

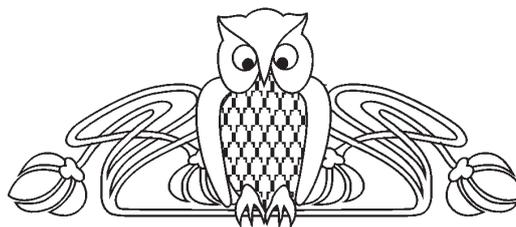


Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 281–290
Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 281–290
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-4-281-290>

Научная статья
УДК [551.24+553.98](470.4/5)

Современные проблемы геологии и нефтегазоносности недр Прикаспийской впадины



Я. А. Рихтер

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Рихтер Яков Андреевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, tyr2760@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-2511-8550>

Аннотация. Проблемы глубинного строения и формирования Прикаспийской впадины до сих пор не решены из-за общей недостаточной изученности ее глубин, достигающих 18–22 км, а существующие представления и гипотезы неудовлетворительны при попытках объяснения непонятых до сих пор фактов. Необходимы новый подход к решению старых проблем и новые усилия в развитии исследований. Обсуждается современное состояние проблем глубинного строения впадины и показывается на примерах недостаточность предложенных решений. По данным изучения керна глубокой скв. Д-2 Астраханского месторождения, подтверждается ранее предложенное автором решение проблемы природы и происхождения консолидированной коры впадины как рифтогенной океанической. Обсуждается происхождение и формирование сводовых поднятий Астраханско-Актюбинской зоны, их роль в возникновении карбонатных платформ. Проблемы глубинной геотермии и флюидодинамики, а также результаты геофизических исследований последнего времени рассматриваются в свете перспектив нефтегазоносности недр Прикаспийской впадины.

Ключевые слова: фундамент впадины, сводовые поднятия, карбонатные платформы, геотермия, аномально высокие пластовые давления, флюидодинамика, нефтегазоносность

Благодарности. Автор благодарен своим коллегам, проявлявшим интерес к его исследованиям и обсуждавшим результаты его работы: профессорам А. Д. Коробову, К. А. Маврину, О. К. Навроцкому, В. Н. Староверову, Л. А. Анисимову и многим другим геологам местных и иногородних организаций и компаний, в том числе В. В. Пыхалову и А. П. Пронину. Автор также искренне надеется, что его критические замечания будут приняты с пониманием, как проявление его стремления к сотрудничеству в научном познании. Настоящая работа была выполнена в первую очередь благодаря энтузиазму автора, продолжающего заниматься изучением проблем региона и надеяться на общий прогресс в их решении. Будем признательны всем, нашедшим ошибки или неточности в изложении фактов, а также сделавшим замечания конструктивного характера.

Для цитирования: Рихтер Я. А. Современные проблемы геологии и нефтегазоносности недр Прикаспийской впадины // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 281–290. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-4-281-290>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Current problems in the North Caspian depression geology and oil and gas prospects

Ya. A. Rikhter

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Yakov A. Rikhter, tyr2760@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-2511-8550>

Abstract. The deep structure and formation of the North Caspian (Precaspian) depression have not been fully understood due to the scarcity of depth studies at 18–22 km. The existing concepts and hypotheses are clearly insufficient to interpret the unexplained facts. New approaches and research efforts are necessary to solve the old problems. The current state of the depression deep structure problems is reviewed, and the existing explanation flaws are demonstrated. The depression consolidated crust has oceanic and riftogenic origin as it has been suggested by the author before. This explanation is supported by the Astrakhan deposit D-2 deep well core data. The Astrakhan-Aktobe zone arched uplift genesis, formation and role in the carbonate platforms emergence are discussed. Deep geothermy and fluid dynamics problems, as well as recent geophysical data are considered in view of the North Caspian depression hydrocarbon prospects.

Keywords: depression basement, arched uplifts, carbonate platforms, geothermy, abnormal formation pressure, fluid dynamics, oil and gas prospects



Acknowledgments. The author thanks his colleagues who have shown interest in his research and discussed the results of his studies – Professors Alexander Korobov, Konstantin Mavrin, Oleg Navrotsky, Vyacheslav Staroverov, Leonid Anisimov and many other geologists from local organizations and companies as well as from other regions including Viktor Pykhalov and Alexey Pronin. The author also sincerely hopes that his critique will be taken with understanding as a display of his desire for cooperation in pursuit of scientific knowledge. This work was done primarily due to the author's enthusiasm who continues to study regional geological problems and hopes for comprehensive progress in their solution. The author will be grateful to everyone for finding mistakes and inaccuracies in the fact presentation and for constructive comments.

For citation: Rikhter Ya. A. Current problems in the North Caspian depression geology and oil and gas prospects. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 281–290 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-4-281-290>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Прикаспийская впадина – уникальный геологический объект, не имеющий ничего общего со структурами докембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и включенный в её состав лишь с завершением герцинской эпохи орогенеза. Тем не менее она до сих пор большинством геологов традиционно рассматривается как постоянная ее часть, а фундамент – как глубоко погруженный и переработанный блок докембрийского основания ВЕП. Не утихают споры по вопросам её строения, происхождения и формирования, предлагаются всё новые решения и объяснения, подчас весьма экзотические. К этому побуждают очевидные свидетельства нефте- и газоносности бортовых зон впадины, где выявлены крупнейшие месторождения, что может означать высокую перспективность и более глубоких ее недр, пока еще недоступных. Всё это свидетельствует о явно неблагоприятном состоянии изучаемых проблем, в частности о неудовлетворительном положении в исследованиях глубинных недр Прикаспийской впадины – их стратиграфического и формационного расчленения, тектонического строения и напряженного состояния как показателей их геодинамической эволюции.

Трудности, стоящие перед исследователями, известны: в первую очередь, как представляется, они технические и технологические и в конечном счете экономические, – со временем они вполне преодолимы. Но существуют проблемы психологического свойства, возникающие при исследовании недостаточно или почти неизученных объектов и процессов. Перед нами стоит психологический барьер: изучая бортовые зоны Прикаспийской впадины (при помощи геофизических методов, бурения отдельных глубоких скважин) и переходя на всё большие глубины, мы оказываемся перед неизвестностью и из под наших ног уходит привычная почва, когда перестают работать известные критерии и закономерности и необходим переход на новые «правила игры», следующие из принципиально иной концепции, адекватной современному уровню наших знаний о строении и формировании Прикаспийской впадины. Растут риски в прогнозах, предлагаемые пути поисков и новые типы поисковых объектов чаще всего себя не оправдывают,

и наша неуверенность растет с каждым шагом. И мы идем медленно, осторожно нащупывая почву для следующего шага. Частные решения и находки приносят успех, но попытки придать им универсальный характер терпят в дальнейшем неудачу.

Наш обзор не претендует на полноту рассмотрения представленных в нем проблем, так же как и не определяет первоочередности их решения. Но ясно, что решать их, скорее всего, придется. Наш выбор проблем продиктован признанием степени их принципиальной важности и масштабности. Их анализ проводится, естественно, с позиций, разделяемых или занимаемых нами по тому или иному вопросу.

Природа и возраст консолидированной коры

Представления о фундаменте (или консолидированной коре) Прикаспийской впадины, его природе и возрасте крайне разнообразны и нередко предельно противоположны. Традиционно считается, что ее фундамент тот же, что и в примыкающей части ВЕП, другими словами, Прикаспийская впадина – часть этой платформы (синеклиза). В современных геотектонических схемах платформы для позднепротерозойского (рифейского) этапа на юго-востоке ВЕП показывается с той или иной степенью условности пространство, принадлежащее древнему кратону ([1] и последующие публикации авторов) и пунктиром, иногда со знаком вопроса, намечается его граница, следующая вдоль восточного и юго-восточного обрамления Прикаспийской впадины. Это объективно свидетельствует о недостаточности сведений и неясности положения данной границы.

Еще в 60–70-е годы XX столетия стали известны данные глубинных геофизических исследований об аномальном строении земной коры в центральной части Прикаспийской впадины [2] и высказывались идеи о существовании внутри нее «базальтового окна» – реликтового субокеанического бассейна [3], предлагались также гипотезы о «базификации» нижней части континентальной коры докембрийского фундамента Прикаспийской впадины [4, 5]. С приходом идей глобальной плитотектоники появились новые возможности интерпретации геолого-геофизического материала и синтеза современ-



ной модели её формирования. В конце 80-х годов была создана первая мобилистская модель геодинамического развития юго-востока ВЕП и формирования Прикаспийской впадины [6]. Однако эти идеи не нашли должного отклика среди геологов и лишь обозначили новое направление возможных исследований. Появились и немногочисленные последователи этого нового геодинамического подхода (например, [7]). Тем не менее сохраняют свое значение данные глубинных геофизических исследований: на их основе создаются современные модели геологического строения и нефтеносности Прикаспийской впадины [8].

С середины 90-х годов проблемы изучения Прикаспийской впадины привлекли внимание автора настоящего обзора. Анализ накопленного огромного материала по строению бортовых зон Прикаспийской впадины в свете новых мобилистских идей позволил выявить принципиально важные черты развития всей структуры и главное – показать её связь с формированием Пачелмского авлакогена как древнего континентального рифта [9]. По типу земной коры Прикаспийская впадина является рифтогенной эпиконтинентальной структурой, прошедшей длительную историю развития как глубоководная впадина, а затем, после герцинских коллизионных событий на востоке и юге, перешедшая на платформенный путь развития. Фундамент Прикаспийской впадины, по геофизическим данным, близок породам основного состава – базитам и, возможно, эфлогитам – и таким образом совершенно не похож на кристаллический сиалический фундамент примыкающих районов ВЕП. Бортовая зона Прикаспийской впадины на её севере и западе является структурой сопряжения впадины с ВЕП. Строение бортовой зоны обусловлено листрическими деформациями ступенеобразного опускания блоков внутрь впадины, что является типичным для пассивных континентальных окраин. Пострифтовое развитие бортовых зон, отраженное в палеозойских формациях, фациях и мощности осадков – от прибрежно-морских и мелководно-шельфовых до турбидитных микститов и отложений подводных дельт подножия континентального склона – однозначно характеризует их как окраину континента пассивного типа. Во внутренней части бортовой зоны развиты осадки, переходные к типичным глубоководным и характерные для подножия континентального склона, – грейниты, дебриты и контуриты. Все эти факты приводят к общему заключению, что континентальная окраина соседствует с абиссальной океанической структурой, возникшей в результате спрединга вдоль двух осей, заложенных вначале как лучи континентального рифтинга в широтном и юго-западном направлениях.

Таким образом, имеется серьёзное расхождение в понимании природы и геодинамики фор-

мирования Прикаспийской впадины и её земной коры. За последние четверть века оно лишь увеличилось по мере роста знаний о её геологии. Еще сохраняются представления о впадине как особом типе глубокой синеклизы или глубочайшем погружении древних платформ, о принадлежности впадины к особым перикратонным прогибам или к областям перикратонных опусканий. Появляются и компромиссные предложения – модели и гипотезы, авторы которых пытаются совместить традиционные и новые современные представления, по-существу оставаясь на прежних позициях.

В последние два десятилетия энергично развивались исследования группы геологов ГИН РАН в сотрудничестве со специалистами ОАО «Газпром», ООО «Астраханьгазпром», Астраханской геофизической экспедиции и ООО «Геотехсистем». В итоге этих работ состоялся пересмотр представлений о глубинном строении земной коры Прикаспийской впадины и её обрамлении и была разработана новая геодинамическая модель её формирования [10–12], в результате появилось новое решение проблемы. Составленная структурно-тектоническая карта консолидированной коры Каспийского региона [13, 14] полна новаций, отражающих представления авторов о формировании Прикаспийской впадины и её окружения. В её основе заложена концепция последовательного наращивания континентальной коры вдоль юго-восточной окраины Восточно-Европейского кратона.

Вдоль западной и северной её бортовых зон были впервые показаны рифейская кора пассивной континентальной окраины кратона Балтии, а далее к юго-востоку, на месте Прикаспийской впадины – фундамент внутриконтинентальных рифтов рифейского и допалеозойского (кадомского) этапов консолидации, занимающий территорию Восточно-Прикаспийского сегмента от Астраханского и Гурьевского свода до Темирского свода на северо-востоке этого сегмента. Основная идея ясна: на месте Прикаспийской впадины находится другая сложная структура, поэтапно формировавшаяся на окраине Восточно-Европейского континента в течение рифея и раннего палеозоя. Причем в центральной части Прикаспийской впадины исследователями намечена граница между Центральным-Прикаспийским сегментом (по старому – центральным или внутренним погружением впадины) и Восточно-Прикаспийским, которая названа «границей тыловых коровых деформаций коллизионного складчатого пояса кадомид». Красивая идея, к тому же в духе современной моды на кадомский орогенез, прослеживаемый другими исследователями на восточной окраине Восточно-Европейского континента. Авторы, видимо, считали, что этого вполне достаточно и не привели ни единого доказательства. Кстати, «рифты» и «троги» авторов не обнаруживаются



на приводимых ими сейсмогеологических разрезах. Это касается и структур кряжа Карпинского, строение и природа которого не соответствуют таковым у Днепровско-Донецкого авлакогена. И то, что кряж Карпинского находится на продолжении данного палеорифта, еще не означает их генетической однотипности.

На этой обновленной геотектонической основе авторами была проведена корреляция позднекембрийских и палеозойских событий на Восточно-Европейской платформе и в смежных палеоокеанических областях [15]. На опубликованной ими схеме отражены их представления о структуре восточной части платформы, пассивная окраина которой обрамлена поясом кадомид, протягивающихся в регион Прикаспийской впадины.

Природа сводовых поднятий на юге Прикаспийской впадины

Много работ было посвящено исследованию этих своеобразных структур. Они являются характерными структурными элементами в южной и юго-восточной частях впадины и выделяются как сводовые поднятия, на которых в среднем палеозое были сформированы рифогенные карбонатные массивы (карбонатные платформы). В их пределах были открыты крупнейшие нефтегазовые месторождения – Астраханское и Тенгизское. Изучением геологического строения Астраханского свода и приуроченного к нему одноименного месторождения занимались геологи и геофизики производственных и научных организаций: ПГО «Нижеволжскгеология», ОАО «Саратовнефтегеофизика» и Нижеволжского (НВ) НИИГиГ в Саратове, а также геологов и геофизиков ООО «Астраханьгазпром», «Астрахань НИПИгаз», Астраханской геофизической экспедиции. Отметим среди огромного количества работ публикации, принадлежащие Н. В. Мизинову, Н. И. Воронину, А. Я. Бродскому и др. [16], А. Я. Бродскому и его сотрудникам [17, 18] и Н. И. Воронину [19–21].

Новую эпоху в исследовании этих структур открыли работы группы сотрудников ГИН РАН под руководством Ю. А. Воложа. В результате переинтерпретации накопившегося за многие годы материала гравимагнитных съемок, КМПВ и МОГТ и материала ряда новых профилей ОГТ с применением современных программ и методик были составлены новые версии важнейших сейсмических профилей и представлены сеймостратиграфические разрезы структур Астраханского газоконденсатного месторождения [13]. На их основе были разработаны модели 3D структур и предложены рекомендации для выбора направления дальнейших поисков залежей углеводородов. По представлениям цитируемых авторов Астраханский карбонатный массив принадлежит единой системе барьерных рифов

девонско-башкирского времени, включающих ряд карбонатных массивов (платформ). В другом месте монографии [13] утверждается, что Астраханский карбонатный массив «представляет собой внутрибассейновую платформу, и тем самым многолетнюю дискуссию о природе массива можно считать завершённой» [13, с. 195]. Значит ли это, что авторы больше не считают его барьерным рифом и что меняется от того, что его следует относить к внутрибассейновым платформам? Стоит напомнить, что эти понятия были широко использованы саратовскими геологами-нефтяниками в 80–90-е годы прошлого столетия для интерпретации тектонической позиции и палеогеографической ситуации формирования нефтегазоносных структур крупнейших открытых к этому времени месторождений – Тенгизского и Астраханского (например, [22]).

До сих пор не получены ответы на вопросы: какова природа самих сводообразных поднятий, являющихся пьедесталами карбонатных платформ, чем вызвано их формирование, составляют ли они единое целое с консолидированной корой центральной части впадины или возникли независимо?

В какой-то степени об этом можно судить по результатам изучения разреза глубокой скважины Д-2 (Девонской), пробуренной в центральной части Астраханского свода. Некоторые из них были опубликованы в приложении к монографии авторов [13]. В составе обломочных пород среднего девона были описаны вулканомиктовые разности гравелитов и песчаников, сложенные угловатыми и полуокатанными обломками пузыристых витрофировых и гиплопилитовых базальтовых и андезитово-базальтовых микропорфиритов и афиритов размером 0,3–7,8 мм, их шлаков и стекол (шл.1519/1-ВНИИГАЗ, глубина 6560 м).

Автор настоящего обзора изучал в НВ НИИГиГ коллекцию петрографических шлифов из керна этой скважины, приходящихся на карбонатно-терригенную часть разреза нижнего и среднего девона, и пришел к несколько отличным выводам [9, с. 71–73] (рис. 1). В шлифе из того же прослоя интервала 6545.3–6563.6 м среди известняков и известковистых песчаников, отнесенных к эмскому ярусу нижнего девона, описан известково-вулканомиктовый гравелистый песчаник на карбонатном цементе базального типа. Вулканомиктовый материал состоит почти исключительно из окатанных «галечек» (до 0,3 см в наибольшем поперечнике) миндалекаменных базальтов и их шлаков (рис. 1, а). Несколько ниже, в интервале 6570–6577 м, в шлифе с глубины 6576,7 м представлен вулканомиктовый песчаник, содержащий более разнообразный материал окатанных обломков габбро-диабазов, габбро-диоритов и диоритов, а также шлаков базальтов с примесью их стекол, редких кремнистых пород и единичных апофельзитов

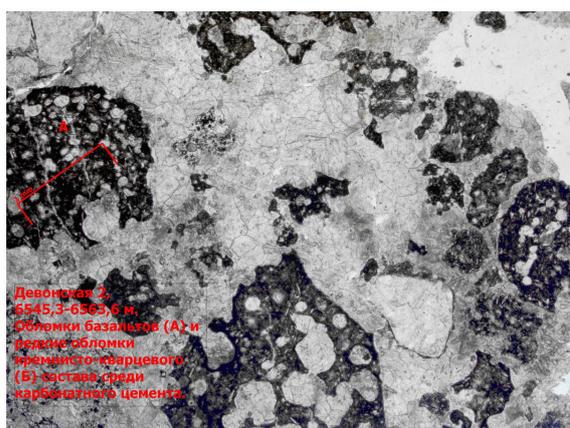


вых риолито-дацитов. Кроме того, в ряде шлифов песчаников из этого же интервала почти исключительно отмечаются обломки стекловатых корок и осколки базальтовых стекол, разложившихся и замещенных селадонитом, гидрослюдами и хлоритом. При этом нами не было обнаружено ни туфов кислого состава, ни туфов основного или среднего состава, ни осколков кристаллов санидина и кварца «вулканогенного генезиса», указанных авторами [13]. Повсеместно встречающиеся в интервале 6545–6573 м в терригенных отложениях верхнего эйфеля «обломки пирокластиков», упомянутые в работе [23, с. 195], являются на самом деле переотложенным вулканомиктовым материалом и находятся вместе с обломками известняков в составе калькаренистых песчаников.

Некоторыми исследователями эти вулканотерригенно-карбонатные породы квалифицировались как вулканические туфы и тефрогенные псаммиты, образованные в ходе вулканических извержений, и на этом основании ими выделялась раннедевонская вулканическая дуга, отделявшая от океана окраинный задуговой бассейн, ставший впоследствии Прикаспийской впадиной [13]. Нам представляется, что однородный петрографический состав пород, резко преобладающих в обломочном материале песчаников (от базальтов и их стекол до габброидов), а также степень обработки их зерен свидетельствует о недалеком источнике материала, откуда могли быть перенесены подводными течениями и переотложены отмеченные нами обломки магматических пород. При этом среди данных фрагментов не встречено первично-вулканогенных или переотложенных образований вулканических островных дуг (пеплов, тефры, туфов, туффитов), а также андезитов, дацитов, риолитов. Источником их сноса не могли быть какие-либо

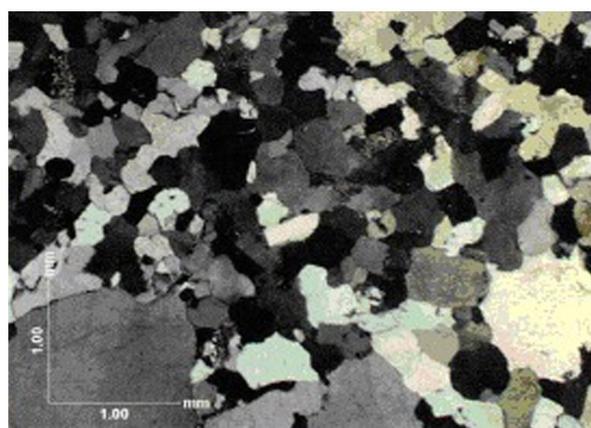
участки додевонской поверхности Воронежской антеклизы – ее юго-восточного склона, примыкающего с запада к бортовой зоне Прикаспийской впадины, с совершенно иным петрофондом докембрийских метаморфитов и плутонитов. Остается предположить, что источник сноса находился в пределах местных выступов формирующегося на дне обширного сводового поднятия, давшего начало структуре современного Астраханского свода. В этом случае присутствующие в песчаниках обломки вулканических и интрузивных пород основного состава могут представлять продукты размыва пород базальтового ложа окраинного моря, земная кора которого была образована в результате предшествующего спрединга. Скорее всего, какие-то выступы этих пород возникли при формировании блокового строения Астраханского свода и его воздымании уже в раннедевонскую эпоху.

Ниже 6760 м по разрезу скважины Д-2 керн отсутствует и материал пробуренных пород представлен лишь шламом, среди фрагментов которого петрографически удалось идентифицировать лишь два типа осадочных пород – тонкослоистые карбонатизированные алевроаргиллиты и мономинеральные кварцевые песчаники и кварцито-песчаники на поровом цементе, представленном каолинитом и слюдястым минералом (например, почти на забое – на глубине 7001 м, рис. 1, б). Если предположить, что эти два типа пород преобладают (в шламе отмечается еще присутствие редких доломитов и известняков), то следует отметить серьезные отличия от вышележащих карбонатно-терригенных отложений, датированных по остаткам фауны как эмский ярус нижнего девона – нижний эйфель среднего девона. Возможно, что на глубине ниже 6760 м начинается разрез более древних и формационно иных отложений, перекрывавших на ряде участков (таких,



Девонская д.
6545,3–6563,6 м
Обломки базальтов (А) и
осколки обломки
кварцито-кварцевого
(Б) состава, среди
карбонатного цемента.

а



б

Рис. 1. Фото шлифов скв. Д-2 (Астраханский свод): а – интервал 6545,3–6563,6 м, окатанные обломки миндалекаменных базальтов и базальтовых шлаков в гравелистом вулканомиктово-известняковом песчанике (калькарените) на карбонатном цементе [9, с. 72]. Николи ||; б – интервал 7001–7003 м, кварцевый разнозернистый кварцито-песчаник с регенерационной гранобластовой структурой. Отнесен к «фациям мелководного шельфа островной дуги с терригенной седиментацией» и датирован нижним девонem [13, с. 217]. Николи +



как участок расположения скв. Д-2) лавы базальтов океанического дна.

Таким образом, впервые появилась возможность судить о составе пород, присутствующих на уровне акустического фундамента внутри Прикаспийской впадины, по конкретному петрографическому материалу из отложений нижнедевонской части разреза подсолевого осадочного комплекса. Эта часть разреза могла быть сформирована в мелководных условиях при размыве океанической формации базальтов и габброидов, образовавшейся в начале раннего палеозоя. По данным сейсмостратиграфических построений, в интервале 7–9 км ее породы перекрыты, возможно, с несогласием и некоторым перерывом, мощной и однородной терригенной толщей, состоящей из аргиллитов, алевролитов и песчаников. Если подошва девонских отложений также сопровождается признаками размыва и несогласия с подстилающими породами, то геологический возраст этой мощной толщи может предварительно определяться как ордовик – силур. Как полагали сотрудники Астраханской геофизической экспедиции, скважиной Д-2 в интервале 6960–7003 м была вскрыта кровля так называемого «доплитного комплекса» условно ордовикско-силурийского возраста [20,21]. Толщи такого литологического состава, имеющие ордовикско-силурийский или ордовикский возраст, установлены в пределах западной и северной бортовых зон Прикаспийской впадины (Линёвско-Умётовской системы грабен и Оренбургского вала соответственно).

Наиболее вероятным представляется предположение о том, что Астраханский свод, как и другие поднятия Астраханско-Актюбинской зоны, возник не позднее раннего девона при деформациях субокеанической коры бассейна Прикаспийской впадины. Эти деформации сопровождались поднятиями дна и сменой обстановок осадконакопления на мелководные и прибрежные, что способствовало развитию биостромов рифовой формации. Последующая история таких поднятий отражена в строении рифогенных карбонатных платформ этой зоны, формировавшихся в условиях почти непрерывных общих опусканий дна впадины вплоть до середины позднего карбона, когда произошли новые поднятия и была размыва часть каменноугольных отложений. Остается узнать, что послужило причиной преддевонских деформаций и создания поднятий вдоль юго-восточной окраины Прикаспийской впадины. Возможно, это было результатом столкновения ее плиты с Северо-Устюртским микроконтинентом и подобными ему массивами в составе будущей Скифской плиты, что привело впоследствии на юге к созданию структур внешнего обрамления данной окраины в виде Манычской глубинной сутуры и ее внешнего фронта – кряжа Карпинского.

В свете сказанного особый интерес пред-

ставляют данные об особенностях гравитационного и магнитного полей в южном и юго-восточном обрамлении Прикаспийской впадины, в частности о существовании Северо-Каспийской гравитационной аномалии (общей амплитудой до 70 мГал). В границах изолинии +10 мГал она захватывает южную, в основном правобережную часть Астраханского свода и прилегающую северную часть кряжа Карпинского. Природа аномалии объясняется присутствием на глубине мощного «базитового вулканического комплекса раннего палеозоя». Их мощность под южными и юго-восточными краями Прикаспийской впадины достигает 6–7 км [24]. Не входя в обсуждение деталей, следует признать, что в любом случае эта крупнейшая в регионе гравимагнитная аномалия отражает глубинное строение земной коры в южной периферии Прикаспийской впадины и зоне ее сочленения со Скифской эпигерцинской плитой, и в первую очередь приподнятое положение высокоплотных масс базальтового слоя ее субокеанической коры. Новые данные о возможном присутствии ее образований в составе фундамента Астраханского свода позволяют так думать.

Проблемы глубинной геотермии и флюидодинамики Прикаспийской впадины

Обсуждение региональных проблем Прикаспийской впадины – богатейшей нефтегазоносной провинции – невозможно без учета геотермического и флюидного режима земной коры. Первые серьезные исследования здесь были проведены гидрогеологами [25,26]. Состояние изученности геотермических проблем остаётся на уровне прошлого столетия, несмотря на попытки создания 3D моделей для картины распределения температур в недрах впадины [27,28]. Основные причины этого – явный недостаток данных измерений температур в скважинах и их почти полное отсутствие в центральной части впадины, где до сих пор нет глубоких скважин (за исключением известной Аралсорской). Нам представляется, что неоднородность геотермического поля Прикаспийской впадины объясняется присутствием залежей каменной соли, образующих сложные конфигурации соляных куполов, штоков, валов и гряд и отличающихся аномально повышенной теплопроводностью от вмещающих терригенных и терригенно-карбонатных пород. Очевидно, что благодаря солянокупольной тектонике на определенном уровне проявляется своеобразный «мембранный» эффект перераспределения глубинного теплового потока, что определяет наблюдаемое геотермическое поле надсолевого комплекса впадины. Происходит интенсивное перераспределение теплового потока, концентрирующегося в соляных куполах, что ведет к дальнейшему повышению пластич-



ности вещества в них и возбуждению галокинеза. При этом важно учитывать, что пластичные толщи солей под действием анизотропных (нелитостатических) напряжений испытывают деформации без нарушения внутренней связности, а сами напряжения в них преобразуются в изотропно-литостатические. Часть энергии при этом затрачивается на механизм остаточной деформации. В пластичных солях флюидное давление должно быть равным общему давлению, следовательно, именно через поровый флюид в значительной степени передается как литостатическое (гидростатическое), так и одностороннее давление. Все это позволило нам предположить, что присутствие интенсивно деформированного соленосного комплекса с присутствующими ему формами тел (куполов, штоков, валов), возможно, обязано действию в недрах Прикаспийской впадины механизма конвекции (адвекции) как эффективного способа тепло-массопереноса в условиях глубоко погруженно-го осадочного бассейна [29].

Необходимо также указать на широкое развитие аномально высоких пластовых давлений (АВПД) в коллекторах подсолевого комплекса, начиная с глубин 3700–4000 м, особенно заметно растущих по мере перехода от бортовой зоны впадины к ее внутренним частям. Так, в саратовском секторе бортовой зоны в отложениях среднекаменноугольно-верхнедевонского возраста, вскрытых глубокой скважиной 1 Черная Падина в интервале 5856–5865 м, значение АВПД составляет 114 МПа при температурах 100–132°C. Еще большая величина пластовых давлений – до 130 МПа ($K_a=1,9$) при температуре более 178°C – зафиксирована на глубине 6500 м в скв. Д-2 на Астраханском своде.

Существование таких давлений, скорее всего, следует связывать с последними импульсами неотектонической активизации региона, так как даже при самых неблагоприятных условиях миграции флюидов время релаксации АВПД до нормальных гидростатических значений не может превышать нескольких миллионов лет [26]. Но это соображение важно и в другом плане: раз время релаксации АВПД геологически так мало, это означает, что флюид, его обеспечивающий, идет с глубины теперь и, скорее всего, не может быть связан с тем предполагаемым многими геологами-нефтяниками потоком углеводородов, который генерировался, по их представлениям, в породах «нефтематеринских» толщ в ходе погружения подсолевого комплекса палеозоя Прикаспийской впадины. Ведь невозможно себе представить, чтобы этот гипотетический поток УВ мог поддерживаться на таком уровне давлений столько времени (порядка 200–250 млн лет).

Данные о распределении современных пластовых давлений в залежах нефти, в частности и аномально высоких, в палеозойских карбонат-

ных массивах известных месторождений свидетельствуют о том, что эти месторождения тесно связаны с общей для Прикаспийской впадины флюидодинамической системой, которая и в настоящее время способствует процессам формирования залежей УВ. Этот важнейший вывод, сделанный на примере Тенгизского месторождения [30], оказывается верным и для таких крупных месторождений нефти, газоконденсата и природного газа, как Астраханское, Карачаганакское, Оренбургское и другие, расположенных во внутренней прибортовой зоне Прикаспийской впадины. Примечательно, что в породах нижнего продуктивного этажа Карачаганакского месторождения, на глубинах 5700–5800 м (франский ярус) и 6120–6256 м (средний девон) были определены значительные дебиты нефти, насыщенной газом, дебит которого в первом случае составил 18,5 тыс. м³/сут, а во втором, при пластовом давлении 94.5 МПа – 73,1 тыс. м³/сут. Многоэтажность в расположении залежей нефти и газоконденсата этого месторождения, как и многих других, вместе с данными о присутствии промышленных залежей нефти на глубинах, превышающих 6 км, растущая с глубиной насыщенность их газом – еще более укрепляют вывод о существовании здесь мощной глубинной флюидодинамической системы, функционирующей до настоящего времени. В пределах южного погружения Бузулукской депрессии и в примыкающей к депрессии бортовой зоне Прикаспийской впадины залежи ряда нефтегазоконденсатных месторождений (Зайкинское и др.) были установлены в отложениях верхнего-среднего девона на необычно больших для Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (НГП) глубинах – от 4,0 до 4,5 км, где господствуют высокие пластовые давления (до 55 МПа) и температуры (до 100°C). Жесткие термобарические условия способствуют появлению большого количества растворенного газа (500–1000 м³/т и более) и в связи с этим обуславливают чрезвычайно низкую, иногда сопоставимую с газом вязкость нефти, что сближает данные смеси с газоконденсатными системами. Эти особенности фазового состава и свойств залежей могут быть связаны с возможным присутствием на глубине во внутренней части прибортовой зоны Прикаспийской впадины подпитывающей их мощной флюидодинамической системы.

Наблюдаемые в подсолевом комплексе Прикаспийской впадины распределение температур, геотермический режим и поддерживающий его тепловой поток пространственно и во времени тесно связаны с распределением в ее недрах высоких и аномально высоких пластовых давлений (АВПД) в насыщающих эти недра флюидах. Выявленная к настоящему времени картина термобарических условий и распределения УВ-флюидов лучше всего может быть объяснена как следствие определенного состояния геодина-



мического режима впадины на новейшем и современном этапах ее развития. Эта картина обусловлена действием общей для Прикаспийской впадины флюидодинамической системы, которая способствует продвижению глубинных флюидов и потоков тепла в ее недра, развитию процессов миграции и формирования залежей УВ.

В этой связи необходимо указать на важнейшие работы геофизиков, в которых выявляется роль флюидов и флюидизированных сред на разных уровнях земной коры [31, 32]. Инверсии скоростей сейсмических волн, выявленные на разных глубинах в консолидированной земной коре и верхней мантии Прикаспийской впадины и описанные как волноводы – слои пониженных скоростей [2], вызваны присутствием на этих уровнях глубинного флюида, а не сменой состава вещества. Особый интерес представляет обнаружение таких горизонтов в глубоких впадинах, например в нижней части разреза мощного осадочного чехла и в основании нижней (консолидированной) коры Прикаспийской впадины [33] (рис. 2).

В свете данных сейсмической томографии [34] причины появления волноводов становятся понятными: они вызваны аномальным состоянием вещества нижней коры и верхней мантии, энергетически возбужденных, насыщенных флюидом и на разном уровне разуплотненных. Всё это вместе с данными о неотектонических движениях в регионе Прикаспийской впадины свидетельствует о нарушенном изостатическом равновесии ее недр, что необходимо учитывать при создании новых альтернативных моделей.

Таким образом, необходим поиск индикаторов аномального флюидизированного состояния

вещества земной коры на разных глубинах, что может быть осуществлено с помощью методов современной интерпретации материалов сейсморазведки, глубинной электроразведки и геотермии. На их основе возможна разработка моделей состояния земной коры в пределах участков с установленной нефтегазоносностью, что позволит выявить надежные критерии для прогноза и поиска новых объектов. В качестве ведущих индикаторов при поиске глубинных объектов должны быть избраны геофизические: результаты многоволновых сейсмических наблюдений, выявляющие аномальные участки земной коры, распределение значений коэффициента Пуассона и отношения Vp/Vs , модификации гравитационного поля, аномалий МТЗ и др. Важен также учет данных геотермии и данных глубинной геохимии и гидрогеохимии (Hg, U, He и др., В/Вг и др.) с тем, чтобы выявить соответствующие индикаторы для поиска и прогноза скоплений УВ на значительных глубинах.

Ориентироваться придется на участки земной коры с аномальными свойствами и особенностями сейсмической записи, свидетельствующими о присутствии глубинного флюида. Представляется, что важнейшим при прогнозировании станет учет геодинамических факторов формирования и существования залежей УВ, в первую очередь давлений, соответствующих глубинам их локализации. Известно, что любое скопление флюидов, находящихся под сверхгидростатическим давлением, может относительно долго сохраняться только при наличии удерживающего их экрана («покрышки») и лишь до того момента, когда давление в породах коллектора не превысит некоторой критической ве-

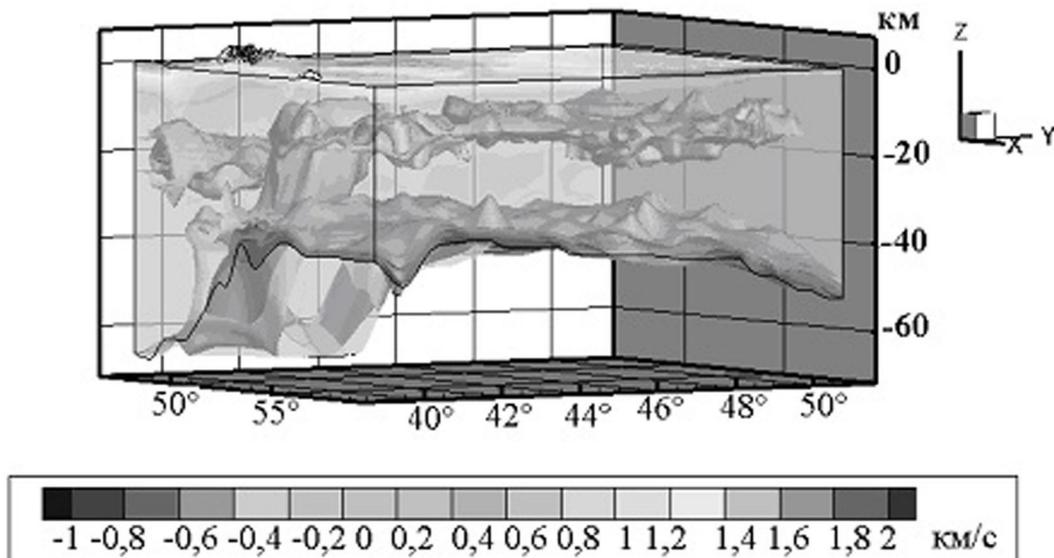


Рис. 2. 3D модель земной коры Каспийского региона (в северной части, начиная с широты 46° с.ш., – Прикаспийской впадины), с горизонтами разуплотнения (волноводы) на уровне –15–20 км (подоснова осадочного слоя) и –38–40 км (раздел Мохо). Тоновая визуализация изоповерхностей в значениях (–250; –400; –550) м/с [33]



личины и вызовет гидроразрыв пласта с последующей миграцией флюидов в область меньших давлений. Величина этих критических давлений растёт с глубиной, однако на определенном ее уровне она становится существенно меньше общего литостатического давления. Ниже данного уровня постоянно существуют условия для естественного гидроразрыва и разуплотнения пластов, о чем свидетельствуют геофизические данные о присутствии в средней и нижней коре так называемых «холодных» волноводов или зон инверсий скоростей сейсмических волн [32, 33]. Таким образом, можно сказать, что наилучшие гидродинамические условия сохранения залежей УВ существуют в верхней коре, и в первую очередь в осадочном чехле, до глубин порядка 7–10 км. Возможно, это предельная глубина существования (и формирования) скоплений УВ в известных нам типах залежей. На этом уровне (первом от поверхности волновода) мы можем ожидать формирование зон разгрузки глубинного флюида и образование газонефтяных залежей в жильных и пластовых коллекторах трещинно-кавернозного типа. Как отмечалось, в скв. Д-2 Астраханского месторождения ниже глубины 6700 м нормальный керн отсутствует и пройденный интервал до забоя (300 м!) представлен шламом, состоящим из мельчайших осколков тонкоплитчатых алевроаргиллитов и кварцевых песчаников. Возможно, что это не случайно и связано с действием механизма флюидоразрыва пласта, насыщенного УВ-флюидом.

Вероятно, ниже этой границы известные нам типы газонефтяных залежей не могут создаваться из-за сверхвысоких гидростатических давлений флюидов, превышающих местное литостатическое давление, и на глубинах более 10 км мы столкнемся с принципиально иной ситуацией, когда при отсутствии локализованных залежей мы обнаружим огромные ресурсы рассеянного надкритического флюида, в котором УВ находится при сверхвысоких давлениях в растворенном виде.

Заключение

Решение рассмотренных в нашем обзоре проблем позволило бы сдвинуть с мёртвой точки многие конкретные практически важные вопросы прогнозов и поиска структур, благоприятных для миграции и разгрузки глубинных флюидов, содержащих УВ, а также локализации их залежей в определенных типах коллекторов. Нам представляется, что в пределах Прикаспийской впадины можно выбрать подходящие полигоны для постановки на объектах, подготовленных практикой в ходе разведки и эксплуатации, комплекса специальных исследований и опытно-экспериментальных работ по изучению геодинамического режима глубоких недр современными методами геофизики и геохимии. Необходимы новые науч-

но-технические проекты для постановки специальных исследований глубоких уровней земной коры, по крайней мере до глубин 15–20 км. При этом роль методов глубинной геофизики и всесторонней интерпретации их результатов неизмеримо возрастёт. Важно также использовать эксперимент в области физики высоких давлений и повышенных температур в присутствии флюидных фаз для характеристики состояния систем, возможных в интервале 10–20 км, а также для выявления зональности, возникающей в ходе гидротермально-метасоматических процессов при взаимодействии минеральных фаз и флюидов. И самое главное: необходимо создать программу научных исследований и технических работ для обеспечения последовательно развиваемых и осуществляемых проектов изучения и освоения намеченных глубинных объектов.

Библиографический список

1. Bogdanova S. V., Pashkevich I. K. I. K., Gorbatshev R. R., Orlyuk M. I. Riphean rifting and major Palaeoproterozoic crustal boundaries in the basement of the East European Craton : Geology and geophysics // Tectonophysics. 1996. Vol. 268. P. 1–21.
2. Егоркин А. В., Разинкова М. И. Прикаспийская впадина // Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР / редакторы С. М. Зверев, И. П. Косминская. Москва : Наука, 1980. С. 90–96.
3. Милановский Е. Е., Хаин В. Е. Глубинная структура земной коры и ее эволюция в ходе геологической истории // Строение и развитие земной коры : материалы II Всесоюзного совещания по проблемам тектоники. Москва : Наука, 1964. С. 97–119.
4. Журавлев В. С., Перфильев А. С., Херасков Н. П. Пространственные и временные соотношения между уралидами и доуралидами на восточном ограничении Русской платформы // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отделение Геологии. 1965. Т. 40, вып. 5. С. 106–130.
5. Гарецкий Р. Г., Голов А. А., Журавлев В. С., Неволлин Н. В., Янишин А. Л. Глубочайшая впадина древних платформ – Прикаспийская // Доклады советских геологов на XXIV сессии Международного геологического конгресса. Тектоника. Москва : Наука, 1972. С. 102–112.
6. Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И., Наманов Л. М. Тектоника литосферных плит территории СССР. Москва : Недра, 1990. 662 с.
7. Кузин Н. Я. Новая глобальная тектоника, учение о нефти и геофизические признаки былых океанических структур на современных континентах // Геодинамика и полезные ископаемые. Москва : ВИНТИ, 1976. С. 25–28.
8. Кузин А. М. Модель глубинного строения Прикаспийской впадины по данным региональных сейсмических наблюдений МОГТ – ГСЗ и месторождения углеводородов // Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. Вып. 3(22). <http://oilgasjournal.ru> (дата обращения: 25.08.2021).
9. Рихтер Я. А. Внутриплитная региональная геодинамика : Прикаспийская впадина и её обрамление.



Саратов : Издательство Саратовского университета, 2012. 116 с.

10. Волож Ю. А., Антипов М. П., Гарагаи И. А., Лобковский Л. И. Геодинамическая модель Прикаспийской впадины // Тектоника и геодинамика, общие и региональные аспекты : материалы совещания МТК. Москва : GEOS, 1998. Т. 2. С. 119.

11. Волож Ю. А., Дмитриевский А. Н., Леонов Ю. Г., Милетенко Н. В., Ровнин Л. И. О стратегии очередного этапа нефтепоисковых работ в Прикаспийской нефтегазоносной провинции // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 4. С. 341–362.

12. Леонов Ю. Г., Волож Ю. А., Антипов М. П., Быкадоров В. А., Хераскова Т. Н. Консолидированная кора Каспийского региона : опыт районирования // Труды / ГИН РАН. Москва : Наука, 2010. Вып. 593. 63 с.

13. Астраханский карбонатный массив. Строение и нефтегазоносность / редакторы Ю. А. Волож, В. С. Парасына. Москва : Научный мир, 2008. 221 с.

14. Волож Ю. А., Гогоненков Г. Н., Делия С. В., Корчагин О. А., Комаров А. Ю., Рыбальченко В. В., Сибилев М. А., Стенин В. П., Пыхалов В. В., Титаренко И. А., Токман А. К. Углеводородный потенциал глубоких горизонтов Астраханской зоны нефтегазоаккумуляции : проблемы и решения // Геотектоника. 2019. № 3. С. 3–23.

15. Хераскова Т. Н., Волож Ю. А., Антипов М. П., Быкадоров В. А., Сапожников Р. Б. Корреляция позднекембрийских и палеозойских событий на Восточно-Европейской платформе и в смежных палеоокеанических областях // Геотектоника. 2015. № 1. С. 31–59.

16. Мизинов Н. В., Воронин Н. И., Бродский А. Я. Астраханский свод – новый высокоперспективный нефтегазоносный район Нижнего Поволжья // Геология и разведка газовых и газоконденсатных месторождений. 1971. № 9. С. 3–8.

17. Бродский А. Я., Воронин Н. И., Мутаев И. А. Строение левонско-нижнекаменноугольных отложений и основные направления нефтегазопоисковых работ на Астраханском своде // Геология нефти и газа. 1994. № 8. С. 8–11.

18. Бродский А. Я., Григоров В. А., Ильин А. Ф., Круглов Ю. И. Некоторые особенности глубинного строения Астраханского свода // Газовая промышленность. Серия Геология, бурение. 2000. № 1. С. 3–9.

19. Воронин Н. И. Особенности развития Астраханского свода // Геология нефти и газа. 1980. № 5. С. 33–38.

20. Воронин Н. И. Палеотектонические критерии прогноза и поиска залежей нефти и газа (на примере Прикаспийской впадины и прилегающих районов Скифско-Туранской платформы). Москва : ЗАО Геоинформмарк, 1999. 288 с.

21. Воронин Н. И. Особенности геологического строения и нефтегазоносности юго-западной части Прикаспийской впадины. Астрахань : АГТУ, 2004. 164 с.

22. Федоров Д. Л. Подсолевые нефтегазовые месторождения Прикаспийской впадины. Проблемы их разведки и освоения // Недра Поволжья и Прикаспия. 1991. Вып. 1. С. 6–13.

23. Казаева С. В., Важнова С. А., Ярошенко А. В. Типы разрезов девонских и нижнекаменноугольных отложений

Астраханского свода и их сейсмостратиграфическая корреляция // Геология, ресурсы, перспективы освоения нефтегазовых недр Прикаспийской впадины и Каспийского региона / редактор В. П. Гаврилов. Москва : МАКС Пресс, 2008. С. 192–201.

24. Сегалович В. И., Волож Ю. А., Антипов М. П., Васильев О. А. Природа Северо-Каспийской гравитационной аномалии // Геотектоника. 2007. № 3. С. 30–45.

25. Зингер А. С., Котровский В. В. Гидрогеотермические условия водонапорных систем западной части Прикаспийской впадины. Саратов : Издательство Саратовского университета, 1979. 160 с.

26. Котровский В. В. Геотермические условия образования и размещения залежей углеводородов в осадочном чехле Прикаспийской мегавпадины. Саратов : Издательство Саратовского университета, 1986. 110 с.

27. Хуторской М. Д., Антипов М. П., Волож Ю. А., Поляк Б. Г. Температурное поле и трехмерная геотермическая модель Прикаспийской впадины // Геотектоника. 2004. № 1. С. 63–72.

28. Хуторской М. Д., Тевелева Е. А., Цыбуля Л. А., Урбан Г. И. Тепловой поток в солянокупольных бассейнах Евразии – сравнительный анализ // Геотектоника. 2010. № 4. С. 3–19.

29. Рихтер Я. А. Геотермический режим, тепловой и флюидный потоки Прикаспийской впадины // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2011. Т. 11, вып. 2. С. 72–83.

30. Постнова Е. В., Меркулов О. И. Анализ моделей строения флюидодинамической системы месторождения Тенгиз // Недра Поволжья и Прикаспия. 1998. Вып. 16. С. 18–24.

31. Павленкова Н. И. Структура земной коры Каспийского региона по данным глубинного сейсмического зондирования // Геология, ресурсы, перспективы освоения нефтегазовых недр Прикаспийской впадины и Каспийского региона : материалы международной научно-технической конференции «Прикаспий-2007». Москва : МАКС Пресс, 2008. С. 258–265.

32. Павленкова Н. И. Особенности миграции глубинных флюидов в консолидированной земной коре // Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. Вып. 4(23). С. 42.

33. Разуплотненность земной коры Каспийского региона по данным региональных сейсмических наблюдений / Ж. Ш. Жантаев, А. Ж. Бибосинов, Б. А. Исаков [и др.] // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России : материалы 4-й научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский, 2013. <http://emsd.ru/conf2013lib/mlib3.html> (дата обращения: 25.08.2021).

34. Цветкова Т. А., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. Сейсмотомография Восточно-Европейской платформы // Изменяющаяся геологическая среда : пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов. Казань : Издательство КФУ, 2007. С. 191–195.

Поступила в редакцию 24.04.2021, после рецензирования 17.05.2021, принята к публикации 20.09.2021
Received 24.04.2021, revised 17.05.2021, accepted 20.09.2021