном варианте) и дать название типу воды. В соответствии с выделенными типами воды можно разделить на несколько групп. Наиболее распространенными являются воды хлоридно-гидрокарбонатного кальциевого состава со значимым содержанием ионов магния и натрия (шесть родников). Остальные родники характеризуются следующим составом воды: хлоридно-сульфатная кальциевая (три родника), хлоридная и хлоридно-(сульфатная)-гидрокарбонатная натриево-кальциевая (два родника), гидрокарбонатная кальциевая (один родник).

Контроль качества воды осуществлялся путем сопоставления гидрогеохимических характеристик с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) для питьевых вод [6]. Превышение ПДК наблюдается по таким показателям, как значения ХПК (родники 1, 2, 3, 4), содержаниям нитрат-иона (родник 1) и ионов аммония (родники 1 и 3). Для показателя рН были отмечены значения ниже нормативного диапазона для шести родников.

Содержание микрокомпонентов в воде не превышает ПДК. Полученные значения были сопоставлены со средними содержаниями в составе подземных вод зоны гипергенеза области умеренного климата [7]. Повышенные концентрации отмечаются для бария и стронция (обусловлено природными вариациями содержаний этих элементов в природных водах), а также для ряда металлов (Mn, Ni, Cr, Co, Zn), что связано как с природными, так и техногенными факторами.

Исследование оптических свойств растворенного органического вещества (РОВ) воды методами флуоресцентной спектроскопии и спектроскопии поглощения показало сходный характер зависимости интенсивности флуоресценции от длины волны возбуждения, который объясняется общим происхождением флуорофоров РОВ, представленных гуминовыми соединениями различного состава. При изменении длины волны возбуждения от 270 до 310 нм максимум полосы испускания смещался в сторону более коротких длин волн и при увеличении длины волны возбуждения до 355 нм максимум флуоресценции смещался обратно в длинноволновую область, что свидетельствует о природном происхождении РОВ и наличии гуминовых соединений разного состава в исследуемых водах [8]. Дополнительным аргументом присутствия в воде различных типов гуминовых веществ является увеличение квантового выхода с ростом длины волны возбуждения в УФ-диапазоне.

Таким образом, проведенное исследование показало, что состав вод родников Щелковского округа постоянен на протяжении осенне-зимнего периода. Макрокомпонентный состав вод вариативен, однако значимую роль практически для всех родников играют хлорид-ион и сульфат-ион, отмечается присутствие иона аммония и нитратов. Воды изученных родников относятся к водоносным горизонтам современных четвертичных отложений и подвергаются антропогенному загрязнению. В целом качество родниковых вод соответствует нормативным

показателям, за исключением отдельных родников. Растворенное органическое вещество в водах родников представлено природными соединениями различного состава.

Список литературы

1. Вагнер Б. Б., Манучарянц Б. О. Геология, рельеф и полезные ископаемые Московского региона. Учебное пособие по курсу «География и экология Московского региона». М.: МГПУ, 2003. 92 с.
2. Позднякова И. А., Кожевникова И. А., Костикова И. А., Томс Л. С. Оценка условий взаимосвязи водоносных горизонтов на основе крупномасштабного картирования геологического строения и гидрогеологических условий г. Москвы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2012. № 6. С. 527–539.
3. Резников А. А., Муликовская Е. П., Соколов И. Ю. Методы анализа природных вод. Изд. 3-е, переработ. и доп. М.: Недра, 1970. 488 стр.
4. Лубкова Т. Н., Липатникова О. А., Филатова О. Р., Балыкова И. В. Рентгенофлуоресцентный анализ сульфат-иона в водных растворах по методу высушенной капли с использованием портативного спектрометра // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 2.
5. ГОСТ 31859-2012. Вода. Метод определения химического потребления кислорода.
6. СанПиН 1.2.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий (Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 № 62297). Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177> (дата обращения: 22.02.2023).
7. Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия / Отв. ред. С.Л. Шварцев. Новосибирск: Наука. 1982. 284 с.
8. Горшкова О. М., Пацаева С. В. Флуоресценция растворенного органического вещества природной воды // Вода: Химия и экология. 2009. №. 11. С. 31–37.

УДК 556

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ОБЪ-ЗАЙСАНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ*

А. С. Деркачев

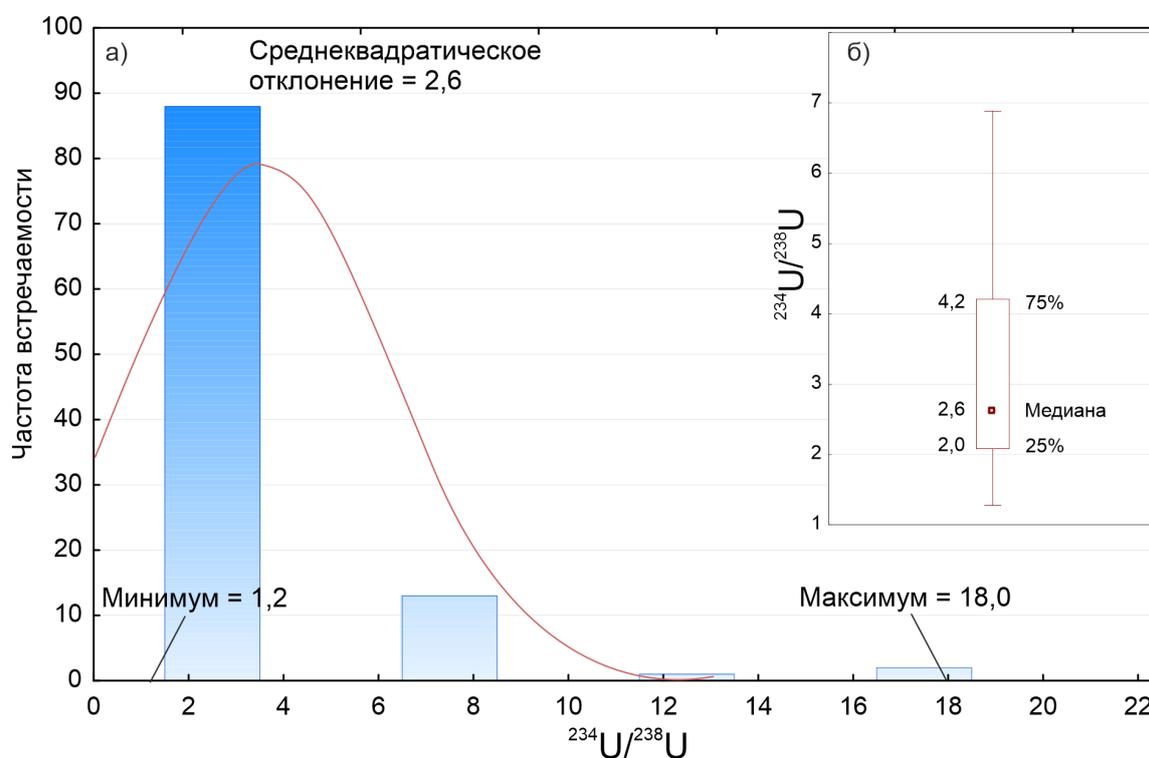
*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

Явление разделения четных изотопов урана при его переходе из твердого природного вещества в раствор было открыто в 1954 г. известным советским физиком и геохимиком, доктором физико-математических наук В. В. Чердынцевым совместно с его учеником, аспирантом

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-17-20029) и Правительства Новосибирской области.

© А. С. Деркачев, 2024

П. И. Чаловым (эффект Чердынцева – Чалова) [1]. Массовая доля изотопа ^{234}U в ненарушенных урановых рудах старше нескольких миллионов лет, когда достигается вековое равновесие, составляет всего $\approx 0,0055\%$. Однако его период полураспада составляет $\approx 2,45 \times 10^5$ лет, в то время как полураспад ^{238}U занимает $\approx 4,47 \times 10^9$ лет. Таким образом, отношение активностей этих изотопов – AR (от англ. *alpha activity ratio*) при установлении векового равновесия равно 1. В природных водах оно может варьировать в широких пределах: например, в водах Мирового океана AR составляет 1,14, для поверхностных вод, атмосферных осадков и подземных вод платформенных областей характерны значения в пределах 1,10–1,80 [2]. В то же время в определенных условиях AR в подземных водах может достигать более 28 [3]. С момента открытия этого эффекта выдвигались различные гипотезы о его природе [2, 4, 5] и применении в различных сферах: от поисков месторождений урана до создания новой ядерной энергетики, использующей отходы традиционных ядерных реакторов [2].



Гистограмма распределения (а) и ящичная диаграмма (б) значений $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (AR)

На территории исследований – Обь-Зайсанской складчатой системы и ее приграничных областей, высокое содержание урана имеет природный характер [6, 7]. Первичными источниками урана прежде всего являются гранитоиды приобского и барлакского комплексов, откуда он в окислительных условиях выщелачивается, приобретая степень окисления 6^+ . Далее, в составе уранил-иона (UO_2^{2+}) уран формирует легкорастворимые комплексы с основными анионами, такими как CO_3^{2-} , SO_4^{2-} и Cl^- . В их составе U может мигрировать на значительные расстояния и формировать вторичные карбонаты и сульфаты урана при присутствии в растворе сильных восстановителей, таких как органическое вещество, H_2S , оксиды железа, глинистые и карбонатные минералы [8]. В окрестностях Новосибирска открыто месторождение урана инфильтрационного типа «Пригородное» [9].

В ходе полевых работ коллективом лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири на территории исследований было отобрано более 100 проб вод различного типа: под-

земные, поверхностные и дренажные воды карьеров. Средняя величина AR по данной выборке составляет 3,54 при максимальном значении 18. Анализ гистограммы распределения значений (см. рисунок, а) выявил ее асимметрию и ее отклонение от теоретической кривой нормального распределения, кроме того, ящичная диаграмма (см. рисунок, б) также показывает асимметрию распределения значений AR. Это позволяет отвергнуть гипотезу о нормальном распределении значений и предварительно сделать заключение о логнормальном распределении. Данная закономерность, вероятнее всего, объясняется влиянием на AR большого числа независимых или слабо зависимых факторов: сейсмической активностью, геохимическими параметрами среды, концентрацией U и длительностью взаимодействия в системе вода – порода. Наиболее часто встречающиеся значения не превышают 3,5. Также установлено, что наивысшие отношения закономерно соответствуют восстановительным обстановкам с отрицательными значениями Eh.

Наибольшие коэффициенты AR выявлены в пробах, отобранных на удалении от закартированных гранитоидов. Данный факт может объясняться залеганием вод в неглубоких зонах экзогенной трещиноватости гранитоидов, тесно связанных с верхними водоносными комплексами, и, соответственно, развитием окислительных геохимических обстановок.

Список литературы

1. Чердынцев В. В., Чалов П. И. Явление естественного разделения ^{234}U и ^{238}U // Открытие в СССР № 163 с приоритетом от 27 марта 1954 г.; М.: ЦНИИПИ, 1977. С. 28.
2. Тимашев С. Ф. О природе эффекта Чердынцева – Чалова // Журнал физической химии, 2018. Т 92, № 6. С. 883–887.
3. Osmond J. K., Cowart J. B. Uranium disequilibrium in ground water as indicator of anomalies // J. Appl. Radial Isotopes. 1983. V. 34. 283 p.
4. Rosholt J. N., Shields W. R., Garner E. L. Isotope fractionation of uranium in sandstone // Science. 1963. V. 139. P. 224–226.
5. Fleischer R. L., Raabe, O. G. Recoiling alpha-emitting nuclei: mechanisms for uranium series disequilibrium // Geochim. Cosmochim. Acta. 1978. V. 42. P. 973–978.
6. Деркачев А. С., Максимова А. А., Новиков Д. А., Дульцев Ф. Ф., Сухорукова А. Ф., Черных А. В., Хвощевская А. А. Природа радиоактивности дренажных вод карьеров Новосибирской области // Горные науки и технологии. 2022. Т. 7. № 3. С. 216–230.
7. Novikov D. A., Dultsev F. F., Sukhorukova A. F., Maksimova A. A., Chernykh A. V., Derkachyov A. S. Monitoring of radionuclides in the natural waters of Novosibirsk, Russia // Groundwater for Sustainable Development. 2021. V. 15. P. 1–8.
8. Cowart J. B., Osmon, J. K. The relationship of uranium isotopes to oxidation/reduction in the Edwards carbonate aquifer of Texas // Earth Planet. Sci. Netherlands. 1980. V. 48. No. 2. P. 277–283.
9. Бабин Г. А., Черных А. И., Головиной А. Г., Жигалова С. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-44 – Новосибирск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. 392 с.

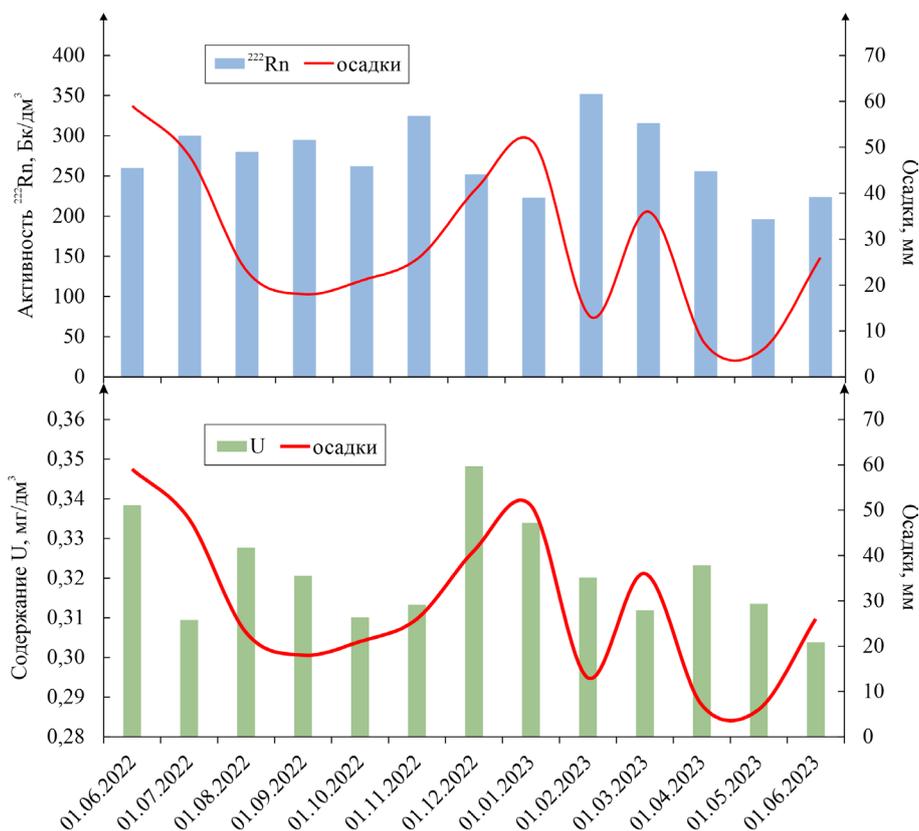
УДК 504.064.36

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРОЯВЛЕНИЯ РАДОНОВЫХ ВОД СНТ «АЭРОФЛОТ-1»*

А. А. Максимова

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

Систематический мониторинг состояния гидросферы актуален и необходим для оценки актуального состояния месторождений и проявлений минеральных вод. Объект исследования находится на территории города Новосибирска, большая часть которого приурочена к одноименному гранитоидному массиву. В связи с этим возникает опасность использования этих вод населением в питьевых целях. Тема радиоактивности природных вод изучаемого региона освещается в работах [1–5].



Изменение активности радона и содержаний урана в подземных водах СНТ «Аэрофлот-1»
в период наблюдений

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-17-20029) и Правительства Новосибирской области.

© А. А. Максимова, 2024

В настоящей работе приведены результаты годового мониторинга радоновых вод из водо-заборной скважины глубиной 153 м, пробоотбор проводился с июня 2022 по июнь 2023 г. Воды HCO_3 Na-Mg-Ca состава собственно пресные (минерализация 675 мг/дм^3), слабощелочные (рН 7,6). Выявлены изменения в химическом составе вод в период мониторинга. Так, концентрация калия увеличилась с $4,95$ до $7,37 \text{ мг/дм}^3$, кремния с $8,32$ до $14,71 \text{ мг/дм}^3$, хрома с $0,0029$ до $0,0083 \text{ мг/дм}^3$. Содержания остальных элементов не показали широкой вариации. Активность радона и концентрация урана в течение года варьировали от 196 Бк/дм^3 и $0,30 \text{ мг/дм}^3$ соответственно в период активных осадков [6] до 352 Бк/дм^3 и $0,35 \text{ мг/дм}^3$ в «сухой» (см. рисунок). Такое распределение радиоактивных элементов указывает на разубоживание вод во время выпадения осадков и активного таяния снежного покрова.

Также были рассчитаны индексы загрязненности воды (ИЗВ):

$$\text{ИЗВ} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \right) / 5,$$

где C_i – концентрация элемента в воде, n – количество элементов загрязнителей.

Классификация вод по ИЗВ [10]

Очень чистая	До 0,3
Чистая	Более 0,3 до 1
Умеренно загрязненная	Более 1 до 2,5
Загрязненная	Более 2,5 до 4
Грязная	Более 4 до 6
Очень грязная	Более 6 до 10
Чрезвычайно грязная	Более 10

Для расчета были выбраны элементы, превышающие предельно допустимые концентрации (ПДК) [7–9], а именно радон-222 (превышение ПДК в среднем 4,5 раза), кремний (превышение ПДК в среднем 1,5 раза), марганец (превышение ПДК в среднем 4,1 раза), уран (превышение ПДК в среднем 21,4 раза), а также, чтобы оценить вклад органической составляющей, были учтены данные по перманганатной окисляемости. Так, в летний и весенний периоды ИЗВ равно 6, а в осенний и зимний – 7, что по классификации ИЗВ относится к очень грязной воде (см. таблицу).

Список литературы

1. Novikov D. A., Kopylova Yu. G., Pyryaev A. N., Maksimova A. A., Derkachev A. S., Sukhorukova A. F., Dultsev F. F., Chernykh A. V., Khvashchevskaya A. A., Kalinkin P. N., Petrozhitsky A. V. Radon-rich waters of the Tulinka aquifers, Novosibirsk, Russia // Groundwater for Sustainable Development. 2023. T. 20. С. 1–11.
2. Novikov D. A., Dultsev F. F., Maximova A. A., Derkachyov A. S., Chernykh A. V. Hydrogeological conditions and hydrogeochemistry of the Kamenskoye hydro-radon occurrence, Novosibirsk, Russia // Geochemistry. 2023. V. 83. Is. 4. Article 126016.
3. Novikov D. A., Dultsev F. F., Sukhorukova A. F., Maksimova A. A., Chernykh A. V., Derkachyov A. S. Monitoring of radionuclides in the natural waters of Novosibirsk, Russia // Groundwater for Sustainable Development. 2021. V. 15. P. 1–8.
4. Новиков Д. А., Копылова Ю. Г., Сухорукова А. Ф., Вакуленко Л. Г., Пыряев А. Н., Максимова А. А., Деркачев А. С., Фаге А. Н., Хващевская А. А., Дульцев Ф. Ф., Черных А. В.,

Мельгунов М. С., Калинин П. Н., Растигеев С. А. Об открытии слаборадоновых вод – Инские источники // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 12. С. 1714–1732.

5. Новиков Д. А., Пыряев А. Н., Максимова А. А., Сухорукова А. Ф., Дульцев Ф. Ф., Деркачев А. С., Черных А. В., Хвощевская А. А. Об открытии слаборадоновых вод – Седова заимка // Известия Томск. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 12. С. 61–73.

6. <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 26.04.2024).

7. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий (с изменениями на 26 июня 2021 года). М.: Государственная дума РФ, 2021. 65 с.

8. ГОСТ Р 58573-2019. Охрана природы. Гидросфера. Качество воды. Риск-ориентированный контроль. М.: Стандартинформ, 2010. 18 с.

9. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization, 2017. 631 p.

10. Глотова Н. В. Мониторинг среды обитания: Учебное пособие к практическим занятиям. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. 22 с.

УДК 550.424.6

СООТНОШЕНИЕ КАРБОНАТНОГО И ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ ОЗЕР ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ*

Г. И. Малов¹, В. Д. Страховенко¹, Е. А. Овдина¹, Н. А. Бровченко², В. И. Малов¹

¹ *Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск*

² *ООО «Сибгазсорспроект», Новосибирск*

Изменение климата является одним из наиболее серьезных вызовов XXI в. Хозяйственная деятельность человека связана, прежде всего, с выбросами парниковых газов, негативно влияющих на климат. Как показывают последние исследования, континентальные водоемы активно захороняют углерод в своих отложениях [1]. Среди донных отложений малых озер юга Западной Сибири активно происходят процессы аутигенного минералообразования [2], аутигенные карбонаты эффективно способны захоранивать углерод.

Цель работы – оценить соотношение карбонатного и органического углерода в донных отложениях малых озер юга Западной Сибири.

Объект и методы исследования. Объектами исследования являются малые озера, расположенные на юге Западной Сибири (см. рисунок).

В ходе многолетних экспедиционных работ 2000–2023 гг. в рамках изучения современных процессов континентального седиментогенеза, отобраны пробы донных отложений озер, почв, воды и преобладающей биоты.

* Исследование выполнено в рамках госзадания ИГМ СО РАН (проект № 122041400193-7), при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

© Г. И. Малов, В. Д. Страховенко, Е. А. Овдина, Н. А. Бровченко, В. И. Малов, 2024

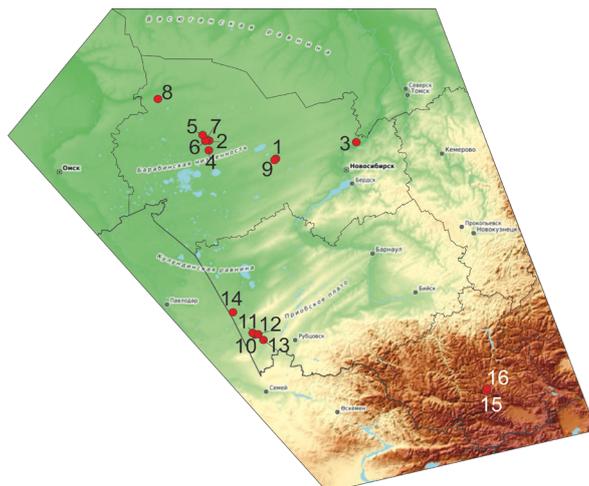


Схема расположения объектов исследования

Аналитические работы по изучению отобранного фактического материала выполнены в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, г. Новосибирск: для определения макро- и микроэлементного состава проб используются атомно-абсорбционный метод, масс-спектрометрия. Морфология, минеральный, фазовый и химический состав донных отложений анализировались при помощи сканирующего электронного микроскопа и методом рентгеновской дифрактометрии. Элементный состав органической части донных отложений изучаются органическим элементным анализом Прегла – Думасана в ИПА СО РАН.

Результаты и выводы. Донные отложения изученных озер представлены сапропелями различных типов и классов. Минеральная часть ДО состоит из автохтонных и аллохтонных минералов в разном соотношении между собой. Автохтонный материал представлен створками диатомовых водорослей, состоящих из аморфного кремнезема, фрамбозальным пиритом, аутигенными карбонатами (биогенного и биохемогенного генезиса) и гипсом. Аллохтонный материал представлен слабоокатанными зёрнами кварца, полевых шпатов, слюды и хлорита и соответствует минеральному составу почв водосборных площадей. Формами захоронения углерода в донных отложениях исследуемых озер является органическое вещество и карбонаты. С целью сравнительного анализа соотношений органического углерода и минерального углерода (карбонатного) проведена оценка на 16 озерах кальциевого и смешенного классов ($Ca \geq Si$) сапропеля (см. таблицу), расположенных в условиях различных типов седиментогенеза.

Содержание органического и карбонатного углерода в донных отложениях малых озер

№ на карте	Озеро	Зольность, %	$S_{орг}$, %	$S_{карб}$, %
Гумидный тип седиментогенеза				
1	Качкульня	17	99,8	0,2
2	Ярголь	35	99,1	0,9
3	М. Минзелинское	45	97,6	2,4
4	Песчаное	50	92,3	7,7
5	Барчин	52	92,3	7,7
6	Кайлы	55	97,4	2,6
7	Бергуль	65	92,7	7,3
8	Щучье-Л	67	82,6	17,4
9	Канкуль	85	77,6	22,4

№ на карте	Озеро	Зольность, %	Сорг, %	Скарб, %
Аридный тип седиментогенеза				
10	Демкино	65	83,8	16,2
11	Танатар 4-й	65	84,8	15,2
12	Рублево	68	82,9	17,1
13	Золотое	69	84,4	15,6
14	Петухово у д. Северка	79	91,2	8,8
Нивальный тип седиментогенеза				
15	Бирюзовое	81	85,2	14,8
16	Подкова	41	99,29	0,71

Как видно из таблицы, даже для высокозольных сапропелей содержание карбонатного углерода не превышает 22 % от общего пула углерода в донных отложениях. Наибольшие значения характерны для озер с минерализованным кальциевым и смешанным сапропелем (Рублево, Демкино, Щучье-Л, Канкуль). Пространственных ландшафтных закономерностей не обнаружено, при условиях различных типов седиментогенеза образуются высокозольные карбонатные сапропели, но при этом наибольший пул углерода находится в органической части донных отложений.

Список литературы

1. Tranvik L. J. et al. Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate // *Limnol. Oceanogr.* 2009, 54, p 2298–2314. DOI: 10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2298
2. Страховенко В. Д., Овдина Е. А., Малов Г. И., Ермолаева Н. И., Зарубина Е. Ю., Таран О. П., Болтенков В. В. Генезис органоминеральных отложений озер центральной части Барабинской низменности (юг Западной Сибири) // *Геология и геофизика.* 2019. Т. 60. № 9. С. 1231–1243. DOI: 10.15372/GiG2019093

УДК 550.424.6

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КАСКАДНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ РАСТВОРОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ФОРМ МИГРАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО УРАНА*

Д. М. Машкова¹, О. С. Шварцева^{1,2}, Д. А. Леонов²

¹ *Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск*

² *Тюменский государственный университет, Тюмень*

В целях изучения форм переноса урана в водах природно-техногенной системы хвостохранилища ПАО «Новосибирский завод химических концентратов» был произведен пробоотбор поверхностных и подземных вод и подстилающих отложений как непосредственно на участке размещения предприятия, так и на прилегающей территории, подверженной воздействию предприятия.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-27-00362), <http://rscf.ru/project/23-27-00362>

© Д. М. Машкова, О. С. Шварцева, Д. А. Леонов, 2024

Анализ вод на макрокомпоненты проводился титриметрическим и турбидиметрическим методами. Концентрации катионов и микрокомпонентный состав растворов анализировались методом ИСП АЭС, концентрации урана – методом ИСП МС. Подстилающие отложения были исследованы на элементный состав с помощью рентгенофлуоресцентного анализа и рентгенофазового анализа.

Для выявления форм нахождения урана в грунтах проводились эксперименты методом селективного фракционирования на основе методики Тессье [1]. Для выявления форм миграции урана в водах проводились эксперименты по каскадной фильтрации растворов. Для сопоставления полученных данных проводилось физико-химическое моделирование перераспределения урана в системе в программе HCh [2].

С помощью экспериментов по ступенчатому выщелачиванию были установлены формы нахождения урана в подстилающих отложениях: в торфах от 60 до 30 % урана связано с оксидами марганца и железа, от 5 до 40 % урана связано с органическим веществом торфа. Результаты экспериментов подкреплены анализом с помощью сканирующей микроскопии. В грунтах скважин уран находится в аксессуориях, при этом его концентрация ниже фонового значения и составляет 0,3 г/т.

Результаты физико-химического моделирования перераспределения форм нахождения урана в программе HCh, мг/л

	Поверхностные воды					Грунтовые воды	
	Чаша	Ручей	Болото	Гидропост	Качимовское озеро	Скважина № 15	Фон (скважина № 12)
pH	7,2	6,8	7,4	7,2	7,3	7,3	7,5
Eh, V	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,05	-4
Формы миграции							
$\text{Ca}_2\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3$	2,2	5,2	3,5	0,02	-	-	-
$\text{CaUO}_2(\text{CO}_3)_3^{-2}$	0,06	0,07	0,06	0,0004	0,2	0,05	0,001
$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{-2}$	0,05	0,06	0,05	0,006	0,1	0,05	0,0008
$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{-4}$	0,04	0,03	0,03	0,0002	0,07	0,2	0,0004
Общее содержание подвижного урана	2,4	5,4	3,7	0,05	0,3	0,3	0,002
Формы осаждения							
b-UO _{2.25}	-	-	-	-	-	2,8	-
CaUO ₄ (кр)	6,4	-	2,1	-	-	-	-
Уранофан $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{HSiO}_4]_2 \times 5\text{H}_2\text{O}$	-	-	-	0,2	-	-	-
Общее содержание урана в осадке	6,4	0	2,1	0,4	0	3,1	0,001

С помощью метода каскадной фильтрации поверхностных и подземных вод были установлены формы миграции урана: в водах чаши второй секции большая часть урана связана со взвесями, однако при прохождении вод через дамбу, где происходит обогащение радионуклидами, форма миграции изменяется на карбонат-уранильные комплексы. Таким образом, в наиболее загрязненных поверхностных водах уран находится преимущественно в истинно растворенной форме. Данные подтверждены с помощью кислотного разложения фильтров,

а также при их исследовании на сканирующем микроскопе – ни один из фильтров не задерживает уран, что указывает на меньший диаметр частиц относительно пор фильтров. Экспериментальные данные были подтверждены с помощью физико-химического моделирования (см. таблицу).

Все исследования проводились в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Список литературы

1. Tessier A. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals // Analytical Chemistry, 1979. V. 51. № 7. P. 844–851.

2. Shvarov Y. V. HCh: New potentialities for the thermodynamic simulation of geochemical systems offered by Windows // Geochemistry International, 2008. 834 p.

УДК 556.3

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПОВЕДЕНИЕ ЛИТИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ *

А. А. Муравьева

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

В настоящее время литий является одним из важнейших редких металлов, используемых в самых разных областях. Являясь типичным литофильным элементом, литий распространен в горных породах и минералах достаточно неравномерно. В природе литий находится только в виде соединений.

Литий был открыт шведским химиком И. А. Арфведсоном в 1817 г. при исследовании петалита. Обнаружив в этом минерале щелочной металл, И. А. Арфведсон установил, что одна из его солей в шесть раз более растворима в воде, чем известные соли натрия и калия. На основании этого наблюдения и был сделан вывод о существовании нового элемента. По предложению знаменитого химика И. Я. Берцелиуса, вновь открытый элемент получил название от греческого слова «литос» – камень [2].

Литий – одновалентный катион, который всегда находится в шестерной координации, обладающий из ряда щелочных металлов наименьшим атомным радиусом и, как следствие, наиболее высоким потенциалом ионизации. Поэтому химически он является пассивным элементом [1].

В природе литий тесно ассоциирует с натрием. Помимо натрия, литий ассоциирует с Be, В и Ne, легкими элементами, окружающими литий в таблице Д. И. Менделеева [1].

Вследствие малой величины его ионного радиуса и близости к ионным радиусам Mg, Fe, Al литий легко входит в состав многих магнезиально-железистых минералов (биотит, амфиболы, турмалины) [2].

* Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ № FWZZ-2022-0014.

© А. А. Муравьева, 2024

Благодаря прочной внешней оболочке типа гелия, ион лития имеет наибольший коэффициент поляризации (1,7) и наименьший коэффициент поляризуемости (0,075) среди щелочей. Сильное поляризующее действие иона лития на молекулы и другие ионы во многом обуславливает свойства элемента. Этим объясняется очень сильная гидратация лития в водном растворе, при которой ион лития имеет наибольший радиус. В прямой зависимости от явления гидратации находится меньшая сорбируемость лития [1, 2].

Нормальный потенциал лития равен $-3,02$ в, литий возглавляет ряд напряжений. В сравнении с другими, литий имеет наибольший потенциал выделения из водных растворов, что объясняется наибольшей гидратацией его иона.

Литию свойственны почти все характерные для щелочных металлов реакции, но протекают они менее энергично. Литий медленно реагирует с сухим воздухом, во влажной атмосфере быстро окисляется с образованием гидроокиси. С сухим кислородом при низких температурах литий не взаимодействует, при нагревании горит голубым пламенем с образованием окиси лития. При нагревании литий сильно реагирует с хлором, бромом, йодом, расплавленной серой, углеродом и кремнием. При $500-800$ °С литий соединяется с водородом, образуя гидрид. С водой литий реагирует менее энергично, чем натрий и калий. Соляная, азотная и разбавленная серная кислоты энергично вступают в реакцию с литием; концентрированная серная кислота реагирует медленно. Инертных газов литий не растворяет [2].

Для всех литиевых минералов (за исключением слюд) характерно легкое изменение в гидротермальных и гипергенных условиях. Процессы изменения приводят к выносу лития из минералов. При гипергенных процессах литий выносится водами и рассеивается. Вследствие адсорбции в небольших концентрациях он встречается в глинах, почвах и марганцевых окислах типа псиломелана.

Осадочные месторождения лития представлены минеральными источниками и рассолами, концентрирующими литий вместе с натрием, калием, бором и другими элементами [2]. В земной коре существует несколько геохимических типов подземных вод, которые содержат максимальные концентрации лития. Такими типами подземных вод являются: внутрисолевые и подсолевые рассолы галогенных формаций; рассолы артезианских бассейнов краевых прогибов и межгорных впадин. Наиболее высокими концентрациями (до 700 мг/л) характеризуются внутрисолевые рассолы галогенных формаций. Эти рассолы имеют Cl-Mg, Cl-Mg-Ca, Cl-Ca-Mg, Cl-Ca-Na состав и максимальную (до 600 г/л и более) минерализацию [3, 4].

Термальные воды современных вулканических областей часто значительно обогащены этим элементом, содержание его в отдельных случаях достигает первых десятков миллиграммов на литр. Поступление лития в такие воды осуществляется преимущественно в результате процессов выщелачивания пород в условиях высоких температур и наличия кислых газов.

Из осадочных пород наиболее высокими концентрациями лития отличаются глины, наименьшее его количество обнаруживается в карбонатных породах [5].

Седиментационные процессы способствуют еще большему рассеянию лития, чем эндогенные процессы. В зоне гипергенеза нет таких концентраций лития, которые можно сравнить с его минералами в магматическом цикле.

Изучение распределения лития в различных осадочных породах показывает, что только в глинах и глинистых породах среднее количество лития превышает его кларк. Близкие к кларку содержания присутствуют в других осадочных образованиях, например, почвы, бокситы, железистые руды и зольные угли [6].

В процессе испарения литий накапливается в конечных продуктах сгущения – в эвтонических рассолах. Эвтонические рассолы – рассолы, в которых при испарении растворителя выпадающие кристаллы находятся в равновесии с раствором [7]. Литий изоморфно не оса-

ждается с соляными минералами, так как в процессе их осаждения из раствора практически не извлекается [7].

Среднее содержание лития в осадочных глинах той или иной климатической зоны определяется его концентрациями в продуктах выветривания, представляющих как раз те стадии процесса, которые преобладали в это время в областях сноса [8]. При гипергенных процессах литий выносятся водами и рассеивается. Некоторая концентрация его вследствие адсорбции имеет место в глинах (особенно магнезиальных), почвах (верхних горизонтах) и марганцевых окислах типа псиломелана [1]. В осадочном цикле литий концентрируется в глауконитах, а также в рапе натриевых (содовых) и боровых озер [1].

Список литературы

1. Гинзбург А. И. Об изоморфных замещениях в литиевых слюдах // Тр. Минералог. музея, 1957, вып. 8.
2. Остроушко Ю. И., Бучихин П. И., Алексеева В. В. Литий, его химия и технология. М.: Атомиздат, 1960. 200 с.
3. Солодов Н. А., Балашов Л. С., Креницкий А. А. Геохимия лития, рубидия и цезия. М., 1980. 233 с.
4. Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швец В. М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / Отв. ред. акад. Н. П. Лаверов. Изд. 2-е, дополн. М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. 672 с.
5. Гавриленко В. В., Сахоненок В. В. Основы геохимии редких литофильных металлов. Л.: Изд-во Ленинград. ун-та. 1986. 172 с.
6. Paul V. Tomascak, Tomáš Magna, Ralf Dohmen. Advances in Lithium Isotope Geochemistry. Springer International Publishing Switzerland, 2016. 205 p.
7. Жеребцова И. К., Волкова Н. Н. Экспериментальное изучение поведения микроэлементов в процессе естественного солнечного испарения воды Черного моря и рапы Сасык-Сивашского озера // Геохимия, 1966. № 7.
8. Ронов А. Б., Мигдасов А. А., Воскресенская Н. Т., Корзина Г. А. Геохимия лития в осадочном цикле // Геохимия. 1970. № 2. С. 131–136.

УДК 554.7+559

РАДОН В УГЛЕКИСЛЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОДАХ ПРИЭЛЬБРУСЬЯ И СВЯЗЬ С ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ*

А. А. Павлов^{1,2}, Г. А. Челноков², В. Ю. Лаврушин²

¹ Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток

² Геологический институт РАН, Москва

Происхождение минеральных вод и газов Большого Кавказа привлекает исследователей уже долгое время [1–3]. Широко известны и используются радоновые воды Кавказских минеральных вод [3]. Однако вопросы распространения радона в минеральных водах Приэльбрусья

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-27-00005).

© А. А. Павлов, Г. А. Челноков, В. Ю. Лаврушин, 2024

практически не затронуты. Радон и его родительский радионуклид ^{226}Ra являются природными радионуклидами, принадлежащими к ряду распада урана. Серия распадов начинается с атома ^{238}U и проходит четыре промежуточных этапа до образования радия-226 с периодом полураспада последнего, равным 1600 лет. Радий-226 расщепляется с выделением радона-222. Будучи инертным газом, Rn обладает способностью проникать через почву или горную породу, и переносится с водой в растворенном виде. Территория Приэльбрусья относится к зоне повышенного геогенного риска: землетрясений, лавин и оползней. Исследования, проведенные во всем мире за последние четыре десятилетия, свидетельствуют о том, что заметные колебания концентрации радона могут наблюдаться в связи с опасными природными явлениями, такими как землетрясения и извержения вулканов [4, 5].

По своему тектоническому положению, геологическим условиям и распространенности природных выходов газа Приэльбрусье является прекрасной природной лабораторией. Проведенное в 2023 г. комплексное геохимическое исследование – это первый шаг к установлению основных механизмов переноса радона (^{222}Rn) к поверхности земли в Приэльбрусье. Для газового и гидрохимического анализа были отобраны пробы из десяти минеральных источников. Детектор радона АльфаРад+ (НТМ Защита) использовался для измерения ^{222}Rn в газовом потоке и пробах воды *in situ*. Диапазон измерений прибора составляет от 1 до $2 \cdot 10^6$ Бк/м³ в воздухе и от 6 до 800 Бк/л в воде. Точность прибора составляет $\pm 30\%$. Согласно нормам радиационной безопасности НРБ-99/2009 и СП 2.6.1.1292-2003 [6], допустимый уровень содержания радона в питьевой воде не должен превышать 60 Бк/л. Минеральные воды, содержащие не менее 185 Бк/л, относятся к категории радоновых вод [7]. Образцы воды делятся на категории в зависимости от концентрации радона. Существуют три категории: низкая концентрация радона (200–1500 Бк/л), умеренная концентрация радона (1500–7500 Бк/л) и высокая концентрация радона (> 7500 Бк/л) [8].

Данные по изотопам углерода в углекислом газе ($\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$) указывают на то, что газы источников, вероятнее всего, имеют глубинное происхождение [2]. Значения $\delta^{13}\text{C}$ в CO_2 изученных нами источников варьируются от $-5,7$ до $-11,0\%$ и не отличаются от значений, полученных ранее. Свежие данные по изотопии гелия ($^3\text{He}/^4\text{He}$) [9] также показали, что содержание мантийного гелия ($^3\text{He}/^4\text{He}_{\text{mant}} = 1,2 \times 10^{-6}$) в газах может превышать 30%. Это свидетельствует о том, что в Приэльбрусье существует связь с глубокими горизонтами земной коры, из которых на поверхность могут подниматься различные флюиды (вода и газы).

Полученные нами данные показали, что минеральные воды и сопутствующие газы характеризуются достаточно низкими значениями эманаций радона: 6–33 Бк/л и 25–351 Бк/м³ соответственно. Наиболее высокие концентрации радона в воде отмечаются в скважинах, вскрывающих наиболее молодые граниты в пределах г. Тырнауза. Самые высокие значения ^{222}Rn в свободных газах (350 Бк/м³) имеют минеральные источники и скважины на Поляне Нарзанов, у подножия южного склона вулкана Эльбрус. Эти воды связаны с протерозойскими кристаллическими сланцами и характеризуются большим дебитом и активным газовыделением. Повышенные значения характерны и для газов в тоннеле Нейтрино и скважине в Тырнаузе. В штольне Нейтрино, вероятно, это можно объяснить слабой вентиляцией в забое. Наблюдаемые низкие уровни концентрации радона в воде не характерны для гранитов, содержащих уран и торий. Углекислые воды циркулируют в породах разного возраста и типов, которые представлены гранитами, гнейсами, сланцами, карбонатами и песчаниками. Возрастной интервал пород варьируется от протерозоя до квартала. Широко распространены палеозойские интрузии гранитоидов. Изучение наиболее молодых гранитов Эльджурты показало, что по содержанию U и Th граниты являются Th-содержащими (отношение Th/U составляет 5,2) и ха-

рактируются как умеренно радиоактивные ($U = 5,1$ ppm, $Th = 26$ ppm). Углекислые воды, циркулирующие в этих гранитах, также не показывают высоких концентраций урана и тория. Самые высокие значения урана и тория наблюдаются в водах, залегающих в протерозойских гранитных гнейсах. Концентрация U в воде колеблется от 0,01 до 1,51 мкг/л, что значительно ниже ПДК, равной 15 мкг/л для питьевой воды. Указанные значения ($U = 0,04$ мкг/л) обычно наблюдаются в поверхностных водах, но более высокие количества ($U = 1,5$ мкг/л) более характерны для флюидов зоны гипергенеза [10]. Низкие содержания урана и тория в воде обусловлены особенностями их поведения в интервале pH от 5,7 до 6,7 и окислительно-восстановительных условий от -71 до $+100$ мВ. В пределах зоны гипергенеза уран демонстрирует значительную миграцию в окислительной среде и ограниченную миграцию в восстановительной [10]. Это подтверждается самым низким содержанием урана (0,01 мкг/л) в самой глубокой из исследованных параметрических скважин (более 500 м). В восстановительных условиях взаимодействие между урановыми минералами и водой не приводит к попаданию урана в воду из радиогенных минералов. Однако вода может захватывать и выносить радон на поверхность земли.

Таким образом, установлено, что в изученных углекислых минеральных водах Эльбруса основным процессом поступления радона в приповерхностную зону является циркуляция воды в кристаллических массивах (граниты, гнейсы). Концентрации радона в воде зависят от наличия минералов источника радона, скорости потока воды (вследствие короткого периода полураспада радона – 3,8 дня). Измеренные уровни радона характерны для естественного состояния вмещающих пород. Общие низкие концентрации радона в исследуемом районе, в основном, объясняются низкой скоростью потока воды ($< 0,5$ л/с), а также зависят от количества свободно выделяющегося газа в конкретном источнике. Корреляции между температурой воды, минерализацией, концентрацией урана и тория и эмиссией радона не установлено. При изменении напряженного состояния горных пород (сейсмическое событие) изменяется скорость газового и водного потоков, а также концентрация Rn . Учитывая тектонические условия, высокую геогенную опасность территории, установка пунктов наблюдения за геохимическими прекурсорами может дать больше информации.

Список литературы

1. Погорельский Н. С., Бессонова В. Н., Григорьев Н. А. Северный Кавказ (Краснодарский край, Ставроп. край, Чечено-Инг. АССР, Кабард.-Балк. АССР, Сев.-Осет. АССР, Даг. АССР) Гидрогеология СССР. Т. 9, М.: Недра, 1968.
2. Лаврушин В. Ю. Вып. 599. Подземные флюиды Большого Кавказа и его обрамления. 2012. С. 347.
3. Fillimonova E., Lavrushin V., Kharitonova N., Sartykov A., Maximova E., Baranovskaya E., Korzun A., Maslov A., Baidariko E.. *Env. Earth Sci.* 79, 15–27. (2020)
4. Kumar A., Singh S., Mahajan S., Bajwa B.S., Kalia R., Dhar S. *Appl. Radiat. and Isotop.*, 67, (2009)
5. Girault F., Perrier F., *J. Geoph. Res.: Solid Earth.* 4056–4086. (2014).
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (Федерал. ц. гиг. и эпидемиол. Роспотребнадзора), 2009.
7. Куликов Г. В., Жевлаков А. В., Бондаренко С. С. Минеральные лечебные воды СССР: Справочник. М.: Недра, 1991. 399 с
8. Бекман И. Н. Радиоэкология и экологическая радиохимия: Учебник. Изд. 2-е., испр. и доп. М.: Юрайт, 2024. 497 с. // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. URL: <https://urait.ru/bcode/533732> (дата обращения: 14.06.2024).

9. Айдаркожина А. С., Лаврушин В. Ю., Ермаков А. В., Челноков Г. А. Термальные воды штольни Нейтрино (Баксанская нейтринная обсерватория, Северный Кавказ). Доклады Академии наук 1, 34–56, 2024.

10. Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998, 366 с.

УДК 550.43

ОЦЕНКА БИОДОСТУПНОСТИ СВИНЦА И ЦИНКА В ПОЧВАХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД*

О. Р. Филатова, Т. Н. Лубкова, Т. В. Шестакова, Д. А. Яблонская

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

Переработка полиметаллических руд сопряжена с образованием значительного объема токсичных отходов, которые аккумулируются в специальных накопителях – хвостохранилищах. К числу наиболее востребованных продуктов цветной металлургии относятся свинец и цинк, также представляющих опасность для биосферы (элементы I класса опасности, СанПиН 1.2.3684-21). Основной ущерб экосистеме наносит дефляция сухой поверхности хвостохранилища при высыхании складированных в нем токсичных отходов – аэротехногенные выпадения приводят к загрязнению металлами растительности и почв на значительных площадях.

Для оценки рисков, связанных с загрязнением почв, обычно применяют сравнение валовых концентраций элементов в почвах с санитарно-гигиеническими нормативными показателями качества среды (ПДК, ОДК), в отдельных случаях с нормативами сопоставляют содержание миграционно-активных (подвижных) форм элементов. Таким образом, предполагается, что загрязняющие вещества (металлы), представленные в почве, полностью могут быть усвоены живым веществом биосферы. Однако биодоступность элементов-загрязнителей может варьировать от близкой к нулю до почти 1 (100 %) в зависимости от их соединений и форм нахождения, а также параметров среды.

Оценка биодоступности металлов в природных и техногенных образованиях проведена на примере почв безрудных участков и с присутствующим свинцово-цинковым оруденением Садонского рудного района, а также техногенных отложений Унальского хвостохранилища Садонского горно-обогатительного комбината (Северная Осетия) и почв территории, находящейся в зоне аэротехногенного воздействия хвостохранилища.

Для исследуемых образцов почв и техногенных отложений были проведены экспериментальные работы по оценке минерального состава (методом рентгенофазового анализа), валового содержания свинца и цинка (методом энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа), доли их подвижных форм (в вытяжке 1М ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8, РД 52.18.289-90), выполнены последовательные экстракции для определения форм нахождения (по методикам, приведенным в [1] и [2]) и потенциально фитодоступных форм металлов (по методике, приведенной в [3]). Формы нахождения свинца в техногенных отложениях также

определены методом рентгеновской абсорбционной спектроскопии (XAS). Для оценки энтеральной биодоступности металлов при случайном попадании частиц почвы и техногенных отложений в желудочно-кишечный тракт в результате употребления запыленных продуктов проведены тесты, имитирующие биохимию пищеварительной системы человека, и направленные на определение содержания растворимых форм металлов в последовательно моделируемых условиях среды желудка и кишечника (по методике, приведенной в [4]). Степень энтеральной биодоступности металлов определена по отношению их содержания в модельных растворах ЖКТ к содержанию в твердой фазе почв и техногенных отложений.

Основные минералы почв соответствуют ее песчаному/супесчаному составу: кварц, плагиоклазы, КППШ, обнаружены гидрослюда, хлорит, каолинит. Почва на участке оруденения характеризуется повышенным содержанием кварца (63 %). Минералы шлама представлены преимущественно кварцем и гидрослюдой, в меньшей степени присутствуют калиевый полевой шпат, плагиоклазы и хлорит, обнаружены кальцит и пирит.

Валовое содержание металлов во всех образцах почв значительно выше предельно допустимых концентраций (ПДК, СанПиН 1.2.3684-21): свинец – в 8–21 раз, цинк – в 4–11 раз, максимальные превышения ПДК наблюдаются для отложений хвостохранилища – Pb – 207 ПДК, Zn – 58 ПДК. Содержание подвижных форм свинца в почвах в десятки раз превышают ПДК, в техногенных отложениях – в тысячи раз; содержание подвижных форм цинка в почвах составляют 1–3 ПДК, в отложениях хвостохранилища – 150 ПДК. Доля подвижных форм свинца составляет 20–30 % от вала для почв фоновых территорий и в области развития оруденения, около 40 % от вала для отложений хвостохранилища и почв в области аэротехногенного воздействия. Доля подвижных форм цинка – 10 и 30 % от вала в почвах и техногенных отложениях соответственно.

Преимущественной формой нахождения Zn и Pb в почвах являются ферри-формы (около 50 % от вала), доля обменной, наиболее растворимой формы составляет в среднем < 2–5 % от вала, доля специфически сорбированных и связанных с карбонатами форм составляет 15–25 %; около 10 % связано с органическим веществом; в остаточной фракции закреплено 15–20 % металла. В отложениях хвостохранилища для Zn в целом преобладает остаточная фракция (в среднем 40–50 % от вала); доля специфически сорбированных форм и ферриформ составляет 25 % (на каждую фракцию). Для свинца на долю окисляемых и остаточных форм приходится 10–15 % от вала, 25 % закреплено в виде ферриформ, около 60 % Pb представлено специфически сорбированными формами (карбонатами, сульфатами, сорбированными на поверхности гидроксидов железа).

Фитодоступными формами металлов являются слабо закрепленные поверхностные комплексные соединения с компонентами почвенно-поглощающего комплекса, растворимые в слабокислых условиях в присутствии органических кислот. Наибольшая доля таких форм установлена для свинца во всех изученных субстратах (от 16 до 43 % от вала), для цинка – 9–14 % от вала в почвах, в отложениях хвостохранилища и почвах в зоне аэротехногенного воздействия 22 и 16 % от вала соответственно.

Наибольший уровень энтеральной биодоступности металлов наблюдается в условиях повышенной агрессивности среды желудка, где происходит растворение твердой фазы почв и поступление металлов в раствор. Максимальная величина энтеральной биодоступности связана с отложениями хвостохранилища – до 50 % от вала для свинца, до 30 % от вала для цинка. Минимальной величиной энтеральной биодоступности металлов отличаются почвы в области развития оруденения: свинец – до 30 % от вала, цинк – до 10 % от вала. При переходе в условия кишечного отдела, сопровождаемого резким снижением кислотности раствора, металлы

фиксируются твердой фазой, содержания свинца в растворе падают до 10–20 % от вала, цинка – до 1–10 % от вала.

Сопоставление полученных результатов свидетельствует, что все изученные почвы и техногенные отложения характеризуются высокой энтеральной биодоступностью металлов при попадании твердых частиц в желудочно-кишечный тракт. В меньшей степени возможна транслокация металлов в растения или поступление в природные воды. Таким образом, в условиях аэротехногенного переноса частиц техногенных отложений с поверхности хвостохранилища и почв в виде мелкодисперсной пыли возникает риск токсического эффекта для человека.

Список литературы

1. Антропова Л. В., Недригайлова М. В., Шуралева А. З. Определение форм нахождения свинца и молибдена в пробах из ореолов рассеяния: Метод. рекомендации. Л.: ОНТИ ВИТР, 1968. 35 с.
2. Tessier A., Campbell P. G. C., Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals // Analytical Chemistry. 1979. V. 51. No. 7. Pp. 844–851.
3. Nicholas Basta & R. Gradwohl (2000) Estimation of Cd, Pb, and Zn Bioavailability in Smelter-Contaminated Soils by a Sequential Extraction Procedure, Journal of Soil Contamination, 9:2, 149–164, DOI: 10.1080/10588330008984181
4. Ruby M. V., Davis A., Link T. E., Schoof R., Chaney, R. L., Freeman, G. B., Bergstrom, P. Development of an in vitro screening test to evaluate the in vivo bioaccessibility of ingested mine-waste lead. Environ. Sci. Technol. 1993, 27, 2870–2877. DOI: 10.1021/es00049a030

УДК 628.1.033

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ОЧАГОВ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА*

А. В. Черных

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск
Севастопольский государственный университет, Севастополь*

Изучение качества подземных вод современных областей разгрузки представляет огромную важность при их изучении для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения населения. Вследствие засухи в 10–20-х гг. этого века, а также взрыва дамбы на Каховском водохранилище в Херсонской области и его обмелении Крым вновь становится вододефицитным регионом. В связи с этим необходимо произвести оценку качества пригодности воды родников для безопасного потребления этих вод населением, хозяйственных и бытовых нужд. Регион исследования расположен в юго-западной части Крымского полуострова, в пределах Альминского артезианского бассейна и западной части гидрогеологической складчатой области мегаантиклинория Горного Крыма. База данных изученных родников юго-западных районов включает в себя 82 записи ПХА 63 объектов. Очаги разгрузки подземных вод расположены

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-27-20031) и Правительства Севастополя.

© А. В. Черных, 2024

на различных гипсометрических высотах (а. о.) и были разделены на три группы: первая – родники низменных равнин (0–200 м); вторая – родники на возвышенностях (200–600 м); и третья – родники на склонах низких гор (500–1000 м) (рис. 1).

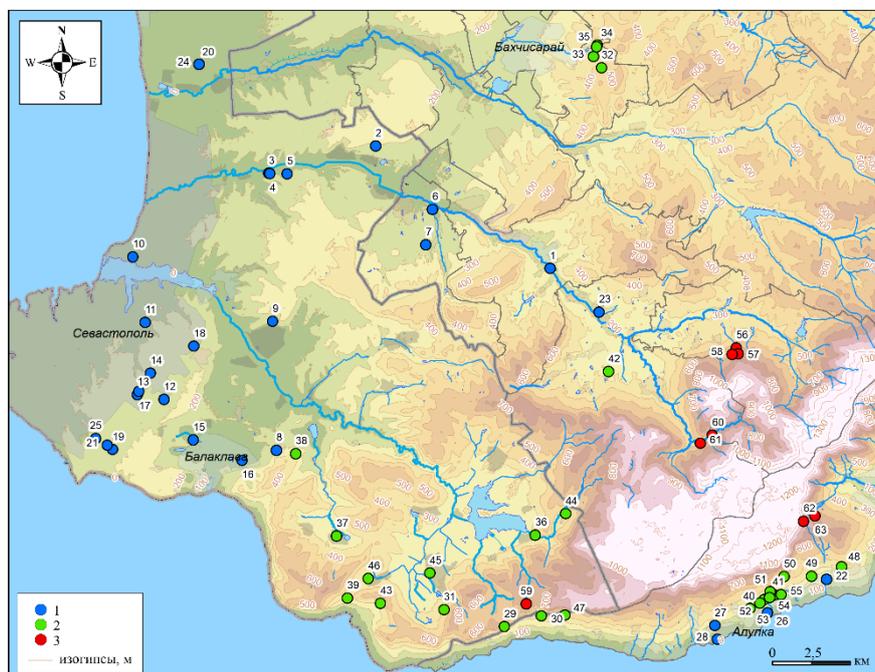


Рис. 1. Обзорная карта региона исследований:

- 1 – родники низменных равнин (0–200 м); 2 – родники на возвышенностях (200–600 м);
3 – родники на склонах низких гор (500–1000 м)

Оценка токсикологических особенностей вод проводилась с использованием действующих нормативных документов: СанПиН 2.1.3684-21, ГОСТ Р 58573-2019, и рекомендаций Всемирной организации по здравоохранению [1–3]. Для оценки пригодности родниковых вод для хозяйственно-бытовых нужд применялись PS, SP, RSC, RSBC, MAR, KR, PI и CR [4–5].

В химическом составе всех изученных вод закономерно доминируют гидрокарбонат-ион и кальций, в некоторых объектах установлены повышенные содержания магния, величина общей минерализации варьирует от 214 до 1644 мг/дм³, при фоновых значениях 471 мг/дм³. Воды изменяются от нейтральных (рН 7,11) до слабощелочных (рН 8,2), при фоне 7,7. Проведенный анализ содержаний микрокомпонентов выявил, что на воды низменных равнин оказывает большое влияние антропогенная нагрузка. В них установлены превышения NO₃⁻ (1,7–3,2 ПДК), Br (1,9–2,9 ПДК), F (1,1 ПДК) и Cl (1,1 ПДК), поступающих из почвенных удобрений, а также мусорных полигонов. В роднике Странный установлены содержания NO₂⁻, превышающие ПДК в 2,5 раза. Практически все воды имеют превышения по общей жесткости (1,1–2,7 ПДК), ряд родников имеют превышения концентраций Si (1,1–1,4 ПДК), Fe (1,1 ПДК) и I (1,1–2,3 ПДК), что связано с естественными факторами – взаимодействием в системе «вода – порода». Оценка качественных параметров родниковых вод для целей хозяйственно-бытового водоснабжения с помощью общепринятых в мировой практике параметров показала, что большая часть вод второй и третьей групп характеризуется наивысшим качеством. Воды удовлетворительного и неудовлетворительного качества выявлены в первой группе вод (рис. 2).

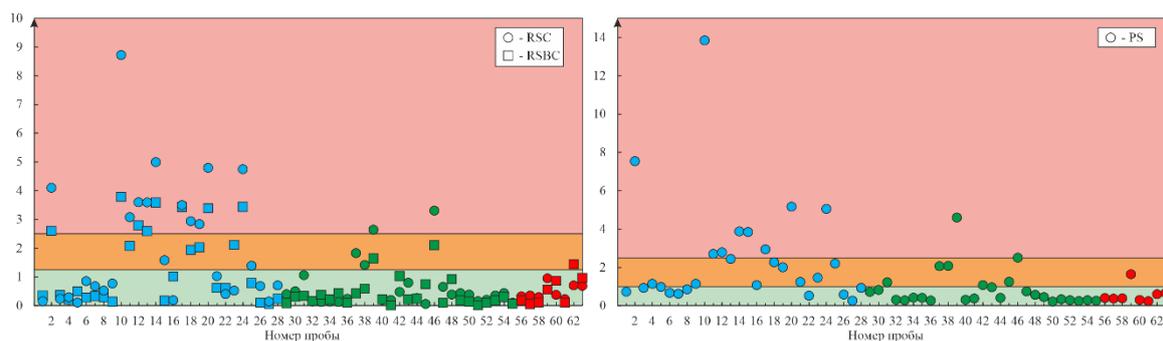


Рис. 2. Критерии качества (RSC, RSBC, PS) родниковых вод юго-западных районов Крымского полуострова (красным цветом фона показана зона вод низкого качества, желтым – зона вод удовлетворительного качества, зеленым – наивысшего качества; цвет маркера соответствует условным обозначениям на рис. 1)

В результате проведенного комплексного исследования установлено, что на родниковые воды низменных равнин оказывается большая антропогенная нагрузка, которая приводит к их значительному загрязнению. Воды родников на возвышенностях и склонах низких гор обладают удовлетворительным и отличным качеством для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения населения.

Список литературы

1. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий (с изменениями на 26 июня 2021 года). М.: Государственная дума РФ, 2021, 65 с.
2. ГОСТ Р 58573-2019. Охрана природы. Гидросфера. Качество воды. Риск-ориентированный контроль. М.: Стандартинформ, 2010, 18 с.
3. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum // Geneva: World Health Organization, 2017. 631 p.
4. Bauder T. A., Waskom R. M., Sutherland P. L, Davis J. G. Irrigation water quality criteria // USA: Colorado State University Extension Report, 2013. 306 p.
5. Новиков Д. А., Черных А. В., Дульцев Ф. Ф. Оценка качества подземных вод верхнеюрских отложений юго-западных районов Крымского полуострова для целей питьевого и сельскохозяйственного водоснабжения // Экология и промышленность России, 2019. Т. 23. № 4. С. 52–57.

УДК 556.3

**ПЕРИОДИЗАЦИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ
ВИЛЮЙСКОЙ ГЕМИСИНЕКЛИЗЫ***

Н. И. Яндола

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

Периодизация гидрогеологической истории, включающая в себя выделение гидрогеологических этапов и циклов, – необходимый шаг, который нужно выполнить для понимания условий формирования и эволюции осадочного бассейна. Начало гидрогеологического цикла соответствует прогибанию бассейна с последующей трансгрессией моря. В ходе одного цикла происходят осадконакопление и формирование седиментационных вод, сменяющее его поднятие, и регрессия моря. Каждый цикл делится на два этапа: элизионный и инфильтрационный. Элизионный этап состоит из процессов погружения и осадконакопления и выделяется по преимущественно морскому режиму седиментации и наличию латерально выдержанных и обладающих сравнительно одинаковым литологическим составом пород субаквального генезиса. Инфильтрационный этап включает в себя период воздымания и эрозии и соответствует преобладанию континентального режима осадконакопления и накоплению соответствующих терригенных пород [1].

Во время элизионного этапа движение вод происходит под действием неравномерного прогибания бассейна. Скорость этого движения мала, а окисляющая способность вод незначительна. Эти факторы обеспечивают вторичную миграцию флюидов, препятствующую разрушению залежей нефти и газа. Поэтому элизионные этапы создают наиболее благоприятные условия для нефтегазообразования и нефтегазонакопления.

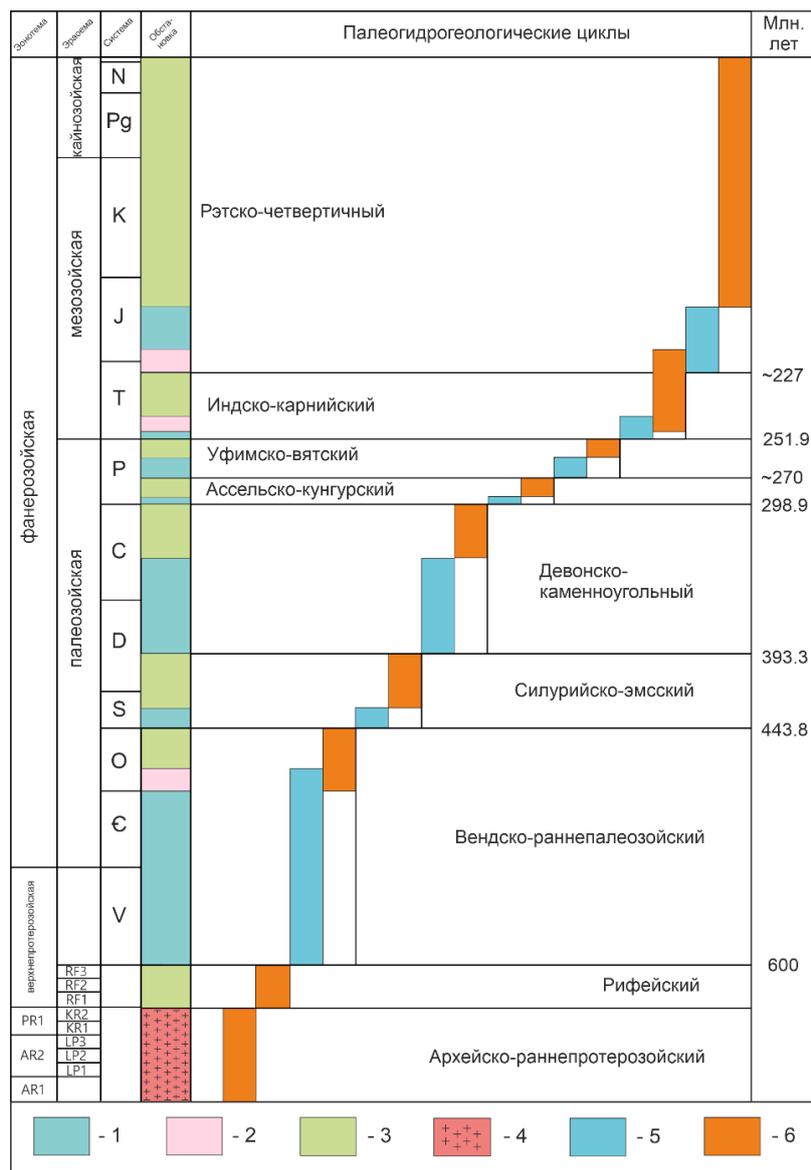
В ходе работы была составлена схема периодизации геологической истории Вилюйской гемисинеклизы и выделены основные гидрогеологические циклы, разделенные на элизионные и инфильтрационные этапы. Из-за несоответствия границ некоторых циклов утвержденным границам крупных стратиграфических подразделений им даны названия, отвечающие ярусам в общей стратиграфической шкале.

В результате проведенных исследований составлена принципиальная схема периодизации гидрогеологической истории Вилюйской гемисинеклизы, которую можно разделить на 9 циклов (см. рисунок): архейско-раннепротерозойский, рифейский, вендско-раннепалеозойский, силурийско-эмский, эйфельско-каменноугольный, ассельско-кунгурский, уфимско-татарский, индско-карнийский, рэтско-четвертичный.

Перспективные на поиск углеводородов верхнепермские, нижнетриасовые и нижнеюрские отложения относятся к уфимско-вятскому, индско-карнийскому и рэтско-четвертичному циклам соответственно. В верхнепермское время происходит обмеление и регрессия моря. На территории гемисинеклизы устанавливаются обстановки низменной равнины и внутреннего шельфа с накоплением преимущественного песчаных осадков. В нижнем триасе наступившая трансгрессия привела к образованию Вилюйского залива. Здесь существовали эстуарные условия, где накапливался алевроитовый, глинистый и песчаный материал. Конец нижней юры характеризуется аллювиальными фациями осадконакопления с песчано-алевритовыми и иногда угленосными осадками [2].

* Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ № FWZZ-2022-0014.

© Н. И. Яндола, 2024



Периодизация гидрогеологической истории Вилюйской гемисинеклизы:

1 – трансгрессия моря; 2 – смешанные условия; 3 – регрессия моря; 4 – породы фундамента;
5 – элизионный этап; 6 – инфильтрационный этап

В ходе составления схемы периодизации гидрогеологической истории Вилюйской гемисинеклизы были выделены 9 циклов, каждый из которых разделен на два этапа: элизионный и инфильтрационный. Самым длительным циклом является рэтско-четвертичный, начавшийся 227 млн лет назад и длящийся по настоящее время. Перспективные на поиск нефти и газа верхнепермские, нижнетриасовые и нежнеюрские отложения относятся к уфимско-вятскому, индско-карнийскому и рэтско-четвертичному циклам соответственно.

Список литературы

1. Карцев А. А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М.: Гостоптехиздат, 1963. 354 с.
2. Палеогеография СССР. Объяснительная записка к Атласу литолого-палеогеографических карт СССР (в 4 томах). Т. 3. М.: Недра, 1975. 200 с.



ПАЛЕОНТОЛОГИЯ И СТРАТИГРАФИЯ

УДК 551.762.1+551.762.2

УТОЧНЕННОЕ ФАЦИАЛЬНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕЙ И СРЕДНЕЙ ЮРЫ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И АКВАТОРИИ КАРСКОГО МОРЯ*

П. А. Глазырин

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

Разработанный вариант уточненного фациального районирования отложений нижней и средней юры Сибирского сектора Арктики приведен на рис. 1, 2. В нем, в отличие от последнего утвержденного фациального районирования [1], выделено четырнадцать фациальных районов, контуры и названия некоторых из них изменены. Очертания и стратиграфические объемы Надымского, Уренгойского, Нижнеобского, Фроловского, Варьеганского, Часельского, Приенисейского и Приуральского фациальных районов полностью подтверждаются выполненными исследованиями.

Спрогнозированы ранее не существовавшая Карская фациальная область, вместе с северными границами Ямальского, Гыданского и Усть-Енисейского фациальных районов. Уточнена граница, разделяющая Ямальский и Гыданские районы. Северо-западная граница Гыданского района проведена западнее Гыданского района.

Уточнены стратиграфические объемы ниже-среднеюрских отложений Ямальского, Хатангского, Восточно-Таймырского и Нордвикского фациальных районов. В Ямальском (в отличие от «Схемы фациального районирования...» Б. Н. Шурыгина [2]) отсутствуют отложения зимней свиты, однако присутствуют левинской. В Хатангском, Восточно-Таймырском и Нордвикском районах отложения зимней и левинской свит (и их возрастные аналоги) не распространены повсеместно.

* Исследование выполнено в рамках базового проекта НИР № FWZZ-2022-0009 «Цифровые геолого-геофизические модели и оценка перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов Арктической зоны Сибири и Республики Саха (Якутия); усовершенствование геолого-геофизических методов исследований».

© П. А. Глазырин, 2024

По результатам проведенных исследований на территории арктического сектора Западной Сибири, а также в акватории Карского моря выделены два типа разреза: глинисто-алевролитопесчаный в западной и центральной части региона и глинисто-алевролитовый на востоке. В первом типе уточнены стратиграфическое положение, объемы и площади распространения девятнадцати продуктивных и перспективных песчаных пластов от Ю2 до Ю20. Доказано, что они имеют более широкое распространение на территории рассматриваемого региона, чем местные стратиграфические подразделения.

Список литературы

1. Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири // Новосибирск: СНИИГГиМС. 2004. 114 с.
2. Шурыгин Б. Н., Никитенко Б. Л., Девятов В. П. и др. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система // Новосибирск: Издательство СО РАН, филиал «ГЕО». 2000. 480 с.

УДК 551.736.1, 566/569

СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗРЕЗОВ АЛЬЯНКА И КОНДУРОВКА (АССЕЛЬСКОГО И САКМАРСКОГО ЯРУСОВ ЗАПАДНОГО СКЛОНА ЮЖНОГО УРАЛА)*

Н. Д. Журавлева

Геологический институт РАН, Москва

Изучаемые разрезы находятся на западном склоне Южного Урала, в стратотипическом регионе ассельского и сакмарского ярусов. Один из них, разрез Кондуровка, уже изучался ранее и претендовал на звание стратотипа нижней границы сакмарского яруса, однако позже, из-за большого количества переотложенных ископаемых остатков в разрезе, глобальным стратотипом был выбран разрез Усолка, расположенный в 50 км к северу от Кондуровки, около пос. Красноусольского [1].

Последние данные по хемотратиграфии исследуемого района позволяют предположить иное, более широкое распространение пород сакмарского яруса [2]. В связи с чем из разреза Кондуровка был произведен дополнительный отбор проб на микрофауну в более широком диапазоне, а также были отобраны пробы на изотопный анализ по стронцию; тогда как ранее микроэлементный анализ разреза Кондуровка проводился только по углероду и водороду [3].

Разрез Альянка был впервые изучен и детально описан в 2021 г. Разрез сложен преимущественно известняками, песчанистыми известняками, песчаниками и доломитами. Выделено 4 глобальных уровня и 37 слоев (13/1-10, 14/1-8, 15/1-13, 16, 17/1-5). Ископаемые остатки представлены кораллами, мшанками, радиоляриями, фораминиферами, обломками криноидей и конодонтами. Комплекс конодонтов включает виды родов *Mesogondolella*, *Sweetognathodus*, *Hindeodus*, *Neognathodus*, а также представителей *Streptognathodus*, как переотложенных, так

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-27-00462).

© Н. Д. Журавлева, 2024

и синхронных, и переотложенные экземпляры рода *Adetognathus* [4]. Наличие в нижней части разреза (сл. 14/1) *Sweetognathodus aff. stvensi* (Clark et Carr) совместно с *Mesogondolella manifesta Chernykh* позволяют установить в этой части разреза зону *Sweetognathodus merrilli* (шиханский горизонт, ассельский ярус), что подтверждается появлением выше (сл. 15/2, 15/3) вида *M. gutta Chernykh*, также характерного для этой зоны [5]. Выше по разрезу, в слое 15/6 совместно с *M. bisselli* (Clark et Behnken) обнаружен *Sw. binodosus Chernykh*, являющийся частью филогенетической линии *Sw. aff. stvensi* – *Sw. merrilli* – *Sw. binodosus* – *Sw. anceps* – *Sw. whitei* – *Sw. clarki* [6], что позволяет установить здесь зону *Sweetognathodus binodosus* (тастубский горизонт, сакмарский ярус).

В разрезе Кондуровка выделено 19 литологических слоев. Фаунистический комплекс разреза представлен кораллами, мшанками, двустворками, криноидеями, фораминиферами и конодонтами. Конодонтовый комплекс разреза представлен видами родов *Mesogondolella*, *Sweetognathodus*, *Streptognathodus* (переотложенные и нет), *Neognathodus* и *Adetognathus*. Также встречаются переотложенные *Idiognathodus*. Наличие в слое С-273/1 зонального вида *Mesogondolella uralensis* (Chernykh) позволяет предположить в этом слое зону *Mesogondolella uralensis* – *Sweetognathodus merrilli* (шиханский горизонт, ассельский ярус), что подтверждается наличием в том же слое вида *M. gutta Chernykh*.

Проведенный анализ конодонтовых комплексов позволяет предположить, что слой С-273-1 разреза Кондуровка соответствует уровням 14 и 15 (от слоя 14/1 вплоть до слоя 15/5) разреза Альянка.

Список литературы

1. Chernykh V. V., Chuvashov B. I., Shen Shu-Zhong, Henderson Ch. M., Yuan Dong-Xun, Stephenson M. H. The Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the base-Sakmarian Stage (Cisuralian, Lower Permian) // Episodes. 2020. Vol. 43. No. 4. Pp. 961–979.
2. Сысоева А. О., Кузнецов Н. Б., Романюк Т. В., Колесникова А. А., Дубенский А. С., Шешуков В. С., Ляпунов С. М. Первые результаты U-Pb изотопного датирования зерен обломочного циркона из песчанистых органогенно-обломочных известняков стратотипической местности ассельского яруса // Фундаментальные проблемы изучения вулканогенно-осадочных, терригенных и карбонатных комплексов (памяти А. Г. Коссовской и И. В. Хворовой), ГИН РАН. М., Россия, 23–28 ноября 2020 г. С. 242–246.
3. Zeng J., Cao C. Q., Davydov V. I., Shen S. Z. Carbon isotope chemostratigraphy and implications of paleoclimatic changes during the Cisuralian (Early Permian) in the southern Urals, Russia // Gondwana Research. 2012. 2. V.1. P. 601–610.
4. Журавлева Н. Д. Некоторые данные о конодонтах пограничных ассельско-сакмарских отложений разреза Альянка (западный склон Южного Урала) // ПАЛЕОСТРАТ-2023. Москва, 30 января – 1 февраля 2023 г. Программа. Тезисы докладов. М.: Палеонтологический ин-т им. А. А. Борисяка РАН, 2023. 76 с.
5. Черных В. В. Нижнепермские конодонты Урала // Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. 130 с.
6. Черных В. В. Развитие рода *Sweetognathus* (конодонты) в ранней перми на Урале // Ежегодник-2006. Тр. ИГГ УрО РАН. 2007. Вып. 154. С. 55–61.

УДК 594.1

**ПРЕСНОВОДНЫЕ МОЛЛЮСКИ РОДА *CORBICULA*
В ПОСЛЕДНЕМ МЕЖЛЕДНИКОВЬЕ (ПЛЕЙСТОЦЕН) ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

В. В. Черных

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Одним из важных показателей для стратиграфического расчленения и корреляции четвертичных отложений, а также для определения палеоклиматических обстановок являются пресноводные моллюски. Они достаточно часто встречаются и широко распространены в отложениях различного генезиса и возраста, это делает изучение их ископаемых остатков весьма перспективным для стратиграфии и палеографии. Особенно важное значение могут иметь корбикулы. Они встречаются в крупных реках с быстрым течением, а также больших озерах, главным образом в зоне их приобья [1].

В данной работе рассматривается территория юга Западной Сибири, возраст изучаемых отложений относится к межледниковью плейстоцена, материал для исследования был собран из четвертичных отложений реки Иртыш (местонахождение близ поселков Новотроицкое и Татарка).



Виды двустворчатых моллюсков:

1, 2 — *Corbicula fluminalis* (Müll.); 3, 4 — *Corbicula tibetensis* Prashad; 5, 6 — *Corbicula ferghanensis* Kursalova et Starobogatov; 7, 8 — *Corbicula oxiana* Martens

Речные долины юга Западной Сибири выполнены преимущественно песчаными отложениями, которые были названы В. Н. Сукачевым «диагональными песками». Датирование раковин корбикул методом ЭПР (электронно-парамагнитный резонанс) показало, что диагональные пески относятся к разновозрастным межледниковьям плейстоцена [2].

Моллюски рода *Corbicula* являются четким показателем теплых климатических условий. Средние температуры воздуха современных местообитаний вида составляют 13,6–16,4 °С. *Corbicula fluminalis* может выдерживать нагрев воды до 34 °С и гибнет, если температура около 0 °С держится более недели. Они не живут в водоемах, покрытых льдом [3]. В геологической истории четвертичного периода юго-запада Сибири появление рода *Corbicula* происходило несколько раз в результате миграции с юга, первые раковины были найдены в муккурских фаунах в узком стратиграфическом диапазоне конца гелазия, на уровне около 2,1 млн лет [4]. Первые корбикулы были представлены видами *Corbicula fluminalis* (см. рисунок, 1, 2), *Corbicula tibetensis* (см. рисунок, 3, 4) и *Corbicula ferghanensis* (см. рисунок, 5, 6), это указывает на миграцию из Средней Азии.

В результате проведенных исследований было выявлено и описано 4 вида двустворчатых моллюсков рода *Corbicula*, обитавших в отложениях плейстоцена на юго-западе Сибири, также установлено, что разрезы речных отложений, обнажающие в обрывах уступов третьей террасы у пос. Татарка и Новотроицкое синхронны и относятся к последнему казанцевскому межледниковью, а климатические условия формирования речных отложений последнего межледниковья юга Западной Сибири соответствовали климату обитания современных корбикул.

Список литературы

1. Санько А. Ф. Четвертичные пресноводные моллюски Беларуси и смежных регионов России, Литвы и Польши (атлас-определитель). Минск: НАН Беларуси, Ин-т геохимии и геофизики. 2007. 155 с.
2. Архипов С. А., Линке Г. Результаты ЭПР-датирования раковин *Corbicula tibetensis* из четвертичных отложений Западной Сибири // Новые данные по геохронологии четвертичного периода. М.: Наука, 1987. С. 229–236.
3. Genner H. A., Vaate A. Wordt de Aziatische mossel *Corbicula fluminea* cen probleem in Nederland // Tijdschr. water voorz. en afvalwaterbehandel. 1991. V. 24. № 4. P. 101–103.
4. Зыкин В. С. Изменение климата в позднем миоцене и плиоцене на юге Западно-Сибирской равнины // Эволюция климата, биоты и человека в позднем кайнозое Сибири. Новосибирск: ОИГГМ СО АН СССР, 1991. С. 5–17.



ГЕОФИЗИКА, ГЕОМЕХАНИКА И ГОРНОЕ ДЕЛО

УДК 550.34.01

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА МЕТОДОМ МЕЖСКВАЖИННОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ ПРИ БОЛЬШИХ МЕЖСКВАЖИННЫХ РАССТОЯНИЯХ

И. В. Бойчук, П. А. Дергач

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

Метод межскважинного сейсмического просвечивания (МСП) основывается на возбуждении сейсмических волн в одной скважине и их регистрации в другой с дальнейшим построением скоростной модели и анализом упругих свойств горных пород, находящихся между скважинами [1].

На рис. 1 приведена сейсмотомографическая модель, построенная в программе ST2D [2] с добавлением лучевой схемы. Модель построена по синтетическим данным, полученным при полномасштабном моделировании в программном пакете "SOFI2D" [3]. При генерации сейсмограмм была задана четырехслойная модель, имитирующая строение геофизического полигона ИНГГ СО РАН, шаг по источникам 4 м, по приемникам – 2 м, расстояние между скважинами 170 м, глубина скважин 100 м. На рисунке видно, что в верхней части разреза до глубин 30–40 м лучи отсутствуют, из-за чего построение полного скоростного разреза межскважинного пространства с этой расстановкой невозможно. В связи с этим был сделан вывод о необходимости дополнения скважинной системы наблюдения наземной расстановкой. В результате получилась сейсмотомографическая модель, которая достаточно точно реконструирует исходную модель (рис. 2), не считая приповерхностного двухметрового слоя (чтобы его восстановить, необходимо провести детальные наземные сейсморазведочные исследования методом преломленных волн).

Однако проведение такого эксперимента в реальной жизни будет достаточно времязатратным. Попробуем оптимизировать систему наблюдения, уменьшив количество источников до трех – по одному на каждый слой. В этом случае сейсмотомографическая модель (рис. 2, А, Б) восстанавливается достаточно точно. Это также иллюстрирует рис. 3: модель с тремя источниками достаточно похожа на эталонную (источники каждые 4 метра) – среднее отличие моделей 3,01 %.

© И. В. Бойчук, П. А. Дергач, 2024

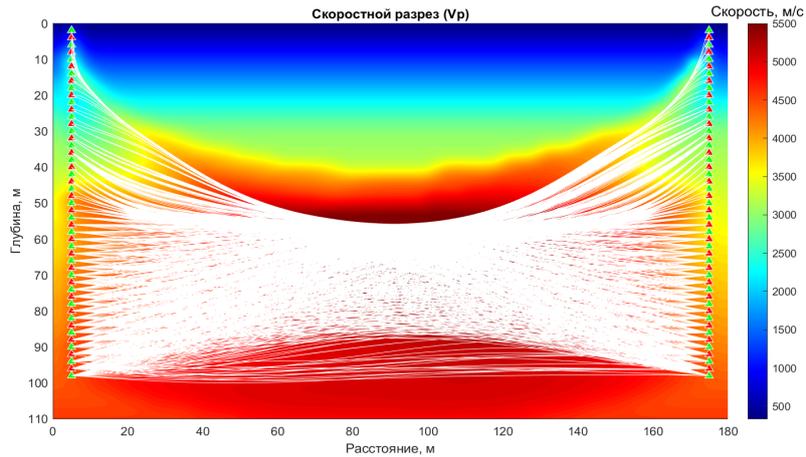


Рис. 1. Результат сейсмической томографии с добавлением лучевой схемы

Из этого можно сделать вывод, что при заданном межскважинном расстоянии и расстановке приемников для восстановления скоростного разреза достаточно трех источников – по одному в каждом слое. Это уменьшает количество пунктов возбуждения примерно в 8 раз по сравнению с эталонной (было 25, стало 3). Так как в реальной жизни длина скважинной косы 48 м, то для того чтобы обеспечить глубину 100 м, необходимо один раз переместить приемную косу. Это значит, что на каждом пункте возбуждения необходимо проводить по 2 наблюдения для обеих расстановок приемной косы, что увеличивает время работы в 2 раза. А значит, если оставить 3 источника, время измерений, без учета спускоподъемных операций, уменьшается примерно в 16 раз. Стоит заметить, что это справедливо только для горизонтально-слоистой среды. Если среда более сложная – необходимо провести исследования для этой конкретной модели.

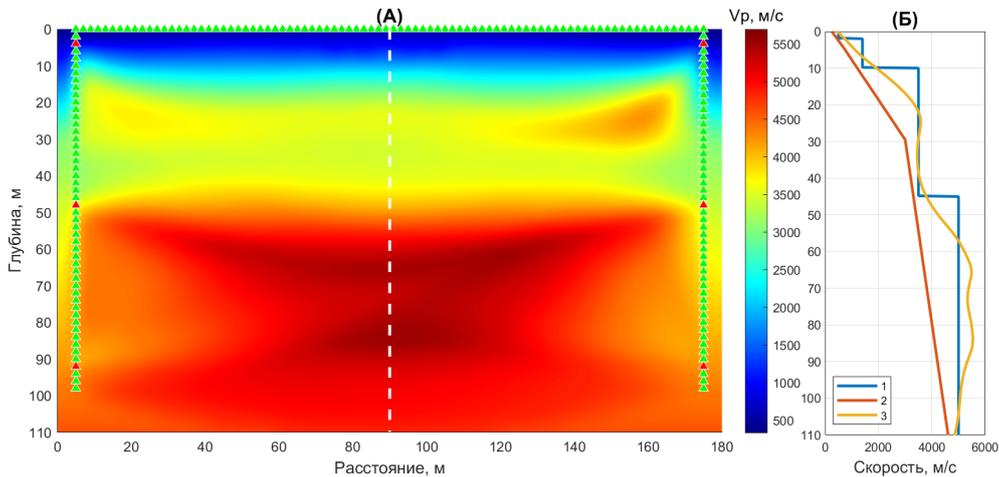


Рис. 2. Результаты сейсмической томографии для трех источников на глубинах 4, 48 и 92 м. А – сейсмотомографическая модель (2D); Б – вертикальный срез модели вдоль линии на 90 м (белый пунктир на 2D-модели). 1 – истинная модель; 2 – начальная модель; 3 – результат сейсмической томографии

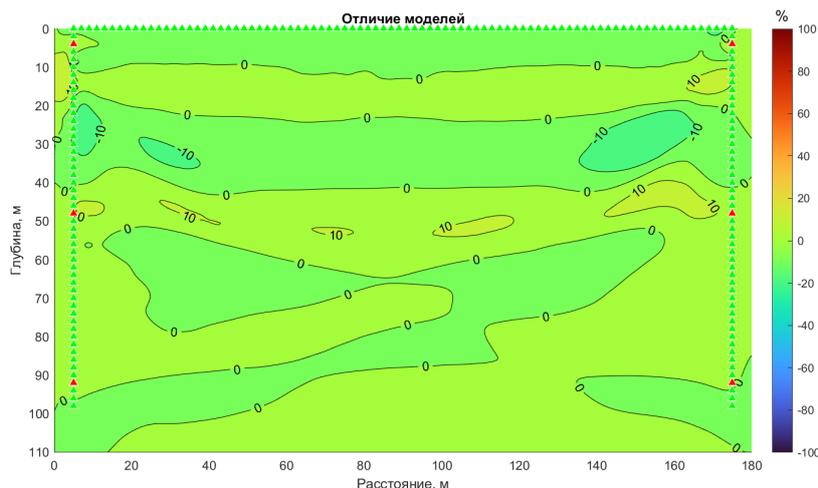


Рис. 3. Процентная разность между двумя сейсотомографическими моделями:
 1) посчитанной для шага между источниками 4 м (максимально плотная расстановка);
 2) посчитанной для трех источников на глубинах 4, 48 и 92 м

Список литературы

1. Владов М. Л., Стручков В. А., Судакова М. С., Шмурак Д. В. Томографические просвечивания при больших межскважинных расстояниях: негативные факторы // Инженерные изыскания. 2020. Т. 14. № 2. С. 42–51.
2. Никитин А. А., Дучков А. А., Кулаков И. Ю., Чернышов Г. С. ST3D: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 2010.
3. Kuhn D. Time domain 2D elastic full waveform tomography. PhD Thesis, Kiel University, 2011. 191 p.

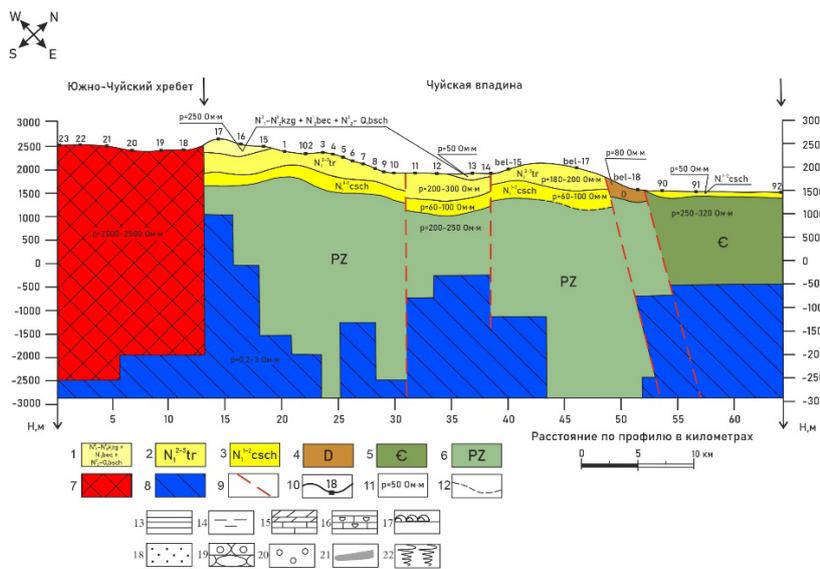
УДК 550.372

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПО ДАННЫМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Я. О. Бондарчук

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Горный Алтай – часть Алтае-Саянской горной области сложного геологического строения, один из районов новейшего горообразования. Для молодых горных сооружений, формирование которых интенсивно продолжается, как правило, характерна повышенная сейсмичность. Локализация очагов землетрясения зависит от характера неоднородностей земной коры. Причиной возникновения сейсмических толчков является образование новых или возобновление



Система	Орда	Палеоген	Литология	Мощность, м
Четвертичная	Плывущий	Иванов	Впадины Горного Алтая, [Девяткина, 1965]	
			Башкауская свита (N ¹⁻² - Q, bsch)	10-300
			Бекенская свита (N ¹ bec)	15-20
			Кызылгирская свита (N ¹ kkg)	10-25
			Туерьская свита (N ¹ tr)	15-170
Новокаменная	Иванов	Иванов	Кошагачская свита (N ¹ csch)	5-350
			Карачумская свита (P ¹ kch)	5-40
			Мел-палеогеновая кора выветривания (K ₁ - P _{1a})	1-30
Палеозойская	Средний	Иванов		

Рис. 1. Геоэлектрический разрез осадочного чехла Чуйской впадины и сводная литологическая колонка Девяткина, 1965: 1 – отложения башкауской свиты средне-верхнего плиоцена и нижнего плейстоцена + бекенской свиты нижнего плиоцена + кызылгирской свиты верхнего миоцена и нижнего плиоцена; 2 – отложения туерьской свиты среднего-верхнего миоцена; 3 – отложения кошагачской свиты нижне-среднего миоцена; 4 – нерасчлененные отложения девона; 5 – нерасчлененные отложения кембрия; 6 – нерасчлененные отложения палеозоя; 7 – области anomalно высоких значений удельного сопротивления; 8 – области anomalно низких значений удельного сопротивления; 9 – разрывные нарушения, выявленные по данным МТЗ; 10 – пункты МТ-зондирований; 11 – значение удельного электрического сопротивления в Ом·м; 12 – предполагаемая граница; 13 – глины; 14 – алевролиты; 15 – мергели и известняки; 16 – ракушечники; 17 – строматолитовые известняки; 18 – пески; 19 – галечники и конгломераты; 20 – валунники; 21 – бурые угли; 22 – коры выветривания

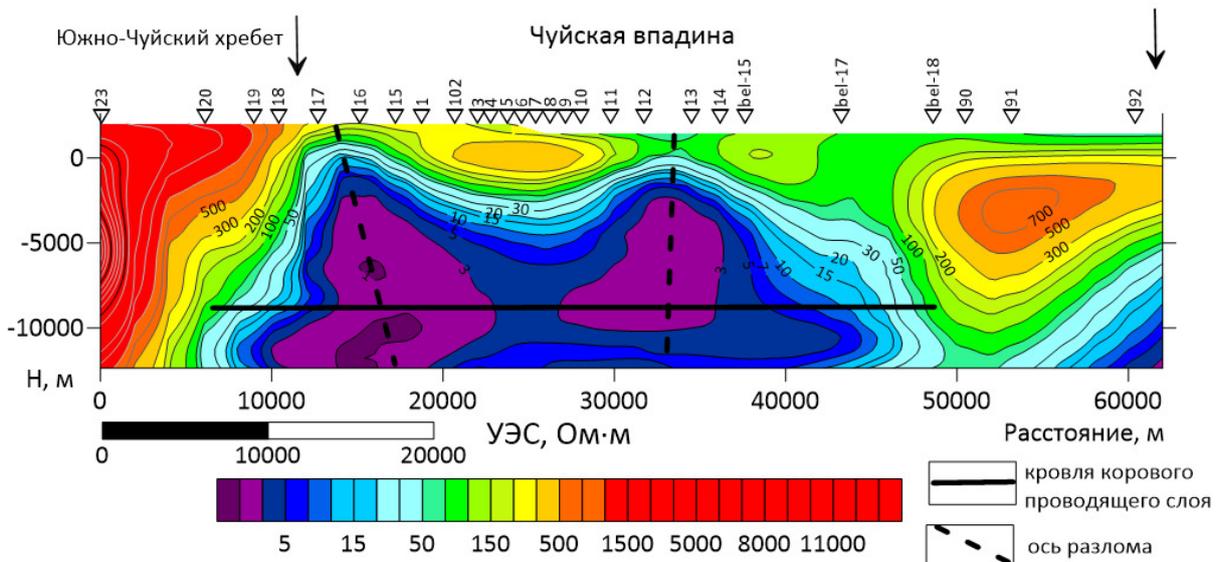


Рис. 2. Глубинный геоэлектрический разрез Чуйской впадины по результатам инверсии данных МТЗ

старых тектонических разрывов, поэтому изучение геологического строения, установление и прослеживание разрывных нарушений в земной коре является важным этапом в изучении землетрясений [1]. В сейсмоактивных районах очаги землетрясений располагаются преимущественно над коровым проводящим слоем, формирование которого, согласно современным представлениям, обусловлено присутствием в нем надкритических флюидов [2, 3].

Исследуемый профиль располагается в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения 2003 г. между Южно-Чуйским и Курайским хребтами, обрамляющими Чуйскую впадину, и протягивается с юго-запада на северо-восток. При построении геоэлектрического разреза осадочной толщи (рис. 1) в соответствии с априорными геологическими данными выделено три геоэлектрических горизонта, а также установлены разрывные нарушения, проводящая область и высокоомный блок на юго-западе профиля, соответствующий Южно-Чуйскому хребту.

По результатам инверсии магнитотеллурических данных глубинный разрез земной коры (рис. 2) характеризуется двухслойным строением. Нижней части разреза, до глубин около 10 км, соответствует область пониженных значений удельного электрического сопротивлений (3–50 Ом·м). Вверх по разрезу, до глубин около 3 км, преобладают высокие значения удельного электрического сопротивления – более 300 Ом·м, которые в латеральном направлении нарушаются проводящими зонами. На глубине 10 км выделяется субгоризонтальный коровый проводящий слой, который может свидетельствовать о возможной флюидизации земной коры в этом интервале глубин. Коровый слой осложняется выделенными разрывными нарушениями.

Полученный разрез позволяет сделать вывод о мелкоблоковом строении Чуйской впадины, характеризующемся различными геоэлектрическими типами осадочного чехла и консолидированной коры. Кровля корового проводящего слоя установлена на глубине 10 км, а его удельное электрическое сопротивление составляет менее 10 Ом·м. Основные неотектонические нарушения, прослеженные на геоэлектрическом разрезе до глубины 12 км, маркируются областями с аномально низкими УЭС (менее 5 Ом·м) на магнитотеллурических разрезах.

Список литературы

1. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 536 с.
2. Новиков И. С., Поспеева Е. В. Неотектоника восточной части Горного Алтая по данным магнитотеллурического зондирования // Геология и геофизика, 2017. Т. 58. № 7. С. 959–971.
3. Поспеева Е. В. Природа глубинной электропроводности и связь коровых аномалий с месторождениями полезных ископаемых // ЭМЗ-2021 (Москва, 4–9 октября 2021 г.): Тез. докл. 2021. С. 1–6.

ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ФАЗОВЫХ ПРОНИЦАЕМОСТЕЙ ПО ДАННЫМ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДВУХФАЗНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ВЫТЕСНЕНИЯ

Р. Б. Джаркинов, М. И. Фокин

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

Лабораторные исследования кернового материала являются обязательным этапом для определения необходимых входных параметров для гидродинамического моделирования процесса разработки месторождения углеводородов. Одним из ключевых параметров для такого моделирования являются относительные фазовые проницаемости (ОФП) [1]. В настоящее время экспериментальная оценка ОФП методом стационарной фильтрации является стандартным петрофизическим испытанием керна. Однако данный метод имеет существенные недостатки, такие как высокая стоимость и продолжительность эксперимента, что особенно критично при исследовании низкопроницаемых горных пород [2].

В данной работе реализован подход для оценки ОФП на основе данных метода нестационарной фильтрации с рентгеновским контролем в режиме реального времени. Алгоритм оценки основан на решении обратной задачи, заключающейся в определении параметров модели Брукса – Кори по динамическим профилям водонасыщенности и перепаду давления. Для этого проводится многократное решение прямой задачи для различных параметров модели ОФП методом численного моделирования, а также анализ соответствия полученных результатов экспериментальным данным на основе функционала невязки [3]. Реализация прямого расчета основывается на физико-математической модели двухфазного течения Дарси в одномерном приближении [5, 6]. Параметризация ОФП осуществляется с помощью модели Брукса – Кори, которая связывает относительные фазовые проницаемости и водонасыщенность следующей степенной зависимостью [4]:

$$k_{r,w} = k_{r,w}^0 (S_{red})^a; k_{r,n} = k_{r,n}^0 (1 - S_{red})^b, \text{ где } S_{red} = \frac{S - S_{w,c}}{1 - S_{w,c} - S_{n,r}}, \quad (1)$$

где $k_{r,w}^0$ и $k_{r,n}^0$ – относительная фазовая проницаемость воды и нефти при остаточной водонасыщенности, a и b – параметры Кори, которые определяют кривизну зависимости относительной проницаемости от водонасыщенности, S_{red} – нормированная водонасыщенность, S – ненормированная водонасыщенность, $S_{w,c}$ и $S_{n,r}$ – остаточная водо- и нефтенасыщенность.

Для решения обратной задачи используется функционал невязки вида:

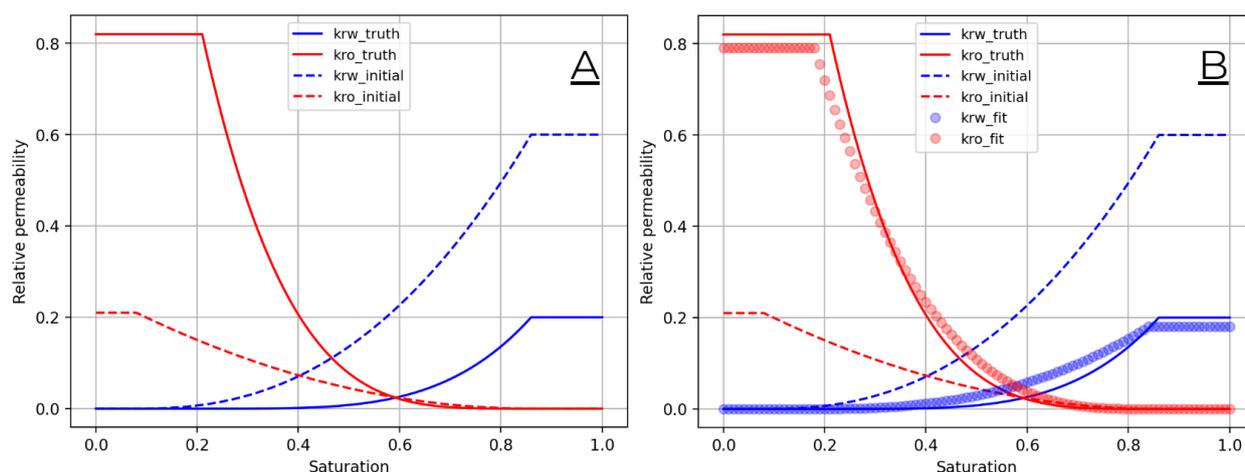
$$\chi^2 = \sum_i \frac{(y_i - f(x_i))^2}{\varepsilon_i^2}, \quad (2)$$

где y_i – экспериментальные данные при значении параметра x_i , $f(x_i)$ – соответствующие значения, вычисленные моделью, χ^2 – сумма квадратов расхождения между моделью и данными, нормированными на величину стандартного отклонения ε_i^2 .

Для оптимизации параметров используется алгоритм Левенберга – Марквардта. В качестве экспериментальных данных выступают динамические профили водонасыщенности $S_w(x, t)$, где x – координата вдоль оси вытеснения флюида и перепад давления $\delta p(t)$.

Описанный подход был реализован в виде оптимизационного модуля на языке Python, основанного на библиотеках Core2Relperm и lmfit и использующего пакет прямого моделирования Poreflow. Работу модуля можно охарактеризовать в три этапа. На первом этапе производится импорт экспериментальных данных, а также задаются параметры начального приближения модели и производится прямой расчет с помощью Poreflow. Следующий этап – инициализация целевой функции и ее минимизация с помощью итерационного пересчета результатов прямого моделирования. Третий этап характеризуется извлечением подобранных коэффициентов кривых ОФП и определением интервала погрешности подобранных параметров.

Разработанный модуль протестирован на данных прямого численного моделирования процесса двухфазного вытеснения нефти водой с добавлением шума. Для расчета использовалась геометрия одномерного канала, размером $1 \times 20 \times 1$ ячеек, размер ячейки – 1 мкм. Пористость расчетной зоны – 0.3, а проницаемость – 100 мД. Канал в начальный момент времени полностью насыщен нефтью с плотностью $\rho_2 = 893 \text{ кг/м}^3$ и вязкостью $\mu_2 = 0,004 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Далее производится вытеснение нефти водой со свойствами $\rho_1 = 1004,7 \text{ кг/м}^3$ и $\mu_1 = 0,00038 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Результаты вытеснения с двумя наборами параметров Брукса – Кори выступали в качестве экспериментальных и модельных данных. На рисунке, А приведена визуализация кривых ОФП для каждого случая.



Визуализация кривых ОФП: А – экспериментальные (truth) и модельные (initial) кривые ОФП; В – подобранные (fit) кривые ОФП после работы модуля

Результаты подбора параметров представлены на рисунке, В. По итогам работы реализован и протестирован на синтетических данных оптимизационный модуль для оценки относительных фазовых проницаемостей, реализующий подбор параметров модели Брукса – Кори путем решения обратной задачи. В дальнейшем планируется оценить применимость модуля на реальных данных и расширить его функционал для оценки ОФП в условиях трехфазного течения.

Список литературы

1. Ложкин М. Г. Модель относительных фазовых проницаемостей для вытеснения газа конденсатом и водой и вытеснения нефти водой и газом // Экспозиция. Нефть. Газ. 2015. № 1 (40). С. 39–41.

2. Шабаров А. Б., Шаталов А. В., Марков П. В., Шаталова Н. В. Методы определения функций относительной фазовой проницаемости в задачах многофазной фильтрации // Вестник Тюмен. гос. ун-та. 2018. Т. 4. № 1. С. 79–109.
3. Berg Steffen, et al. Simultaneous determination of relative permeability and capillary pressure from an unsteady-state core flooding experiment? // Computers and Geotechnics. 2024. Т. 168. С. 106091.
4. Corey A. T. The interrelation between gas and oil relative permeabilities // Producers monthly. 1954. С. 38–41.
5. Dake L. P. Fundamentals of reservoir engineering // Elsevier. 1983.
6. Leveque R. J. Numerical methods for conservation laws // Basel: Birkhäuser. 1992. Т. 214.

УДК 550.347.62

СКОРОСТНАЯ СТРУКТУРА ЗЕМНОЙ КОРЫ ПОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАМЧАТКОЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ШУМОВОЙ ТОМОГРАФИИ*

И. И. Егорушкин¹, И. Ю. Кулаков¹⁻³, А. В. Яковлев⁴, Н.-Н. Huang^{5,6},
Е. И. Гордеев⁷, И. Ф. Абкадыров⁷, Д. В. Чебров⁸

¹ *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

² *Сколковский институт науки и технологий, Москва*

³ *Институт земной коры СО РАН, Иркутск*

⁴ *Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Germany*

⁵ *Academia Sinica, Taipei, Taiwan*

⁶ *National Taiwan University, Taipei, Taiwan*

⁷ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский*

⁸ *Камчатский филиал Федерального исследовательского центра
«Единая геофизическая служба Российской академии наук»,
Петропавловск-Камчатский*

Полуостров Камчатка (Дальний Восток, России) является одним из самых тектонически и вулканически активных регионов мира. Центральная область Камчатки, ограниченная широтами 52,8° и 54,1°, включает несколько активных вулканов Восточного вулканического пояса и ряд спящих задуговых вулканов, а также части горных хребтов Срединный и Ганальский. Вулканы Центральной Камчатки представляют реальную угрозу для относительно густо населенного Петропавловск-Камчатского городского округа (около 162 тыс. жителей), в связи с чем они подвергаются активному и разностороннему изучению. Другой важной задачей, решаемой научным сообществом в данном регионе, является поиск геотермальных источников энергии, которые позволят оптимизировать электро- и теплоснабжение местного населения.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-17-00075) в рамках государственного задания FWZZ-2022-0017.

© И. И. Егорушкин, И. Ю. Кулаков, А. В. Яковлев, Н.-Н. Huang, Е. И. Гордеев, И. Ф. Абкадыров, Д. В. Чебров, 2024

Для выполнения шумовой сейсмической томографии мы задействовали вертикальную компоненту непрерывных сейсмических записей с постоянных станций, установленных Камчатским филиалом Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (КФ ФИЦ ГС РАН) [1], и с временной сети, развернутой в 2019–2020 гг. в рамках совместного проекта Academia Sinica (Тайвань), Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН (Новосибирск), Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН и КФ ФИЦ ГС РАН (Петропавловск-Камчатский). В результате обработки сырых данных, которая проводилась в соответствии со стандартным алгоритмом, представленным в [2], были получены кросс-корреляционные функции, содержащие информацию о поверхностных волнах Рэлея [3]. Далее каждая из этих коррелограмм подвергалась частотно-временному анализу [4], по итогам которого было отобрано 489 дисперсионных кривых фундаментальной моды групповых скоростей рэлеевских волн. Томографическая инверсия дисперсионных кривых осуществлялась при помощи алгоритма SURF_TOMO [5], вычисления в котором выполняются в два этапа: сначала для выбранного диапазона периодов (в нашем случае – от 1 до 30 с) строятся двумерные карты групповых скоростей волн Рэлея, а затем на их основе рассчитывается трехмерное распределение скорости поперечных волн V_s .

Согласно полученной модели, под действующими вулканами Жупановский и Дзензур на глубинах 2, 8 и 20 км располагаются три низкоскоростных слоя, предположительно отвечающих многоуровневой системе магматического питания. Под действующими вулканами Авача и Корякский наблюдается мощная низкоскоростная аномалия, достигающая глубины не менее 40 км. Предполагается, что данная аномалия отвечает системе субвертикальных магматических каналов, питающей оба вулкана. Верхняя кора под Срединным и Ганальским хребтами ассоциирована с повышенными скоростями продольных волн V_s . Вероятно, в случае Ганальского высокоскоростная аномалия отвечает метаморфическим породам кембрийско-мелового возраста, слагающим данный хребет, тогда как аномалия под Срединным обусловлена наличием консолидированных магматических комплексов, сформировавшихся в неогене, когда хребет Срединный являлся зоной дугового вулканизма. Яркая низкоскоростная аномалия в нижней части коры под Срединным может быть связана с высокотемпературными породами, залегающими здесь с того же времени. Между хребтами Ганальский и Срединный до глубины около 3 км прослеживается низкоскоростная аномалия, которая объясняется процессами осадконакопления в Центральной Камчатской депрессии.

Список литературы

1. Chebrov V. N., Droznin D. V., Kugaenko Y. A., Levina V. I., Senyukov S. L., Sergeev V. A., Shevchenko Yu. V., Yashchuk V. V. The system of detailed seismological observations in Kamchatka in 2011 // *Journal of Volcanology and Seismology*, 2013. Vol. 7. Pp. 16–36.
2. Bensen G. D., Ritzwoller M. H., Barmin M. P., Levshin A. L., Lin F., Moschetti M. P., Shapiro N., Yang Y. Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements // *Geophysical Journal International*, 2007. Vol. 169. №3. Pp. 1239–1260.
3. Shapiro N. M., Campillo M. Emergence of broadband Rayleigh waves from correlations of the ambient seismic noise // *Geophysical Research Letters*, 2004. Vol. 31. № 7. 4 p., <https://tinyurl.com/2yb2k46t>.
4. *Seismic Surface Waves in a Laterally Inhomogeneous Earth* / edited by V. I. Keilis-Borok, A. L. Levshin // Springer Dordrecht, 1989. 304 p.
5. Koulakov I., Maksotova G., Jaxybulatov K., Kasatkina E., Shapiro N. M., Luehr B. G., Khrepy S., Al-Arifi N. Structure of magma reservoirs beneath Merapi and surrounding volcanic centers of Central Java modeled from ambient noise tomography // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2016. Vol. 17. №10. Pp. 4195–4211.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ СУТОЧНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СО СРЕДНЕСУТОЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Я. С. Косарев

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

До конца неизвестен механизм, определяющий интенсивности отдельных землетрясений и «общеземную» суммарную интенсивность всех землетрясений, произошедших в определенный временной промежуток. Поэтому предположение о связи интенсивностей землетрясений с внутренними и внешними факторами является одним из важнейших этапов к пониманию самой сути явления возникновения землетрясений. В данной работе рассматривается связь общеземной сейсмической и солнечно-земной магнитной активности.

Для измерения интенсивности геомагнитного поля был использован Ар-индекс, который является среднесуточным параметром активности геомагнитного поля. Подсчет Ар-индекса заключается в суточном суммировании Кр-индекса (Кр-индекс – измеренные за три последовательных часа две горизонтальные компоненты геомагнитного поля, наблюдаемые в 13 магнитных обсерваториях, расположенных в зоне между 48 и 63 градусами северной и южной широт). Значения Ар-индекса были взяты из геофизических отчетов геомагнитной активности Потсдамского центра им. Гельмгольца [1]. Для оценки характера сейсмической активности была взята общая энергия всех землетрясений с магнитудой > 4 , произошедших за одни сутки. Амплитудный диапазон > 4 позволяет исключить вклад малоэнергетических землетрясений, являющихся своеобразным «сейсмическим шумом».

Построение базы данных для геомагнитной и сейсмической активности происходило в программе Excel. Для отбора значений был взят диапазон дат с 01.05.2023 по 01.09.2023. Такой объем выборки позволяет уменьшить случайность связи между исследуемыми параметрами. В работе были использованы:

Параметры магнитного поля Земли:

- значение Ар-индекса (Ar);
- относительные изменения Ар-индекса по отношению к прошлым суткам (dAr);
- относительные изменения Ар-индекса, взятые по модулю (ABS(dAr));

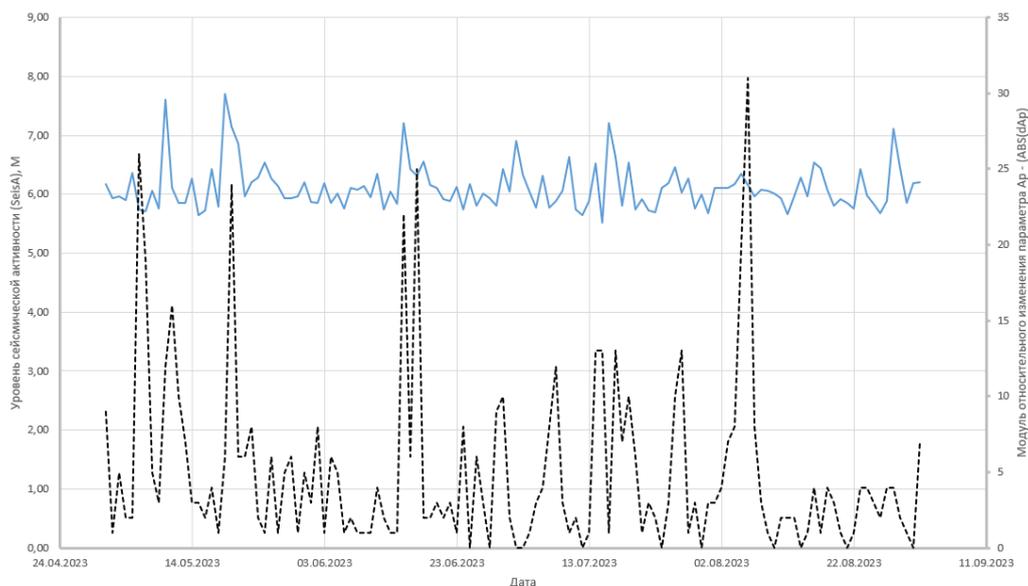
Параметры общеземной сейсмической активности:

- общая сейсмическая активность (SeisA).
- относительные изменения сейсмической активности по отношению к прошлым суткам (dSeisA);
- относительные изменения сейсмической активности, взятые по модулю (ABS(dSeisA))

Обработка исследуемого набора данных проходила в программе математической статистики STATISTICA и в программе Excel и включала два характерных этапа.

1. Выявление в программе математической статистики STATISTICA наиболее сильно связанных параметров активности магнитного поля и общеземной сейсмичности. Было выявлено, что наиболее сильно связанными параметрами двух групп являются параметры ABS(dAr) и SeisA.

2. Для выявленных параметров в программе Excel был построен их смежный график (см. рисунок). Полученный график демонстрирует совпадение пиков сейсмической активности и пиков параметра ABS(dAp). Кроме этого, заметно, что часть наиболее интенсивных пиков ABS(dAp) относится к наиболее интенсивным пикам сейсмической активности, и, наоборот, наименее интенсивные области ABS(dAp) относятся к наименее интенсивным областям сейсмической активности.



Общий вид зависимостей параметров общесуточной геомагнитной активности и общесуточной сейсмической активности.

Черным пунктиром – параметр ABS(dAp); синим цветом – параметр SeisA

Полученные данные позволяют предположить, что изменение планетарной сейсмической активности, возможно, возникает в том числе по причине изменения параметров геомагнитного поля. К аналогичным результатам пришли исследователи, изучающие сейсмичность Тянь-Шаня за 24 солнечных цикла [2]. Но в данном исследовании выявлена лишь связь крупных землетрясений в пределах Северного Тянь-Шаня с общим числом солнечных пятен. В настоящем же исследовании был получен характер взаимосвязи непосредственно геомагнитной активности и общеземной сейсмической активности, произошедших в пределах одних суток. Поэтому проведенное исследование может стать началом для дальнейших более масштабных и более точных исследований по выявлению причин сейсмичности и прогнозирования пиков землетрясений по всему миру.

Список литературы

1. GFZ German Research Centre for Geosciences. URL: <https://www.gfz-potsdam.de/en/> (дата обращения: 20.03.2024).
2. Садыкова А. Б., Полешко Н. Н., Хачикян Г. Я. Особенности вариаций сейсмотектонической деформации земной коры на Северном Тянь-Шане в 24 цикле солнечной активности // Геология и охрана недр, 2015. № 1(54). С. 64–74.

УДК 550.384

**АБСОЛЮТНАЯ И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПАЛЕОНАПРЯЖЕННОСТЬ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЮЖНОЙ СИБИРИ ДЛЯ ПОСЛЕДНИХ 10 ТЫС. ЛЕТ:
АНАЛИЗ ДАННЫХ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПАЛЕОНАПРЯЖЕННОСТИ ПО ОЗЕРНЫМ ОТЛОЖЕНИЯМ
(ОЗ. ШИРА, ХАКАСИЯ)***

Д. М. Кузина¹, В. П. Щербаков², Н. В. Сальная³, А. Р. Юсупова¹,
Х-Ч. Ли⁴, Д. К. Нурғалиев¹

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казань

² Геофизическая обсерватория «Борок» Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН,
Ярославская обл., пос. Борок

³ Геологический институт РАН, Москва

⁴ Национальный университет Тайваня, Тайбэй, Тайвань

Магнитное поле – уникальное геофизическое явление и единственное физическое поле, которое мы можем исследовать на протяжении его существования. Изучение эволюции геомагнитного поля Земли возможно благодаря явлению палеомагнетизма – фиксации магнитного поля в горных породах в момент и в месте их образования. Изучение магматических горных пород позволяет получать палеонаправления и абсолютную палеонапряженность поля, в то время как исследование осадочных горных пород дает возможность изучать палеонаправление и лишь относительную палеонапряженность из-за сложности воспроизводства процесса создания естественной остаточной намагниченности в лабораторных условиях. Получение относительной палеонапряженности целесообразно лишь при изучении протяженных разрезов пород, однородных по петромагнитным характеристикам.

Изучение эволюции абсолютной палеонапряженности в мировом и региональном масштабе сопряжено с рядом трудностей, главным из которых является неравномерное пространственно-временное распределение объектов – археомагнитных сайтов и магматических горных пород. Для регионов, где отсутствуют такие объекты или данных по археомагнитным объектам мало, особенно актуальным становится исследование относительной палеонапряженности, при этом самыми перспективными объектами для исторического интервала времени выступают разрезы озерных отложений.

Для Сибири, включая Южную Сибирь, наблюдается острый недостаток данных палеонапряженности для исторического периода времени. Около 50 определений получено лишь по археомагнитным объектам Прибайкалья [1–4 и др.], также небольшое количество оценок имеется для соседней Монголии [5 и др.].

Для получения первых оценок относительной палеонапряженности по озерным отложениям методом псевдо-Телье [6] был выбран разрез озера Шира (Хакасия) с хорошим качеством палеомагнитной записи. На основе сейсмоакустических исследований были отобраны

* Получение данных по озеру Шира выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-47-08001), <https://rscf.ru/project/22-47-08001/>. Анализ определений палеонапряженности частично выполнялся при поддержке Госпрограммы ГИН РАН.

© Д. М. Кузина, В. П. Щербаков, Н. В. Сальная, А. Р. Юсупова, Х-Ч. Ли, Д. К. Нурғалиев, 2024

керновые колонки, одна из которых подверглась детальным петро- и палеомагнитным исследованиям. Отбор производился с помощью специальной установки, разработанной в Институте геологии и нефтегазовых технологий КФУ [7]. Измерение гистерезисных параметров проводилось на коэрцитивном спектрометре J_meter [8 и др.]. Радиоуглеродное датирование выполнялось в лаборатории NTUAMS на факультете наук о Земле Национального университета Тайваня. Лабораторные исследования по изучению относительной палеонапряженности проводились в ресурсном центре «Геомодель» (Санкт-Петербургский государственный университет) на криогенном магнитометре (2G Enterprises, США). Определение относительной палеонапряженности производилось с помощью метода псевдо-Телье [6], который предусматривает последовательное ступенчатое размагничивание естественной остаточной намагниченности и создание безгистерезисной остаточной намагниченности. Результаты измерений представлялись на диаграмме псевдо-Араи-Нагаты, где по оси абсцисс приводились значения создаваемой парциальной безгистерезисной остаточной намагниченности, а по оси ординат – величины остатка естественной остаточной намагниченности после воздействия соответствующего переменного поля. Относительная палеонапряженность определялась по тангенсу угла наклона прямолинейного отрезка на диаграмме псевдо-Араи-Нагаты.

В ходе детальных исследований керна оз. Ши́ра был получен ряд из 190 определений относительной палеонапряженности, дополненных необходимым комплексом петромагнитных исследований и датированных радиоуглеродным методом.

Сравнение результатов определения палеонапряженности методом псевдо-Телье по осадочным породам оз. Ши́ра с различными моделями – CALS10K.1b [9], PFM9k.1 [10], NFM.OL1.AL1, CALS10k.2 ARCH10k.1 [11] – показало их общее согласие. Имеются и некоторые отличия относительной палеонапряженности по разрезу о. Ши́ра методом псевдо-Телье и модельных кривых. К примеру, максимум напряженности в интервале от 7100 до 7300 лет тому назад может быть проявлением резкого изменения петромагнитных параметров, так и недипольной вариации, которая не учтена в современных моделях. Помимо этого, полученные результаты в целом ожидаемо совпали и с имеющимися определениями по соседнему Прибайкалью, которые были использованы при построении численных моделей поля.

Полученные в ходе работы результаты свидетельствуют о том, что по озерным отложениям возможно получение данных относительной палеонапряженности, которые существенно дополняют базы данных по палеонапряженности региона. Однако стоит учитывать, что для качественного определения относительной палеонапряженности необходимо располагать достаточно большим и протяженным во времени набором данных и проводить строгий их отбор для того, чтобы иметь надежную статистику для фиксации тех или иных трендов в изменении палеонапряженности во времени. Необходимо получение новых данных об относительной палеонапряженности по данному региону и по Сибири в целом для оценки достоверности выявленной аномалии в интервале от 7100 до 7300 лет тому назад и пополнения базы данных палеонапряженности.

Список литературы

1. Начасова И. Е., Бураков К. С. 8000-летняя вариация напряженности геомагнитного поля // Геомагнетизм и аэрономия. 1997. № 1. С. 167.
2. Бураков К. С., Начасова И. Е., Петрова Г. Н. Напряженность геомагнитного поля в Прибайкалье в последние тысячелетия // Геомагнетизм и аэрономия. 2000. Т. 40. № 2. С. 90–95.
3. Начасова И. Е., Бураков К. С. Археомагнитные исследования материалов памятников Восточной Сибири Горелый Лес и Усть-Хайта // Физика Земли. 2008. № 3. С. 84–91.

4. Начасова И. Е., Бураков К. С., Пилипенко О. В. Вариации напряженности геомагнитного поля в Сибири в последние тринадцать тысячелетий // Физика Земли. 2015. № 1. С. 46–53.
5. Бурлацкая С. П., Начасова И. Е., Бураков К. С. Новые определения параметров древнего геомагнитного поля для Монголии, Средней Азии и Абхазии // Геомагнетизм и аэрономия. 1976. № 4. С. 914–918.
6. Tauxe L., Pick T., Kok Y.S. Relative paleointensity in sediments: A Pseudo-Thellier Approach // Geophysical Research Letters. 1995. V. 22. P. 2885–2888. <https://doi.org/10.1029/95GL03166>
7. Борисов А. С. Система технологического обеспечения палеомагнитных исследований отложений современных озер: Дис... докт. геол.-мин. наук. 2004. Казань. 267 с.
8. Нурғалиев Д. К., Ясонов П. Г. Полезная модель «Коэрцитивный спектрометр»: патент № 81805 // Государственный реестр полезных моделей Российской Федерации. 2009.
9. Korte M., Constable C., Donadini F., Holme R. Reconstructing the Holocene geomagnetic field // Earth Planet. Sci. Lett. 2011. V. 312. P. 497–505. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.10.031>
10. Nilsson A., Holme R., Korte M., Suttie N., Hill M. Reconstructing Holocene geomagnetic field variation: new methods, models and implications // Geophys. J. Int. 2014. V. 198. P. 229–248. <https://doi.org/10.1093/gji/ggu120>
11. Constable C., Korte M., Panovska S. Persistent high paleosecular variation activity in southern hemisphere for at least 10 000 years // Earth Planet. Sci. Lett. 2016. V. 453. P. 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.08.015>

УДК 550.3

ОБЗОР ПОДХОДОВ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ГЛИНИСТОЙ КОМПОНЕНТЫ НА ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ ПЕСЧАНИКОВ

А. А. Лапковская

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

Среди коллекторов нефти и газа преобладают осадочные породы. В природных условиях залежи нефти и газа чаще всего приурочены к терригенным и карбонатным отложениям, в других осадочных толщах они встречаются значительно реже.

Основным в фациально-циклическом анализе является положение о том, что континентальные осадочные серии сложены, как правило, прогрессивными циклитами (от грубых осадков к тонким, как прямая запись географического цикла). В отношении способов образования осадочных циклов среди специалистов преобладают представления о широкой полигенетичности этих объектов. Вместе с тем большинство исследователей полагает, что ведущим фактором являются колебания уровня моря и связанные с ними трансгрессии и регрессии [1].

В гидродинамически связанных проницаемых отложениях осадочных разрезов распределение углеводородов зависит от плотности естественных флюидов: более легкие нефть и газовый конденсат находятся в верхней части коллекторов и с глубиной постепенно замещаются пластовой водой. Циклы осадконакопления часто обуславливают осаждение более крупнозер-

нистого материала в нижней части коллектора и повышение глинистости – к кровле, что приводит к значительной глинизации верхней части продуктивного пласта.

Известно [2], что присутствие в осадочных горных породах глинистых минералов, обладающих повышенной дисперсностью и содержанием связанной воды, оказывает влияние на многие физические свойства пород. В связи с этим большую актуальность приобретает количественная оценка степени заглинизированности осадочных отложений, величина которой используется в нефтегазовой геологии и в геофизике для литологического расчленения разрезов скважин и их корреляции, выделения проницаемых пород-коллекторов, определения коллекторских свойств и коэффициента нефтегазонасыщенности [3].

Поскольку определить нефтенасыщенность довольно сложно, обычно рекомендуется оценивать ее по водонасыщенности [4]. Водонасыщенность оценивается по зависимостям типа Арчи – Дахнова при известных пористости, электропроводности пластовой воды и УЭС коллектора. Такой подход хорошо работает для песчаных коллекторов с большой пористостью и небольшой долей структурной глины.

Чаще всего при петрофизических оценках глинистость учитывается только как один из твердых компонентов скелета, и в итоге вычитается с некоторым коэффициентом из оценки пористости по данным нейтронного каротажа (водородосодержания). При этом оценивается свободное от твердых частиц поровое пространство, но игнорируется вклад глинистого вещества как электропроводящего компонента. Неучет влияния электропроводности глинистого цемента приводит к тому, что в коллекторе, сложившемся в прогрессивный цикл, УЭС увеличивается не от подошвы к кровле, что отражало бы гравитационное распределение нефти и пластовой воды, а от кровли к подошве. При оценке коэффициента насыщения, без учета вклада увеличивающейся глинистости в суммарную электропроводность породы и при уменьшении коэффициента пористости, это приводит к парадоксу: в нижней части коллектора насыщение рассчитывается большим, чем в верхней.

По данным многочисленных исследований установлено, что внутренняя структура заглинизированных коллекторов существенно более сложная, чем у малоглинистых, поэтому для них простые формулы работают с очень большой ошибкой. Разные типы глинистости и разные формы кристаллов глинистых минералов по-разному меняют геометрию порового пространства и фильтрационно-емкостные свойства коллекторов. Это привело к разработке нескольких моделей для расчета водонасыщенности коллекторов из глинистого песчаника. Модели создаются с использованием различных подходов и допущений, для конкретного диапазона условий применения.

Современные модели учитывают наличие различных типов глин в породах, уравнение Арчи – Дахнова корректируется, приобретая более сложную форму. Существует множество вариантов уравнений для определения водонасыщенности глинистых песчаников [5–7].

В общем виде уравнение для глинистого песчаника имеет вид:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{S_w^2}{FR_w} + X,$$

где первая часть уравнения – это компонента уравнения Дахнова – Арчи, а вторая часть – учет глинистой компоненты (X).

В работе представлен обзор подходов учета влияния глинистой компоненты на электросопротивление песчаников для последующего определения оптимального подхода к учету глинистости в терригенных осадочных коллекторах для получения по данным электрокаротажа петрофизически обоснованной двумерной геоэлектрической модели и корректной оценки нефтенасыщенности.

Список литературы

1. Бейзель А. Л. Основные аспекты фациально-циклического анализа терригенных разрезов (на примере юры Западной Сибири) // Современные проблемы седиментологии в нефтегазовом инжиниринге: Труды III Всероссийского н.-практ. седиментологического совещания, 10–12 апреля 2017 г., г. Томск. 2017. С. 15–19.
2. Вендельштейн Б. Ю., Козьяр В. Ф., Яценко Г. Г. Методические рекомендации по определению подсчетных параметров залежей нефти и газа по материалам геофизических исследований скважин с привлечением результатов анализов керна, опробований и испытаний продуктивных пластов // Калинин: НПО «Союзпромгеофизика». 1990. 261 с.
3. Турышев В. В. Проблемы определения глинистости нефтегазонасыщенных горных пород методом естественной радиоактивности (на примере месторождений Западной Сибири) // Каротажник. 2013. №. 9. С. 23–49.
4. Moore W. R., Ma Y. Z., Urdea J. and Bratton T. 2011. Uncertainty analysis in well-log and petrophysical interpretations.
5. Hearst J. R., Nelson P. H., Paillet F. L. Well Logging for Physical Properties. J. Wiley & Sons, Ltd. Chichester, England, 2002. 483 p.
6. Principles L. I. Applications. Schlumberger. Schlumberger Educational Services. 1989.
7. Kolodzie, S. Jr., Analysis of Pore Throat Size and Use of Waxman-Smiths Equation to Determine OOIP in Spindle Field, Colorado: SPE 9382 presented at 55th SPE Annual Fall Technology Conference

УДК 550.372

СВЯЗЬ КОРОВЫХ ПРОВОДЯЩИХ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ С ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ РУДОНОСНОСТЬЮ ЧУЙСКОЙ ВПАДИНЫ

Е. М. Лобастова

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

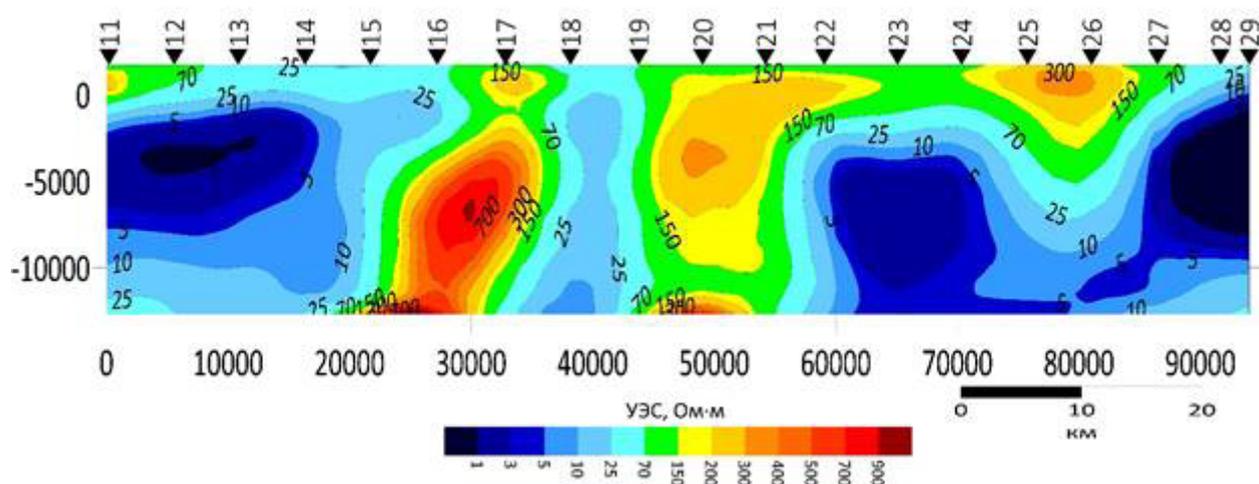
Изучение глубинного строения литосферы в связи с тектоникой, магматизмом и размещением полезных ископаемых эндогенного генезиса является одной из актуальных задач современной геологии, решение которой имеет важное практическое значение для расширения минерально-сырьевой базы страны. В связи с исчерпанием фонда «легкораскрываемых» месторождений первостепенное значение приобретают исследования «закрытых» территорий, в пределах которых объекты поисков перекрыты образованиями различного генезиса. При этом на передний план выдвигаются структурно-тектонические критерии прогнозирования потенциально рудных территорий.

Чуйская межгорная котловина – крупнейшая впадина Горного Алтая, протяженностью более 70 км в субширотном направлении и шириной от 12 до 30 км [1]. Впадина входит в состав Курайско-Чуйской системы альпийских межгорных структур, формировавшихся во второй половине кайнозоя на месте денудационной равнины раннего палеогена [2].

Полевые исследования методом магнитотеллурического зондирования были проведены по профилю, пересекающему Чуйскую тектоническую впадину в широтном направлении.

Целевым назначением данной работы является определение пространственного положения проводящей неоднородности и изучение глубинного строения Чуйской впадины в связи с потенциальной рудоносностью на базе интерпретации полевых материалов МТЗ.

В результате проведенных исследований в западной части Чуйской впадины в интервале глубин 1500–7500 м выделена проводящая неоднородность (см. рисунок). Также определена проводящая неоднородность в восточной части профиля в диапазоне глубин 4000–10000 м. Эти проводящие неоднородности могут представлять интерес в плане рудной специализации Чуйской впадины.



Глубинный геоэлектрический разрез Чуйской впадины

Наличие геоэлектрических неоднородностей может служить глубинным геоэлектрическим критерием для определения естественных физических границ рудообразующей системы, в том числе и рудных уровней.

Список литературы

1. Новиков И. С. Морфотектоника Алтая. М.: Гео, 2004, 311 с.
2. Буслов М. М., Зыкин В. С., Новиков И. С., Дельво Д. Структурные и геодинамические особенности формирования Чуйской межгорной впадины Горного Алтая в кайнозойе // Геология и геофизика, 1999. Т. 40. № 12. С. 1720–1736.
3. Неведрова Н. Н., Поспеева Е. В., Санчаа А. М. Интерпретация данных комплекса электромагнитных методов в сейсмоактивных районах (на примере Чуйской впадины Горного Алтая) // Физика Земли, 2011. № 1. С. 63–75.
4. Поспеева Е. В. Природа глубинной электропроводности и связь коровых аномалий с месторождениями полезных ископаемых // VIII Всероссийская школа-семинар ЭМЗ-2021, Москва, 4–9 октября.
5. Виноградов А. Н. Эволюция металлогенической специализации и зональности Кольско-Беломорской системы / В кн.: Бельков И. В. (ред.) Эволюция земной коры и эндогенной металлогенической зональности северо-восточной части Балтийского щита // Наука, 1987. С. 78–94.

УДК 551.241:550.311 (268.53)

О ПОДЧИНЕННОЙ РОЛИ БАЗАЛЬТОВ В СТРОЕНИИ ФУНДАМЕНТА ХРЕБТА ГАККЕЛЯ

Е. С. Овсянникова, А. Л. Пискарев, В. А. Савин

*Всероссийский научно-исследовательский институт геологии
и минеральных ресурсов Мирового океана им. акад. И. С. Грамберга, Санкт-Петербург
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*

Хребет Гаккеля разделяет Евразийский бассейн на две глубоководные впадины – Нансена и Амундсена и, в свою очередь, является объектом сверхмедленного спрединга – современная его скорость, колеблется, по одним оценкам, от 12,8 мм/год вблизи Гренландии до 6,5 мм/год вблизи сибирской континентальной окраины [1], по другим – составляет 4–6 мм/год, уменьшаясь по направлению к востоку, а в раннем миоцене снижалась до 3–5 мм/год [2, 3].

Особенности строения данного хребта и являются целью исследования, поскольку большинство хребтов имеют фундамент, сложенный преимущественно океаническими базальтами. Однако в случае хребта Гаккеля значения рассчитанной намагниченности магнитоактивного слоя земной коры показывают, что этот слой лишь частично сложен океаническими базальтами, но преимущественно породами глубинного происхождения, габбро и перидотитами, выведенными на поверхность в процессе сопутствующего спредингу детачмента.

На первом этапе проведен сбор данных о магнитных свойствах базальтов океанического дна. Впервые представительные данные об этих параметрах появились с развитием работ по проекту глубоководного бурения (Deep Sea Drilling Project, DSDP) [4, 5].

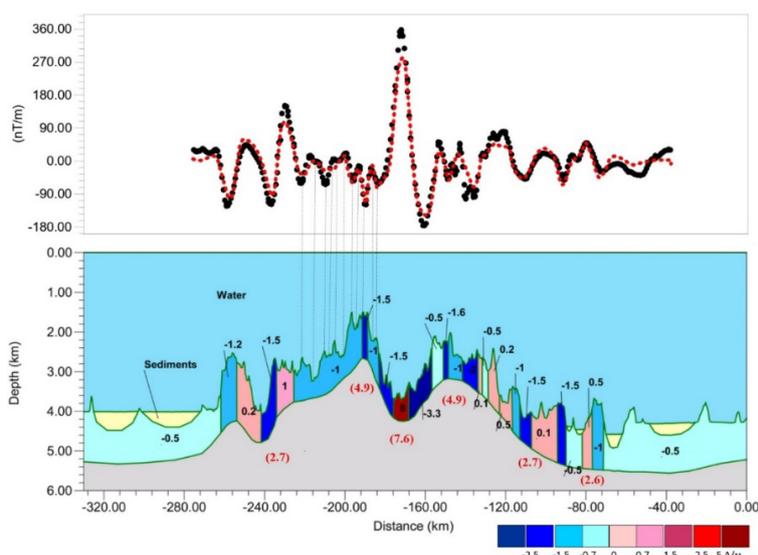
Затем произведены предварительные расчеты намагниченности пород фундамента и модельные построения с использованием результатов, полученных в экспедициях 2019 и 2020 гг. Расчеты выполнялись по 30 профилям, пересекающим хребет Гаккеля по всей его протяженности, за исключением юго-восточного сегмента, расположенного к югу от кальдеры.

Особый интерес представляет профиль 2020-15 (см. рисунок), на котором намагниченность, безусловно свидетельствующая о том, что верхняя кора представлена базальтами, отмечается только в центральной зоне рифтовой долины. Величина намагниченности на всем остальном профиле колеблется, за исключением еще двух небольших участков, в пределах 0,5–1,5 А/м, свидетельствуя о подчиненном развитии здесь типичных океанических базальтов слоя 2А. Обратит внимание также стоит и на 40-километровую зону обратной намагниченности на участке от –184 до –224. На этом отрезке профиля уверенно наблюдается обратная зависимость величины магнитных аномалий от рельефа, как это и должно быть при сравнительно однородной отрицательной намагниченности пород, образующих рельеф дна. Тонкие пунктирные линии на рисунке показывают, что каждому поднятию рельефа на этом отрезке профиля соответствует минимум, а впадине – максимум магнитной аномалии. Коэффициент корреляции расчетных и измеренных магнитных аномалий на этом участке составляет 0,8, что исключает вероятность случайного совпадения.

По результатам расчетов намагниченности были сделаны предварительные выводы, к примеру, о том, что расчетная намагниченность в осевой сейсмоактивной зоне хребта Гаккеля, ширина которой около 10 км, а вероятный возраст фундамента не превышает 780 тыс. лет,

составляет 7 А/м, т. е. очень близка к мировым данным по намагниченности базальтов, излившихся на дно Океана в эпоху Брюнеса. Также отмечено, что намагниченность пород фундамента вдоль большей части изученного профиля составляет не более 1–1,5 А/м, что характерно для долеритов, габбро слоев 2Б и 3 океанической земной коры, или для ультраосновных пород мантии, но никак не для базальтового слоя 2А. Эти данные подтверждают результаты анализа драгированных в западной части хребта Гаккеля пород, которые показали, что базальты составляют менее половины из образцов поднятых кристаллических пород [6–8].

Произведенные исследования позволяют сделать вывод, что базальты в составе океанического фундамента развиты преимущественно на отрезках хребта Гаккеля, характеризующихся прямолинейным положением рифтовой долины (и хребта). Там, где рифтовая долина и хребет меняют простирание (между 60° и 90° в. д., в районе 110°), фундамент представлен, по преимуществу, габбро и перидотитами.



Расчет намагниченности (А/м) магнитоактивного слоя вдоль профиля 2020-15 в западной части хребта Гаккеля. Черные точки – наблюдаемые значения, красные – расчетные значения намагниченности. Красные цифры в скобках: средние значения намагниченности базальтов слоя 2А океанической земной коры для аномалии 1 (0–780 тыс. лет) – 7,6 А/м, для аномалии 2А (3,5 млн лет) – 4,9 А/м, для аномалии 5 (11 млн лет) – 2,7 А/м, для аномалии 6 (20 млн лет) – 2,6 А/м

Список литературы

1. Jokat W. & Schmidt-Aursch M. C. Geophysical characteristics of the ultraslow spreading Gakkel Ridge, Arctic Ocean // *Geophys. J. Int.* 2007. Vol. 168. P. 983–998.
2. Каминский В. Д. Арктический бассейн (геология и морфология) СПб: ВНИИ Океангеология, 2017. 291 с.
3. Piskarev A., Poselov V., Kaminsky V. *Geologic structures of the Arctic Basin.* Springer Nature. 2019. 375 p.
4. Пискарев А. Л., Астафурова Е. Г., Беляев И. В., Жемчужников Е. Г., Подгорных Л. В. Долговременные вариации намагниченности и плотности океанической земной коры // *Докл. РАН*, 1998. Т. 360, № 2. С. 257–262.
5. Пискарев А. Л. Физические свойства базальтовой толщи / В кн.: *Глубинная морская геофизика (развитие методов истолкования).* Л.: Недра, 1991. С. 175–188.

6. Cochran J. R. Seamount volcanism along the Gakkel Ridge, Arctic Ocean // *Geophys. J.* 2008. Vol. 174. P. 1153–1173.
7. Snow J. E. & Edmonds H. N. Ultraslow-spreading ridges. Rapid paradigm changes // *Oceanography*. 2007. Vol. 20. № 1. P. 90–101.
8. Sohn R. A., Willis C., Humphris S., et al. Explosive volcanism on the ultraslow-spreading Gakkel Ridge, Arctic Ocean // *Nature*. 2008. Vol. 453. P. 1236–1238.

УДК 553.98

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ СКВАЖИННОГО МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА*

Р. Э. Павлович^{1,2}, С. В. Яскевич^{1,3}

¹ *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск*

² *Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

³ *Институт земной коры СО РАН, Иркутск*

Микросейсмический мониторинг – один из наиболее эффективных современных методов дистанционного контроля техногенных явлений при подземной разработке месторождений полезных ископаемых. Реализация этого метода предусматривает установку серии сейсмоприемников вблизи объекта мониторинга и регистрацию микросейсмической активности, которая считается вызванной технологическим воздействием на геосреду. Обработка данных скважинного микросейсмического мониторинга опирается на определение времен прихода прямых продольных и поперечных волн. Однако такая обработка может иметь погрешности в случае малой апертуры системы наблюдения. При этом совместное использование прямых/отраженных волн при обработке позволяет понизить дисперсию распределения гипоцентров по глубине и поместить гипоцентры в целевой пласт [1]. Однако отраженные волны – редкое явление на данных МСМ и их выявление может быть затруднено.

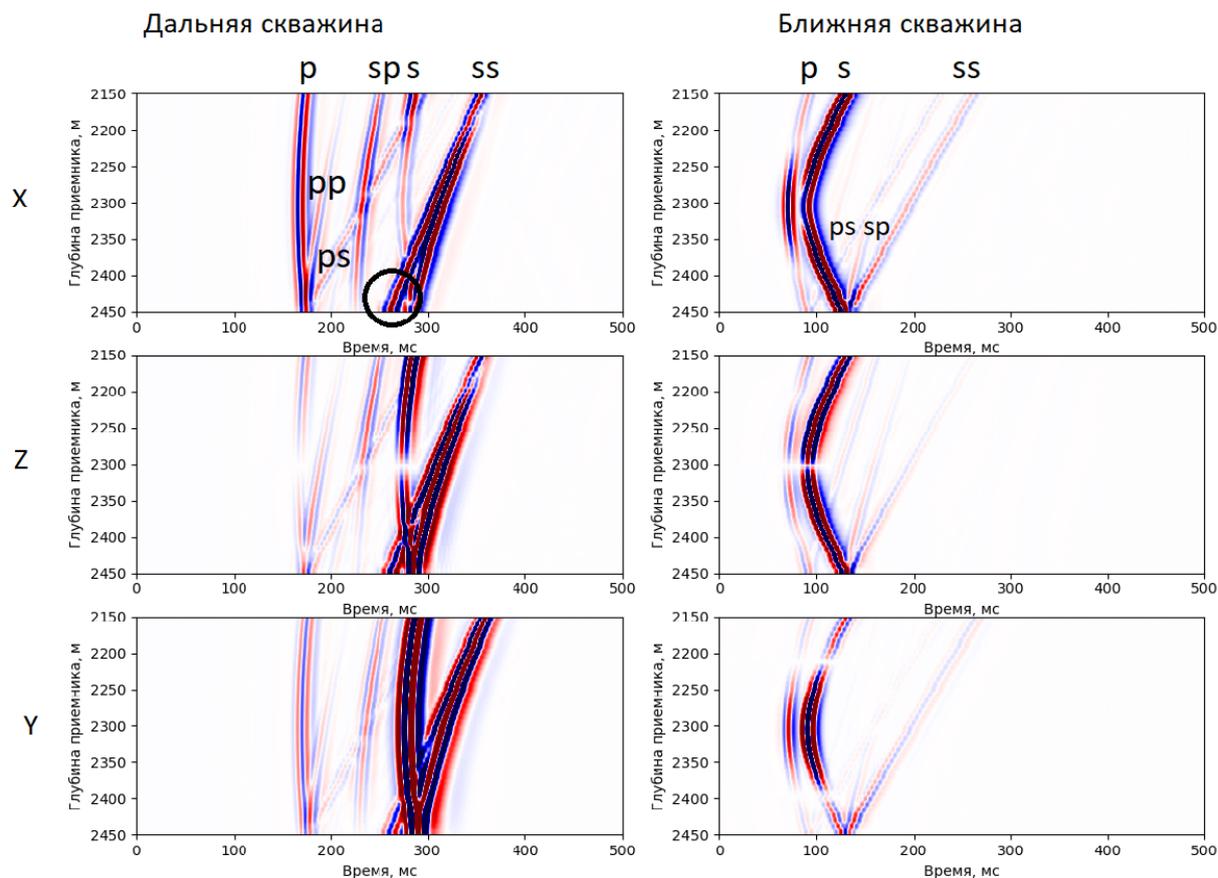
Актуальной задачей является обоснование возможности наблюдения отраженной волны в данных скважинного микросейсмического мониторинга для дальнейшего использования при обработке.

В процессе работы были построены синтетические модели по скоростям, снятым с коротких данных и смоделированы синтетические сейсмограммы (см. рисунок) [2]. На сейсмограммах были выделены прямые и отраженные волны. Продольные волны характеризуются низким уровнем амплитуд, по сравнению с поперечными. Показано, что отраженные волны могут наблюдаться со значимой энергией при достижении критического угла падающего луча, в противном случае ее скрывает даже слабый шум, добавленный в данные.

Также была спроектирована нейронная сеть для классификации сейсмограмм с отраженными волнами. Нейронная сеть была протестирована на реальных данных.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-29-00201).

© Р. Э. Павлович, С. В. Яскевич, 2024



Синтетические сейсмограммы для двух скважин.

В левом столбике представлены сейсмограммы для дальней вертикальной скважины, в правом столбике – для ближней вертикальной скважины.

По строкам расположены компоненты X, Z, Y. Кругами обозначены головные волны.

Для дальней скважины наблюдается больший набор волн

Список литературы

1. Belayouni N., Katz D., Grechka V., Christianson P. Microseismic event location with direct and reflected waves: A Woodford case study // SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2017. Pp. 3981–3985.
2. Building and running SOFI3D, University of North Dakota, https://und.edu/research/computational-research-center/tutorials/program-tutorials/build_sofi3d.html.

УДК 550.832.7

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЮРСКИХ КОЛЛЕКТОРОВ ШИРОТНОГО ПРИОБЬЯ*

С. А. Примаков, А. А. Лапковская

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

Известно, что данные электрокаротажа в наклонных и горизонтальных скважинах существенно отличаются от диаграмм в вертикальных скважинах [1, 2]. Для наклонных скважин численное моделирование сигналов необходимо как для задач геонавигации, так и для оценки насыщения пластов-коллекторов по удельному электрическому сопротивлению (УЭС). При моделировании необходимо учитывать все параметры геоэлектрической модели, такие как толщина, УЭС и его анизотропия, прочие электрофизические свойства.

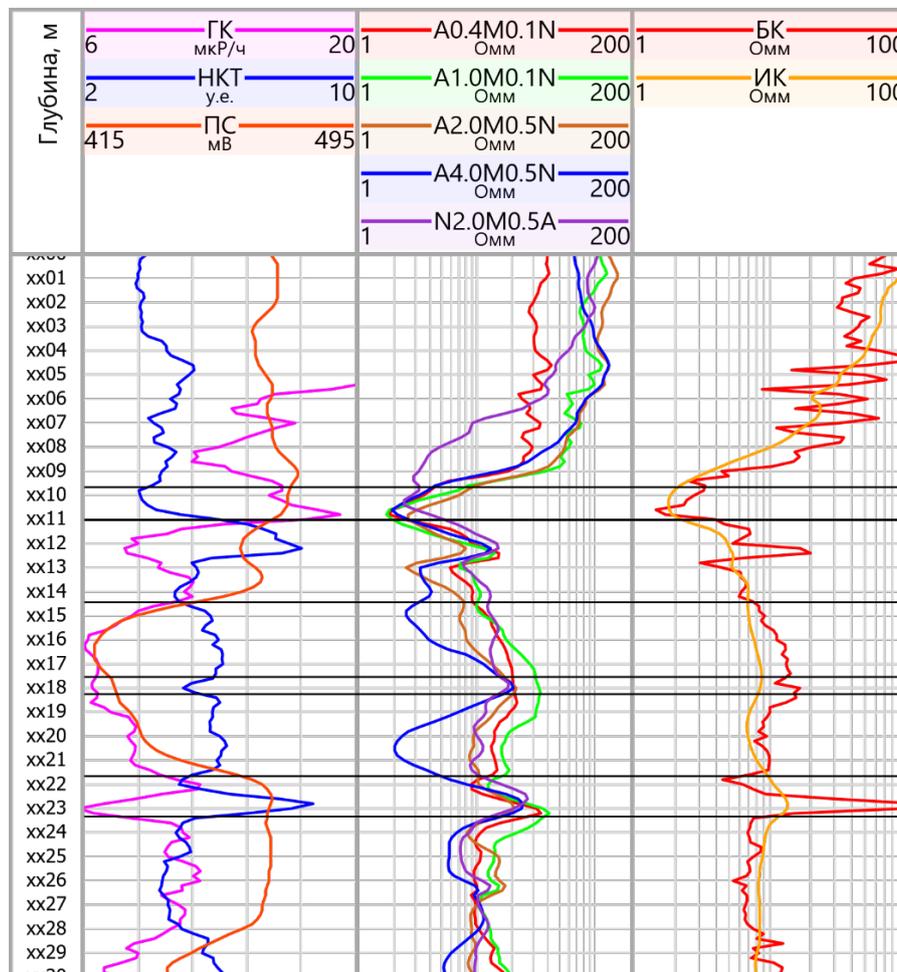


Рис. 1. Пример диаграмм данных ГИС на интервале коллектора J₁

* Исследование выполнено в рамках научной темы № FWZZ-2022-0026 Государственной программы фундаментальных научных исследований.

© С. А. Примаков, А. А. Лапковская, 2024

В работе проведен анализ данных ГИС для выявления типичных параметров юрских коллекторов на месторождениях Широтного Приобья. С применением двумерной геоэлектрической инверсии сигналов электрокаротажа (БКЗ, БК, ВИКИЗ) в вертикальных скважинах [3–5] построены синтетические модели исследуемых отложений для дальнейшего моделирования сигналов электрокаротажа в наклонных скважинах.

На рис. 1 под баженовской свитой (xx0–xx10) находится низкоомная георгиевская свита (xx10–xx11). Под ними на интервале глубин xx14,6–xx21,5 м находится целевой объект – песчаный пласт J₁, который хорошо выделяется по диаграммам ПС и ГК. В середине пласт осложнен высокоомным прослоем толщиной 0,5 м, предположительно угольным, так как отмечается только падением сигнала НК в отличие от повышения в карбонатизированном пласте xx21,8–xx23,5 м, небольшим возрастанием значений БК и 4 м зонда БКЗ.

На рис. 2, по данным ПС и ГК, видно, что так же хорошо разделяются пласты глины и песчаников. Верхняя часть интервала представлена глинистыми отложениями. На глубине xx05–xx22 м находится целевой объект – песчаный коллектор J₂, подстилаемый глинистыми породами. В преимущественно нефтяном притоке в течение первых трех месяцев эксплуатации было около 5 % пластовой воды. При очень высоком значении УЭС (около 100 Ом·м) ее наличие в притоке, скорее всего, обусловлено подтеканием из близко расположенных обводненных областей коллектора или из ниже залегающих водонасыщенных песчаных пластов.

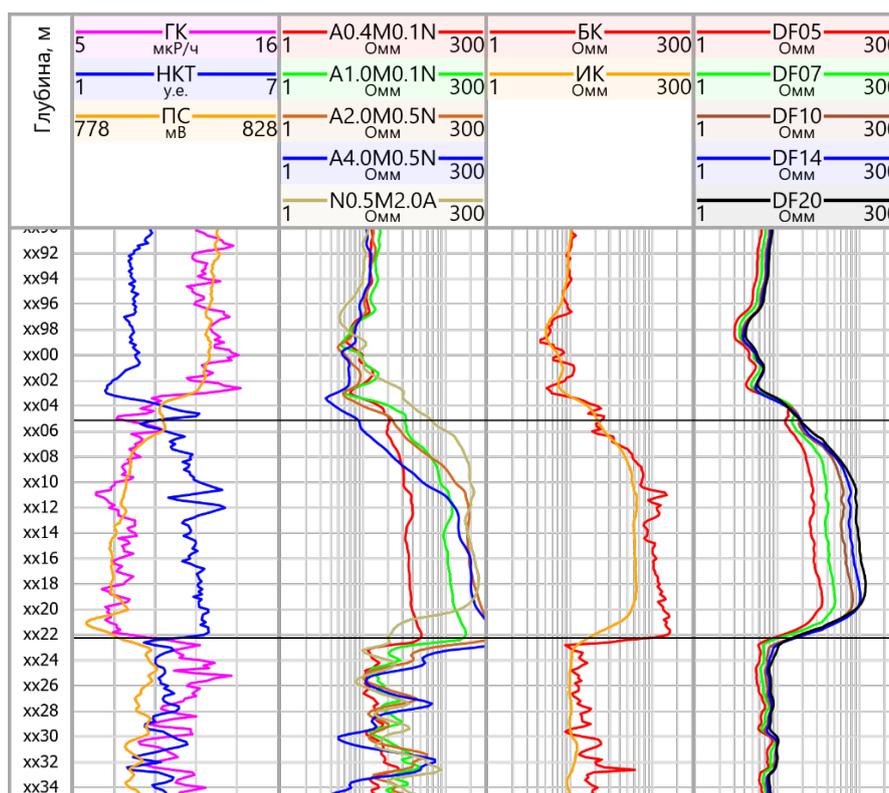


Рис. 2. Пример диаграмм данных ГИС на интервале коллектора J₂

С помощью совместной двумерной инверсии сигналов электрокаротажа в интервале юрских отложений построены реалистичные геоэлектрические модели нефте- и водонасыщенных коллекторов. После анализа типичных свойств исследуемых отложений созданы синтетические модели для моделирования сигналов в наклонных скважинах.

Список литературы

1. Горбатенко А. А., Сухорукова К. В. Особенности сигналов высокочастотного электромагнитного каротажа в наклонных и горизонтальных скважинах // Каротажник. 2014. Т. 11. №. 245. С. 42–55.
2. Сухорукова К. В. и др. Сигналы электрического и электромагнитного каротажа в наклонной скважине по данным численного моделирования // Каротажник. 2016. №. 12. С. 87.
3. Нечаев О. В., Глинских В. Н. Быстрый прямой метод решения обратной задачи электрического каротажа в нефтегазовых скважинах // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2017. № 15. С. 53–63.
4. Нечаев О. В., Глинских В. Н. Трехмерное моделирование и инверсия данных комплекса методов электрокаротажа в моделях сред с наклоном главных осей тензора электрической анизотропии // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2018. Т. 16. № 4. С. 127–139.
5. Петров А. М., Даниловский К. Н., Сухорукова К. В., Леоненко А. Р., Лапковская А. А. Нейросетевой подход к экспресс-моделированию сигналов электрокаротажа в реалистичных моделях сложнопостроенных терригенных отложений // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2021. № 4 (48). С. 70–78.

УДК 550.8.07

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ТРЕХОСНОМ ИСПЫТАНИИ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ

И. М. Сердюк, Л. А. Рыбалкин, А. Н. Дробчик

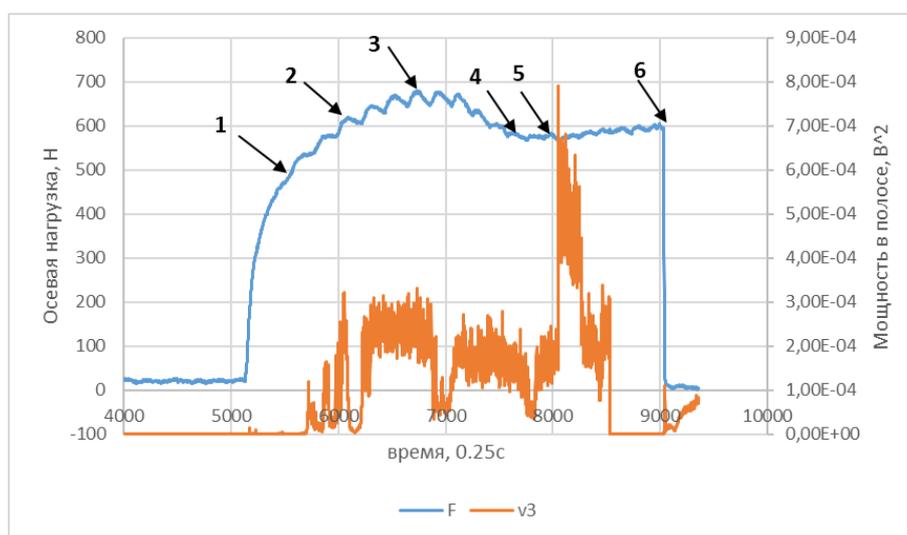
*Институт горного дела СО РАН,
Новосибирск*

Основными параметрами, регистрируемыми при моделировании разрушения рыхлых пород, являются (осевое) эффективное сжатие цилиндрического образца, его боковое обжатие, девиатор напряжений, поровое давление, вертикальная (осевая) и объемная деформация [1, 2]. Указанных параметров достаточно для контроля процесса накопления упругой энергии деформации породного образца. Для оценки влияния нелинейных процессов при разрушении пород дополнительно используют тепловой и акустический мониторинг. Акустическая эмиссия (АЭ) возникает вследствие динамической локальной перестройки структуры среды [3], образования и накопления в деформируемом образце дислокаций, его разрушения. Наличие связей между параметрами источников акустического излучения и характеристиками генерируемых ими сигналов является основой для использования АЭ при неразрушающем контроле сред [4]. Существует несколько методов регистрации и обработки сигналов акустической эмиссии. Это могут быть наблюдение полной волновой формы акустических колебаний в широком частотном диапазоне, метод подсчета всплесков излучения (импульсов), которые превышают заданный амплитудный порог, а также параллельный анализ, включающий регистрацию интегральных характеристик, таких как средняя мощность излучения в заданных частотных диапазонах

с усреднением по временным интервалам. Для мониторинга энергии акустического излучения при моделировании разрушения образцов рыхлых пород нами был выбран последний метод, так как он существенно уменьшает объем регистрируемой и обрабатываемой информации по сравнению с изучением полной волновой формы сигнала. Эта работа посвящена разработке технических средств для исследования акустической эмиссии при испытаниях дисперсных грунтов методом трехосного сжатия.

Программно-аппаратный комплекс. Испытания дисперсных грунтов методом трехосного сжатия в Институте горного дела СО РАН проводятся на установке НПП Геотек ГТ 1.3.5. Для исследования акустической эмиссии был разработан дополнительный блок, включающий акустические пьезокерамические преобразователи, датчик силы и датчик линейных перемещений. В основе регистрирующей аппаратуры лежит крейт и 16-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с быстродействием до 1,25 миллиона отсчетов в секунду от National Instruments. С учетом использования четырех каналов частота дискретизации данных достигает 310 кГц, что соответствует полосе пропускания сигналов 0–155 кГц. Этого диапазона достаточно для охвата частотного спектра используемых акустических преобразователей. Управление системой сбора данных осуществляется виртуальным прибором, созданным в программной среде LabView.

Для реализации подхода по изучению АЭ была произведена разбивка каждого акустического канала на 10 параллельно соединенных виртуальных субприборов, которые на входе получают общую мощность входного сигнала в пределах заданного диапазона частот. После чего происходит оценка текущей плотности энергии акустического излучения в точке приема по зарегистрированным данным, однако для общей оценки энергии АЭ необходимо суммировать полученные плотности по частотным полосам и интегрировать по времени длительности акустического процесса.



Временные графики изменения осевой нагрузки образца и мощности вертикальной компоненты акустического сигнала в частотной полосе [500; 1000] Гц

Экспериментальные исследования. Для апробации созданного комплекса была проведена серия экспериментальных работ по моделированию разрушения дисперсных грунтов. Эксперименты проводились на просеянном речном песке мелкой, средней и крупной фракции. Образцы формировались в цилиндрический объем диаметром 50 мм и высотой 100 мм. Ис-

следования проводились при боковом обжатии образцов на 10, 100 и 500 кПа при постоянной скорости нагрузки 1 мм/мин. В результате были получены графики зависимости мощности акустической эмиссии от прилагаемых нагрузок. На рисунке представлен график мощности акустического излучения с этапами деформирования образца при боковом обжатии 100 кПа.

На графике четко видно, что на первой стадии нагружения акустическая эмиссия отсутствует. На второй стадии появляются всплески акустической эмиссии, указывающие на возникновение разрывных нарушений в среде. Для отдельных стадий нагрузки характерна непрерывная мощность акустического излучения. Завершение нагружения сопровождается резким снижением уровня акустической эмиссии. Это позволяет выделять стадии нагрузки не только по особенностям деформационной кривой, но и по характеру акустического излучения.

Выводы. Разработаны аппаратно-программный комплекс и методика для мониторинга энергии акустического излучения при разрушении рыхлых горных пород. Тестовые эксперименты показали связь между нагрузкой на образец и зарегистрированной мощностью акустической эмиссии. Планируются исследования акустической эмиссии различных состояний дисперсных грунтов.

Список литературы

1. ГОСТ 12248-2410. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. Стандартинформ, 2011. 78 с.
2. ГОСТ 12248.3-2020. ГРУНТЫ. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия. Стандартинформ, 2020. 29 с.
3. Ключев В. В., Соснин Ф. Р., Ковалев А. В. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. Машиностроение, 2005. 656 с.
4. Алешин Н. П., Белый В. Е., Водилкин А. Х. Методы акустического контроля металлов. Машиностроение, 1989. 455 с.

УДК 550.3

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ КИСЛЫХ ДРЕНАЖНЫХ РАСТВОРОВ*

А. К. Смышляева¹, С. С. Волынкин²

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

Контроль процессов кучного выщелачивания и нейтрализации кислых отходов на производстве в основном проводится инвазивными методами, в то время как неинвазивные методы, в том числе методы электроразведки, используются редко. Экспериментальные лабораторные и полевые работы, направленные на визуализацию химических процессов и оценки полноты протекания реакций, развиваются не только в отечественных, но и в зарубежных исследованиях [1].

* Исследование выполнено при поддержке проекта FWZZ-2022-0029.

© А. К. Смышляева, С. С. Волынкин, 2024

Наиболее актуальными являются вопросы, связанные с контролем процессов окисления сульфидсодержащих отходов обогащения полезных ископаемых, складированных на хвостохранилищах, а также возможностью контроля процесса нейтрализации кислых дренажных растворов, как в теле самих хвостохранилищ, так и в местах возможных утечек кислых дренажных растворов за их пределы.

Целью данной работы является изучение возможности визуализации и оценка полноты протекания нейтрализации сернокислого дренажного раствора в матрице песка неинвазивными методами.

Задачи:

- 1) постановка серии экспериментов по закислению песка и нейтрализации кислым дренажным раствором, полученным из сульфидсодержащих отходов;
- 2) обработка результатов в программе Res2Dinv и DiInSo и проведение интерпретации данных электротомографии;
- 3) оценка скорости и полноты нейтрализации кислого дренажного раствора.

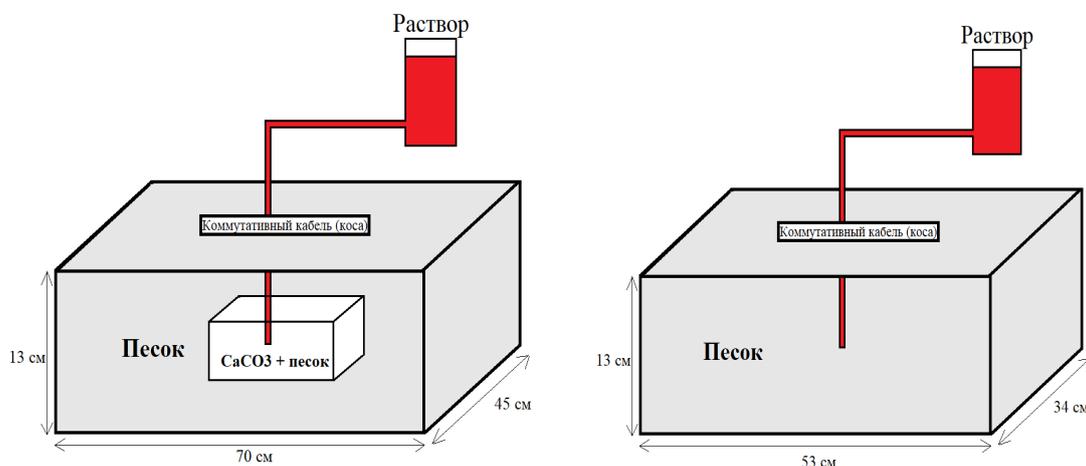


Схема экспериментальной установки

В ходе работы была поставлена серия из трех модельных экспериментов по оценке скорости взаимодействия кислых или щелочных растворов с вмещающей средой (см. рисунок). Были использованы пластиковые ящики размерами 53 × 34 и 70 × 45 см, в каждый из которых засыпан ровный слой влажного песка 13 см толщиной, в центр ящиков была подведена трубка, через которую в песок подавались различные растворы. Для третьего эксперимента в песок был помещен карбонатный геохимический барьер (смесь карбоната кальция и песка).

Было проведено три эксперимента в двух вариациях:

- 1) закисление песка кислым дренажным раствором;
- 2) нейтрализация полученного закисленного песка известковой водой;
- 3) закисление карбонатного геохимического барьера кислым дренажным раствором.

Процесс взаимодействия растворов и песка визуализировался методом динамической электротомографии. В процессе подачи раствора производились непрерывные измерения кажущегося сопротивления среды с помощью аппаратуры «Скала 48к12» с интервалом 16 мин. Шаг по профилю – 1 см, длина электродов – 1,5 см.

Для оценки влияния стенок и дна непроводящего ящика перед началом серии экспериментов было проведено численное моделирование в программе ZondRes3D (<http://zond-geo.com/>) и подбор оптимальной установки.

В ходе экспериментов наблюдаются 4 конкурирующих процесса:

- 1) увеличение влажности среды при добавлении растворов – уменьшение УЭС;
- 2) увеличение ионной проводимости среды при добавлении растворов – уменьшение УЭС;
- 3) растворение твердых соединений при взаимодействии с растворами – увеличение УЭС;
- 4) осаждение малорастворимых соединений при добавлении растворов – уменьшение УЭС.

В результате серии экспериментов построены геоэлектрические разрезы, характеризующие изменения УЭС во времени и визуализирующие процессы химического взаимодействия в модельных средах. Инверсия данных электротомографии была выполнена в программных комплексах Res2Dinv (<https://www.aarhusgeosoftware.dk/>) и DiInSo (автор – сотрудник ИНГГ СО РАН канд. физ.-мат. наук А. В. Мариненко), затем было проведено сравнение результатов инверсии. По построенным геоэлектрическим разрезам проведена интерпретация и выделены закономерности изменения УЭС во времени.

В результате проведенной работы:

- 1) показана возможность визуализации методом электротомографии процессов закисления песка кислым дренажным раствором и его последующей нейтрализации.
- 2) в случае нейтрализации кислого раствора в матрице песка раствором гидроксида кальция (взаимодействие раствор – раствор) возможна оценка скорости нейтрализации на коротких экспозициях методом электротомографии.
- 3) в случаях взаимодействия кислого раствора с твердым карбонатным геохимическим барьером визуализация методом электротомографии возможна лишь на длинных экспозициях с необходимостью учета динамики влажности среды.

Список литературы

1. Comina C., Cosentini R.M., Vecchia G.D., Foti S., Musso G., 3D-electrical resistivity tomography monitoring of salt transport in homogeneous and layered soil samples // Acta Geotechnica 6(4), 2011. DOI:10.1007/s11440-011-0146-3

УДК 556.3

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

В. А. Тимошина¹, Т. В. Любимова¹, В. А. Фоменко²

¹ *Кубанский государственный университет, Краснодар*

² *Филиал Южного федерального университета в Геленджике, Геленджик*

Для решения различных гидрогеологических задач нередко возникает необходимость использования геофизических методов. Наиболее остро стоит выбор метода при работах на акваториях для выявления разгрузки подземных вод, так как геофизическая аппаратура

для проведения исследований в морских условиях нацелена на большие объемы исследований и стоимость ее может быть высокой, что создает дополнительные сложности для планирования и выполнения исследований. В таких случаях важным этапом является тщательный выбор метода исследования и оборудования, учитывающего финансовые ограничения и непосредственно решаемые задачи [1, 2].

Ряд исследований на территории Геленджикской бухты показали перспективы наличия субмаринной разгрузки пресных вод в прибрежную литораль [3]. Генезис субмаринной разгрузки преимущественно тектонический, но также встречаются источники, формирующиеся в результате подрусловых потоков. Ярко выраженной чертой разгрузки является тесная связь с климатическими факторами и сезонность. Эти выводы были основаны на основе анализа геолого-гидрогеологические факторов [4, 5].

В целях подтверждения данного факта были проведены геофизические исследования методом резистивиметрии и термометрии. Исследования проводились в разные временные периоды с разницей в год, что позволило получить независимые данные. При выборе методов для проведения работ учитывались не только цель нашего исследования, но и финансовые возможности, главным аргументом в пользу этих методов стало то, что при их использовании не требуется больших денежных вложений и они просты в реализации и интерпретации [6].

При проведении исследований методом резистивиметрии основной была техника «волочения» по дну электродной части бронированного геофизического кабеля КГ 7 × 150 длиной 18 м с выступающими электродами, для обеспечения безопасности электродной части была выполнена специальная насадка в виде «распушки». В качестве измерительной части на борту судна размещался измерительный мост переменного тока Е7-13, который через адаптер был подключен к аккумуляторной судовой батарее. Таким образом, данная схема измерений с учетом предварительной калибровки аппаратуры позволила определить вариации солености морских вод [7].



Аппаратура для исследований на акватории:
А – аппаратура для резистивиметрии, Б – аппаратура для термометрии

Методом термометрии исследовалось околобереговое пространство бухты. В основу метода было положено «точечное» выявление зон разгрузки подземных вод. Зону фокусирован-

ной разгрузки улавливали защищенные каркасной сеткой три датчика (термометр, солемер, рН-метр), которые специализированными кабелями для эхолотов соединялись с измерительным мостом «РН-2825 рН/TEMP-Salinity Controller».

Метод резистивиметрии показал себя хорошо при выполнении работ, благодаря ему были выявлены два возможных очага разгрузки пресных подземных вод, а также установлено, что для береговой зоны, для глубин около 2,5 м, идет интенсивное перемешивание морской воды под воздействием волнового процесса и вдольберегового течения. Метод термометрии показал неоднозначные и некондиционные результаты, что связано напрямую с некорректной сборкой и калибровкой аппаратуры, однако можно надеяться на его будущую эксплуатацию при условии пересмотра технических параметров подключения и использования датчиков.

Список литературы

1. Козак С. З. Методические рекомендации по применению комплекса геофизических методов при гидрогеологических и геоэкологических исследованиях на акваториях / Под. ред. М. В. Кочетковой. М.: М-во природных ресурсов РФ, «ГИДЭК», 2002. 57 с.
2. Месхетели А. В. Методические рекомендации по гидрогеологическому изучению акватории морей и крупных озер. М.: Всесоюз. НИИ гидрогеологии и инженерной геологии, 1987. 66 с.
3. Тимошина В. А. Комплексные исследования Геленджикской бухты для оценки перспективы развития новых источников водоснабжения // Геология в развивающемся мире: Сб. науч. тр. по материалам XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Пермь, Пермский гос. нац. исслед. ун-т, 28 апреля 2022 г.: Труды конференции. С. 376–380.
4. Тимошина В. А., Любимова Т. В., Геолого-гидрогеологическая оценка перспектив водоснабжения г.-к. Геленджика // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа: Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Владикавказ, Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН, 04–08 октября 2023 г. Материалы конференции. С. 183–190.
5. Задорожный А. Ф., Островский А. Б. Отчет о поиске пресных подземных вод для целей водоснабжения г. Геленджика и с. Дивноморское с оценкой эксплуатационных запасов / Фонды ГУП «Кубаньгеология», Краснодар, 1967. 150 с.
6. Фоменко В. А. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование возможности образования опресненных объемов воды после дождевых стоков в придонной вдольбереговой части Геленджикской бухты по изобатам 2–5 метров» / Филиал ЮФУ, Геленджик, 2021. 50 с.
7. Юровский Ю. Г. Подземные воды шельфа. Задачи и методы изучения. Симферополь: ДИАЙПИ, 2013. 260 с.

К ВОПРОСУ АКТУАЛЬНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА МЕТОДОМ ЯМР-СПЕКТРОМЕТРИИ *

Я. В. Шажко, Л. А. Рыбалкин, Т. В. Шилова, А. В. Азаров,
И. М. Сердюк, Р. А. Ефремов

Институт физики горных процессов, Донецк

Развитие горного предприятия по добычи ископаемого угля шахтным способом связано с разработкой перспективных горизонтов современными техническими комплексами. Увеличение темпов отработки и глубин требуют повышенного внимания к контролю газового фактора на этапе очистных работ для предотвращения негативных и катастрофических явлений по внезапному выбросу угля и газа. Методы неразрушающего контроля дают информацию о значительных изменениях в угольном пласте, малые изменения, особенно без разрыва сплошности массива, проходят незаметно, а уголь в таких зонах меняет свои физико-механические свойства [1]. В связи с этим развитие методов исследования зон геологической нарушенности угольных пластов является актуальной задачей, выполнение которой требует привлечения современных теоретических, практических, лабораторных исследований. В данной работе авторами рассматривается возможность применения метода ЯМР-спектроскопии как инструмента исследования содержания газа метана и пластовой воды в углепородном массиве.

Различное сочетание природных свойств угольных пластов, вмещающих пород и технологии угледобычи определяют многообразие условий возникновения и форм проявления газодинамических явлений. Анализ выбросов угля и газа [2] на пластах пологого падения показывает, что интенсивность выбросов в первую очередь определяется природной метаносностью угля, причем фактическое метановыделение превышает ее в среднем на 23 %. Это может быть объяснено как неравномерным распределением метана в угольном пласте, так и наличием в поровой структуре значительного количества закрытых пор, объем которых у выбросоопасных пластов превышает объем открытых пор в 2–3 раза и находится в пределах 0,19–0,26 см³/г. Основной объем метана находится в закрытых порах, а степень газодинамической активности определяется условиями трансформации пор в трещины и кинетикой газоразделения метана из угля.

Измерение доли свободного метана в угольном пласте и в закрытых порах производится по скорости потока газа в дегазационные скважины на этапе очистных работ и по измерению десорбционной способности проб в лабораторных условиях. Данные подходы позволяют получить знания о наличии свободного газа метана, однако оценка содержания газа в закрытых порах требует значительных по длительности наблюдений. В настоящее время наибольший интерес для практики представляет применение ЯМР-спектроскопии, метода исследования химических объектов, использующего явление ядерного магнитного резонанса. В этом плане экспериментальная установка ЯМР представляет собой стационарный радиоспектрометр широких линий, состоящий из постоянного магнита, системы регистрации сигнала ядерного резонанса и системы терморегулирования. Регистрация сигналов ЯМР осуществляется

* Исследование выполнено в рамках деятельности Молодежной лаборатории исследования электромагнитных свойств угля и горных пород ФГБНУ «ИФГП».

© Я. В. Шажко, Л. А. Рыбалкин, Т. В. Шилова, А. В. Азаров, И. М. Сердюк, Р. А. Ефремов, 2024

по автодинной схеме Робинсона. В экспериментах регистрируется спектральная линия ЯМР большой ширины (несколько эрстед), являющаяся суперпозицией вкладов от отдельных водородсодержащих групп. Известно также, что ширины линии протонного резонанса колеблются от тысячных долей эрстеда в свободных газах и жидкостях до единиц и десятков эрстед в твердых телах. В угле резонансные частоты отдельных компонент различаются на величину менее 200 Гц (менее 0,05 Э) и располагаются по всей ширине этого диапазона. В таком случае надежно зафиксировать расщепление спектра имеющимся в наличии автодином по модуляционной методике (минимальная модуляция 0,01 Э) весьма затруднительно. Поэтому реально мы записываем суперпозиционный спектр ЯМР ^1H с некоей средней резонансной частотой. В случае ископаемого угля полный разрешаемый спектр состоит из двух главных компонент – широкой (ЛН2 ~ 6Э) и узкой (ЛН 1 ~ 1Э). В широкую вносит вклад водород, сосредоточенный в органике угля, отличающийся малой подвижностью. В узкую компоненту – менее связанный, подвижный водород из газообразных компонент, прежде всего из собственно водорода, метана, других летучих углеводородов и воды, сосредоточенных в порах и трещинах исследуемого образца угля, сорбированных на всех поверхностях, а также внедрившихся в структуру угольного вещества по типу твердого раствора, но химически не связанных с ней.

Разделить вклады в узкую линию от влаги и метана при исследовании естественно увлажненного угольного вещества без применения специальных методов (например, вакуумирования, вымораживания) практически невозможно. Другой важной особенностью проведения исследований стоит отметить зависимость качества получаемых спектрограмм от формы исследуемого образца, от которой также значительно зависит содержание как газовой, так жидкостной составляющей при естественном или искусственном насыщении образцов. Таким образом, проведение исследований ЯМР-спектроскопии в рамках задачи исследования зон геологической нарушенности угольных пластов для количественного определения содержания газа метана и пластовой воды требует тщательного подхода к разработке методики проведения экспериментов, основной задачей которой будет установить соотношение между массой (количеством) метана, содержащегося в исследуемом угле в различных фазовых состояниях, и параметрами формируемого им спектра ЯМР водорода ^1H . Принципиальная возможность использования метода ЯМР для решения сходных задач представлена в [3, 4]. Выполнение ряда предварительных исследований позволит уточнить постановку задачи, пределы применимости метода ЯМР и возможности создания нового экспериментального лабораторного оборудования.

Выводы. Основной причиной выбросов породы и газа является неоднородность поля напряжений в горном массиве, вызванная изменчивостью физико-механических и структурных свойств массива, а также газоносности пород. Существующие методы прогноза состояния угленосного массива не всегда являются достаточно надежными и достоверными. В настоящее время наибольший интерес для практики представляет применение ЯМР-спектроскопии. Развитие лабораторных методик проведения исследований с учетом особенностей отбора породного материала и обработки получаемых результатов позволит получить универсальный метод оценки изменения кинетики массопереноса метана в угле как характеристики, интегрально учитывающей все изменение водородсодержащих компонент и десорбции метана из угольного вещества.

Список литературы

1. Гречухин В. В., Бродский П. А., Климов А. А., Козельский И. Т., Козельская В. Т., Воевода Б. И. Геофизические методы изучения геологии угольных месторождений. Недра, 1995. 477 с.

2. Стариков Г. П., Шажко Я. В., Кравченко А. В., Ожегова Л. Д., Шатохин С. В., Борщ Т. В. Особенности разрушения угля, связанные с формированием выбросоопасных зон. ГИАБ. М.: Горная книга. 2016. №12. С. 311–317.
3. Шажко Я. В. Экспрес-метод определения давления и количества метана в угольных пластах // Физико-технические проблемы горного производства. Донецк, 2011. № 14. С. 60–67.
4. Y. Yao, D. Liu, S. Xie Quantitative characterization of methane adsorption on coal using a low-field NMR relaxation method // International Journal of Coal Geology. 2014. Vol. 131. Pp. 32–40.



ЗАДАЧИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ, ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИНВЕРСИИ

УДК 550.832

АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ МНОГОЗОНДОВОГО НИЗКОЧАСТОТНОГО ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ*

С. В. Ананьев^{1,2}, А. М. Петров², К. Н. Даниловский², О. В. Нечаев²

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

Начиная с середины 2000-х гг. одной из основных тенденций нефтегазовой отрасли стало вовлечение в оборот маломощных коллекторов, зачастую характеризующихся сложным внутренним строением и значительной изменчивостью вмещающей среды [1]. Кроме того, по мере выработки преимущественно нефтенасыщенных коллекторов все большее внимание уделяется коллекторам смешанного насыщения, при вскрытии которых в прискважинной области формируется заполненная преимущественно минерализованной водой низкоомная окаймляющая зона (ОЗ) [2]. С учетом этих обстоятельств получение наиболее полной информации о геологическом разрезе при проведении геофизических исследований скважин предполагает использование, во-первых, чувствительных к наличию в пласте окаймляющей зоны методов каротажа, во-вторых, методов интерпретации, позволяющих учитывать влияние вмещающих пород и немонокотное изменение УЭС в пласте.

Низкочастотный индукционный каротаж (ИК), в особенности в его однозондовых модификациях, сегодня является наиболее распространенным методом определения удельного электрического сопротивления (УЭС) средней и удаленной зон коллекторов. При этом низкочастотный ИК в течение долгого времени рассматривался как метод, нечувствительный к окаймляющей зоне, и по сей день интерпретация его данных преимущественно заключается в снятии пластовых отсчетов и оценке УЭС пласта напрямую. Однако, как показывают результаты численного моделирования, многозондовые приборы низкочастотного ИК (4ИК, 5ИК) чувствительны к окаймляющей зоне и могут быть использованы для ее выявления и оценки ее

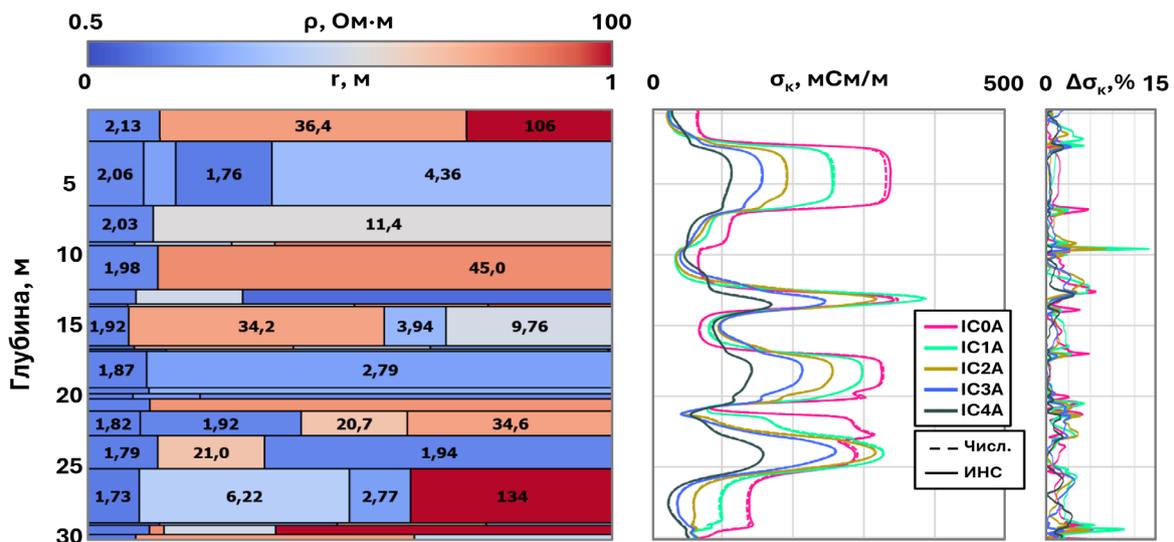
* Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта ФНИ № FWZZ-2022-0026 «Инновационные аспекты электродинамики в задачах разведочной и промысловой геофизики».

© С. В. Ананьев, А. М. Петров, К. Н. Даниловский, О. В. Нечаев, 2024

свойств [3] при проведении полноценной инверсии на базе реалистичных двумерных моделей среды.

При этом возможность применения данного метода для точной количественной оценки свойств коллекторов смешанного насыщения ограничивается отсутствием эффективных средств обработки его данных – используемые для расчета сигналов и интерпретации данных ИК численные методы не обеспечивают достаточной производительности моделирования, а распространенные реализации приближенных алгоритмов не предполагают возможности расчета сигналов многозондового ИК с учетом влияния на сигнал вмещающих пород и наличия в прискважинной области окаймляющей зоны.

Сегодня на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) реализованы алгоритмы экспресс-моделирования сигналов индукционного каротажа в двумерных моделях прискважинного пространства, превосходящие численные алгоритмы по скорости в несколько тысяч раз [4]. Однако, аналогично другим распространенным нейросетевым алгоритмам моделирования, последние также не предполагают возможности расчета сигналов ИК в пластах с более чем двумя прискважинными зонами при одновременном учете влияния на сигналы вмещающих пород, и разработка соответствующего технического решения на данный момент является актуальной задачей нефтегазовой геофизики.



Сравнение результатов расчета сигналов 5ИК при помощи численного (AlondraWL, ИНГГ СО РАН) и нейросетевого алгоритмов

Результаты тестов производительности численного и нейросетевого алгоритмов на CPU Ryzen 7 5700X

Тип модели	Численный алгоритм (время, с)	Нейросетевой алгоритм (время, с / ускорение, раз)
Постоянный R _{СКВ}	1320	0,5/2640
Переменный R _{СКВ}	1890	0,5/3780

Доклад посвящен процессу разработки нейросетевого алгоритма моделирования сигналов многозондового ИК в двумерных осесимметричных моделях среды с возможностью учета влияния на сигналы наличия в пластах окаймляющей зоны. Разработанный алгоритм осно-

выдается на использовании ИНС со сверточной архитектурой и, обеспечивая необходимую для практических задач точность моделирования, демонстрирует существенно более высокую производительность по сравнению с численным алгоритмом (см. рисунок и таблицу).

Помимо обзора представленного решения, отдельное внимание в докладе уделяется ключевым этапам реализации любого нейросетевого алгоритма с рассмотрением особенностей различных этапов разработки – от подготовки обучающей выборки и построения архитектуры ИНС до точной настройки ее параметров.

Список литературы

1. Эпов М. И., Глинских В. Н., Ульянов В. Н. Оценка характеристик пространственного разрешения систем индукционного и высокочастотного электромагнитного каротажа в терригенных разрезах Западной Сибири // Каротажник. 2000. № 81. С. 19–57.
2. Антонов Ю. Н., Эпов М. И. Динамика флюидов в коллекторах горизонтальных скважин по данным электромагнитного зондирования (ВИКИЗ) // Горизонтальные скважины: бурение, эксплуатация, исследование: Материалы семинара-дискуссии (Актюба, 2–3 декабря 1999 г.). Казань: Мастер Лайн. 2000. С. 233–244.
3. Сухорукова К. В., Ананьев С. В., Петров А. М., Нечаев О. В. Сигналы многозондового индукционного и высокочастотного электромагнитного каротажа в пластах с окаймляющей зоной // Геофизические технологии. 2022. № 1. С. 17–29.
4. Петров А. М., Даниловский К. Н., Сухорукова К. В., Леоненко А. Р., Лапковская А. А. Нейросетевой подход к экспресс-моделированию сигналов электрокаротажа в реалистичных моделях сложнопостроенных терригенных отложений // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2021. № 4 (48). С. 70–78.

УДК 550.832

ИНВЕРСИЯ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАРОТАЖА ВО ВРЕМЯ БУРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН ДЛЯ ЦЕЛЕЙ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА, ИНТЕРПРЕТАЦИИ И ПРОВОДКИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

В. С. Банников, Н. К. Каюров, Е. В. Павлов

Новосибирский научно-технический центр, Новосибирск

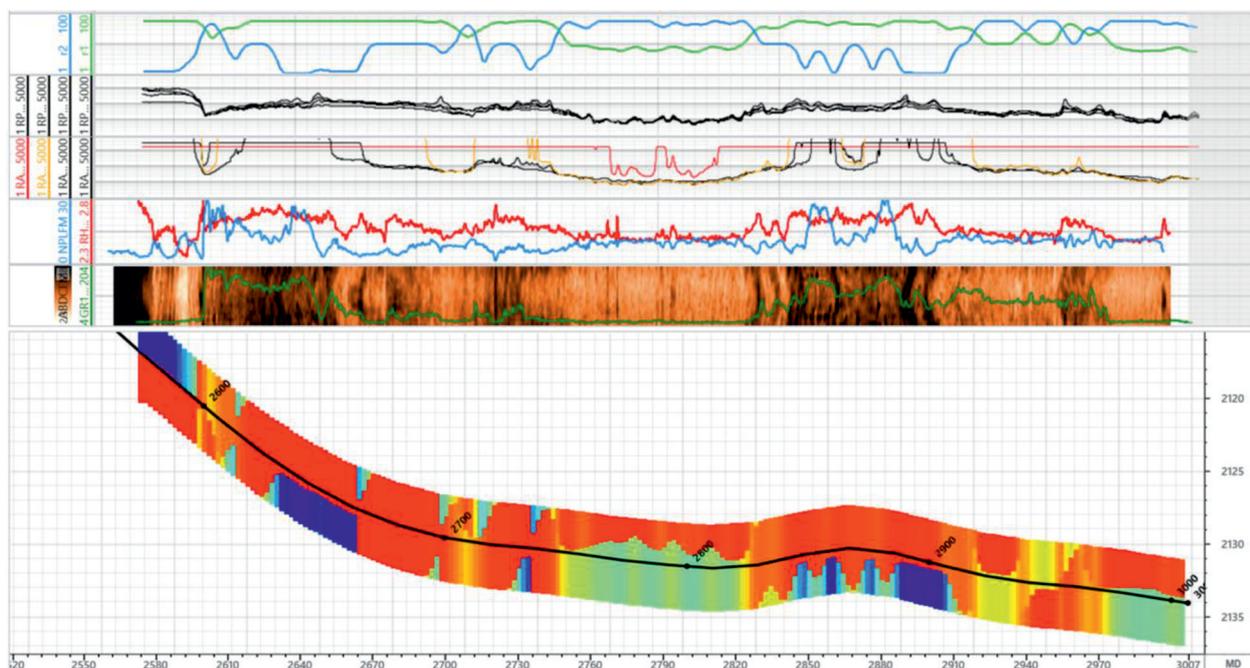
Проводка скважины с учетом геологии вскрываемого пласта (геонавигация) позволяет снизить риски, возникающие при бурении, максимизировать приток углеводородов из целевого пласта и снизить рост обводненности скважины [1]. В 2022 г. в компании «Роснефть» количество горизонтальных скважин составляет 43 % [2]. К достоинствам бурения горизонтальных стволов относят: возможность применения в местах, где бурение вертикальных скважин невозможно (шельф, близость к населенным пунктам), эффективность при низкой проницаемости коллектора, ускорение извлечения запасов [3]. Таким образом, в настоящее время актуальными являются сервисы, сопровождающие бурение скважин и позволяющие осуществлять ее проводку в трехмерном пространстве [1, 3].

В процессе бурения горизонтальных скважин наибольшее распространение, наравне с методом гамма-каротажа (ГК), получил метод электромагнитного каротажа (ЭМК) на высоких частотах (более 400 кГц). Данный метод позволяет, при совместной интерпретации с ГК, производить литологическое расчленение горных пород, а также оценивать удельное электрическое сопротивление (УЭС) пород-коллекторов, которое необходимо для оценки состава флюида и коэффициента насыщения. А так как многие приборы обладают разноглубинными зондами, работающими на разных частотах, эта особенность позволяет оценивать расстояние до ближайшей контрастной границы.

Однако при бурении горизонтальных стволов на показания метода ЭМК влияет несколько факторов, основные из которых:

- технологические особенности бурения (УЭС бурового раствора, диаметр скважины);
- анизотропия, диэлектрическая проницаемость и чувствительность к выше- или нижележащим пластам.

Для точной интерпретации данных необходим инструмент, обеспечивающий моделирование кривых кажущегося УЭС, инверсию получаемых данных и средства их визуализации, например построение разреза вдоль траектории скважины (см. рисунок).



Пример разреза и синтетических данных ГИС, построенных по данным инверсии прибора ЭМК вдоль горизонтального ствола скважины. Цветом от синего (низкие значения) к красному (высокие значения) отмечены УЭС

В связи с этим в данной работе описывается программный инструмент, который является частью модуля «Геонавигация» в ПО Darcy. С его помощью можно производить инверсию каротажных данных приборов ЭМК для определения истинного УЭС пласта и моделировать ожидаемые каротажные сигналы. Из пользовательского интерфейса доступна возможность выбрать входные данные, указать интервал расчета (по глубине вдоль ствола), выбрать прибор (из 16 поддерживаемых) и указать, какие каротажные кривые использовать при инверсии. Результатом инверсии является двумерный разрез УЭС вдоль траектории скважины (см. ри-

сунок). Также имеется возможность выбрать опорную кривую, по которой будет построена синтетическая модель и рассчитаны каротажные кривые (вдоль фактической или плановой траектории), что позволяет судить о применимости данного метода в текущих геологических условиях и производить оценку качества путем сравнения фактических данных с моделируемыми. Список поддерживаемых картографов содержит: IMPulse (Schlumberger), OnTrak и AziTrak (BakerHughes), MFR (Weatherford), ряд отечественных приборов, таких как ВИКПБ (Луч) и др.

При моделировании используется горизонтально-слоистая модель среды, каждый слой в которой имеет постоянное сопротивление. При решении прямой задачи в каждой точке траектории скважины модель представляет границу, разделяющую два контрастных по сопротивлению слоя и расстояние между ними. В процессе моделирования строится априорная геонавигационная модель и рассчитывается расстояние до ближайшего контрастного по УЭС пласта. После чего для решения прямой задачи в решатель поступают данные ожидаемого, по данным измерений в опорных скважинах, сопротивления изучаемого пласта, ожидаемого сопротивления ближайшего контрастного пласта и расстояния до него. Результатом является полный набор синтетических кривых с учетом геометрии и частотной характеристики прибора. При решении обратной задачи итеративно рассчитываются расстояние до контрастной границы и сопротивления изучаемых пластов. При поступлении новых данных с буровой происходит достраивание полученного разреза, что позволяет в реальном времени получать положение границы относительно ствола скважины.

Таким образом, инверсия данных ЭМК позволяет оценивать качество измерений УЭС, определять УЭС пластов-коллекторов и давать информацию о положении контрастных по УЭС пластов.

Список литературы

1. Griffiths R. Well placement fundamentals. Schlumberger, 2009.
2. Добыча углеводородов «Роснефти» в 2022 году увеличилась на 2,3 % URL: <https://www.interfax.ru/business/891969> (дата обращения: 25.05.2024).
3. Стищенко С. И., Сабиров А. Н. Геонавигация в 5 кликов. М.: ЕАГЕ Геомодель, 2018.

УДК 550.3

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-СОГЛАСОВАННОЙ КОРРЕКЦИИ АМПЛИТУД НА РЕЗУЛЬТАТЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ

М. С. Голубева, Г. М. Митрофанов

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск*

Сейсмическая инверсия является инструментом интерпретации, позволяющим использовать сейсмические данные для восстановления распределения различных петрофизических параметров продуктивных горизонтов в межскважинном пространстве. При этом одна из проблем корректной оценки упругих свойств для разреза состоит в том, что сейсмический сигнал,

содержащий информацию о целевых пластах, осложнен различными помехами. Среди факторов, которые могут искажать динамические характеристики сейсмического сигнала, могут присутствовать неоднородности верхней части разреза (ВЧР). Для устранения наблюдаемых в этом случае ложных амплитудных аномалий применяется процедура поверхностно-согласованной коррекции.

Цель исследования – оценка влияния применения поверхностно-согласованной коррекции амплитуд на результаты акустической инверсии.

На первом этапе работы исследование проводилось с использованием синтетических данных в среде разработки Python [1]. В ходе работы создана синтетическая модель по объекту с характерными акустическими свойствами. На основе этой модели было произведено конечно-разностное моделирование (2D) в акустической постановке с последующей обработкой данных и получением сейсмических разрезов, требуемых для процедуры инверсии. Для изучения влияния амплитудных вариаций на сейсмические данные в сейсмический сигнал вносились амплитудные искажения через множители амплитуд, которые определяются положением аномалии (речная долина, болото, мерзлота и т. д.) на профиле. Все источники и приемники, которые относятся к зоне конкретной аномалии, домножались на свой амплитудный коэффициент.

В исследовании применялась акустическая инверсия на основе модели свертки исходного импульса с акустическими импедансами. Низкочастотная начальная модель акустического импеданса создавалась с использованием скважинных данных [2].

На втором этапе работы в среде разработки Python была выполнена акустическая инверсия для реальных данных, с проведенной поверхностно-согласованной коррекцией амплитуд и без нее. Оба использованных сейсмических разреза были получены в результате обработки сейсмограмм в ПО G2 [3].

В результате акустической инверсии синтетических данных с осложненной динамикой и реальных данных, для которых не была проведена поверхностно-согласованная коррекция амплитуд, были выявлены аномальные значения акустических импедансов, связанных с искажениями амплитуд. Оценка наблюдаемых искажений акустических импедансов позволила сделать вывод, что использование сейсмических данных с проведенной процедурой поверхностно-согласованной коррекции амплитуд и данных без ее применения приводит к получению разных в геологическом плане моделей.

Список литературы

1. Python official website – URL: <https://www.python.org/> (дата обращения: 03.05.2024).
2. Данько Д. А. Сравнение методов детерминистической акустической инверсии для выделения акустически контрастных объектов по сейсмическим данным // Геофизика. 2016. №. 1. С. 2–11.
3. Geovation. URL: <https://www.cgg.com/geoscience/subsurface-imaging/geovation> (дата обращения: 12.05.2024).

УДК 550.832

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ СЦЕНАРИЕВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СОСТАВЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МНОГОПЛАСТОВОЙ ИНВЕРСИИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОКАРОТАЖА *

К. Н. Даниловский, А. М. Петров, О. О. Асанов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

Многопластовая инверсия данных электрокаротажа субвертикальных скважин – надежный способ оценки удельного электрического сопротивления коллекторов нефти и газа [1]. Возможности широкого применения такого подхода сегодня ограничены в том числе отсутствием четкой последовательности действий, которые необходимо совершить для преобразования набора исходных измеренных каротажных данных в геоэлектрическую модель среды и далее в оценки флюидонасыщения пластов. Ряд шагов в рамках этого процесса трудно формализовать и, соответственно, программно реализовать таким образом, чтобы получившийся инструмент был одновременно удобен в применении и достаточно гибок для работы в условиях разнообразия интерпретационных задач и вариативного набора входных данных.

Эффективным решением проблемы в таком случае может стать интегрированный в используемое при интерпретации программное обеспечение (ПО) инструмент исполнения пользовательских сценариев, реализованных на высокоуровневом языке программирования. Подобные средства используются во многих популярных петрофизических пакетах: Techlog, Darcy, ГеоПоиск и др. В работе рассматривается процесс и результаты разработки модуля исполнения пользовательских сценариев на языке программирования Python в составе разрабатываемого в ИНГГ СО РАН программного обеспечения для интерпретации данных скважинной электротометрии [2]. Важным отличием этого ПО от упомянутых выше петрофизических пакетов является ориентированность на многопластовый подход к интерпретации данных электрокаротажа.

При разработке модуля использованы открытые программные средства: языки программирования C# и Python; платформа WPF для создания графического интерфейса; библиотека Python.NET для реализации возможности исполнения команд на языке программирования Python; компонент AvalonEdit для редактирования программного кода и др. Работа модуля организована следующим образом. Основная программа подключается к внешнему интерпретатору, передавая данные через специальный «мост». Решение на основе взаимодействия с независимым внешним интерпретатором позволяет поддерживать использование «чистого» Python для Windows, виртуальных окружений, например, Anaconda virtualenv, а также систем управления пакетами pip и conda для установки сторонних библиотек.

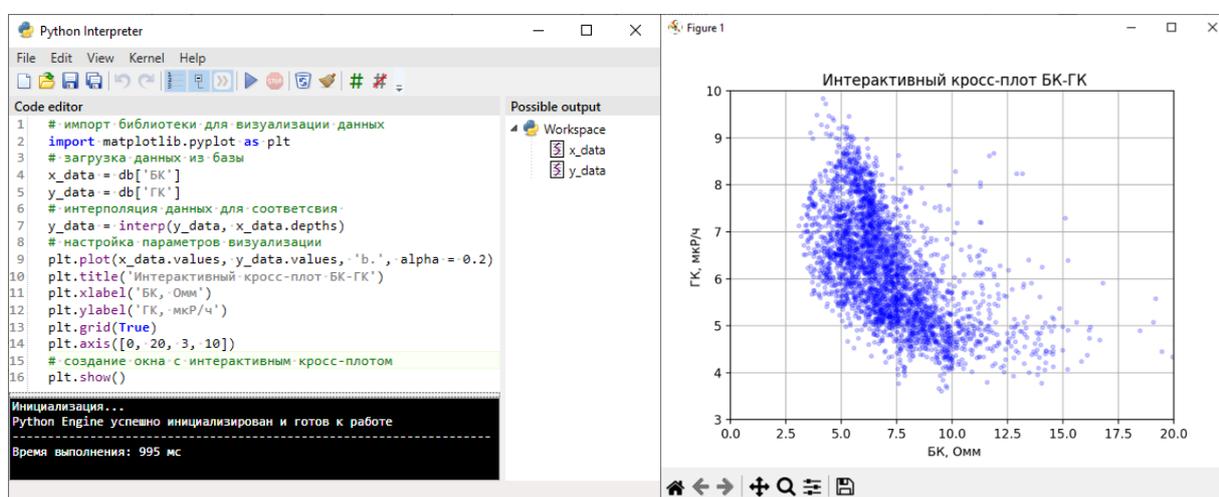
В рамках модуля программно реализована обширная объектно-ориентированная базовая библиотека для работы с данными из основной программы (каротажные кривые, зонирования, геоэлектрические модели и др.). В библиотеке реализованы все базовые математические операции над объектами, а также методы для их конвертации и специфической обработки, отвечающие задачам, решаемым в рамках многопластового подхода. Важной особенностью модуля

* Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта ФНИ № FWZZ-2022-0026 «Инновационные аспекты электродинамики в задачах разведочной и промысловой геофизики».

© К. Н. Даниловский, А. М. Петров, О. О. Асанов, 2024

является поддержка практически любых сторонних python-модулей (numpy, pandas, matplotlib и т. д.). То есть модуль является не просто «калькулятором» каротажных кривых, а полноценно реализует возможности программирования.

Интерфейс разработанного модуля показан на рисунке. В верхней части окна находится панель инструментов, позволяющая создавать, открывать сохраненные и сохранять существующие .py-файлы; отменять и повторять совершенные в редакторе кода действия; настраивать внешний вид кода в редакторе. Ниже находится редактор кода с подсветкой синтаксиса. Ниже редактора кода находится консоль вывода, отображающая результаты выполнения команд, возникающие при выполнении кода предупреждения и ошибки, время выполнения кода, а также дополнительная информация о статусе работы модуля. В правой части окна находится «дерево» (компонент TreeView), отображающее создаваемые при выполнении кода объекты данных. В расчетах могут использоваться различные объекты данных, используемые при интерпретации каротажных данных в рамках многопластового подхода (каротажные записи, зонирования, геоэлектрические модели и др.).



Окно модуля исполнения пользовательских сценариев на языке программирования Python с кодом для создания интерактивного кросс-плота данных бокового и гамма-каротажей (слева) и результат исполнения этого кода (справа)

Разработанный модуль существенно расширяет возможности интерпретации данных электрокаротажа в рамках многопластового подхода. Возможности модуля можно условно разделить на «базовые для интерпретаторов» и «продвинутое для разработчиков». Первая группа возможностей подразумевает базовые операции над объектами данных, которые требуется выполнять в процессе интерпретации (математические преобразования, палеточные трансформации, конвертация объектов и др.). Ко второй группе относятся, например, работа с графическими объектами (графиками, окнами, элементами интерфейса), поддержка многопоточных вычислений, подключение внешних вычислительных модулей.

Список литературы

1. Эпов М. И., Глинских В. Н., Никитенко М. Н., Лапковская А. А., Леоненко А. Р., Петров А. М., Сухорукова К. В., Горносталев Д. И. Современное программно-методическое обеспечение интерпретации комплекса данных скважинной электротометрии // Геодинамика и тектонофизика: Электронный журнал. 2021. Т. 12. № 3S. С. 669–682. <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-3s-0546>.

2. Асанов О. О., Петров А. М., Даниловский К. Н. Программное обеспечение для интерпретации данных скважинной электротомии на базе двумерных моделей среды // Науки о Земле. Современное состояние: Мат. VI Всероссийской молодежной научно-практической школы-конференции (Геологический полигон «Шира», Республика Хакасия, Россия. 30 июля – 5 августа 2023 г.). ИПЦ НГУ. Новосибирск. 2023. С. 5–7.

УДК 550.832

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВДОЛЬ ТРАЕКТОРИИ ПЛАНОВОЙ СКВАЖИНЫ ПО ДАННЫМ НАБОРА ОПОРНЫХ СКВАЖИН МЕТОДОМ ОБРАТНО ВЗВЕШЕННЫХ РАССТОЯНИЙ

В. В. Жук, В. П. Артамонов

Новосибирский научно-технический центр, Новосибирск

Горизонтальное бурение применяют для достижения максимального дебита и полноты вскрытия нефте- или газонасыщенной части пласта. Оптимальное расположение горизонтальной скважины определяется с помощью процесса геонавигации – определения положения скважины относительно положения и строения пласта-коллектора путем сравнения априорных моделей распределения геофизических свойств с аналогичными, поступающими в процессе бурения [1].

В процессе бурения горизонтальных скважин велик риск возникновения осложнений: обрушений стенок, поглощений бурового раствора, затяжек, посадок и прихватов. Это осложняет дальнейшее строительство скважины, спуск приборов каротажа и обсадных колонн [2]. Для минимизации перечисленных рисков целесообразно применение геомеханического сопровождения [3], что в совокупности с геонавигацией позволяет оперативно обновлять модель распространения механических свойств [4]. Для прогноза устойчивости стенок скважин необходимы данные об упругих и прочностных свойствах горных пород. Эти свойства оцениваются по данным каротажа в процессе бурения (ГК, ГГК, ННКт) с использованием зависимостей типа ГИС-кern и ГИС-ГИС.

Применение классических методов геонавигации (рис. 1) ограничено при неоднородности по латерали моделируемого геофизического свойства в случае одной опорной скважины [5]. Использование трехмерных геологических моделей (рис. 2) также имеет ограничения: низкая детализация разреза, обусловленная большим шагом дискретизации сетки моделирования, большая трудозатратность построения модели [6].

Для устранения недостатков существующих методов разработан алгоритм построения синтетического разреза на основе данных геофизических исследований в опорных скважинах для учета их латеральной неоднородности [7]. В качестве входных данных используются координаты, абсолютные глубины горизонтальной и опорных скважин и данные каротажа опорных скважин. Определяются данные каротажа на одинаковых нормализованных абсолютных глубинах и расстояние от опорных скважин до горизонтальной. На основании полученного

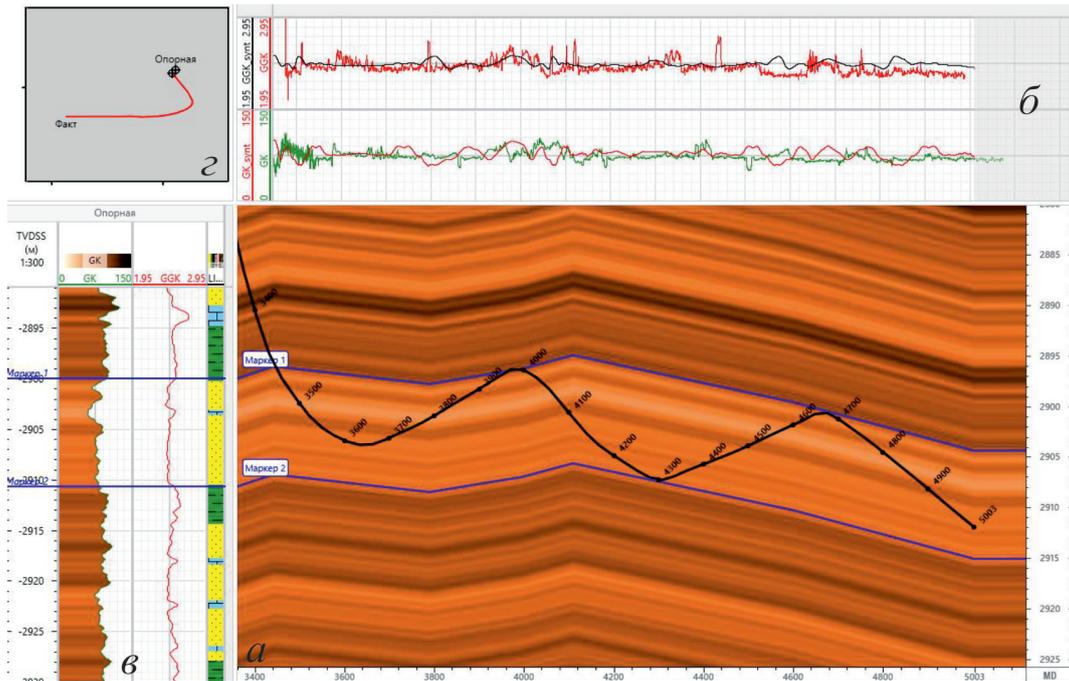


Рис. 1. Классический метод геонавигации:

a – модель свойств, построенная с помощью опорной скважины; *б* – горизонтальный планшет данных ГИС фактической скважины; *в* – вертикальный планшет данных ГИС опорной скважины; *г* – проекция траекторий опорной и фактической скважин

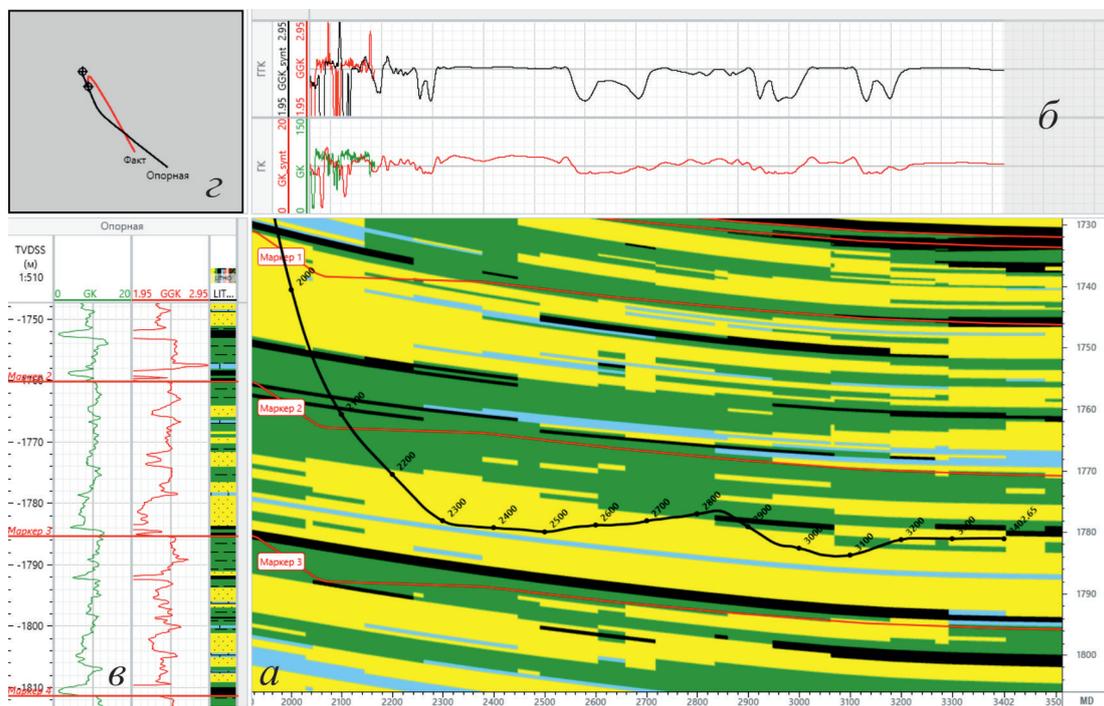


Рис. 2. Трехмерная геологическая модель при геонавигации:

a – срез трехмерной модели; *б* – горизонтальный планшет данных ГИС фактической скважины; *в* – вертикальный планшет данных ГИС опорной скважины; *г* – проекция траекторий опорной и фактической скважин

каротажа и расстояния вычисляется геофизическое свойство вдоль плоскости горизонтальной скважины с помощью метода обратно взвешенных расстояний [8].

Таким образом, для улучшения качества строительства скважины в процессе геомеханического сопровождения, разработан алгоритм построения синтетического разреза геомеханических свойств высокой дискретности на основе геолого-геофизической информации из опорных скважин для учета латеральной неоднородности с помощью метода обратно взвешенных расстояний.

Список литературы

1. Short J. A. Introduction to directional and horizontal drilling, 1993.
2. Габитов С. И., Гоцуляк А. С., Чебышев И. С., Мухамадиев Р. В. Сопровождение бурения высокотехнологичных скважин на основе интеграции методов геомеханики и геонавигации // Нефтегазовое дело. 2020. Т. 18, № 2. С. 15–23.
3. Mylnikov D. et al. Integrated Approach to Real-Time Drilling Optimization Based on Methods of Geosteering, Petrophysics and Geomechanics //SPE Russian Petroleum Technology Conference. SPE, 2018. P. D023S013R015.
4. Каюров Н. К., Донцов Э. Н., Людиновец А. М., Гадиулин А. Э., Прохошин А. С., Еремин В. Н., Коробейников А. Ю., Ульянов В. Н. Интегрированное техническое и технологическое сопровождение с применением геофизических и геомеханических исследований в процессе бурения в Нижневартовском районе // ROGTEC Российские нефтегазовые технологии. 2018. № 52. С. 100–109.
5. Стищенко С. И., Сабиров А. Н., Геонавигация в 5 кликов. М.: ООО ЕАГЕ Геомодель, 2018.
6. Ustinova L., Makarova E., Sokolov A., Osepyan S. Geosteering: Experience in Practical Use at the Ust-Tegusskoye Field, Analysis of Efficiency // SPE Russian Petroleum Technology Conference, 2012.
7. Жук В. В., Артамонов В. А., Никитин И. А., Шпаков П. В., Шадчнев Н. А., Каюров Н. К. Построение синтетического разреза по данным геофизических исследований скважин и их интерпретации для учета латеральной неоднородности в процессе геонавигации на основе интерполяции методом обратных взвешенных расстояний // Нефть. Газ. Новации. 2023. № 2(267). С. 27–30.
8. Shepard D. A. Two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference, 1968. P. 517–524.

УДК 550.3

ИНТЕРПОЛЯЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАЗРЕЗОВ ПОСЛЕ МИГРАЦИИ

А. Е. Карзова

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Качество обработки сейсмических данных в значительной степени зависит от шага системы наблюдений. Большое расстояние между сейсмическими трассами вызывает алиасинг,

что приводит к появлению артефактов при миграции (рис. 1) и затрудняет интерпретацию результатов обработки данных сейсморазведки.

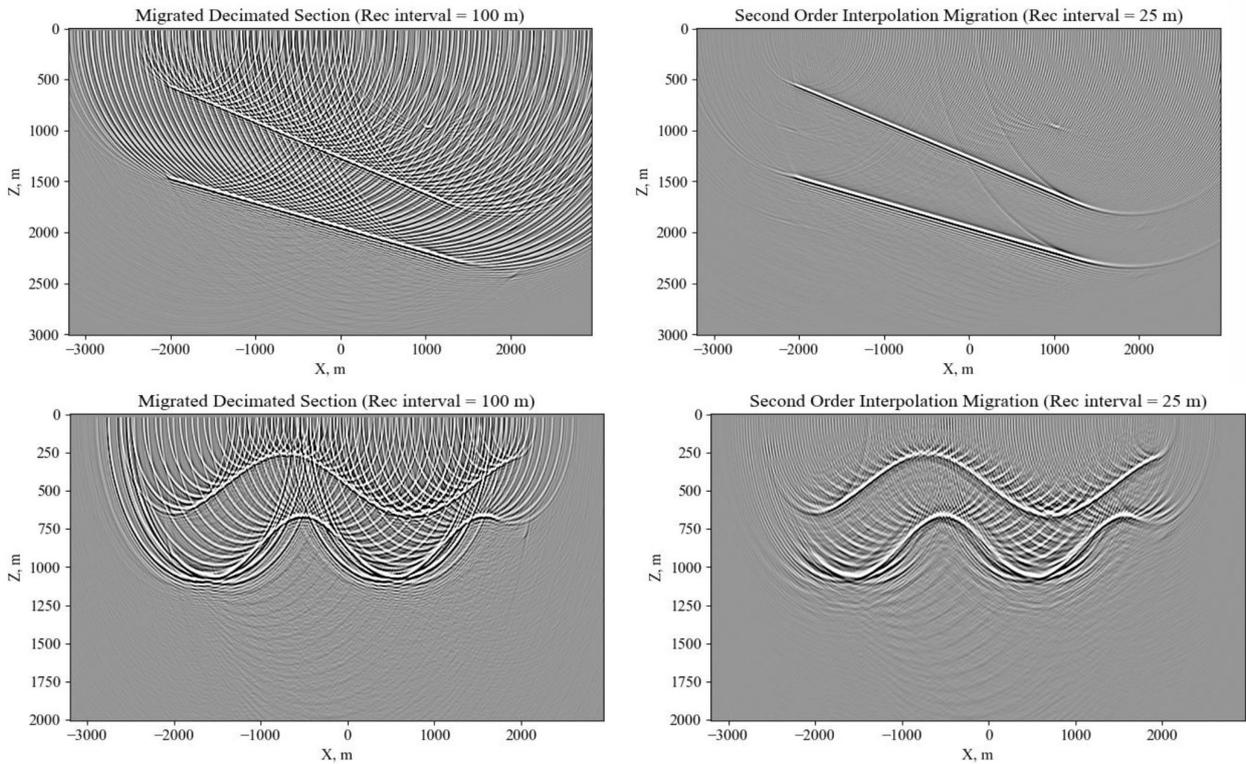


Рис. 1. Разрезы после миграции, сверху – для двух наклонных границ, снизу – для синусоидальных. На разрезах слева присутствуют артефакты миграции в виде помех. Справа – разрез после интерполяции, влияние артефактов миграции было уменьшено

Существует множество подходов к решению этой проблемы. Самый оптимальный из них – получение регулярных данных с необходимым шагом сети наблюдений. Однако на практике проведение полевого эксперимента с необходимой системой наблюдений часто невозможно по различным причинам: присутствие на исследуемой территории рек, болот, густых зарослей и иных природных объектов. Кроме того, добиться желаемого шага между трассами чаще всего затруднительно из-за дороговизны проведения сейсморазведочных работ. Таким образом, требуется решить эту задачу, используя имеющиеся инструменты обработки.

Интерполяция (регуляризация) является эффективным инструментом генерации дополнительных трасс без изменения спектрального состава по времени и расширением спектрального состава по пространству.

В работе в качестве интерполяции был выбран метод Шпитца [1], который основан на том, что линейные формы сигналов, присутствующие на сейсмограмме и состоящие из равномерно расположенных трасс, могут быть интерполированы в f - x -области на основе применения рекурсивной модели сигнала. Однократное применение интерполяции Шпитца вычисляет трассы посередине между двумя существующими, тем самым уменьшая шаг трассировки в два раза. Метод дает улучшенный разрез после миграции. Оператор интерполяции формируется путем решения набора линейных уравнений. Интерполяция Шпитца не предполагает решения проблемы нерегулярности наблюдений. В данной работе описанный метод реализован с помощью алгоритма на языке Python.

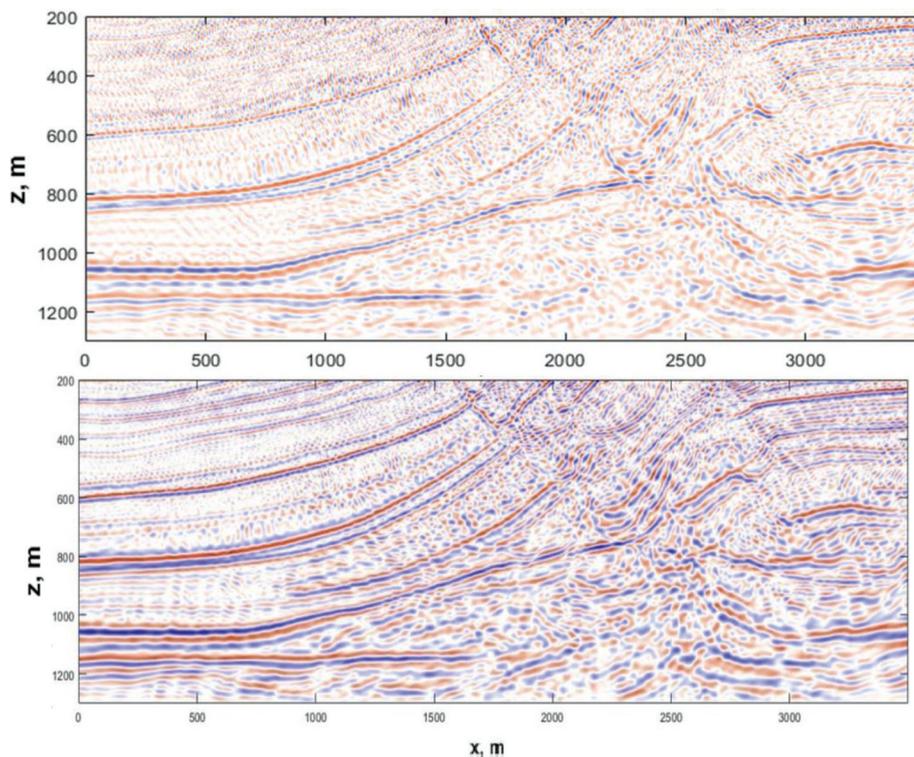


Рис. 2. Разрезы после миграции для данных, полученных из модели Мармуси. Сверху – разрез до применения интерполяции (шаг 20 м), снизу – после (шаг 5 м)

В ходе работы был реализован и протестирован на синтетических данных метод интерполяции Шпитца. К данным нулевых удалений была применена интерполяция, уменьшающая шаг в 4 раза, с помощью которой был устранен алиасинг. Эксперименты показали, что метод качественно работает для данных с линейными событиями, а для интерполяции нелинейных событий не дает такого же хорошего результата. Решением проблемы нелинейных событий является оконная интерполяция, которая также была реализована и протестирована на синтетических данных. На данных нулевых удалений, полученных из модели Мармуси, также был протестирован алгоритм (рис. 2). Эксперимент показал, что основные геологические структуры после миграции были сохранены. Интерполяция привела к получению улучшенного разреза.

Список литературы

1. Spitz S. Seismic trace interpolation in the F-X domain // Geophysics. 1991. № 6. P. 785–794.

УДК 550.8.012

ПРОГРАММА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ПОИСКА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Р. В. Маринов¹, А. С. Михтадов²

¹ *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск*

² *ИП Михтадов Алишер Сардалович, Новосибирск*

В практике научно-исследовательских работ по поиску и разведки залежей нефти и газа часто возникает необходимость поиска источников литературы, таких как статьи, монографии и научно-исследовательские и производственные отчеты по теме того или иного исследования. Для возможности более удобного и быстрого поиска литературы возникла идея сделать специализированное программное обеспечение (ПО).

Поиск по нескольким параметрам можно проводить разными способами, как в Проводнике в Windows, так и на веб-сайтах. Например, на сайте информационно-аналитического центра ИНГГ СО РАН (http://ibc.ipgg.sbras.ru/cgi-bin/advanced.exe/?ID=Nike&lang=rus&cpage=win&grp=FR_DB%3b&dbn=GEOCAT) существует каталог литературы, где можно искать документы по нескольким параметрам во многих базах данных. Существует также программа Zotero – библиографический менеджер (<https://www.zotero.org/>). Она позволяет систематизированно хранить библиографические описания текстов и, при желании, их полные версии. Помимо этого, с помощью Zotero есть возможность оформлять ссылки и списки литературы по нужным стандартам.

Для пользования литературой создаются электронные таблицы Excel с возможностью задавать критерии для поиска – по авторам, ключевым словам, тематике, территории исследования и т. д. В настоящее время на сервере лаборатории геологии нефти и газа Сибирской платформы хранится в электронном виде более 900 отчетов и около 1500 статей, и также имеется каталог литературы в виде электронной таблицы.

В данный момент Р. В. Мариновым и А. С. Михтадовым на языке GDScript разрабатывается программа для поиска литературы с помощью заранее подготовленной в определенном формате электронной таблицы. Отличительной чертой предлагаемой программы является визуализация найденной литературы. ПО представляет выборки найденных документов в виде диаграммы Венна: комбинации трех пересекающихся фигур (рис. 1). Соответственно можно задать три параметра поиска. Программа позволяет оценить и количество элементов выборки литературы по заданным параметрам, и отношения между найденными выборками.

Принцип работы. Для начала работы загружается созданная таблица Excel. В таблице в одном столбце указан системный путь (адрес) файла, название файла, и остальные столбцы – параметры, по которым выполняется поиск: год, издательство и др. Пользователем задаются слова для поиска. Создается множество найденных файлов для каждого слова, и подсчитывается их число. Строятся прямоугольные области с ячейками, их величина зависит от числа файлов. Подсчитывается число пересекающихся элементов, и три прямоугольные области располагаются относительно друг друга. Ячейки заполняются ярлыками найденных файлов (рис. 2). Программа позволяет открывать файлы по нажатию ярлыка. Также существует возможность получить список элементов, содержащийся в одной области.

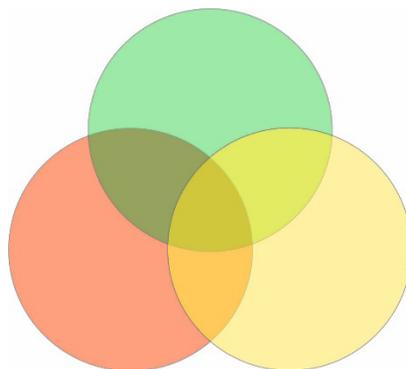


Рис. 1. Диаграмма Венна

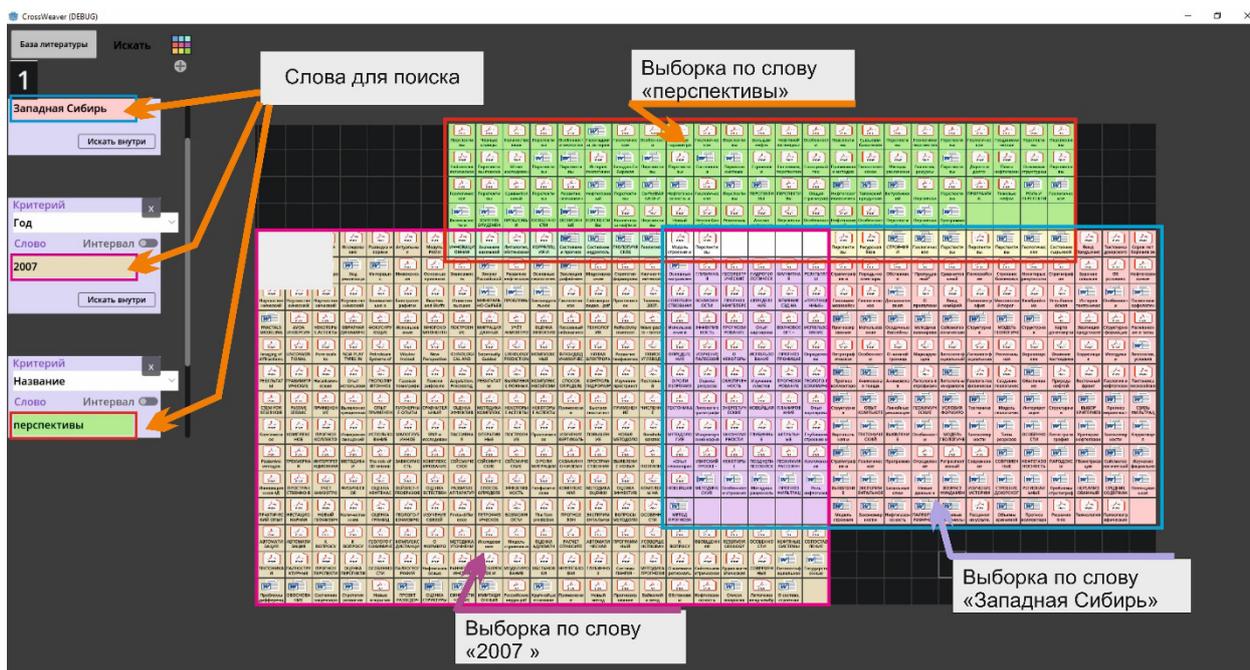


Рис. 2. Окно программы

В настоящий момент создан прототип этой программы, где доступны основные функции. Программа способна искать и открывать файлы .xls, .doc, .pdf, .ppt, .rtf.

Программа может быть полезна студентам и сотрудникам ИНГГ СО РАН при поиске статей и отчетов геологической информации. В дальнейшем планируется развивать функциональность этого ПО.

УДК 622.276.66

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТА ПРОПАНТА В ТРЕЩИНЕ ГРП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PINN

И. В. Мельников, А. А. Хандаченко

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Известно, что уравнения гидродинамики нелинейны, что означает, что лишь в очень редких случаях можно найти их аналитическое решение. В связи с этим приходится прибегать к использованию численных методов при решении таких задач гидродинамики, как, например, задача о переносе вещества. Важнейшим примером задачи о переносе вещества является задача двухфазного вытеснения в системе жидкость – пропант, рассматриваемая в рамках изучения течения жидкости в трещине гидроразрыва пласта (ГРП).

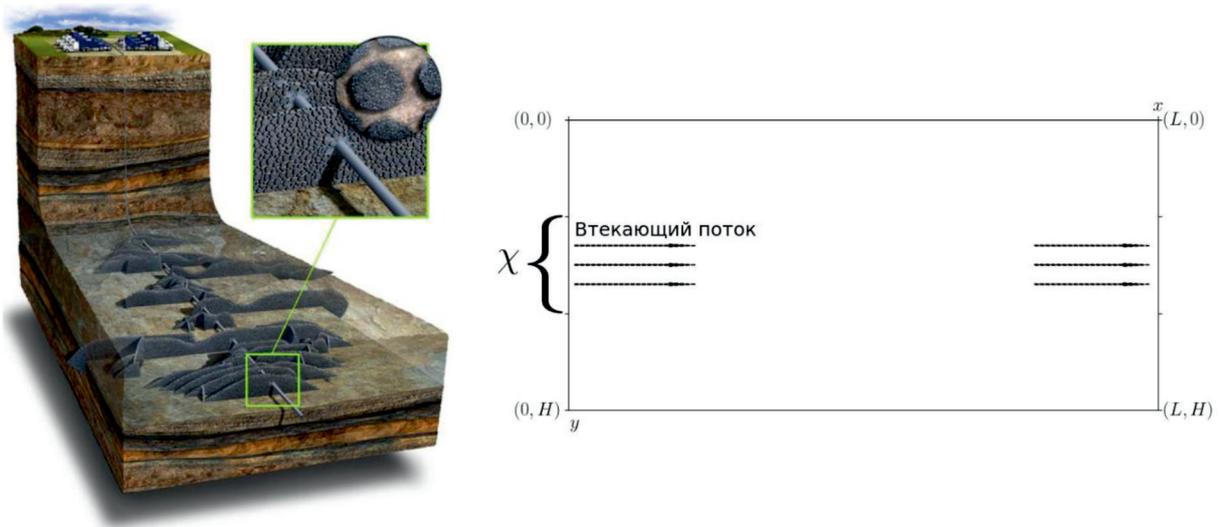


Схема ГРП [1] и схематическое изображение рассматриваемой расчетной области

Расчетная область представляет собой прямоугольник шириной H и длиной L и представляется ячейкой Хеле – Шоу как аппроксимация участка развитой трещины ГРП, движение фронта трещины не рассматривается. Задача описывается следующей системой уравнений.

1. Уравнение Пуассона с заданными потоками на границах.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{w^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{w^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 0,$$

$$\frac{\partial p}{\partial x}(x = 0, y) = \frac{-\partial p}{\partial x}(x = L, y) = \frac{-12\mu Q_0 \psi(y)}{w^3},$$

$$\frac{\partial p}{\partial y}(x, y = 0) = \frac{\partial p}{\partial y}(x, y = H) = 0,$$

$$\psi(y) = \begin{cases} \frac{1}{\chi}, & \left|y - \frac{H}{2}\right| < \frac{\chi}{2}, \\ 0, & \left|y - \frac{H}{2}\right| > \frac{\chi}{2}. \end{cases}$$

2. Уравнение конвекции:

$$\frac{\partial(wc)}{\partial t} + \frac{\partial(wcV_x)}{\partial x} + \frac{\partial(wcV_y)}{\partial y} = c Q_0 \psi(y) \delta(x) - c Q_0 \psi(y) \delta(x - L).$$

3. Дополнительные связующие уравнения:

$$\mu = \mu_0 \left(1 - \frac{c}{c_{\max}}\right)^{-2.5}$$

$$\vec{V} = \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \end{pmatrix} = \frac{-w^2}{12\mu} \nabla p,$$

где $c(x, y)$ – концентрация проппанта в смеси, w – толщина трещины, $\vec{V}(x, y)$ – скорость течения смеси, c – концентрация входящего потока, Q_0 – поток смеси, $\delta(x)$ – дельта-функция, μ_0 – вязкость жидкости, c_{\max} – максимально допустимая концентрация проппанта, $p(x, y)$ – давление, $\psi(y)$ – функция, описывающая распределение потока/смеси вдоль интервала перфорации, H – ширина трещины, L – длина трещины, χ – протяженность проницаемого участка [2].

Моделирование процессов переноса вещества имеет большое значение при планировании операций по интенсификации добычи углеводородов. Традиционно уравнения конвекции решаются численными методами – методы конечных объемов, конечных разностей, а также другие. В настоящее время также развивается применение нейросетей, в частности – Physical Informed Neural Network (PINN).

Данное исследование посвящено использованию PINN для расчета переноса вещества в двухфазной системе жидкость – пропант. В работе рассматриваются проблемы, возникающие при использовании нейронных сетей в случае высоких скоростей потока, и способы их решения, проводится анализ условий применимости такого подхода к решению данной задачи, а также нюансы в реализации. В частности, рассматривается такой способ, как Curriculum Learning (CL), позволяющий улучшить работу нейросети [3].

Список литературы

1. Chuprakov D., Bekerev I., Iuldasheva A. Productivity of hydraulic fractures with heterogeneous proppant placement and acid etched walls // Applications in Engineering Science. September 2020. Vol. 3. 100018. <https://doi.org/10.1016/j.apples.2020.100018>
2. Skopintsev A. M., Dontsov E. V., Kovtunenkov P. V., Baykin A. N., Golovin S. V., The coupling of an enhanced pseudo-3D model for hydraulic fracturing with a proppant transport model. Engineering Fracture Mechanics. Vol. 236. September 2020. 107177. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2020.107177>
3. Wang Y. et al. Less Emphasis on Hard Regions: Curriculum Learning of PINNs for Singularly Perturbed Convection-Diffusion-Reaction Problems // East Asian Journal on Applied Mathematics. Vol. 14. No. 1. Pp. 104–123. February 2024.

УДК 550.832

МНОГОПЛАСТОВЫЙ ПОДХОД К ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОКАРОТАЖА: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ*

А. М. Петров, К. В. Сухорукова, К. Н. Даниловский, О. В. Нечаев, О. О. Асанов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

Удельное электрическое сопротивление (УЭС) – одна из важнейших характеристик флюидонасыщенного коллектора. Она тесно связана со степенью его насыщения нефтью, газом или водой. Для оценки УЭС пород-коллекторов углеводородов разработан широкий спектр методов электрокаротажа с гальваническим и индукционным возбуждением.

В отечественной практике интерпретация электрокаротажных измерений чаще всего выполняется на основе снятия пластовых отсчетов по экстремумам или средним значениям кажущегося сопротивления в границах пластов. Последние выделяются в результате литологического расчленения разреза по комплексу данных геофизических исследований в скважинах (ГИС). В пластах-коллекторах для каждого электрокаротажного зонда снимается один пластовый отсчет. В ряде случаев снятое значение корректируется за влияние вмещающих пород, однако эта процедура плохо формализуется и зачастую носит субъективный характер.

При недостатке данных (например, при измерениях одним зондом индукционного или бокового каротажа) снятые пластовые отсчеты выступают в качестве итоговой оценки УЭС пластов. При наличии данных зондирующих методов осуществляется инверсия группы пластовых отсчетов (так называемой кривой зондирования) в параметры одномерной радиально-слоистой модели с применением палеток или алгоритмов направленного подбора. Поскольку при инверсии подбираются пластовые отсчеты, являющиеся результатом промежуточной интерпретации, хорошее совпадение практической и расчетной кривых зондирования в общем случае не является надежным критерием достоверности определенных значений УЭС пластов. Таким образом, повсеместно применяемые попластовые методики интерпретации данных электрокаротажа, основанные на анализе и инверсии пластовых отсчетов, предоставляют способ оценки свойств среды, однако далеко не всегда позволяют достоверно оценить качество результата.

Усугубляет ситуацию тот факт, что все методы электрокаротажа характеризуются различными особенностями, приводящими к искажениям получаемых оценок УЭС в сложных геоэлектрических условиях. В первую очередь это относится к оценке электрофизических свойств отложений в условиях выраженной вертикальной неоднородности разреза. Дополнительными осложняющими факторами являются: буровые растворы с низкой или высокой электропроводностью; глубокие ЗП; электрически макроанизотропные тонкослоистые песчано-глинистые пачки и трещиноватые карбонатные коллекторы; поляризующиеся глинистые и пиритизированные пласты.

В силу этих особенностей основанные на упрощениях традиционные подходы к интерпретации данных электрокаротажа в сложных геоэлектрических условиях зачастую оказыва-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта ФНИ № FWZZ-2022-0026 «Инновационные аспекты электродинамики в задачах разведочной и промысловой геофизики».

© А. М. Петров, К. В. Сухорукова, К. Н. Даниловский, О. В. Нечаев, О. О. Асанов, 2024

ются неэффективными. Это приводит к недостоверным оценкам характера флюидонасыщения целевых пластов, затратам на испытания заведомо водонасыщенных интервалов и пропуску потенциально перспективных коллекторов.

Преодолеть эти проблемы позволяет альтернативный теоретико-методический подход – интерпретация измерений на базе детальных двумерных многопластовых моделей среды, адекватных по сложности исследуемым сегодня целевым залежам углеводородов.

Размерность базовой геоэлектрической модели обуславливает способ анализа практических данных. Ключевой идеей подхода является численная инверсия не отдельных пластовых отсчетов и соответствующих им кривых зондирования, а всего массива измерений на целевом интервале глубин с подбором изменения электрокаротажных сигналов при переходе между пластами с различными свойствами. Именно благодаря такому анализу в рамках многопластового подхода возможно получение существенно более точных оценок электрофизических свойств коллекторов малой толщины по сравнению с традиционными методиками. Кроме этого, минимизируется влияние «человеческого фактора» (отсутствует этап снятия пластовых отсчетов), а также выявляются ошибки измерений, калибровки приборов, предобработки данных и т. д.

Широкое распространение многопластового подхода исторически ограничивалось высокой вычислительной сложностью численных методов моделирования электрокаротажных сигналов в реалистичных моделях сред и с учетом реальных параметров зондов. В последние десятилетия вычислительные ресурсы стали значительно доступнее, что привело к бурному развитию математических методов решения прямых и обратных задач геофизики, нелинейной оптимизации в многомерных пространствах модельных параметров, машинного обучения (в том числе глубоких ИНС). Эти новые решения в совокупности открывают возможности по практическому использованию многопластового подхода.

В настоящее время различные вариации многопластового подхода применяются ведущими зарубежными нефтесервисными компаниями для интерпретации данных, измеренных в сложных геологических условиях. Соответствующие алгоритмы для зарубежных методов электрокаротажа входят в инструментарий крупнейших нефтяных и нефтесервисных компаний, научных центров (University of Austin UTAPWeLS, модуль 3DPV Schlumberger Techlog, внутренние пакеты программ компаний ExxonMobil, Chevron, Baker Hughes и др.). Интерпретацию с их применением зарубежные компании называют продвинутой («advanced processing») и предлагают как дополнительную услугу в рамках сервиса с использованием приборов собственной разработки.

В Институте нефтегазовой геологии и геофизики Сибирского отделения РАН им. А. А. Трофимука (ИНГГ СО РАН) разработаны теоретико-методические основы многопластового подхода и соответствующая методика интерпретации применительно к данным отечественных методов электрокаротажа [1]. Особенности реализации подхода является поддержка каротажных приборов производства различных вендоров, совместной обработки измерений произвольным набором гальванических и индукционных зондов, возможность учета влияния электрической анизотропии и поляризации и др. [2].

В докладе освещаются теоретические основы разработанного подхода, а также особенности реализующего его программного обеспечения. Особое внимание уделяется обсуждению определяющего влияния размерности модели среды на программную реализацию инструментов работы с данными; вопросам масштабирования ресурсоемких научных алгоритмов для обеспечения возможности их практического применения; автоматизации рутинных операций.

Список литературы

1. Петров А. М. Методика количественной интерпретации данных электрокаротажа в классе двумерных геоэлектрических моделей осадочных отложений: Дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск. 2021. 147 с.

2. Эпов М. И, Глинских В. Н., Никитенко М. Н., Лапковская А. А., Леоненко А. Р., Петров А. М., Сухорукова К. В., Горносталев Д. И. Современное программно-методическое обеспечение интерпретации комплекса данных скважинной электротометрии // Геодинамика и тектонофизика: Электронный журнал. 2021, Т. 12. № 3S. С. 669-682. <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-3s-0546>

УДК 550.34

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ НА ПРИМЕРЕ ТРАССИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ИЗГИБА ЛУЧА И РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ЭЙКОНАЛА *

К. Ю. Потапова^{1,2}, Г. М. Митрофанов²

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск

Метод сейсмической томографии позволяет оценить распределение аномалий скоростей сейсмических волн и на основе этого сформировать представление об общем геологическом строении изучаемого района. Метод получил широкое распространение благодаря масштабу исследований: от региональных сейсмических экспериментов (с длиной сейсмического профиля в сотни и даже тысячи километров) до локальных инженерно-геофизических изысканий (сотни и даже десятки метров). Запрос на построение моделей скоростного распределения привел к появлению разновидностей метода сейсмической томографии. В рамках данной работы ограничимся методом двумерной лучевой сейсмической томографии. В основе метода лучевой томографии лежит идея, что поле времен можно аппроксимировать множеством сейсмических лучей. Сейсмический луч позволяет описать распространение волнового фронта в геологической среде. Для рассматриваемого метода существует многообразие алгоритмов решения, в которых применяются разные подходы. Однако общая концепция сохраняется в виде последовательного решения прямой и обратной задач. Качество решения прямой задачи влияет на итоговый результат инверсии. В работе рассмотрены два способа решения прямой задачи и их влияние на расчет времен первых вступлений.

Времена первых вступлений сейсмических волн могут быть вычислены методом трассирования луча. Существует ряд методик для лучевого трассирования, таких как пристрелка луча (ray-shooting), изгиб луча (ray-bending), псевдоизгиб луча (pseudo-bending). Метод лучевого трассирования позволяет вычислять времена пробега одновременно с построением лу-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания в рамках научных проектов FSUS-2022-0019, FWZZ-2022-0017.

© К. Ю. Потапова, Г. М. Митрофанов, 2024

чей. Трассирование методом изгиба луча реализовано в программе PROFIT [1], где лучевое трассирование основано по принципу Ферма и в последовательном дроблении траектории луча. В результате решения получаются распределение лучей и модельные времена первых вступлений. Решение при трассировании методом изгиба зависит от выбранных значений параметров изгиба луча. Это шаг по лучу для вычисления времен пробега, минимальная длина изгибаемого сегмента, минимальное и максимальное значение изгиба.

Альтернативным подходом в решении прямой задачи является трассирование через решение уравнения эйконала. В программе ST3D решение прямой задачи реализуется через решение уравнения эйконала [2], уравнение в частных производных первого порядка, описывающее поле времен, по которому строится семейство поверхностей – изохрон. Перпендикулярно изохронам строятся траектории лучей и вычисляются модельные времена пробега.

В данной работе было проведено сравнение результатов сейсмической инверсии двумя алгоритмами PROFIT и ST3D на примере одного набора данных. Данные получены в Республике Алтай, недалеко от села Бельтир, где в результате Чуйского землетрясения 2003 г. образовался крупнейший разлом, который представляет собой протяженный ров длиной около 200 м, шириной 3–5 м и глубиной 1 м. Сейсморазведочные данные получены в рамках проведения полевой геофизической школы SEG Field Camp-2021 в августе 2021 г. Стартовая скоростная модель и тип параметризации были зафиксированы для двух алгоритмов. Результат инверсии контролировался только параметрами каждого из алгоритмов. В результате с помощью PROFIT и ST3D были построены две сейсмотомографические модели, которые хорошо согласуются между собой: значения абсолютных скоростей соотносятся, наблюдается выраженный вертикальный контраст скоростей под зоной разлома, выделяются чрезвычайно высокие латеральные контрасты скорости. Оба алгоритма позволили получить высокоскоростную левую часть профиля со значениями до 4,5 км/с и низкоскоростную правую со значениями, не превышающими 2,5 км/с, что соотносится с результатами предыдущих исследований [3, 4]. Такие сильные контрасты скорости могут быть связаны с наличием многолетнемерзлых пород, в которых скорость выше более чем в два раза, чем в породах без проявлений мерзлоты. Несмотря на согласованный результат скоростных моделей, годографы, смоделированные в ST3D, совпадают с наблюдаемыми и в правой, и в левой частях профиля, а годографы, смоделированные в PROFIT, хорошо совпадают с наблюдаемыми только в той части профиля, где наблюдаются низкоскоростные породы и плавное возрастание скорости с глубиной. Такой результат может быть объяснен тем, что решение уравнения эйконала гарантирует глобальный минимум решения, а трассирование изгибом луча не всегда его гарантирует. Решение прямой задачи через изгиб луча работает не хуже методики решения уравнения эйконала, однако для моделей с наличием резких неоднородностей добиться решения с помощью методики изгиба луча заметно труднее.

Список литературы

1. Koulakov I., Stupina T., Kopp H. Creating realistic models based on combined forward modeling and tomographic inversion of seismic profiling data // *Geophysics*. 2010. Т. 75. № 3. P. B115–B136.
2. Никитин А. А., Сердюков А. С., Дучков А. А. Параллельный алгоритм решения уравнения эйконала для трехмерных задач сейсморазведки // *Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии*. 2015. Т. 13. №. 3. С. 19–28.
3. Дергач П. А., Яскевич С. В., Яблоков А. В. Изучение структуры скоростного разреза с разрывным нарушением, образовавшимся в результате Чуйского землетрясения 2003 года // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2022. Т. 2. №. 2. С. 108–114.

4. Куликов В. А. и др. Технология и результаты исследований сейсмического шума в зоне главного разрыва разрушительного Чуйского землетрясения 2003 года // Приборы и системы разведочной геофизики. 2008. № 2. С. 26–32.

УДК 550.3

СВЕРТОЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРАТНЫХ ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ДАННЫХ

А. И. Фанкин

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Волновое поле, получаемое при сейсморазведке, всегда состоит из интерференции полезных сигналов и шумов, которые могут быть как некогерентными, так и когерентными. К последним, в частности, относятся кратные волны. Они преимущественно рассматриваются как волны-помехи, которые необходимо подавлять на этапе обработки. Зачастую кратные волны имеют интенсивность, сравнимую с однократными отражениями, и могут их полностью маскировать. Это затрудняет или вовсе делает невозможной геолого-геофизическую интерпретацию или корреляцию каротажных кривых с сейсмическими данными. Качество обработки контролируется в рамках интерпретационного сопровождения, где происходит сравнение реальных сейсмических трасс в окрестности скважины и синтетических трасс, построенных сверточным методом на основе данных геофизических исследований в скважинах. Поэтому актуальной задачей является создание инструмента моделирования кратных отражений, который позволит интерпретатору проверить, являются ли причиной отличий остаточные кратные волны.

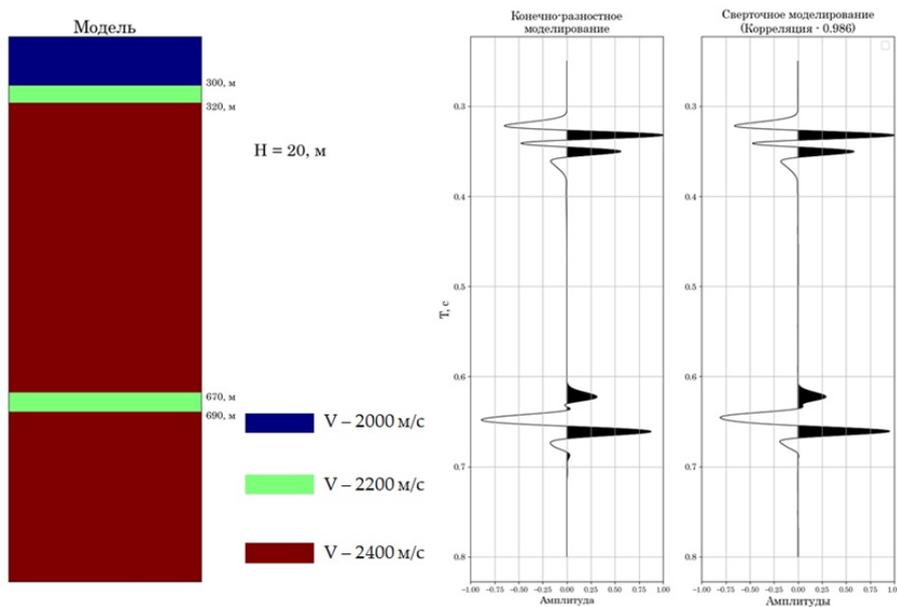


Рис. 1. Сравнение численных методов моделирования.

Сверточное моделирование с использованием реализованного алгоритма расчета кратных отражений

Для того чтобы понять влияние кратных отраженных волн, были созданы различные слоистые модели с контрастными акустическими характеристиками. Сейсмические данные получены с использованием конечно-разностного 2D-моделирования в ПО SOFI2D [1], которое считается наиболее приближенным к реальному распространению упругих колебаний, из-за чего он был выбран для анализа точности работы инструмента сверточного моделирования кратных отраженных волн (рис. 1).

Инструмент позволяет моделировать различные типы кратных отраженных волн независимо друг от друга, благодаря чему возможно анализировать их влияние на каждом отрезке времени (рис. 2).

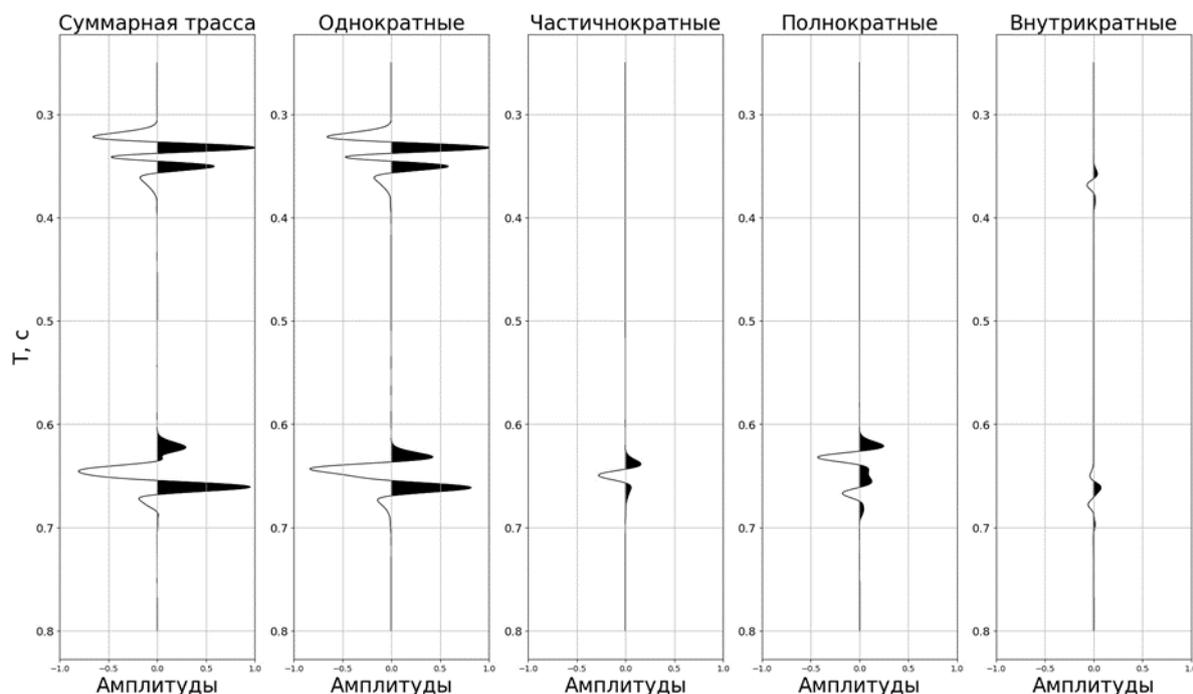


Рис. 2. Сверточное моделирование различных типов отраженных волн

При сравнении сейсмических трасс конечно-разностного и сверточного моделирования кратных отраженных волн была получена высокая корреляция. Кроме того, инструмент был протестирован на реальных данных: была выполнена задача по идентификации остаточного кратного отражения, и получена информация, от каких горизонтов оно возникло.

Список литературы

1. D. Kuhn. Time Domain 2D Elastic Full Waveform Tomography. PhD thesis, Kiel University. 2011.

УДК 622.276.66

РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ PINN ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДВУХФАЗНОГО ПЕРЕНОСА ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ РАЗРЫВЕ ПЛАСТА

А. А. Хандаченко, И. В. Мельников

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Построение высокоточных и быстрых численных моделей является актуальной задачей в области интенсификации добычи углеводородов, где тщательное прогнозирование требуемых операций стало неотъемлемым элементом существующего технологического процесса по добыче нефти.

Прогресс в области машинного обучения привел к появлению новых инструментов для решения задач, описываемых дифференциальными уравнениями, и одним из наиболее популярных подходов являются физически информированные нейронные сети (PINN, physics informed neural network). По сравнению с классическими численными методами, PINN обладают рядом преимуществ, например, возможностью решать прямую и обратную задачу в рамках одной и той же задачи оптимизации. Несмотря на многообещающие результаты, ключевым ограничением на сегодняшний день является то, что PINN не способны точно и эффективно описывать решение задачи с большими градиентами и резкими перепадами величин в параметрах, что имеет решающее значение для их применения.

В этой работе используется разработанный в [1] подход FBPINN (finite basis PINN), согласно которому решение дифференциального уравнения выражается как сумма конечного набора базисных функций с компактным носителем, т. е. по аналогии с классическим методом конечных элементов (рис. 1). FBPINN предназначены для устранения спектрального смещения нейронных сетей путем использования отдельной нормализации входных данных для каждой подобласти и снижения сложности основной задачи оптимизации за счет использования множества нейронных сетей меньшего размера в параллельном подходе.

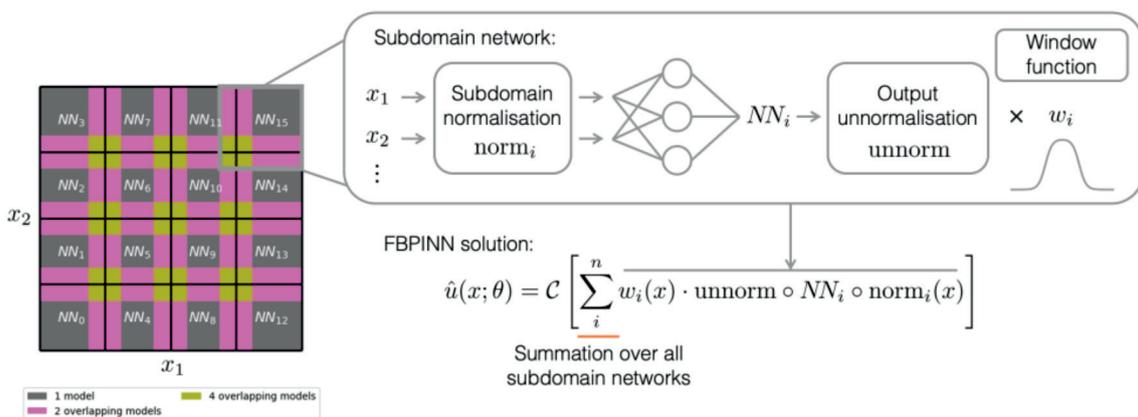


Рис. 1. Основной принцип подхода FBPINN [1]



Рис. 2. Схема ГРП [2]

Рассматривается применение данного подхода для решения двумерной задачи двухфазного вытеснения в системе жидкость – пропант в участке развитой трещины ГРП (рис. 2), представленным ячейкой Хеле – Шоу, без рассмотрения движения фронта трещины:

1. $\left(\frac{w^3}{12\mu} \nabla p\right) = 0$ – уравнение Пуассона для давления;
- a) $\frac{\partial p}{\partial x} \Big|_{x=0} = -\frac{\partial p}{\partial x} \Big|_{x=L} = -\frac{12\mu Q \psi y}{w^3}$ – условия на левой и правой границах;
- b) $\frac{p}{\partial y} \Big|_{y=0} = \frac{p}{\partial y} \Big|_{y=H} = 0$ – условия на нижней и верхней границах;
2. $\left(\frac{\partial(wc)}{\partial t} + (wc\vec{v})\right) = c Q\psi(y)\delta(x) - cQ\psi(y)\delta(x - L)$ – уравнение переноса;
3. $\mu = \mu_0 \left(1 - \frac{c}{c_{\max}}\right)^{-2.5}$ – зависимость вязкости от концентрации пропанта в смеси [3];
4. $\vec{v} = -\frac{w^2}{12\mu} \nabla p$ – скорость течения смеси в приближении ламинарного потока;
5. $\psi(y) = \begin{cases} \frac{1}{\chi} \sqrt{y - \frac{H}{2}} \sqrt{\frac{\chi}{2}}; \\ 0, \sqrt{y - \frac{H}{2}} \sqrt{\frac{\chi}{2}}. \end{cases}$ – функция, описывающая распределение потока вдоль интервала перфорации,

где p – давление, L , H , w – длина, ширина и толщина ячейки Хеле – Шоу, χ – протяженность перфорированного участка, Q – поток, μ_0 – вязкость жидкости, c – концентрация пропанта, c_{\max} – предельная концентрация пропанта, \vec{v} – скорость течения смеси.

В рамках исследования проводится параметрический анализ задачи и применяемой FB-PINN с целью улучшения как точности получаемого решения, так и характеристик по требуемому расчетному времени.

Список литературы

1. Moseley, B., Markham, A. & Nissen-Meyer, T. Finite basis physics-informed neural networks (FBPINNs): a scalable domain decomposition approach for solving differential equations. *Adv Comput Math* 49, 62 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10444-023-10065-9>.
2. Dimitry Chuprakov, Ilmir Bekeryov, Aliia Iuldasheva. Productivity of hydraulic fractures with heterogeneous proppant placement and acid etched walls. *Applications in Engineering Science* Volume 2020, 100018. <https://doi.org/10.1016/j.apples.2020.100018>.
3. Nolte K. G. Fluid Flow Considerations in Hydraulic Fracturing // *Proc. SPE Eastern Regional Meeting*, Charleston, SPE 18537. 1988. Vol. 53. Pp. 145–56.



УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Huang H.-H.	153	Деркачев А. С.	119	Леонов Д. А.	126
Абкадыров И. Ф.	153	Джаркинов Р. Б.	151	Лобастова Е. М.	161
Азаров А. В.	176	Драчёва А. О.	45	Лубкова Т. Н.	117, 133
Акинфиев Н. Н.	12	Дробчик А. Н.	169	Любимова Т. В.	173
Алагияванна А. И. Э.	3, 7	Дружинина Е. М.	47	Максимова А. А.	122, 123
Александров И. А.	21	Дюкова А. Д.	73	Малов В. И.	55, 124
Ананьев С. В.	179, 211	Дягилева Д. Р.	12	Малов Г. И.	124
Арапов Г. В.	67	Евтушенко М. И.	80	Малыгин С. П.	94
Артамонов В. П.	187	Егорушкин И. И.	153	Маринов Р. В.	192
Асанов О. О.	185, 196	Ерохина Д. Д.	82	Машкова Д. М.	126
Банников В. С.	181	Ефремов Р. А.	176	Мельников И. В.	194, 202
Барабаш И. А.	69	Жабяк А. Р.	84	Мельников К. К.	57
Бардачевский В. Н.	71	Жук В. В.	187	Метелкин Д. В.	3
Батаев И. А.	39	Журавлева Н. Д.	142	Микляева Е. П.	27
Белкина Н. А.	55	Задорожный М. В.	7	Митрофанов Г. М.	183, 198
Бирюкова Т. А.	5	Закирьянов И. Г.	43, 48	Михтадов А. С.	192
Бойчук И. В.	146	Замирайлова А. Г.	106	Можегова С. В.	92
Болсуновский А. Я.	112	Зиновьева Н. Г.	19	Муликова Д. И.	59
Бондаренко Н. А.	10	Зотов А. В.	12	Муравьева А. А.	128
Бондарчук Я. О.	148	Ибрагимов С. М.	94	Муравьева Е. А.	29
Бордюгова Е. А.	41	Иващенко С. С.	86	Нечаев О. В.	179, 196
Бровченко Н. А.	124	Канакова К. И.	88	Николаева И. Ю.	27
Булгакова Д. Д.	17	Канзычаков К. А.	88	Новоселя П. А.	97
Бычков А. Ю.	27	Карзова А. Е.	189	Нургалиев Д. К.	157
Ваганова А. А.	73	Каюров Н. К.	181	Обут О. Т.	39, 50
Вараксина И. В.	43	Кизилова М. А.	90	Овдина Е. А.	124
Вахрушев В. И.	112	Киселёв М. В.	21	Овсянникова Е. С.	163
Верещагин О. С.	36	Козленко М. М.	24	Оганян К. В.	62
Виноградов Е. В.	3	Козлов Е. Н.	14	Павёлкина Д. А.	99
Вихоть А. Н.	114	Козловский В. М.	19, 32	Павлов А. А.	130
Власенко Н. С.	36	Копылова А. Г.	36	Павлов Е. В.	181
Волгина Э. С.	76	Косарев Я. С.	25, 155	Павлович Р. Э.	165
Волынкин С. С.	171	Космачева А. Ю.	105	Перфилова А. А.	50, 62
Врацкий Д. А.	7	Костырева Е. А.	101	Перчук А. Л.	19
Высоколян А. М.	99	Кравченко Е. М.	92	Петров А. М.	179, 185, 196
Вяткина Е. В.	78	Крутикова А. К.	39, 50	Пискарев А. Л.	163
Глазырин П. А.	140	Кузина Д. М.	157	Попова И. Д.	101
Голубева М. С.	183	Кулаков И. Ю.	153	Потапова К. Ю.	198
Гордеев Е. И.	153	Кунцевич М. А.	82	Потахин М. С.	55
Горайнов Д. С.	43, 48	Лавренова Е. А.	78, 99	Примаков С. А.	167
Григорьева В. М.	19	Лаврушин В. Ю.	130	Резникова М. С.	103
Гусарова Д. С.	117	Лапковская А. А.	159, 167	Рубцова Е. А.	12
Даниловский К. Н.	179, 185, 196	Ли Х-Ч.	157	Рыбалкин Л. А.	169, 176
Дергач П. А.	146	Лебедев А. Ю.	21	Рыжкова С. В.	106
		Левицкая П. С.	52	Савин В. А.	163

Указатель авторов

Сальная Н. В.	157	Трофимова В. Р.	31	Черных В. В.	144
Сарыг-оол Б. Ю.	14	Тычков Н. С.	29	Чернышева С. И.	106
Сафонов О. Г.	32	Ушакова С. А.	32	Шажко Я. В.	176
Сафонова И. Ю.	39, 50, 62	Фанкин А. И.	200	Шатыров А. К.	108
Сафронов О. В.	9	Филатова О. Р.	117, 133	Шварцева О. С.	126
Сердюк И. М.	169, 176	Фокин М. И.	151	Шестакова Т. В.	133
Сидоров М. Ю.	14	Фоменко В. А.	173	Шилова Т. В.	176
Смышляева А. К.	171	Фомин А. М.	97	Щербаков В. П.	157
Соловьев М. В.	82	Фомина Е. Н.	14	Энбом К. И.	110
Страховенко В. Д.	55, 124	Хамедова Е. В.	34	Юсупова А. Р.	59, 157
Субетто Д. А.	55	Хандаченко А. А.	194, 202	Яблонская Д. А.	117, 133
Сухорукова К. В.	196	Хмельницкая М. О.	36	Яковлев А. В.	153
Тагиров Б. Р.	12	Хохрякова О. А.	7, 34	Яндола Н. И.	138
Тараненко Д. Е.	105	Чеботарев Д. А.	14	Япаскурт В. О.	32
Тарнопольская М. Е.	27	Чебров Д. В.	153	Яскевич С. В.	165
Тимофеева В. А.	64	Челноков Г. А.	130		
Тимошина В. А.	10, 173	Черных А. В.	135		



СОДЕРЖАНИЕ

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ТЕКТОНИКА

Алагияванна А. И. Э., Виноградов Е. В., Метелкин Д. В. ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ КЕМБРИЙСКО-ОРДОВИКСКИХ ГАББРОИДНЫХ МАССИВОВ ЗАПАДНОГО САНГИЛЕНА ...	3
Бирюкова Т. А. КАМЕННОУГОЛЬНЫЕ ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ ТУВИНСКОГО ПРОГИБА: РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ГЕОХИМИЧЕСКИХ И ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	5
Врацкий Д. А., Алагияванна А., Задорожный М. В., Хохрякова О. А. ГЕОПОРТАЛ ГГФ НГУ НА ПЛАТФОРМЕ COGIS	7
Сафронов О. В. СЕЙСМОДИСЛОКАЦИИ СИЛЬНОГО ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ЗОНЕ ТОЛБОНУРСКОГО РАЗЛОМА (АЛТАЙ).....	9
Тимошина В. А., Бондаренко Н. А. СРАВНЕНИЕ НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ЮЖНОГО СКЛОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА.....	10

ГЕОЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рубцова Е. А., Зотов А. В., Дягилева Д. Р., Акинфиев Н. Н., Тагиров Б. Р. ИЗУЧЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ПАЛЛАДИЯ В ХЛОРИДНЫХ И СУЛЬФИДНЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ФЛЮИДАХ	12
Чеботарев Д. А., Сарыг-оол Б. Ю., Козлов Е. Н., Фомина Е. Н., Сидоров М. Ю. МОБИЛЬНОСТЬ ТИТАНА И НИОБИЯ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ГИДРОТЕРМАЛЬНОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ И ВЫВЕТРИВАНИИ ОКСИДОВ НИОБИЯ (ПИРОХЛОРА, ЛУЕШИТА) И ТИТАНА (РУТИЛА, АНАТАЗА).....	14

ПЕТРОЛОГИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

Булгакова Д. Д. ВУЛКАНИТЫ В РАЗРЕЗЕ ОТУКДАШСКОЙ СВИТЫ СИСТИГХЕМСКОГО ПРОГИБА ТУВЫ: СОСТАВ И ВОЗРАСТ	17
Григорьева В. М., Перчук А. Л., Козловский В. М., Зиновьева Н. Г. МЕТАМОРФИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЭКЛОГИТА КЕМЬ-ЛУДСКИХ ОСТРОВОВ, БЕЛОМОРСКАЯ ЭКЛОГИТОВАЯ ПРОВИНЦИЯ	19
Киселёв М. В., Александров И. А., Лебедев А. Ю. ПЕТРОГРАФО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЗДНЕМЕЛОВЫХ ГРАНИТОИДОВ ОМЕЛЬДИНСКОГО МАССИВА (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ).....	21
Козленко М. М. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД РАЙОНА Р. КРЕМЕНШЕТ НА ТЕРРИТОРИИ БИРЮСИНСКОГО ПРИСАЯНЬЯ.....	24

Косарев Я. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА И ГИС-ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КЕРНА КОЛЬСКОЙ СВЕРХГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ.....	25
Микляева Е. П., Бычков А. Ю., Николаева И. Ю., Тарнопольская М. Е. ПОВЕДЕНИЕ ЦИРКОНИЯ В ПОЗДНЕМАГМАТИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ НА ПРИМЕРЕ КИВАККСКОГО РАССЛОЕННОГО МАССИВА (СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ).....	27
Муравьева Е. А., Тычков Н. С. ТЕРМАЛЬНОЕ СТРОЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА МЕЗОЗОЙСКОЙ ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ РАЙОНА КУОЙКСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ КСЕНОКРИСТАЛЛОВ КЛИНОПИРОКСЕНА	29
Трофимова В. Р. МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КАМПТОНИТОВЫХ ДАЕК ЗАПАДНОГО САНГИЛЕНА	31
Ушакова С. А., Сафонов О. Г., Козловский В. М., Япаскурт В. О. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ ЭНДЕРБИТОВ И ЛЕЙКОГРАНИТОВ МАССИВА ПОНЬГОМА-НАВОЛОК, КАРЕЛИЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЙ	32
Хамедова Е. В., Хохрякова О. А. ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД ТИГИРЕКСКОГО МАССИВА, РОССИЙСКИЙ АЛТАЙ	34
Хмельницкая М. О., Верещагин О. С., Власенко Н. С., Копылова А. Г. НИСНИТ (Ni_3Sn) ИЗ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД ДЖАЛТУЛЬСКОГО МАССИВА, КУРЕЙСКИЙ РАЙОН, ЦЕНТРАЛЬНАЯ СИБИРЬ, РОССИЯ	36

ЛИТОЛОГИЯ И СЕДИМЕНТОЛОГИЯ

Батаев И. А., Сафонова И. Ю., Крутикова А. К., Обут О. Т. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ДЕВОН-РАННЕКАМЕННОУГОЛЬНЫХ ПЕСЧАНИКОВ АГИНСКОГО ТЕРРЕЙНА, ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ	39
Бордюгова Е. А. К ВОПРОСУ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ТЕРРАС В РАЙОНЕ Г. КРАСНОЯРСКА	41
Горяйнов Д. С., Вараксина И. В., Закирьянов И. Г. ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ СОЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ	43
Драчёва А. О. ПАРФЕНОВСКИЙ ГОРИЗОНТ КОВЫКТИНСКОЙ ЗОНЫ ГАЗОНАКОПЛЕНИЯ (СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА) И ЕГО СЕДИМЕНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ	45
Дружинина Е. М. СТРОЕНИЕ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЧЕРКАШИНСКОЙ СВИТЫ В ПРЕДЕЛАХ ПРИОБСКО-НАДЫМСКОГО СТРУКТУРНО-ФАЦИАЛЬНОГО РАЙОНА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ	47
Закирьянов И. Г., Горяйнов Д. С. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ВЕРХНЕОРДОВИКСКИХ КАЛИПТР ГОРНОГО АЛТАЯ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ	48
Крутикова А. К., Сафонова И. Ю., Перфилова А. А., Обут О. Т. ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ ЗАСУРЬИНСКОГО АККРЕЦИОННОГО КОМПЛЕКСА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО АЛТАЯ: ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, СОСТАВ, ВОЗРАСТ И ИСТОЧНИКИ СНОСА	50

Левицкая П. С. ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕЙ ОБИ	52
Малов В. И., Страховенко В. Д., Субетто Д. А., Потахин М. С., Белкина Н. А. ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОНЕЖСКОГО ПРИЛЕДНИКОВОГО ОЗЕРА	55
Мельников К. К. ЛИТОХИМИЯ УРДЮКХАИНСКОЙ И ПАКСИНСКОЙ СВИТ ПОЛУОСТРОВА НОРДВИК (ВЕРХНЯЯ ЮРА – НИЖНИЙ МЕЛ СЕВЕРА СРЕДНЕЙ СИБИРИ)	57
Муликова Д. И., Юсупова А. Р. ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОСАДКОВ ОЗЕРА КАНДРЫКУЛЬ (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН).....	59
Оганян К. В., Сафонова И. Ю., Перфилова А. А. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ, СОСТАВ И ВОЗРАСТ СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД АЛАЙСКОГО ХРЕБТА (ЮЖНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)	62
Тимофеева В. А. ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЯ.....	64

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ НЕФТИ И ГАЗА

Арапов Г. В. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ДОЮРСКИХ ОСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ	67
Барабаш И. А. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМА ДИНАМИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ВРЕМЕННОЙ ШКАЛЫ НА ПРИМЕРЕ ЧКАЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ, ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ).....	69
Бардачевский В. Н. МОДЕЛЬ СТРОЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ПОКРОВНОГО ПОДКОМПЛЕКСА НЕОКОМСКОГО НГК ГЫДАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА.....	71
Ваганова А. А., Дюкова А. Д. АНАЛИЗ МИКРОСНИМКОВ РАЗНЫХ УРОВНЕЙ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ (ЗАОЗЕРНАЯ СКВАЖИНА 1, ХМАО – ЮГРА)	73
Волгина Э. С. ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ТЕРРИГЕННОГО ВЕНДА ПРИСАЯНО-ЕНИСЕЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ.....	76
Вяткина Е. В., Лавренова Е. А. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ МИОЦЕНА КРЫМСКО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА.....	78
Евтушенко М. И. ГЕОЛОГИЯ И ОРГАНИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГИБА	80
Ерохина Д. Д., Соловьев М. В., Кунцевич М. А. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ АЧИМОВСКОЙ ТОЛЩИ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАДЫМ-ПУР-ТАЗОВСКОГО РЕГИОНА.....	82
Жабяк А. Р. УТОЧНЕНИЕ ГРАНИЦ ЛОВУШЕК УГЛЕВОДОРОДОВ СУХОТУНГУССКОГО ВАЛА, СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА	84
Ивашиненко С. С. СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЮГАНСКОЙ ПОИСКОВОЙ ЗОНЫ	86
Канзычаков К. А., Канакова К. И. СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГНОЗ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ПУДИНСКОГО МЕЗОПОДНЯТИЯ.....	88

Кизилова М. А. СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗАПАДНО-ЯКУТСКОЙ БАРЬЕРНОЙ РИФОВОЙ СИСТЕМЫ.....	90
Кравченко Е. М., Можегова С. В. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ	92
Малыгин С. П., Ибрагимов С. М. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ АПТ-АЛЬБ-СЕНОМАНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРА ГЫДАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА НА ПРИМЕРЕ САЛМАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	94
Новоселя П. А., Фомин А. М. СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЯ ВЕНДСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АНГАРО-ЛЕНСКОЙ СТУПЕНИ (ИЛИРО-ИЙСКАЯ И ЗАПАДНО-ИЙСКАЯ ПЛОЩАДИ)	97
Павёлкина Д. А., Высоколян А. М., Лавренова Е. А. ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И МОРЯ ЛАПТЕВЫХ	99
Попова И. Д., Костырева Е. А. ГЕОХИМИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ВЕРХНЕКОЖЕВНИКОВСКОЙ СВИТЫ НА КРЯЖЕ ПРОНЧИЩЕВА (СЕВЕР СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ).....	101
Резникова М. С. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МОНОМСКОЙ СВИТЫ НА ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ ХАПЧАГАЙСКОГО МЕГАВАЛА (ВИЛЮЙСКАЯ НГО).....	103
Тараненко Д. Е., Космачева А. Ю. СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГНОЗ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЧКАЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)	105
Чернышева С. И., Замирайлова А. Г., Рыжкова С. В. ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ, ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	106
Шатыров А. К. ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН ДЛЯ РЕШЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ.....	108
Энбом К. И. ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ПАЛЕОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ АРХИПЕЛАГА СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗА КОЛЛЕКТОРОВ.....	110

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

Вахрушев В. И., Болсуновский А. Я. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ CS-137 И СО-60 КАК ВРЕМЕННЫХ МАРКЕРОВ ДЛЯ ДАТИРОВКИ СЛОЕВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ ЕНИСЕЙ	112
Вихоть А. Н. ОЦЕНКА ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТА НА ОПОЛЗНЕВОМ СКЛОНЕ В ДОЛИНЕ Р. ВОРКУТЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ	114
Гусарова Д. С., Яблонская Д. А., Лубкова Т. Н., Филатова О. Р. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РОДНИКОВЫХ ВОД ЩЕЛКОВСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ	117

Деркачев А. С. ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ОБЪ-ЗАЙСАНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ.....	119
Максимова А. А. ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРОЯВЛЕНИЯ РАДОНОВЫХ ВОД СНТ «АЭРОФЛОТ-1».....	122
Малов Г. И., Страховенко В. Д., Овдина Е. А., Бровченко Н. А., Малов В. И. СООТНОШЕНИЕ КАРБОНАТНОГО И ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ ОЗЕР ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	124
Машкова Д. М., Шварцева О. С., Леонов Д. А. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КАСКАДНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ РАСТВОРОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ФОРМ МИГРАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО УРАНА	126
Муравьева А. А. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПОВЕДЕНИЕ ЛИТИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ	128
Павлов А. А., Челноков Г. А., Лаврушин В. Ю. РАДОН В УГЛЕКИСЛЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОДАХ ПРИЭЛЬБРУСЬЯ И СВЯЗЬ С ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ.....	130
Филатова О. Р., Лубкова Т. Н., Шестакова Т. В., Яблонская Д. А. ОЦЕНКА БИОДОСТУПНОСТИ СВИНЦА И ЦИНКА В ПОЧВАХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД	133
Черных А. В. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ОЧАГОВ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА	135
Яндола Н. И. ПЕРИОДИЗАЦИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ ВИЛЮЙСКОЙ ГЕМИСИНЕКЛИЗЫ	138

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ И СТРАТИГРАФИЯ

Глазырин П. А. УТОЧНЕННОЕ ФАЦИАЛЬНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕЙ И СРЕДНЕЙ ЮРЫ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И АКВАТОРИИ КАРСКОГО МОРЯ.....	140
Журавлева Н. Д. СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗРЕЗОВ АЛЬЯНКА И КОНДУРОВКА (АССЕЛЬСКОГО И САКМАРСКОГО ЯРУСОВ ЗАПАДНОГО СКЛОНА ЮЖНОГО УРАЛА).....	142
Черных В. В. ПРЕСНОВОДНЫЕ МОЛЛЮСКИ РОДА <i>CORBICULA</i> В ПОСЛЕДНЕМ МЕЖЛЕДНИКОВЬЕ (ПЛЕЙСТОЦЕН) ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	144

ГЕОФИЗИКА, ГЕОМЕХАНИКА И ГОРНОЕ ДЕЛО

Бойчук И. В., Дергач П. А. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА МЕТОДОМ МЕЖСКВАЖИННОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ ПРИ БОЛЬШИХ МЕЖСКВАЖИННЫХ РАССТОЯНИЯХ	146
Бондарчук Я. О. ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПО ДАННЫМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	148
Джаркинов Р. Б., Фокин М. И. ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ФАЗОВЫХ ПРОНИЦАЕМОСТЕЙ ПО ДАННЫМ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДВУХФАЗНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ВЫТЕСНЕНИЯ	151

Егорушкин И. И., Кулаков И. Ю., Яковлев А. В., Huang Н.-Н., Гордеев Е. И., Абкадыров И. Ф., Чебров Д. В. СКОРОСТНАЯ СТРУКТУРА ЗЕМНОЙ КОРЫ ПОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАМЧАТКОЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ШУМОВОЙ ТОМОГРАФИИ	153
Косарев Я. С. ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ СУТОЧНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СО СРЕДНЕСУТОЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	155
Кузина Д. М., Щербаков В. П., Сальная Н. В., Юсупова А. Р., Ли Х-Ч., Нургалиев Д. К. АБСОЛЮТНАЯ И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПАЛЕОНАПРЯЖЕННОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЮЖНОЙ СИБИРИ ДЛЯ ПОСЛЕДНИХ 10 ТЫС. ЛЕТ: АНАЛИЗ ДАННЫХ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПАЛЕОНАПРЯЖЕННОСТИ ПО ОЗЕРНЫМ ОТЛОЖЕНИЯМ (ОЗ. ШИРА, ХАКАСИЯ).....	157
Лапковская А. А. ОБЗОР ПОДХОДОВ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ГЛИНИСТОЙ КОМПОНЕНТЫ НА ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ ПЕСЧАНИКОВ.....	159
Лобастова Е. М. СВЯЗЬ КОРОВЫХ ПРОВОДЯЩИХ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ С ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ РУДОНОСНОСТЬЮ ЧУЙСКОЙ ВПАДИНЫ.....	161
Овсянникова Е. С., Пискарев А. Л., Савин В. А. О ПОДЧИНЕННОЙ РОЛИ БАЗАЛЬТОВ В СТРОЕНИИ ФУНДАМЕНТА ХРЕБТА ГАККЕЛЯ.....	163
Павлович Р. Э., Яскевич С. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ СКВАЖИННОГО МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	165
Примаков С. А., Лапковская А. А. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЮРСКИХ КОЛЛЕКТОРОВ ШИРОТНОГО ПРИОБЬЯ	167
Сердюк И. М., Рыбалкин Л. А., Дробчик А. Н. ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ТРЕХОСНОМ ИСПЫТАНИИ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ.....	169
Смышляева А. К., Волынкин С. С. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ КИСЛЫХ ДРЕНАЖНЫХ РАСТВОРОВ	171
Тимошина В. А., Любимова Т. В., Фоменко В. А. ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ.....	173
Шажко Я. В., Рыбалкин Л. А., Шилова Т. В., Азаров А. В., Сердюк И. М., Ефремов Р. А. К ВОПРОСУ АКТУАЛЬНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА МЕТОДОМ ЯМР-СПЕКТРОМЕТРИИ	176

ЗАДАЧИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ, ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИНВЕРСИИ

Ананьев С. В., Петров А. М., Даниловский К. Н., Нечаев О. В. АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ МНОГОЗОНДОВОГО НИЗКОЧАСТОТНОГО ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	179
Банников В. С., Каюров Н. К., Павлов Е. В. ИНВЕРСИЯ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАРОТАЖА ВО ВРЕМЯ БУРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН ДЛЯ ЦЕЛЕЙ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА, ИНТЕРПРЕТАЦИИ И ПРОВОДКИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН.....	181

Голубева М. С., Митрофанов Г. М. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-СОГЛАСОВАННОЙ КОРРЕКЦИИ АМПЛИТУД НА РЕЗУЛЬТАТЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ	183
Даниловский К. Н., Петров А. М., Асанов О. О. РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ СЦЕНАРИЕВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СОСТАВЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МНОГОПЛАСТОВОЙ ИНВЕРСИИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОКАРОТАЖА	185
Жук В. В., Артамонов В. П. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВДОЛЬ ТРАЕКТОРИИ ПЛАНОВОЙ СКВАЖИНЫ ПО ДАННЫМ НАБОРА ОПОРНЫХ СКВАЖИН МЕТОДОМ ОБРАТНО ВЗВЕШЕННЫХ РАССТОЯНИЙ	187
Карзова А. Е. ИНТЕРПОЛЯЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАЗРЕЗОВ ПОСЛЕ МИГРАЦИИ	189
Маринов Р. В., Михтадов А. С. ПРОГРАММА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ПОИСКА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	192
Мельников И. В., Хандаченко А. А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТА ПРОПАНТА В ТРЕЩИНЕ ГРП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PINN	194
Петров А. М., Сухорукова К. В., Даниловский К. Н., Нечаев О. В., Асанов О. О. МНОГОПЛАСТОВЫЙ ПОДХОД К ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОКАРОТАЖА: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ	196
Потапова К. Ю., Митрофанов Г. М. СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ НА ПРИМЕРЕ ТРАССИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ИЗГИБА ЛУЧА И РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ЭЙКОНАЛА	198
Фанкин А. И. СВЕРТОЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРАТНЫХ ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ДАННЫХ	200
Хандаченко А. А., Мельников И. В. РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ PINN ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДВУХФАЗНОГО ПЕРЕНОСА ПРИ ГРП.....	202
Указатель авторов.....	204

Научное издание

НАУКИ О ЗЕМЛЕ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Материалы VII Всероссийской молодежной
научно-практической школы-конференции

Геологический полигон «Шира»,
Республика Хакасия, Россия
2–8 августа 2024 г.

Корректор *О. Э. Вульф*
Верстка *С. А. Косолаповой*
Обложка *Е. В. Неклюдовой*

Подписано в печать 22.07.2024 г.
Формат 60x84/8. Уч.-изд. л. 26,75. Усл. печ. л. 24,9.
Заказ № 152

Издательско-полиграфический центр НГУ.
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2.