

Сейсмогеологическая и структурная характеристика рифейских отложений Алдано-Майской НГО

И. А. Губин^{1}, А. Э. Конторович^{1,2}, С. А. Моисеев^{1,2}*

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: GubinIA@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Рассмотрены ключевые особенности геологического строения рифейского осадочного чехла Алдано-Майской НГО. По данным сейсмокаротажа и акустического каротажа изучена скоростная характеристика рифейских отложений, показано, что основные скачки пластовых скоростей, с которыми связано формирование выдержанных внутририфейских отражающих горизонтов, хорошо коррелируют с границами свит и серий. По результатам обобщения и интерпретации сейсмических данных по 9 проектам региональных работ построены сейсмогеологические разрезы и структурные карты, которые послужили основой для структурно-тектонического районирования территории Алдано-Майской НГО. Приведены тектонические схемы по двум структурным ярусам – верхнекарельско-нижнерифейскому и верхне-среднерифейскому, показано их принципиальное отличие, в частности, крупный Майский наклонный вал выражен только в рельефах нижнего рифея и не находит отражения в средне-верхнерифейских поверхностях.

Ключевые слова: Алдано-Майская НГО, рифей, отражающий горизонт, временной разрез, структурный ярус, тектоническая схема

Seismogeological and structural characteristic of the Riphean sediments within Aldan-Maya petroleum region

I. A. Gubin^{1}, A. E. Kontorovich^{1,2}, S. A. Moiseev^{1,2}*

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: GubinIA@ipgg.sbras.ru

Abstract. The key features of the geological structure of the Riphean sedimentary cover within the Aldan-Maya petroleum region are considered. Using seismic and acoustic logging data, the velocity characteristics of the Riphean deposits were studied. It was shown that the main acoustic contrasts are associated with the formation of sustained intra-Riphean reflectors. They correlate with the boundaries of formations and series. Based on the results of generalization and interpretation of seismic data on 9 projects of regional prospecting, seismogeological sections and structural maps were constructed, which served as the basis for structural-tectonic zoning of the territory within the Aldan-Maya petroleum region. Tectonic maps are presented for two structural stages – Upper Karelian-Lower Riphean and Upper-Middle Riphean, their fundamental difference is shown, in particular, the large May inclined swell is developed only in the reliefs of the lower Riphean not in the Middle-Upper Riphean surfaces.

Keywords: Aldan-Maya petroleum region, Riphean, reflecting horizon, time section, structural stage, tectonic map

Введение

Геологоразведочные работы последних десятилетий (геологическая съемка, глубокое и колонковое бурение, геофизические, в первой очередь сейсморазведочные, работы) показали сложное геологическое строение и историю геологического развития территории Алдано-Майской НГО, расположенной на юго-восточной окраине Северо-Азиатского кратона. Результаты этих работ в последние десятилетия систематизировались и обобщались специалистами Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Института проблем нефти и газа Якутского научного центра СО РАН, СНИИГГИМСА, ВНИГРИ, ИНГТ им. А.А. Трофимука СО РАН.

Разрез осадочных образований региона включает отложения протерозоя, кембрия и на севере территории перми и мезозоя. Рифейские отложения непосредственно на территории Алдано-Майской НГО вскрыты тремя скважинами. Первая параметрическая скв. Мокуйская 1 пробурена в 1982 г. до глубины 3090 м и вскрыла в забое гонамскую свиту нижнего рифея. Скважина Усть-Майская 366, пробуренная в 2014 г., вскрыла нерюенскую свиту верхнего рифея на глубине 3715 м (средний рифей остался не вскрытым), а скважина Лахандинская-1 (глубиной 591,25 м), пробуренная еще в 1938 г., вскрыла разрез от верхов омнинской до нерюенской свиты. В ней было зафиксировано нефтепроявление в среднем рифее.

Комплекс осадочных пород Алдано-Майской НГО начал формироваться в раннем протерозое (поздний карелий, 1732 млн лет) и завершился в раннем палеозое (поздний кембрий, 485 млн лет) [1, 2]. Развитие осадконакопления в зоне за столь длительную историю неоднократно прерывалось и осложнялось инверсионными событиями (магматизмом, орогенезом, пенепленизацией рельефа, формированием кор выветривания). В.Г. Варнавский [2] выделил следующие наиболее крупные инверсионные события: в предрифейское время (1732–1670 млн лет), в первой половине среднего рифея (1300–1100 млн лет), и в предвендское время (680–650 млн лет).

Анализ полученных сейсмических данных по 9 проектам региональных работ, проводившихся с 2005 г., и построенных на их основе структурных карт и карт толщин сейсмокомплексов показал, что рифейские осадочные образования занимают не всю территорию Алдано-Майской НГО (в ныне принятых ее границах), а только восточную ее часть, причем наибольшую площадь современного распространения имеют отложения нижнего рифея. Западные границы распространения отдельных комплексов рифея постепенно смещаются на восток, причем тем больше, чем моложе комплекс [3, 4, 5 и др.].

Мощная (до 6-8 км) линза рифейских образований в Алдано-Майской НГО сформировалась в результате трех разделенных во времени событий: рифейского осадконакопления на юго-восточном склоне Северо-Азиатского кратона, предвендского перерыва в осадконакоплении и размыва средне-верхнерифейских отложений на западе этой территории и формирования в юре и мелу Верхоянского складчатого пояса. Бассейноподобное тело осадочных пород рифея (клин оса-

дочных пород, срезанный на востоке складчато-надвиговыми дислокациями юрского периода) следует выделять только как осадочно-породный бассейн, сложенный образованиями рифея.

Сейсмогеологическая характеристика

Анализ данных сейсмокаротажа и акустического каротажа скважин, вскрывших рифейские отложения показал, что они сильно дифференцированы по интервальным скоростям продольных волн, особенно в пределах керпыльской и лахандинской серий, представленных чередованием преимущественно терригенных и карбонатных пород (рис. 1).

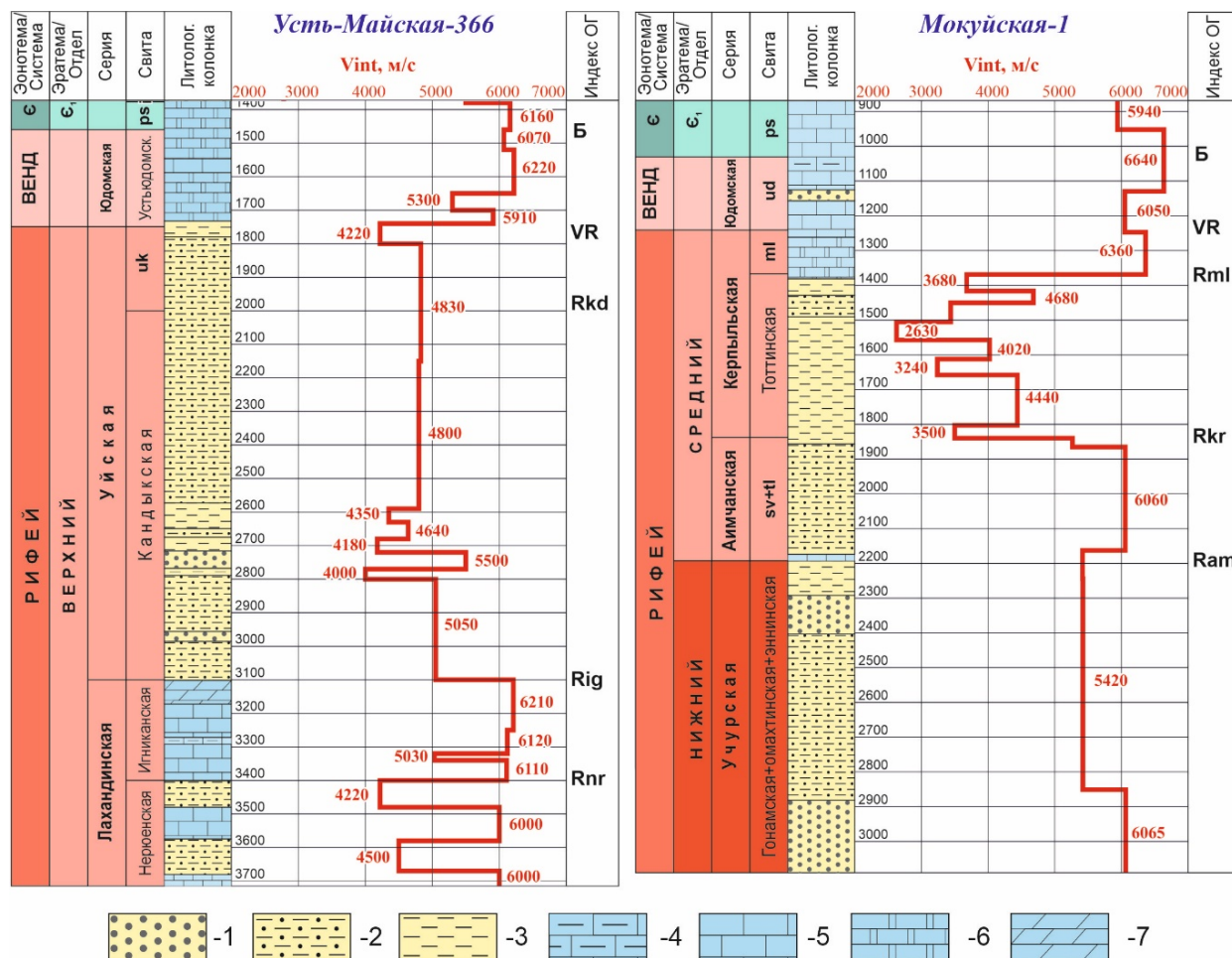


Рис. 1. Литолого-акустические характеристики рифейских отложений.

Преобладающие литотипы: 1 – пески, песчаники, 2 – авлеролиты, 3 – аргиллиты, 4 – глинистые известняки и доломиты, 5 – известняки, 6 – доломиты, 7 – мергели. Индексы свит: ps – пестоцветная, ud – усть-юдомская, uk – усть-кирбинская, ml – малгинская, sv – светлинская, tl – талынская. Индексы отражающих горизонтов: Б – кровля венда, VR – подошва венда, Rml – подошва малгинской серии, Rkr – подошва керпыльской серии, Ram – подошва аймчанской серии.

Нижнерифейские отложения учурской серии обладают скоростями порядка 5500 м/с. Тоттинская свита характеризуется минимальными (по сравнению с остальным рифеем) скоростями распространения продольных сейсмических

волн (2630–4440 м/с), а малгинская свита и аймчанская серия – максимальными (6060–6360 м/с).

Верхнерифейские отложения в нижней части (нерюенская, игниканская свиты) сильно дифференцированы по акустическим свойствам (рис. 1). Верхняя часть (уйская серия), сложенная преимущественно алевролитами и песчаниками, характеризуется относительно выдержанными скоростями продольных волн (порядка 4800–5000 м/с). В скважине Усть-Майская-366 ее мощность составила 1300 м.

На временных сейсмических разрезах кровля рифейского интервала разреза четко опознается по угловому несогласию и наличию наклонных отражений, ниже отражающего горизонта **VR**, приуроченного к подошве венда.

В пределах Алдано-Майской НГО горизонт **VR** является реперным. В зонах развития рифейских отложений форма его записи непостоянна в силу выхода на предвендскую эрозионную поверхность разновозрастных рифейских пород различного литологического состава, однако корреляция, чаще всего, уверенная. В зонах отсутствия рифейских отложений отражение **VR** сливается с горизонтом **F** (кровля фундамента) и его динамическая выразительность и устойчивость повышается. В зонах развития мощных рифейских отложений горизонт практически **F** не поддается фазовой корреляции, однако по динамическим параметрам сейсмической записи можно условно выделить границу, разделяющую платформенные рифейские (и, возможно, раннепротерозойские) отложения и породы фундамента. Между горизонтами **VR** и **F** заключен рифейский сейсмогеологический мегакомплекс, внутри которого также выделяется ряд устойчивых когерентных отражающих горизонтов, приуроченных к скачкам акустических жесткостей, в целом совпадающих с границами рифейских свит и серий (рис. 1, 2).

Отражающий горизонт **Rkd** приурочен к кровле кандыкской свиты. Отражение представлено динамически не выраженным положительным экстремум, зачастую интерференционным. Низкие динамические характеристики связаны с тем, что усть-кирбинская и кандыкская свита сложены терригенными породами со сходными акустическими характеристиками (см. рис. 1). В низах кандыкской свиты в интервале 2600–2800 м выделяется контрастный акустический репер, для которого характерно резкое изменение скорости, связанное с чередованием низкоскоростных трещиноватых аргиллитов с повышенным содержанием $S_{орг}$ и высокоскоростных битуминозных песчаников.

Отражающие горизонты **Rig** и **Rnr** приурочены к кровлям игниканской и нерюенской свит соответственно. Последняя имеет преимущественно терригенный состав, а игниканская, которая залегает на нерюенской без перерыва, сложена известняками и доломитами. Чередование карбонатных и терригенных пород обуславливает формирование хороших динамически выраженных экстремумов на кровле и подошве игниканской свиты.

Отражающий горизонт **Rlh** отождествляется с подошвой лахандинской серии верхнего рифея, которая с перерывом залегает на керпыльской серии. В кровле ципандинской свиты фиксируется кора выветривания. Горизонт хорошо опознается на временных разрезах: насыщенный выдержанными субпараллельными отражаю-

щими горизонтами интервал развития акустически неоднородной нерюенской свиты к низу сменяется практически немойм рисунком сейсмической записи, характерным для чистых доломитов и известняков ципандинской и малгинской свит среднего рифея, образующих единый сейсмокомплекс [6].

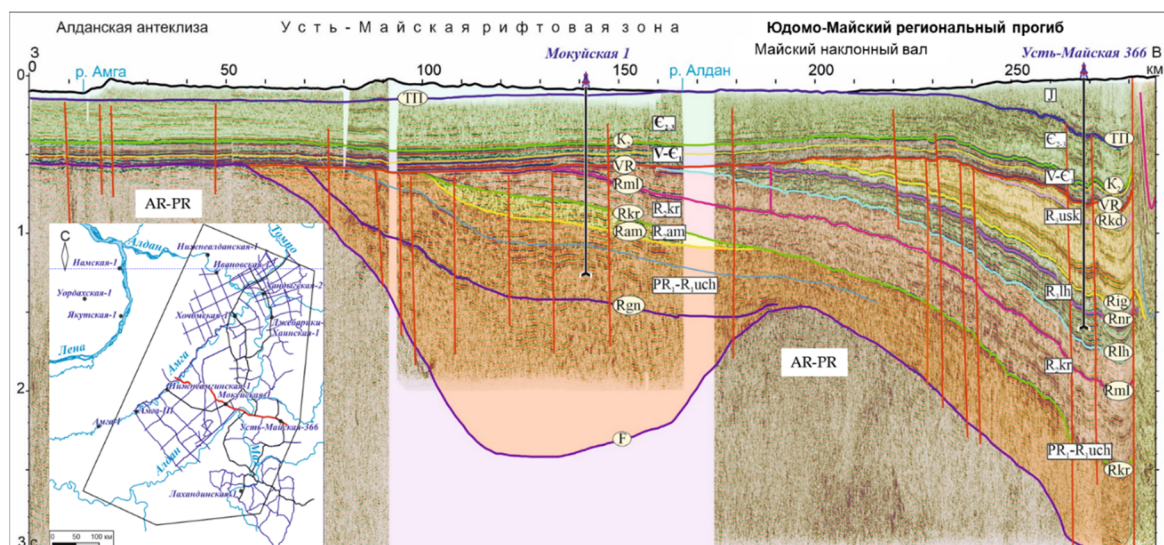


Рис. 2. Временной сейсмогеологический разрез по субширотному композитному профилю

Индексы отражающих горизонтов: ТП – подошва мезозоя (юры), K₂ – подошва иниканской свиты, VR – подошва венда, Rkd – кровля кандыкской свиты, Rig – кровля игниканской свиты, Rng – кровля нерюенской свиты, Rlh – подошва лахандинской серии, Rml – подошва малгинской свиты, Rkr – подошва керпыльской серии, Ram – подошва аимчанской серии, Rgn – подошва гонамской свиты, F – кровля фундамента.

Отражающий горизонт **Rml** приурочен к подошве малгинской свиты среднего рифея. Эта свита почти нацело сложена карбонатными породами. Состав и строение свиты на всей исследуемой территории отличается исключительным единообразием и постоянством. Ниже по разрезу ее резко сменяют терригенные осадки омнинской и тоттинской свит, благодаря чему формируется реперное отражение Rml, представленное 3–4-х фазным высокоамплитудным колебанием и надежно прослеживаемое на большинстве временных разрезов.

Отражающий горизонт **Rkr** приурочен к подошве керпыльской серии среднего рифея. Отражение характеризуется весьма нестабильными динамическими свойствами, отчасти связанными с большими глубинами погружения. На одних разрезах горизонт приобретает реперный облик, на других его корреляция значительно затруднена.

Структурная характеристика

Структурные карты, построенные для отдельных отражающих горизонтов, позволили создать структурно-тектонические схемы отдельных структурных ярусов осадочного чехла Алдано-Майской НГО. Главные инверсионные собы-

тия, о которых было сказано выше, предопределили деление осадочного чехла на три яруса: верхнекарельско-нижнерифейский, средне-верхнерифейский и венд-кембрийский. В данной работе мы рассмотрим строение первых двух. При построении тектонических схем верхнекарельско-нижнерифейского структурного яруса за базовую была выбрана структурная карта по отражающему горизонту F, средне-верхнерифейского структурного яруса – структурная карта по отражающему горизонту Rml.

Структурно-тектонические схемы Алдано-Майской НГО, построенные в прошлые годы с разной степенью детальности и с разными подходами к выделению тектонических элементов [7, 8, 9 и др.], базировались на ограниченном фактическом материале ввиду того, что территория еще не была полностью закрыта региональной сейсморазведкой.

При тектоническом районировании была выбрана методика и легенда тектонических карт нефтегазоносных районов и областей, разработанная большим коллективом тектонистов нефтяников под руководством В.Д. Наливкина в 1963 г. с уточнениями ИНГГ СО РАН [10, 11, 12] При выборе наименований структур за базовые принимались наименования, использовавшиеся ранее исследователями тектоники Юдомо-Майского региона.

Отложения, формирующие **верхнекарельско-нижнерифейский структурный ярус**, занимают территорию около 100 тыс. км². На тектонической схеме этого структурного яруса выделены две крупные отрицательные структуры Юдомо-Майский региональный прогиб и Усть-Майская котловина (рис. 3).

Юдомо-Майский региональный прогиб имеет площадь 20 тыс. км². Его западная граница проведена по изогипсе 5000 м, амплитуда 2500 м. В бассейне р. Алдан на северо-западе Юдомо-Майский прогиб осложняет Эльдиканская мульда.

Второй крупной отрицательной структурой является *Усть-Майская котловина*, осложненная двумя мульдами – Мокуйской и Южно-Майской. Усть-Майская котловина имеет площадь 8,3 тыс. км². Она сформировалась над одноименным рифтом (см. рис. 2). Ее амплитуда более 1500 м. Площадь Мокуйской мульды 1,6 тыс. км², Южно-Майской – 1,1 тыс. км².

Юдомо-Майский региональный прогиб и Усть-Майскую котловину разделяют крупные положительные структуры – Майский наклонный вал и Лахандинский свод.

л осложнен двумя положительными структурами – Северо-Майским куполовидным поднятием и Южно-Майским структурным мысом.

Лахандинский свод имеет площадь 12,3 тыс. км². Его амплитуда 2500 м. Свод осложнен тремя положительными структурами – Даланским валом, Омнинским куполовидным поднятием и Ингилийским выступом.

Вдоль западной границы распространения отложений верхнекарельско-нижнерифейского структурного яруса развита обширная *Восточно-Амгинская моноклиза*. С северо-востока на юго-запад она протягивается на 450 км. Ширина моноклизы меняется от 35 км на севере до 250 км на юге. Ее площадь 65 тыс. км². Между Мокуйской мульдой Усть-Майской котловины и Эльдиканской мульдой Юдомо-Майского прогиба выделена Нуотарская седловина.

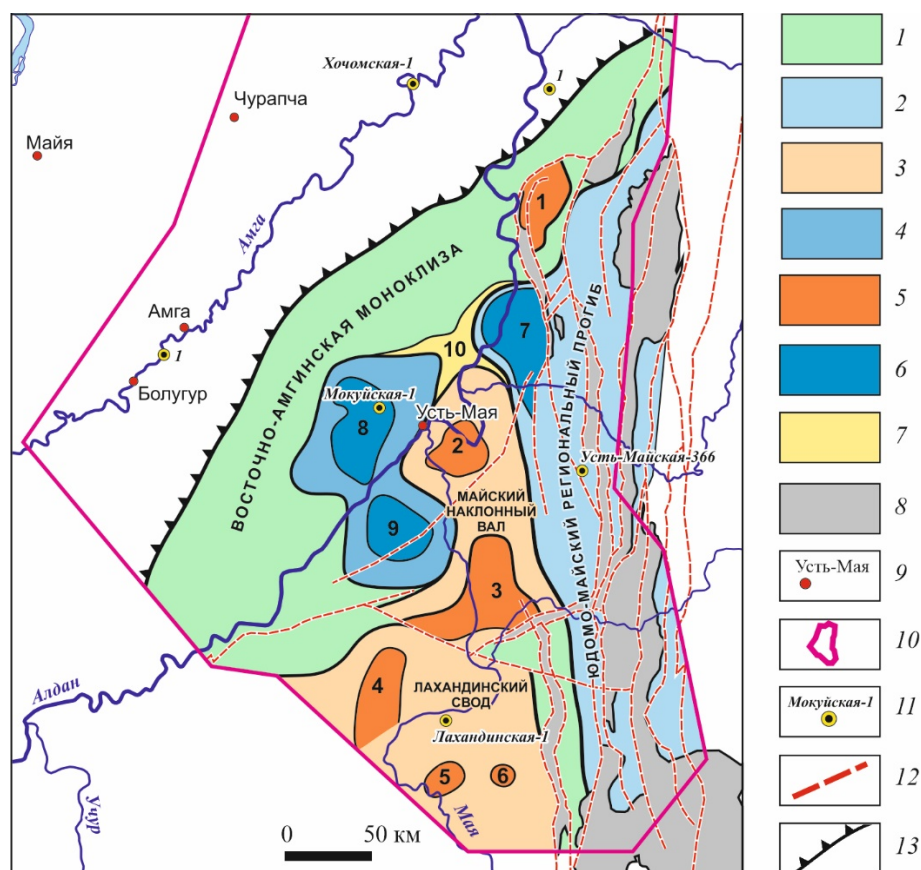


Рис. 3. Тектоническая схема верхнекарельско-нижнерифейского структурного яруса

1-8 – тектонические элементы: 1-2 – надпорядковые; 3-4 – I порядка: 3 – положительные, 4 – отрицательные (Усть-Майская котловина); 5-6 – II-III порядка: 5 – положительные (1 – Кыллахское кп, 2 – Северо-Майское кп, 3 – Южно-Майский структурный мыс, 4 – Даланский вал, 5 – Омнинское кп, 6 – Ингилийский выступ), 6 – отрицательные (7 – Эльдиканская мульда, 8 – Мокуйская мульда, 9 – Южно-Майская мульда); 7 – промежуточные (10 – Нуотарская седловина); 8 – Кыллахско-Нельканская зона надвигов Верхоянского складчатого пояса (Rf), 9 – населенные пункты, 10 – контур построения геологической модели, 11 – скважины глубокого бурения и их названия, 12 – разломы, 13 – граница распространения структурного яруса

Майский наклонный вал имеет площадь 9,2 тыс. км². Его амплитуда 1500 м. Ва

Восточную границу территории яруса образует Кыллахско-Нельканская зона надвигов Верхоянского складчато-надвигового пояса.

Отложения, формирующие **средне-верхнерифейский структурный ярус**, занимают меньшую территорию, чем верхнекарельско-нижнерифейский структурный ярус – 67,1 тыс. км². На тектонической схеме этого яруса выделена только одна крупная отрицательная структура – *Юдомо-Майский региональный прогиб* (рис. 4). Он практически сохранился в прежней конфигурации и имеет площадь 19,1 тыс. км².

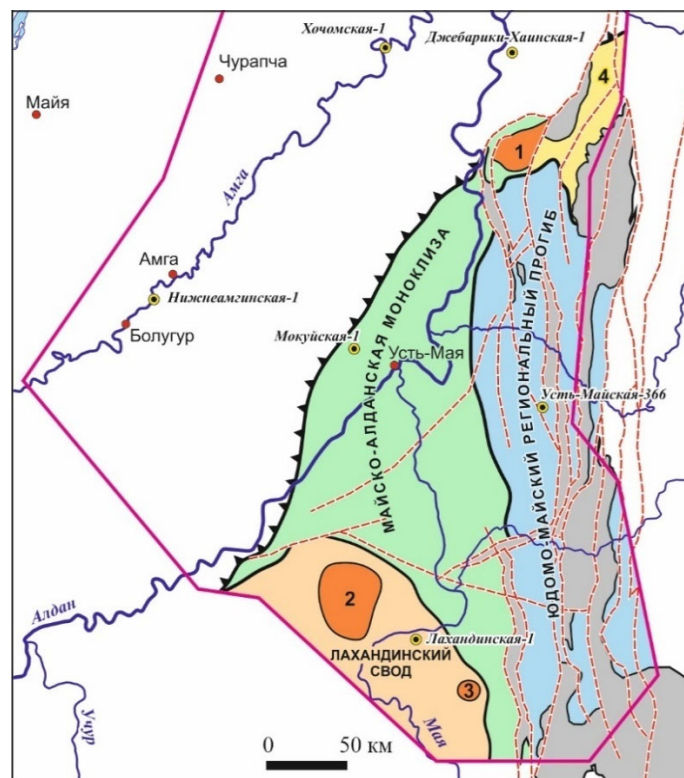


Рис. 4. Тектоническая схема верхне-среднерифейского структурного яруса

Условные обозначения: см. рис. 3. Цифрами обозначены тектонические элементы: 1 – Кыллахское кп, 2 – Даланское кп, 3 – Ингилийский выступ, 4 – Окраинная седловина

Всю западную часть исследуемой территории занимает обширная моноклиза. Учитывая существенное смещение на восток этой моноклизы по сравнению с Амгинско-Алданской моноклизой, авторы назвали ее *Майско-Алданской*. На юге она граничит с Лахандинским сводом, площадь которого (неполная) 10,7 тыс. км². Его амплитуда 900 м. Свод осложнен двумя положительными структурами – Даланским куполовидным поднятием и Ингилийским выступом. Рифей здесь выходит на дневную поверхность.

Восточную границу территории этого структурного яруса также формирует Кыллахско-Нельканская зона надвигов Верхоянского складчато-надвигового пояса.

Выводы

На территории Алдано-Майской НГО в основном завершены региональные сейсморазведочные работы. Полученные новые результаты геологоразведочных работ позволили существенно уточнить представления о глубинном строении осадочного чехла, стали ясны внутреннее строение и природа рифейского осадочного бассейна. Отработанные профили региональных проектов позволили построить серию сейсмогеологических разрезов, схемы пространственного размещения отдельных сеймостратиграфических комплексов, выполнить структурные построения и тектоническое районирование осадочного чехла

Толща терригенно-карбонатных рифейских осадочных пород образует клин мощностью от нуля до 8–9 км, верхняя граница которого денудационная, с угловым несогласием перекрытая вендом, а восточная – тектоническая, ограниченная структурами Верхояно-Колымской складчатой области. Эта линза пород является остатком гигантского рифейского осадочного чехла, который впоследствии ограничили различные тектонические события – денудация на рубеже рифея венда на западе и дизъюнктивная тектоника и орогенез в конце мезозоя на востоке.

Рифейский комплекс делится на два структурных яруса – верхнекарельско-нижнерифейский и верхне-среднерифейский, разделенных крупным угловым несогласием. На тектонических схемах обоих ярусов выделяется обширный Юдомо-Майский региональный прогиб субмеридионального простирания, граничащий на западе с моноклизой. Кардинальное отличие двух схем заключается в том, что на тектонической схеме верхнекарельско-нижнерифейского яруса моноклизу осложняет Усть-Майская рифтовая котловина, отделенная от Юдомо-Майского прогиба крупной контрастной положительной структурой – Майским наклонным валом.

Крупных положительных структур в рельефах средне-верхнерифейских отложений, за исключением Даланского кп, не выделяется. Возможные области скопления рифейской нефти, следует связывать в первую очередь с зонами выклинивания коллекторских горизонтов нерюенской, кандыкской и малгинской свит под предвендскую эрозионную поверхность и с базальными горизонтами венда.

Работа выполнена в рамках проекта фундаментальных научных исследований № FWZZ-2022-0008 «Цифровые геолого-геофизические модели Лено-Тунгусской и Лено-Вилуйской 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».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Варнавский В.Г. Алдано-Майский осадочный бассейн (юго-восток Северо-Азиатского кратона): литостратиграфия докембрия, кембрия // Тихоокеанская геология. – 2015. – Т. 34. – № 2. – С. 82–102.
2. 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.
3. 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: материалы Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых, посвященной 150-летию академика АН СССР И.М. Губкина и 110-летию академика АН СССР и РАН А.А. Трофимука (г. Новосибирск, 14-15 сентября 2021 г.) – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2021. – С. 244–247.

4. Горошко М.В., Гурьянов В.А. Мезо-неопротерозойские комплексы чехла юго-востока Сибирской платформы: условия образования и основные черты тектоники // Геотектоника. – 2008. – № 2. – С. 80-96.
5. Берилко Г.А., Страхов А.Н., Шишкин Б.Б., Соболев П.Н. Прогноз потенциально-нефтегазоносных зон рифея по сейсмическим данным в Предсеттедабанском прогибе // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 1 (9). – С. 79-85.
6. Развозжаева Е.П. Сейсмостратиграфическая модель Алдано-Майского осадочного бассейна (юго-восток Сибирской платформы) // Тихоокеанская геология. – 2020. – Т. 39. – № 5. – С. 25-47.
7. Берзин А.Г., Оболкин А.П., Севостьянов С.Ю., Егшин А.А., Дьяконова В.А. Новые данные по геологии Алдано-Майского прогиба // Отечественная геология. – 2011. – № 6. – С. 21-26.
8. Маргулис Л.С., Ковнир Б.Д., Сереженков С.В., Нафиков И.Ф. Строение юго-восточного перикратонного погружения Сибирской платформы [Электронный ресурс] // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. – Т. 10. – № 1. – С. 1-20. Режим доступа: https://www.ngtp.ru/rub/4/11_2015.pdf (дата обращения: 29.04.2022).
9. Сафронов А.Ф., Чалая О.Н., Зуева И.Н., Сивцев А.И. Перспективы нефтегазоносности Алдано-Майского прогиба // Георесурсы. – 2019. – Т. 21. – № 1. – С. 64-70.
10. Наливкин В.Д. О морфологической классификации платформенных структур // Геология нефти и газа. – 1962. – № 8. – С. 24-28.
11. Решения совещания по классификации платформенных структур. – Л.: ВНИГРИ, 1963. – 16 с.
12. 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.

© И. А. Губин, А. Э. Конторович, С. А. Мусеев, 2022