УДК 551.762:551.763+553.981/.982 (571.121/.511)

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ РИФЕЯ АЛДАНО-МАЙСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ

Л. Н. Константинова[1], И. А. Губин[1], С. А. Моисеев[1,2], М. И. Абдулин[1]

[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, [2]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

По материалам бурения глубоких скважин Мокуйская 1 и Усть-Майская 366 в Алдано-Майской НГО в разрезе рифея выделено шесть продуктивных горизонтов. Установлено, что продуктивные и потенциально продуктивные горизонты приурочены к песчаным пластам кандыкской свиты, а также к карбонатным горизонтам игниканской, нельканской, мильконской, малгинской свит. Представлены результаты переинтерпретации сейсмических данных, полученных на территории НГО с 2005 г., в частности, прослежены отражающие горизонты в рифейском интервале разреза, выполнена их стратификация по скважинам. Составлена карта выходов свит рифея, а также выделенных продуктивных горизонтов на предвендскую поверхность размыва и рассмотрены основные критерии формирования ловушек углеводородов.

Ключевые слова: *Алдано-Майская НГО, рифей, венд, отражающий горизонт.*

THE RIPHEAN HYDROCARBON PROSPECTS OF THE ALDAN-MAYA PETROLEUM REGION

L. N. Konstantinova[1], I. A. Gubin[1], S. A. Moiseev[1,2], M. I. Abdulin[1]

[1]A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, [2]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Based on the drilling of deep Mokuyskaya 1 and Ust-Mayskaya 366 wells, six producing horizons were identified in the Riphean section on the territory of the Aldan-Maya region. It was determined that producing and potentially productive horizons are confined to sand layers of the Kandyk Formation, as well as to carbonate horizons of the Ignikan, Nelkan, Milkon, Malga Formations. The paper also presents the results of reinterpretation of seismic data obtained on the territory of the Aldan-Maya Petroleum Region since 2005, in particular, the reflecting horizons in the Riphean interval were tracked, and their stratication by wells were performed. The map of the Riphean formation outcrops as well as producing horizons on the pre-Vendian erosion surface identified in the work were compiled, and the main criteria for the formation of hydrocarbon traps were considered.

Keywords: *Aldan-Maya Petroleum Region, Riphean, Vendian, reflecting horizon.*

DOI 10.20403/2078-0575-2022-11c-49-55

Алдано-Майская НГО была выделена из Северо-Алданской НГО специалистами ИТИГ ДВО РАН [4], которые на основании обобщения геолого-геофизических материалов по территории НГО в целом определили ее как область преимущественно рифейского нефтегазообразования и нефтегазонакопления и уточнили ее границы с учетом новейших материалов. Алдано-Майская НГО (АМ НГО) административно относится к Республике Саха (Якутия) и Хабаровскому краю. По нефтегазогеологическому районированию ее границы в целом соответствуют АМ впадине, включая также на севере Хочомскую моноклиналь. Впадина осложнена Майским поднятием, где пробурена Лахандинская скв. 1, Майским перикратонным прогибом, где пробурена Усть-Майская скв. 366, на западе – Алданской моноклиналью, в центральной части – Майской рифтовой системой [15].

В нефтегазогеологическом отношении рифейский нефтегазоносный комплекс (НГК) Алдано-Майской НГО является важным объектом изучения. Перспективы рифейского резервуара доказаны в юго-западной части Сибирской платформы в Юрубчено-Тохомской зоне нефтегазонакопления (ЮТЗ) [5]: он располагает уникальными запасами нефти, газа и газоконденсата (Юрубчено-Тохомское, Куюмбинское месторождения). В настоящее время установлено принципиальное сходство фациальных и геодинамических условий осадконакопления и литологического состава рифейских разрезов ЮТЗ и АМ НГО, сформированных в условиях авлакогенной стадии становления чехла Сибирской платформы с высокой вероятностью выявления в АМ НГО промышленных залежей нефти и газа [8]. Эрозионное срезание свит рифея под горизонтально залегающими отложениями венда в НГО предполагает развитие структурно-стратиграфических ловушек на восточной периферии Сибирской платформы, как и на западе – в ЮТЗ.

В настоящее время территория полностью закрыта сетью региональных сейсмических профилей (0,08 км/км^2). Полевые сейсморазведочные работы МОГТ 2D проводились с 2005 по 2020 гг. силами ОАО «Якутскгеофизика». В 2011–2012 гг. был отработан северо-западный участок опорного профиля 3-ДВ (генеральный подрядчик работ – СНИИГГиМС). Глубоким бурением территория исследования изучена слабо (0,13 м/км^2). Отложения рифея вскрыты тремя скважинами: Мокуйской 1, Лахандинской 1, Усть-Майской 366 (рис. 1). Полный объем геолого-

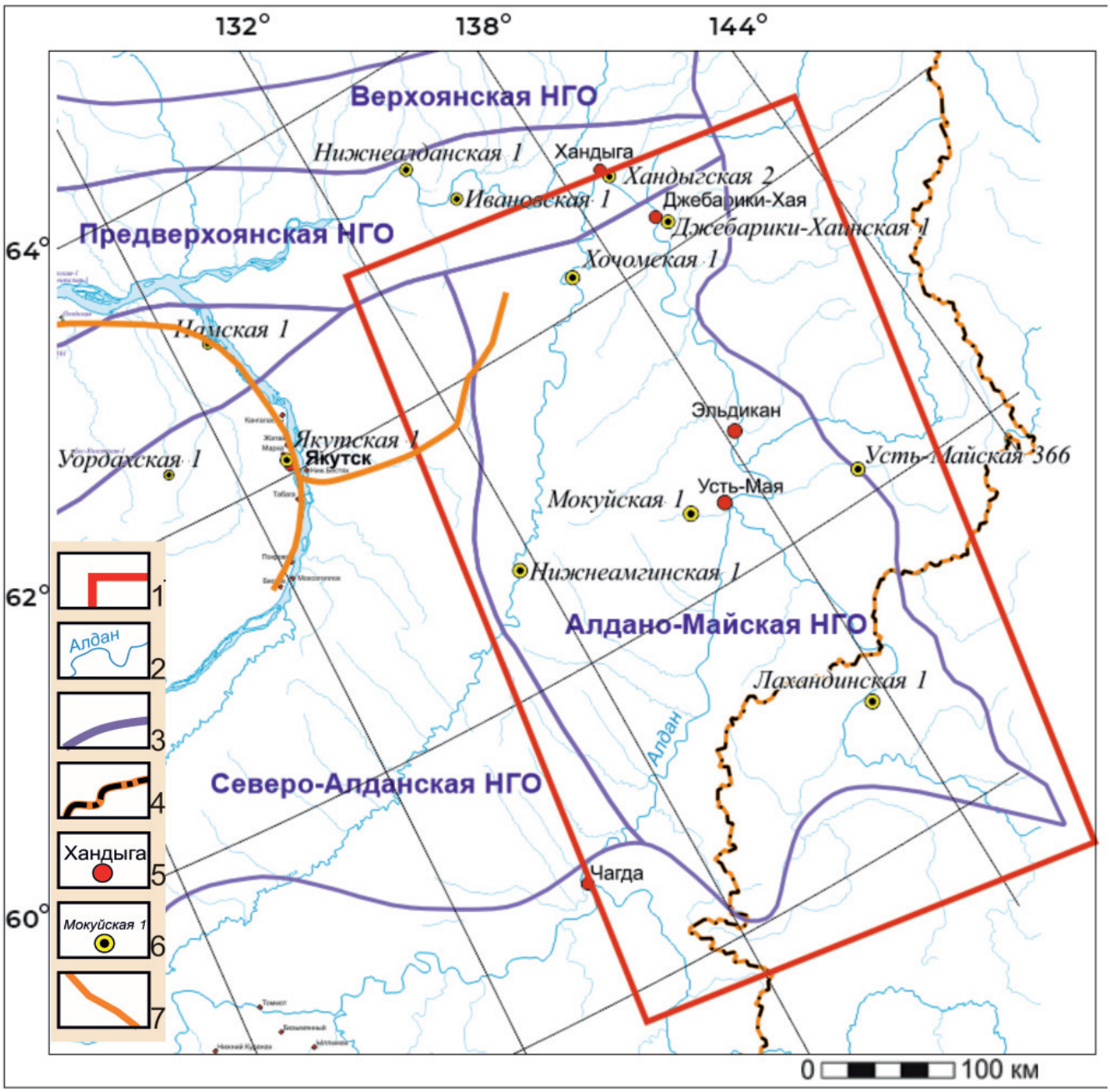

Рис. 1. Обзорная карта Алдано-Майской НГО и прилегающих территорий

1 – границы изучаемой территории; 2 – гидросеть; 3 – границы НГО; 4 – административные границы; 5 – населенные пункты; 6 – скважины; 7 – нефтегазопроводы

геофизического изучения, включающего каротаж, описание керна, а также петрофизические, геохимические параметры, проведен только в Усть-Майской скв. 366 и частично в Мокуйской скв. 1. В целом по ним можно составить сводный геолого-геофизический разрез рифея.

Литолого-стратиграфическое изучение рифея было начато в 1960-х гг. Описание свит проводилось геологами в основном по естественным обнажениям; точки наблюдения имеют достаточно плотную сеть, что позволило уже в 1970-е гг. составить карты латерального изменения литологического состава свит рифея АМ впадины [13]. В ряде работ уже приведены карты выходов рифейских образований на предвендскую поверхность, оценены масштабы эмиграции УВ [1, 8, 9, 11]. Но вместе с тем остается открытым вопрос прогноза ловушек УВ. По аналогии с ЮТЗ они ожидаются на срезе проницаемых толщ рифея горизонтально перекрывающими их вендскими отложениями, преимущественно карбонатными. Длительный предвендский перерыв создавал благоприятные условия для развития палеокарста в верхней части рифейских пород, с которыми, по мнению авторов данной статьи, связаны основные перспективные участки на поиски залежей УВ. Далее при прогнозе литолого-стратиграфических ловушек следует учитывать латеральную фациальную изменчивость перекрывающих свит венда: если это непроницаемые породы, они будут являться флюидоупором, а если проницаемые, то

будут составлять единый резервуар с рифейским коллектором, где флюидоупором уже будут служить непроницаемые региональные свиты венда и нижнего кембрия, залегающие выше.

Вопросы стратиграфии ранее рассматривались как в монографиях [13, 14], так и на стратиграфических совещаниях [12]. Наиболее обобщенным является проект региональной стратиграфической схемы рифейских отложений 2012 г., предложенный на рабочем стратиграфическом совещании в Новосибирске (СНИИГГиМС). По этой схеме стратиграфические аналоги свит рифея в АМ НГО следующие: в учурской серии нижнего рифея (снизу вверх) – гонамская, омахтинская, эннинская свиты; в среднем рифее – аимчанская (талынская, светлинская свиты) и керпыльская (тоттинская, малгинская и ципандинская свиты) серии; в верхнем рифее – лахандинская (кумахинская, мильконская, нельканская, игниканская свиты) и уйская (кандыкская, джабатымская, усть-кирбинская свиты) серии [7]. По литолого-фациальному районированию выделены три зоны – Учурская, Майская, Юдомо-Майская [14]. Позднее было проведено структурно-фациальное районирование, где границы указанных зон были уточнены в соответствии со структурными элементами [2, 3].

Хотя на изучаемой территории пока не выявлены промышленные скопления УВ, но в разных частях бассейна закартированы многочисленные зоны битумопроявлений, а также проявления газа и жидкой нефти. Пиролитический анализ малгинской свиты показал, что $C_{орг}$ в породе изменяется от 0,04 (карбонатные породы) до 13,59 % (высокоуглеродистые глинистые сланцы), а содержание керогеновой составляющей фиксируется в интервале 0,12–72,51 мгУВ/г [10]. По результатам исследований авторами сделан вывод о высоком генерационном и эмиграционном потенциале пород малгинской свиты в Алдано-Майском осадочном бассейне, однако сланцы свиты низкосортные. Редкое повышение содержаний $C_{орг}$ (более 15 %), частое чередование их тонких прослоев с толстоплитчатыми известняками и доломитами, латеральная неоднородность отложений в ближайшее время не сделают породы малгинской свиты первоочередным объектом для разведки и добычи горючих сланцев как нетрадиционного углеводородного сырья. Т. К. Баженова и Л. С. Маргулис считают, что генерационные параметры малгинской и доманикоидных слоев игниканской свит имеют остаточный ресурс не более 300 млн т нефти [1]. Газ в недрах бассейна, по их мнению, может сохраниться только в растворенном виде, а плотность ресурсов углеводородов для АМ ОБ составляет 5 тыс. т/км^2.

П. Н. Соболев и др. в 2017 г. по геохимическому составу и потенциалу нефтематеринских толщ по материалам бурения глубокой Усть-Майской скв. 366 выделили дополнительные источники нафтидов, в частности мильконскую свиту (верхнюю часть нерюенской свиты лахандинской серии), сложенную черными аргиллитами ($C_{орг}$ 0,30–1,66 %). РОВ этих пород достигало уровня катагенетического преобразования $МК_{2–3}$ по Н. Б. Вассоевичу, а вот нефтегазогенерационный потенциал малгинской свиты они считают малоперспективным.

Миграция УВ осуществлялась не только из очагов нефтегазогенерации, связанных с нефтематеринскими свитами рифея, но и при формировании в юрское время Кыллахской зоны складчато-надвиговых дислокаций, где проходили процессы стимуляции перетока УВ в западном направлении. В зоне шарьяжных дислокаций перспективы сохранности нефтяных залежей резко уменьшились в связи с увеличением уровня катагенетического преобразования РОВ до стадий $МК_4$–АК (по шкале Н. Б. Вассоевича) и их миграцией уже в газообразном состоянии в западном направлении.

В 1970-е г. по результатам изучения литологического состава в естественных обнажениях были выделены карбонатные трещинно-кавернозные коллекторы в составе ципандинской, мильконской, игниканской свит и терригенные гранулярные – в учурской и кандыкской, а также в базальных песчаниках венда. Позднее материалы Мокуйской скв. 1 показали полное отсутствие коллекторов в учурской серии нижнего рифея, а Усть-Майской скв. 366 – подтвердили наличие коллекторов в кандыкской свите верхнего рифея. Однако в настоящее время также нет единого мнения в выделении проницаемых горизонтов: И. Ф. Нафиков в 2015 г. выделил пласт-коллектор в нижней части тоттинской свиты, связанный с песчаным прослоем [15]; В. Г. Варнавский в 2011 г. увеличил толщину ципандинского коллектора за счет малгинской свиты, кандыкского – за счет джабатымской [4]. П. Н. Соболев и др. считают также, что терригенные коллекторы связаны с песчаниками кандыкской свиты, а карбонатные – с ципандинской, нерюенской и игниканской свитами [9].

Вместе с тем остается неизученным выделение пластов-коллекторов с использованием комплексного подхода, с учетом изменения по разрезу скважины петрофизических параметров, каротажных характеристик, литологии, результатов испытаний. Поэтому одной из основных задач при прогнозе перспектив нефтегазоносности является обоснование местоположения и толщин пластов-коллекторов в разрезе соответствующей свиты. По результатам интерпретации геофизических исследований скважин, а также данных глубокого бурения в рифейском разрезе АМ НГО было выделено шесть проницаемых горизонтов.

Горизонт R-1 (верхний рифей, уйская серия, кандыкская свита) состоит их трех песчаных прослоев с толщинами около 20 м (рис. 2), разобщенными глинисто-алевритовыми породами, пористость по ГИС 10–12 %, по керну не превышает 8 %.

Горизонт R-2 (верхний рифей, уйская серия, кандыкская свита) представлен массивным белым

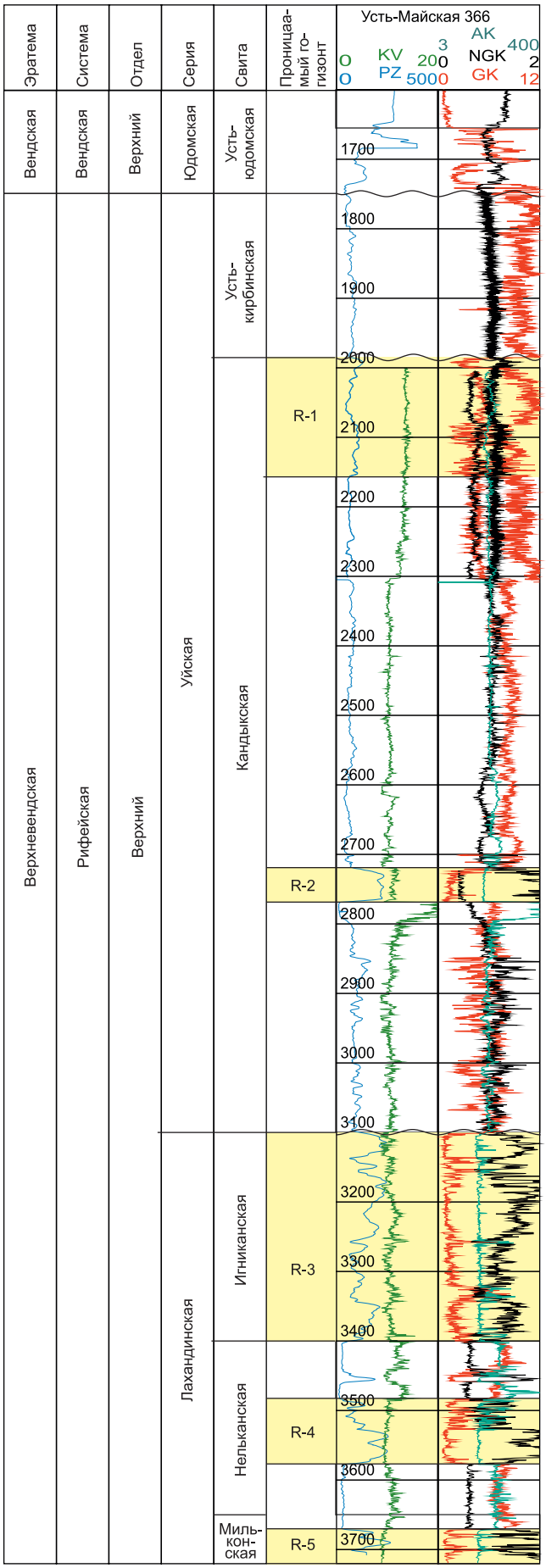

Рис. 2. Проницаемые горизонты в разрезе Усть-Майской скв. 366

кварцевым средне-крупнозернистым песчаником толщиной 50 м с проницаемостью 90–350 мД.

Горизонт R-3 связан с серыми массивными доломитами игниканской свиты (лахандинская серия, верхний рифей), в Усть-Майской скв. 366 эти отложения насыщены газом с низкими фильтрационно-емкостными свойствами: пористость по керну 2–4 %, по ГИС в основном 3–6 %, редко до 9 %.

Горизонт R-4 представлен также карбонатным коллектором и залегает в средней части нельканской свиты (лахандинская серия, верхний рифей). Это доломиты серые до светло-серых строматолитовые, крупнообломочные, сцементированные глинистым серым веществом, пористость по ГИС 3–6 %, газопроницаемость 25–70 мД.

Горизонт R-5 залегает в кровле мильконской свиты (лахандинская серия, верхний рифей) и представлен доломитами светло-серыми с многочисленными трещинами и линзочками, заполненными белым кальцитом. По всему интервалу в керне отмечаются многочисленные субвертикальные стилолитовые швы. Пористость по ГИС не превышает 5 %.

Горизонт R-6 связан с ципандинской, малгинской свитами керпыльской серии среднего рифея. В них установлены микрокавернозные разности карбонатных пород, емкость каверн превышает 20 % объема пород, причем наибольшей пористостью обладают битуминозные породы в верхней части малгинской свиты (средняя 8,9 %, максимальная 14,3 %). Породы обладают повышенной трещиноватостью, встречаются редкие каверны. Таким образом, проницаемые горизонты приурочены к песчаным пластам кандыкской свиты, а также к карбонатным горизонтам игниканской, нельканской, мильконской, малгинской свит. Эти горизонты прослежены на временном сейсмогеологическом разрезе по региональному композитному профилю Reg 1 (рис. 3); затем с учетом составленной ранее карты выходов рифейских образований на предвендскую и дневную поверхности размыва [5] были закартированы выходы этих проницаемых горизонтов (рис. 4).

На исследуемой территории можно выделить три типа ловушек УВ: 1) литологические, 2) структурно-литологические, 3) связанные со стратиграфическими несогласиями. Экранирование может быть литологическое, стратиграфическое, тектоническое, их различные комбинированные варианты.

Первый тип ловушек связан (по аналогии с ЮТЗ) с выходом различных толщ рифея под вендские отложения со стратиграфическим угловым несогласием, как это видно на временно́м сейсмогеологическом разрезе по региональному композитному профилю Reg 1 (см. рис. 3). Скорее всего, наиболее проницаемые коллекторы будут приурочены к разломным зонам деструкции, к трещиноватым породам. В отличии от ЮТЗ перекрывающая рифейские породы устьюдомская свита венда обладает менее выраженными флюидоупорными ха-

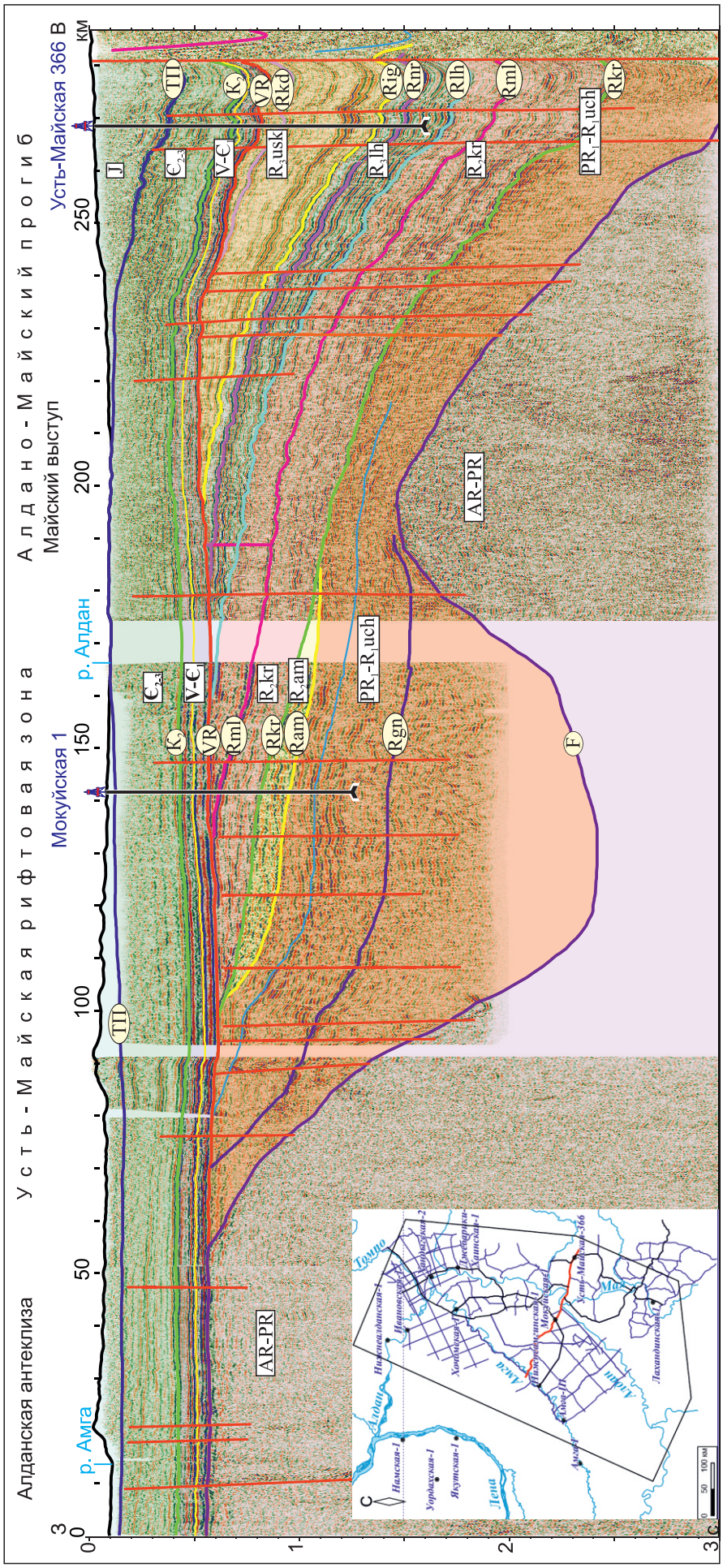

Рис. 3. Временной сейсмогеологический разрез по региональному композитному профилю Reg 1

Сейсмические горизонты: *подошва*: ТП – мезозоя, K_2 – иниканской серии, Rlh – лахандинской серии, Rml – малгинской свиты, Rkr – керпыльской серии, Ram – аимчанской серии, Rgn – гонамской свиты; *кровля*: VR – венда, Rkd – кандыкской свиты, Rig – игниканской свиты, Rnr – нерюенской свиты, F – фундамента; сейсмические комплексы: J – юрский, $Є_{2-3}$ – верхне-среднекембрийский, V–$Є_1$ – венд-нижнекембрийский, R_3usk – уйский, R_3lh – лахандинский, R_2kr – керпыльский, R_2am – аимчанский, PR_1–R_1uch – нижнепротерозойско-учурский, AR–PR – архей-протерозойский

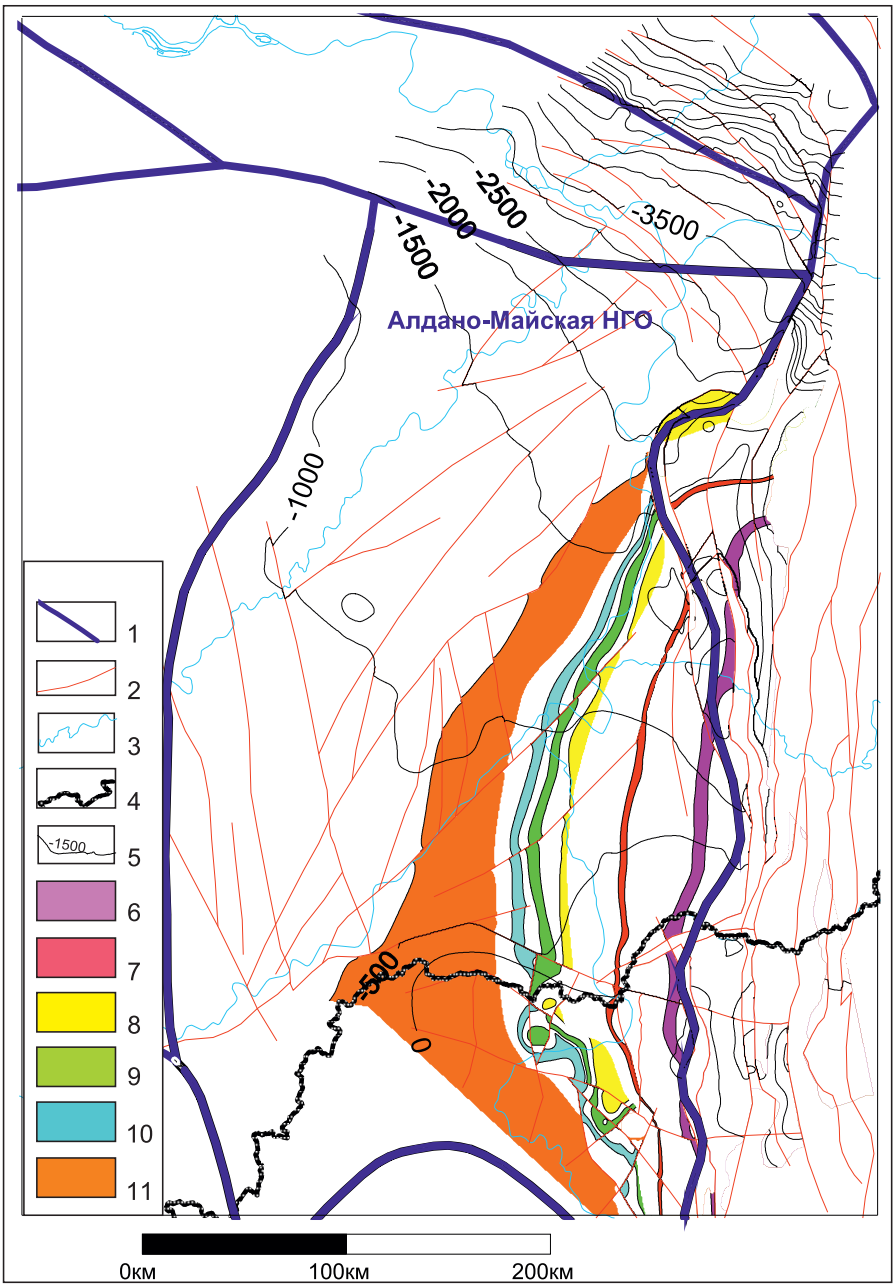

Рис. 4. Карта выходов рифейских проницаемых горизонтов на предвендскую поверхность размыва

1 – границы НГО; 2 – разломы; 3 – гидросеть; 4 – административные границы; 5 – изогипсы по кровле рифея; проницаемые горизонты: 6 – R-1, 7 – R-2, 8 – R-3, 9 – R-4, 10 – R-5, 11 – R-6

рактеристиками, так как нижняя ее глинисто-карбонатная подсвита в основании часто опесчанивается, тем самым сокращая толщину непроницаемой ее части. При этом стоит заметить, что наличие песчаных толщ в нижней части свиты может указывать на возможность существования единых вендрифейских коллекторов, если допускать наличие перекрывающего хорошего флюидоупора. Рифейские отложения имеют блоковое строение, разломы в рифее субвертикальные и пересекают наклонно залегающие толщи, выходящие на предвендскую поверхность. Поэтому наибольшими перспективами будут обладать относительно приподнятые блоки рифейских пород.

Второй тип связан с тектоническим экранированием пластовых залежей вверх по восстанию пласта. Такой тип экранирования ненадежен, так как в отличие от ЮТЗ все разломы в АМ НГО могут быть сквозными или проводящими при отсутствии здесь высокоминерализованных хлоридно-натриевых рассолов, благодаря которым в постседиментационное время трещинное пространство в нарушенных зонах значительно сокращается вследствие процессов ангидритизации, галитизации, сульфатизации. Как показали гидрогеологические исследования, выполненные сотрудниками СНИИГГиМС в Усть-Майской скв. 366, в результате отсутствия в породном составе вскрытого разреза скважины солей предполагается опресненный гидрогеохимический разрез данной территории.

Третий тип ловушек может быть связан с внутририфейскими стратиграфическими несогласиями, обусловленными выклиниванием либо карбонатных (нерюенская свита), либо песчаных (кандыкская свита) пластов-коллекторов в результате несогласного прилегания к подстилающей свите. Эти пласты-

коллекторы сверху экранируются выдержанными по простиранию и по толщине глинистыми пачками, что, в свою очередь, обусловливает формирование залежей в зонах выклинивания вверх по восстанию пласта-коллектора, и поэтому картирование таких ловушек существенно увеличивает перспективы нефтегазоносности АМ НГО.

Работа выполнена в рамках проекта фундаментальных научных исследований № FWZZ-2022-0008 «Цифровые геолого-геофизические модели Лено-Тунгусской и Лено-Вилюйской нефтегазоносных провинций, анализ закономерностей размещения нефтяных и газовых месторождений, оценка перспектив нефтегазоносности в основных продуктивных комплексах верхнего протерозоя и фанерозоя, включая карбонатные горизонты венда и кембрия с трудноизвлекаемыми ресурсами, изучение влияния интрузий траппов на нефтегазоносность».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баженова Т. К., Маргулис Л. С.** Нефтегазообразование в Алдано-Майском бассейне Сибирской платформы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2014. – Т. 9, № 4. – URL: http://www.ngtp.ru/rub/1/44_2014.pdf.

2. **Варнавский В. Г.** Алдано-Майский осадочный бассейн (юго-восток Северо-Азиатского кратона): литостратиграфия докембрия, кембрия // Тихоокеанская геология. – 2015. – Т. 34, № 2. – С. 82–102.

3. **Варнавский В. Г.** Седиментационный аспект эволюции, нефтегазоносности Алдано-Майского осадочного бассейна (юго-востока Северо-Азиатского кратона) // Тихоокеанская геология. – 2018. – Т. 37, № 3. – С. 82–97.

4. **Варнавский В. Г., Кузнецов В. Е.** Область рифей-венд-кембрийского седиментогенеза юго-восточной окраины Северо-Азиатского кратона: геолого-структурное положение, районирование // Тихоокеанская геология. – 2011. – Т. 30, № 5. – С. 67–79.

5. **Геологическое** строение и условия формирования гигантской Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления в верхнем протерозое Сибирской платформы / А. Э. Конторович, А. Н. Изосимова, А. А. Конторович и др. // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37, № 8. – С. 166–195.

6. **Губин И. А., Константинова Л. Н.** Строение разреза рифейских отложений Алдано-Майской НГО по сейсмическим данным // Новые вызовы фундаментальной и прикладной геологии нефти и газа – XXI век: матер. Всерос. науч. конф. с участием иностранных ученых, посвящ. 150-летию акад. АН СССР И. М. Губкина и 110-летию акад. АН СССР и РАН А. А. Трофимука (Новосибирск, 14–15 сентября 2021 г.) – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2021. – С. 244–247

7. **Краевский Б. Г., Якшин М. С., Наговицин К. Е.** Региональная стратиграфическая схема рифейских отложений западной части Сибирской платформы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2018. – № 7с. – С. 4–14.

8. **Кузнецов В. Е., Варнавский В. Г.** Венд-рифейские комплексы Алдано-Майского осадочного бассейна и Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления (юго-восток и юго-запад Северо-Азиатского кратона): сравнительный анализ, нефтегазоносность // Тихоокеанская геология. – 2018. – Т. 37, № 1. – С. 22–36.

9. **Новые** данные о перспективах нефтегазоносности Алдано-Майской впадины / П. Н. Соболев, О. В. Шиганова, С. В. Дыхан, А. Р. Ахмедова // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 3–4. – С. 643–656.

10. **Органическая** геохимия малгинской свиты среднего рифея (юго-восток Сибирской платформы) / Т. М. Парфенова, Е. А. Суслова, В. Н. Меленевский и др. // Актуальные проблемы геологии нефти и газа Сибири (Матер. Всерос. науч. конф. молодых ученых и студентов, посвящ. 80-летию акад. А. Э. Конторовича). – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2014. – С. 125–127.

11. **Прогноз** потенциально-нефтегазоносных зон рифея по сейсмическим данным в Предсеттедабанском прогибе / Г. А. Берилко, А. Н. Страхов, Б. Б. Шишкин, П. Н. Соболев // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 1 (9). – С. 79–85.

12. **Решения** Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири. Ч. 1. Верхний протерозой и нижний палеозой. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1983. – 216 с.

13. **Семихатов М. А., Серебряков С. Н.** Сибирский гипостратотип рифея. – М.: Наука, 1983. – 223 с.

14. **Стратиграфия** нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / Н. В. Мельников, М. С. Якшин, Б. Б. Шишкин и др. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2005. – 428 с.

15. **Строение** юго-восточного перикратонного погружения Сибирской платформы / Л. С. Маргулис, Б. Д. Ковнир, С. В. Сереженков, И. Ф. Нафиков // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. – Т. 10, № 1. – URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/11_2015.pdf.

© Л. Н. Константинова, И. А. Губин, С. А. Моисеев, М. И. Абдулин, 2022