



УДК [551.14:553.98](470-925.22)

АНОМАЛЬНАЯ ЛИТОСФЕРА И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ НЕДР ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ

Я. А. Рихтер

Рихтер Яков Андреевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры общей геологии и полезных ископаемых, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, tyr2760@yahoo.com

Литосфера Прикаспийской впадины отличается аномальным соотношением сверхмощного осадочного чехла и маломощной земной коры субокеанического типа, а также аномальным строением разуплотненной верхней мантии. Классические модели изостатического равновесия для Прикаспийской впадины недостаточны и применимы лишь в первом приближении. Причины этого понятны в свете данных сейсмической томографии: это вызвано аномальным состоянием вещества нижней коры и верхней мантии, энергетически возбужденных, насыщенных флюидом и на различном уровне разуплотненных. Установленные закономерности термобарических условий и распределения УВ-флюидов обусловлены геодинамическим режимом впадины на неотектоническом и современном этапах ее развития, в обстановке, созданной действием общей флюидодинамической системы, контролирующей процессы разгрузки флюидных потоков.

Ключевые слова: геодинамика, сейсмическая томография, холодные волноводы и зоны флюидонасыщения, тепловой и флюидный потоки, зоны очаговой проницаемости, УВ-коллекторы нетрадиционных типов.

The Anomalous Lithosphere and the Oil and Gas Potential of the Precaspian Depression

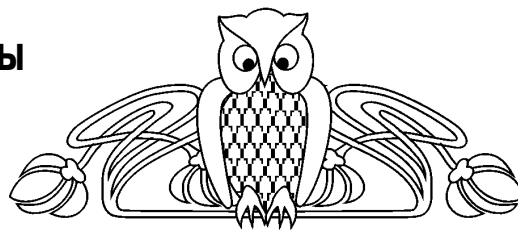
Ya. A. Richter

Yakov A. Richter, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, tyr2760@yahoo.com

The lithosphere of the Precaspian depression is characterized by abnormal ratios of the super-thick sedimentary cover and the thin-layered suboceanic crust, as well as anomalous structure of the decompacted upper mantle. The classic models of isostatic equilibrium for the Precaspian depression are insufficient and applicable only to a first approximation. The reasons for this are clear in light of the seismic tomography data: it results from an anomalous state of the lower crust and upper mantle matter, energetically excited, fluid-saturated and decompacted at different levels. The established patterns of thermobaric conditions and HC-fluid distribution are related to the depression's geodynamic regime at the neotectonic and contemporary stages of its development, in an environment impacted by the common dynamic fluid system, that controls the unloading processes of the fluid flows.

Key words: geodynamics, seismic tomography, cold waveguides and fluid saturation zones, thermal and fluid flows, focal permeability zones, HC-collectors of unconventional types.

DOI: 10.18500/1819-7663-2017-17-4-266-275



Уникальная геотектоническая позиция и глубинная структура Прикаспийской впадины – одной из важнейших нефтегазоносных провинций России – привлекают внимание многих современных исследователей. Неясность ее строения, происхождения и геологического развития породила массу точек зрения и дискуссий. Тем актуальнее становится задача создания обоснованной геодинамической модели глубинного строения и эволюции Прикаспийской впадины, что позволит открыть новые возможности для прогнозирования и обнаружения крупных скоплений УВ в ее недрах.

Глубинная структура литосферы. До недавнего времени о строении и геодинамическом режиме литосферы Прикаспийской впадины невозможно было сказать ничего определенного. С появлением первых данных по сейсмотомографии положение изменилось. Результаты динамического анализа профиля ГСЗ р. Манаш – Карачаганак до глубины 250 км позволили предположить существование под впадиной энергетически возбужденной разуплотненной верхней мантии [1]. При этом «сохранение активных свойств глубинных горизонтов до настоящего времени подтверждает продолжающуюся изостатическую и тектоническую неуравновешенности глубинного разреза, что коррелируется с отрицательными неотектоническими движениями в области Прикаспийской депрессии» [1, с. 9]. Принципиально важные особенности глубинной структуры литосферы и астеносферы были показаны при построении 3D P -скоростной модели мантии Восточно-Европейской платформы вдоль меридиана 51° в.д. [2]. Верхняя часть литосферной мантии под Прикаспийской впадиной (до глубины 250 км) отличается относительно низкими скоростями проходящих волн по сравнению с окружающими ее Скифско-Туранской плитой и собственно Восточно-Европейской платформой (рис. 1). Ниже, до глубины 280 км, заметен постепенный рост сейсмических скоростей, относительно меньший по сравнению с референтной 1-D моделью (значения разности $V_{p_{ист}} - V_{p_{реф}} = -0.05$), что характеризует [2] переход к слою Голицына–Гейко. Этот переходный «слой» является общим и для смежных с Прикаспийской впадиной мегаструктур на той же глубине. Далее до глубины 400–410 км наблюдается «слой», где обнаруживаются относительно пониженные скорости. Отсюда, с глубин 410–440 км, прослеживается зона пониженных скоростей, образующая широкое куполообразное поднятие,

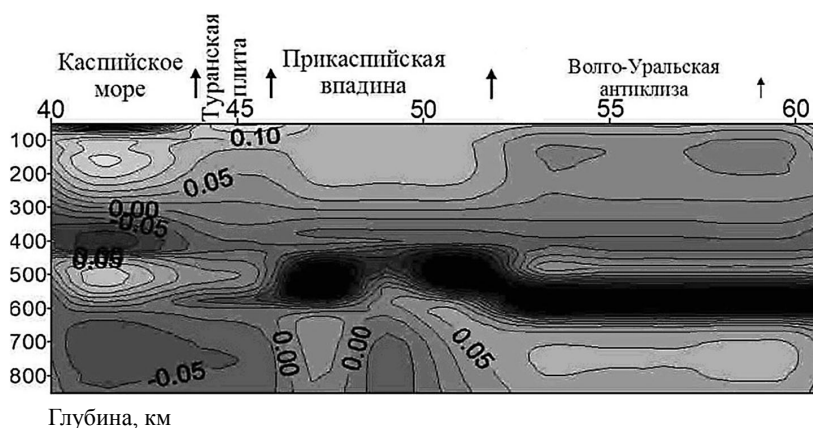


Рис. 1. Фрагмент вертикального сечения сейсмотомографической модели мантии под Восточно-Европейской платформой вдоль меридиана 51° в. д. [2]

находящееся прямо под Прикаспийской впадиной и соответствующая ей по поперечным размерам. Еще ниже в строении этого мантийного купола, на глубине от 500–600 до 850 км, прослеживаются аномальные наклонные и субвертикальные скоростные структуры, продолжающие общую структуру купола на глубину уже в средней мантии.

Рядом, в литосфере Волго-Уральской антиклиззы отмечается иное, в целом спокойное поле субгоризонтально расслоенной мантии, где чередуются «слои» с пониженными и повышенными сейсмическими скоростями. Это картина, характерная для мантии, подстилающей земную кору Восточно-Европейской платформы. Мантия, находящаяся под регионом Каспийского моря и Скифско-Туранской плиты, отличается иным строением. Ниже уровня 400–410 км здесь располагается высокоскоростной «слой» (440–550 км), переходящий в умеренно-низкоскоростной, с общим субгоризонтальным залеганием границ между ними и субграниц внутри «слоев». В верхней части литосферной мантии также обнаруживается отличие: от уровня в 40–50 км до глубины 200–250 км распространен относительно высокоскоростной «слой» (более скоростной, чем даже в пределах Прикаспийской впадины в этом же интервале глубин).

Геодинамический режим платформенных областей определяется напряженно-деформированным состоянием их земной коры, уровнем теплового и флюидного потока, распределением плотности вещества, реологическими и кинематическими свойствами, величиной и ориентировкой напряжений, вызванных действием приложенных сил. Факторный анализ, проведенный в целях геодинамического районирования территории Восточно-Европейской платформы [3], выявил несколько важнейших параметров: амплитуду новейших движений, интенсивность кривизны новейших движений, глубину поверхности Мохо, разность главных напряжений в коре, мощность осадков, гравитационное влияние верхней мантии, температуру на глубине 5 км и тепловой

поток. Была установлена ведущая роль четырех факторов, на которые пришлось до 76% всей изменчивости значений параметров. В состав первого фактора (с наибольшим весом – 35%) вошли тепловой поток и температура на глубине 5 км, что характерно для районов термически аномальной и энергетически возбужденной земной коры. Это противоречит общепринятым представлениям о Прикаспийской впадине как части древней Восточно-Европейской платформы, в осадочном чехле которой термические аномалии должны быть давно диссипированы. Во второй фактор (19%) входит глубина границы Мохо, которая противопоставляется мощности осадочного чехла и разности главных напряжений в земной коре. В целом данный фактор можно оценивать как показатель влияния на геодинамический режим глубинных неоднородностей земной коры и верхней мантии. Этот же фактор отражает напряженное состояние земной коры, которое контролируется внутри литосферной плиты напряжениями, инициируемыми на ее границах. Третий фактор (12%) включает амплитуды новейших вертикальных движений и гравитационное влияние верхней мантии. Он демонстрирует связь новейших тектонических движений (как и более древних) с глубинными плотностными неоднородностями. И наконец, четвертый фактор (10%) целиком представляет один параметр – интенсивность кривизны новейших движений. Его можно связывать с действием горизонтальных напряжений.

Некоторые результаты этого исследования были позднее проанализированы нами [4]. Было отмечено, что геодинамический режим земной коры Прикаспийской впадины, представленной в равной мере двумя тесно сближенными в таксономическом пространстве классами, заметно отличается, в первую очередь, относительно высоким разогревом коры, умеренными и высокими поверхностными напряжениями, обусловленными в значительной мере интенсивными погружениями, при том же слабом влиянии глубинных неоднородностей. Однако последнее обусловлено ско-



рее иными причинами – относительно глубоким расположением подошвы мощного осадочного чехла (до 15–20 км) и в то же время относительно высоким положением границы Мохо (32–36 км), что отчетливо проявляется в полях аномалий Буге и локальных результирующих гравитационных аномалий. Важно также отметить, что оба класса земной коры Прикаспийской впадины характеризуются такими значениями факторов, которые являются финальными центрами кластеров или располагаются вблизи них. Так, эти значения для одного из классов оказываются максимальными по первому, второму и третьему факторам, что резко отличает его от всех классов земной коры Восточно-Европейской платформы.

Земная кора, выделенная вдоль западной и северной границ Прикаспийской впадины, характеризует ее бортовую зону. Представленному здесь классу земной коры свойственны умеренные разогрев, влияние глубинных неоднородностей, новейшие движения и слабые поверхностные напряжения. Очевидно, что установленные различия касаются не только геолого-геофизической основы проанализированного материала, они позволяют говорить о специфике геодинамического режима земной коры в пределах Прикаспийской впадины и смежных с ней мегаструктур Восточно-Европейской платформы, в частности Волго-Уральской антеклизы.

Выделенные в пределах Прикаспийской впадины классы земной коры характеризуются относительно высоким разогревом и повышенным тепловым потоком (первый фактор), отсутствием связи между наибольшей мощностью осадочного слоя и относительно высоким положением поверхности Мохо, что может свидетельствовать о

нарушении изостатического равновесия (второй фактор), а также умеренными и высокими поверхностными напряжениями (третий фактор). Важно, что эти классы земной коры характеризуются такими максимальными значениями первых трех факторов, которые совершенно не свойственны классам земной коры, выделенным на остальной части Восточно-Европейской платформы.

Во многом это объясняется иным строением земной коры Прикаспийской впадины, принадлежащей к субокеаническому типу. Автор пришел к этому заключению на основании геодинамического анализа структур обрамления впадины и интерпретации геофизических материалов, что заставило его сделать еретический вывод о том, что она является рифтогенной структурой, имеющей внизу базальтовый слой, и не может принадлежать этой древней платформе (работы 1997–2003 гг.). Замечательно, что к таким заключениям чаще приходят геофизики [5] (рис. 2). Недавно с этих позиций была опубликована статья о природе известных Аралсорского и Хобдинского гравитационных максимумов внутри впадины [6].

Все отмеченное позволяет выделять регион Прикаспийской впадины как особенный не только в пределах земной коры, но и гораздо глубже, по крайней мере, до уровня 800–850 км уже в средней мантии. Скорее всего, такая картина вызвана особым состоянием вещества мантии, что обусловлено его разуплотнением благодаря подъему глубинного мантийного плюма.

Состояние недр и проблемы нефтегазоносности. Новые данные о состоянии недр перспективных в нефтегазоносном отношении областей позволяют предполагать существование в них единых флюидо-гидродинамических систем,

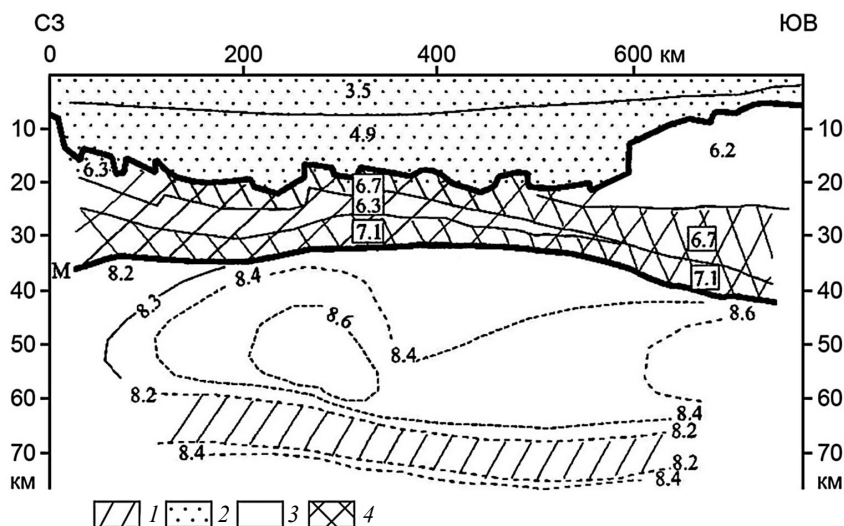


Рис. 2. Обобщенный сейсмический разрез земной коры и верхов мантии Прикаспийской впадины вдоль профиля Элиста – Бузулук [5]: 1 – зона инверсии скоростей; 2 – осадочный слой (скорость сейсмических волн от 3.5 до 4.9 км/с); 3 – «гранитно-гнейсовый» слой или верхняя и средняя кора по [7] (скорость от 6.0 до 6.6 км/с); 4 – «гранулит-базитовый» слой, или нижняя кора (скорость от 6.7 до 7.1 км/с)



глубинные уровни которых находятся в верхней мантии. Сейсмические исследования МОВ-ОГТ на геотраверсе Татсейс-2003, пересекающем Волго-Уральскую антеклизу, показали существование глубинных связей нефтеносности осадочных комплексов палеозоя со строением кристаллического фундамента и в целом земной коры и подстилающей верхней мантии [8]. Было установлено, что главной особенностью волнового поля на временах от 5 до 20 с является присутствие четко выраженных осей синфазности, наклонно восстающих в юго-восточном направлении. Их наклон плавно уменьшается с глубиной таким образом, что нижние части площадок отражателей примыкают к нижней субгоризонтально расслоенной коре. Однако отдельные пакеты осей синфазности прослеживаются ниже раздела Мохо в верхнюю мантию (на временах 15–20 с). Существенно при этом, что данные наклонные отражатели в основном обнаружены в юго-восточной части геотраверса – в пределах Северо- и Южно-Татарских сводов, где, особенно в последнем, находятся нефтяные залежи, в том числе такой гигант, как Ромашкинское месторождение. Они интерпретируются как зоны нарушенных, сильно трещиноватых и разуплотненных пород или тектонические зоны разломов. Наблюдаемая сеймотектоническая активность, характерная для нефтяных районов Татарстана, свидетельствует о том, что эти структуры проявляют себя в настоящее время. На южном окончании геотраверса, после Серноводско-Абдулинского авлакогена, уже в пределах Оренбургского свода в палеозойских отложениях и докембрийском кристаллическом фундаменте наблюдается система субширотных тектонических нарушений глубинного заложения, обращенных по падению в противоположную сторону – на юг. На границе с Соль-Илецким погруженным «выступом» к одному из таких разломов

приурочен так называемый Оренбургский вал с крупнейшим газоконденсатным месторождением. Еще южнее их сменяют тектонические нарушения, обрамляющие бортовую зону Прикаспийской впадины. Они разделяют эту зону на субширотные блоки, ступенеобразно спускающиеся внутрь впадины (рис. 3).

Их рифтогенная природа выяснена при анализе структур и геодинамики формирования бортовой зоны, заложенной в конце рифея – начале палеозоя как пассивной континентальной окраины [4]. Во внешней части бортовой зоны, куда входят южный склон Жигулевско-Пугачевского свода, Бузулукская депрессия и Соль-Илецкий выступ, располагаются многочисленные нефтяные и газоконденсатные месторождения, как правило, приуроченные к субширотным надразломным флексурам в палеозое. Во внутренней части этой зоны также известны месторождения нефтяных углеводородов, в том числе и очень крупные (Карачаганак), локализованные в карбонатных толщах рифогенных массивов над уступами погруженных ступенеобразных блоков нижнепалеозойского фундамента.

Земная кора на всем протяжении геотраверса Татсейс-2003 и южнее его юго-восточного окончания – вплоть до Прикаспийской впадины – характеризуется тектонически расслоенным строением и присутствием многочисленных лирических разломов – в пределах Волго-Уральской антеклизы – глубинных поддвигов и надвигов, а в зоне сопряжения её с Прикаспийской впадиной – глубинных сбросов.

Представления о тектонически расслоенной земной коре [9] находят подтверждение в современных данных геофизических исследований, выявивших существование в средней коре и в основании земной коры так называемых «холодных» волноводов или зон инверсий скоростей

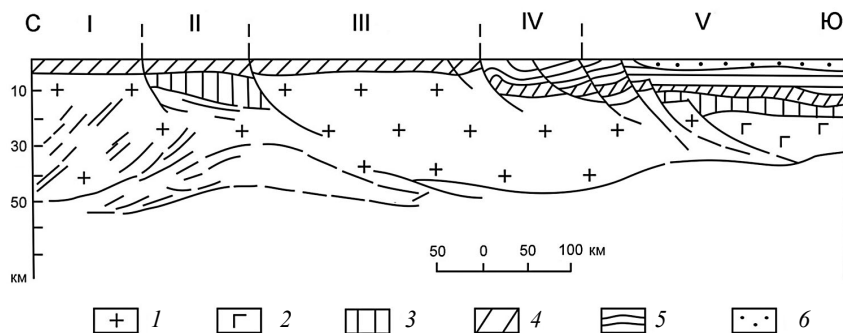


Рис. 3. Глубинный геологический разрез земной коры зоны сочленения Волго-Уральской антеклизы и Прикаспийской впадины: I – Южно-Татарский свод; II – Серноводско-Абдулинский авлакоген; III – Оренбургский свод; IV – Соль-Илецкий выступ (бортовая зона Прикаспийской впадины); V – Прикаспийская впадин. Условные обозначения: 1 – континентальная кора; 2 – базальтовая субокеаническая кора условно рифейского возраста; 3 – осадочный комплекс рифейско-вендского возраста; 4 – осадочный комплекс нижнего палеозоя; 5 – осадочные комплексы среднего и верхнего палеозоя; 6 – осадочные комплексы мезозоя – кайнозоя



сейсмических волн [7, 10]. Природа таких волноводов наилучшим образом объясняется динамической моделью земной коры, предложенной в работах [11, 12]. Согласно этой модели по мере повышения температуры и давления в верхней коре (до глубин 10–15 км) должны сначала создаваться субвертикальные, а затем наклонные зоны трещин. Ниже 15 км, на глубинах, зависящих от состава пород и температуры, происходит механическое разрушение горных пород благодаря образованию микротрещиноватости, что приводит к общему разуплотнению вещества земной коры. Подобная дилатансионная модель объясняет и другие геофизические данные о волноводах, в частности их повышенную электропроводимость, так как разуплотненная среда на этих глубинах в средней коре из-за своей высокой проницаемости должна быть обогащена флюидами и реологически ослаблена.

Особый интерес представляет обнаружение таких горизонтов в глубоких впадинах, например в нижней части разреза мощного осадочного чехла Прикаспийской впадины. Однако их выделение геофизическими методами оказывается крайне затруднительным на фоне и без того слоистой картины разреза, где отчетливо проявляется зависимость скорости сейсмических волн от плотности сменяющих друг друга с глубиной различных по составу горных пород. Тем не менее настоящие волноводы, связанные с изменением механических свойств вещества и с увеличением их пористости, где создаются преимущественно низкочастотные колебания и распространяются низкоскоростные сейсмические волны, здесь должны присутствовать, и их обнаружение является делом недалекого будущего.

С позиций глубинной геодинамики необходим пересмотр традиционных представлений о природе раздела Мохо как границы первого рода. Современные геофизические данные свидетельствуют о том, что этот раздел представлен сложным и тонким чередованием зон («слоев») с чрезвычайно неоднородным распределением скоростей в широком интервале от 6.0 до 8.5 км/с. Сам разброс этих значений является признаком анизотропии свойств среды, где величина скорости вдоль «слоя» больше, чем поперек него, что свидетельствует, в первую очередь, о его высокой проводимости. В последние годы в результате работ методом отраженных волн ОГТ и детального ГСЗ установлено, что граница Мохо не прослеживается как единый отражающий горизонт. Это вызвано тем, что здесь происходит смена степени расслоенности среды или в целом масштаба внутренней неоднородности субстрата [7]. Поэтому граница Мохо на разрезах ОГТ чаще всего выглядит как переход от расслоенной нижней коры к прозрачной мантии.

В Прикаспийской впадине на уровне раздела Мохо и выше (в нижней коре) существует реологически ослабленная и динамически вы-

раженная зона, в пределах которой, возможно, осуществляется вертикальное всплывание и латеральное перемещение разуплотненного вещества земной коры и его «перемешивание» с субстратом верхней мантии. На основе известных теоретических представлений и экспериментальных модельных исследований был сделан вывод, что на уровне раздела Мохо осуществляется общая изостатическая уравновешенность земной коры, поэтому присутствие здесь реологически ослабленного слоя объяснялось латеральными перетоками при пластическом течении вещества и субгоризонтальными перемещениями жестких блоков. Благодаря этому могло восстанавливаться изостатическое равновесие, нарушенное в процессе тектонических движений. Однако такая модель, допускающая существование волноводов на уровне раздела Мохо (лишь для восстановления равновесия), представляется для региона Прикаспийской впадины недостаточной, так как она не объясняет причин их появления. В свете новых данных сейсмической томографии данные причины становятся понятными: они вызваны аномальным состоянием вещества нижней коры и верхней мантии, энергетически возбужденных, насыщенных флюидом и на различном уровне разуплотненных. Всё это вместе с данными о неотектонических движениях в регионе Прикаспийской впадины свидетельствует о нарушении изостатическом равновесии ее недр, что необходимо учитывать при создании новых альтернативных моделей.

В качестве примера приведем данные о глубинном строении и состоянии недр уникального Астраханского газоконденсатного месторождения, расположенного на юго-западе Прикаспийской впадины [13]. На временных разрезах ОГТ, в интервале регистрации волн, характеризующих строение консолидированной коры, выделяют две среды: верхнюю – однородную прозрачную и нижнюю – неоднородную, с интенсивным развитием неравномерно распределенных энергетически выраженных осей синфазности отражений, обычно представляемых в виде наклонных не протяженных отражающих площадок (рис. 4). Эта среда обычно прослеживается в нижней части консолидированной коры и выделена под названием «отражательного комплекса» или зоны «рефлексивити». Физически она может быть истолкована как область пластического течения разогретого и насыщенного флюидом вещества земной коры. Созданные деформации могут характеризовать тектонический стиль флюидизированной и разуплотненной «расслоенной» земной коры.

Изучение глубинной структуры этого месторождения [14] выявило в интервале 7–30 км зону пониженных сейсмических скоростей в виде столбообразного канала, приобретающего на глубине 30 км вытянутую в СЗ направлении «стенообразную» форму (рис. 5). Важно, что эта зона пони-

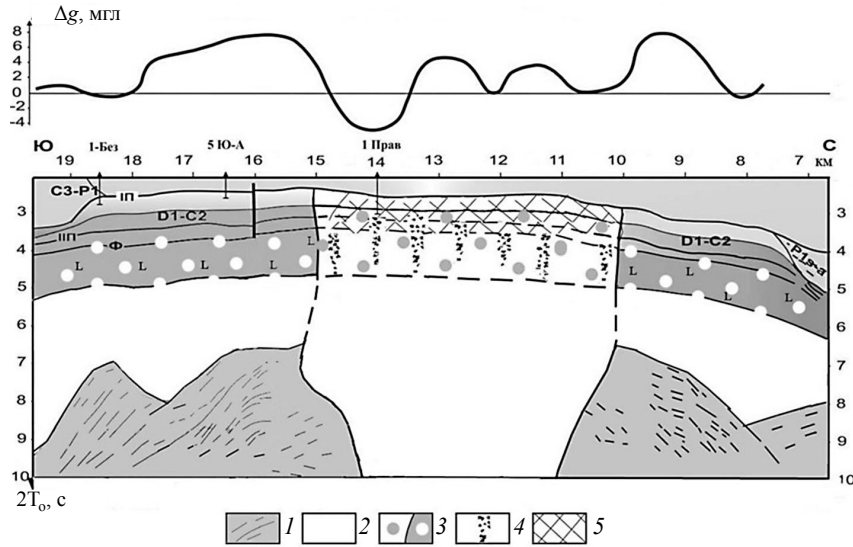


Рис. 4. Геодинамическая модель аномальной земной коры Астраханского свода (разрез по линии сейсмопрофиля 090399): 1 – зона «рефлективности» в нижней части консолидированной коры; 2 – зона сейсмически прозрачной среды в верхней части консолидированной коры; 3 – зона волновода в верхней части консолидированной коры; 4 – зоны аномальной сейсмической записи (участки разгрузки потоков УВ-флюида); 5 – зона локальных хрупких дислокаций и повышенной трещиноватости (проницаемости и гидротермальной проработки) с участками скоплений УВ

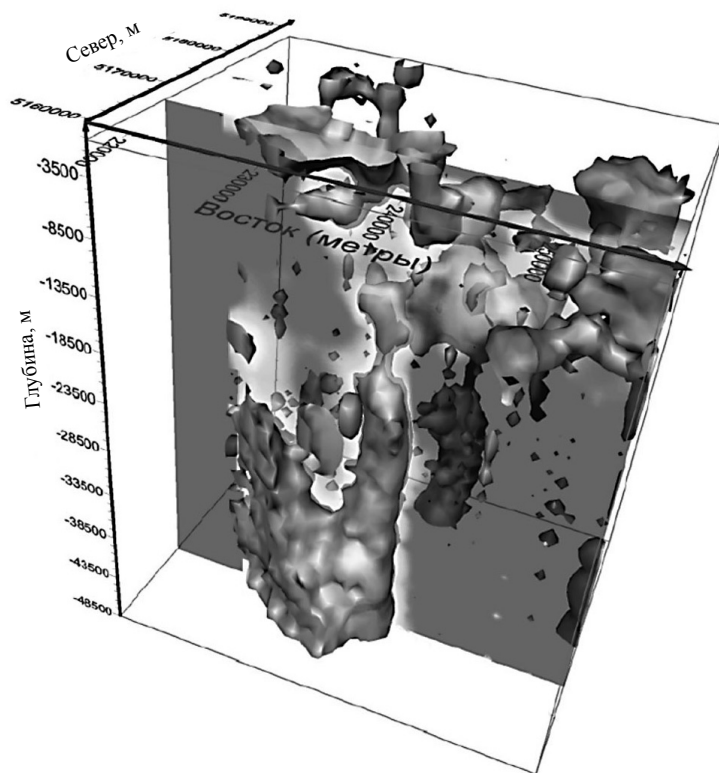


Рис. 5. Глубинные субвертикальные зоны пониженных скоростей в земной коре Астраханского свода [14]. Тоновой поверхностью оконоурены зоны пониженных сейсмических скоростей. На глубинах до 5 км эти зоны сопровождаются повышенной пористостью и газонасыщенностью пород-коллекторов Астраханского газоконденсатного месторождения. Глубинная низкоскоростная зона соединяется с продуктивной залежью вертикальным каналом. На больших глубинах (30 км и более) зона имеет линейный стенообразный характер и может быть обусловлена высокой проницаемостью и флюидопроводимостью



женных скоростей прослежена далее до глубины 45 км, т. е. до уровня мантии, а ее ориентировка, скорее всего, определяется глубинным разломом. Предполагается также, что существование этой зоны под Астраханским газоконденсатным месторождением обусловлено пониженной плотностью среды и ее высокой флюидопродоводимостью.

В верхах верхней коры, а также на границе так называемого фундамента и мощного осадочного чехла выделяются волноводы, а внутри подсолевого комплекса палеозоя – зоны локальной («очаговой») трещиноватости и проницаемости, что также характерно для карбонатного массива, вмещающего уникальное по размерам Астраханское газоконденсатное месторождение. Отмеченные особенности разреза могут быть интерпретированы как результаты проявления флюидизации и разуплотнения вещества земной коры под воздействием глубинного флюида.

Весьма любопытны некоторые геофизические и буровые данные, свидетельствующие о состоянии недр саратовско-волгоградского сектора Прикаспийской впадины в ближайшей к бортовому уступу прибортовой ее части. На сейсмическом глубинно-динамическом профиле по линии скважин Ахтубинская 1, Упрямовская 1, Ерусланская 5, приведенном в недавней публикации [15], отчетливо просматривается на глубинах 5.5–7.5 км под породами нижней перми протяженная зона менее интенсивных отражений, частично ослабленных («размытых») по сравнению с картиной, характерной для разреза подстилающих толщ.

Как считают авторы [15], характерным диагностическим признаком сейсмического выражения этой толщи являются пониженная энергия сейсмической записи и отсутствие в целом промежуточных регулярных сильных отражений. Однако они не объясняют, почему этот признак был выбран в качестве диагностического, т. е. характерного для определенной стратиграфически и литологически выраженной толщи среднего карбона. С нашей точки зрения, в равной мере возможно предположение о насыщенности пород на этом уровне глубинным флюидом, находящимся под высоким давлением. Последнее подтверждается данными о развитии в породах на данных глубинах зоны АВПД. Так, в скважине Упрямовской 1 в интервале 6040–6100 м замеренное пластовое давление составило 115 МПа, что почти в 2 раза превышает нормальное для этой глубины литостатическое давление. Характерно, что породы на указанных глубинах в той же скважине обнаруживают аномально повышенную пористость, например, керн алевролитов обладает пористостью в пределах 9–11% при проницаемости $0,033\text{--}0,141 \times 10^{-3}$ мкм². Близкие результаты были получены позднее и для скв. Черная Падина. Такие отклонения в распределении пористости пород на больших глубинах, как правило, характерны для зон развития АВПД, где «не соблюдается» закономерность уменьшения пористости с

глубиной, установленная для пород коллекторов до глубин порядка 4–5 км. Известны также данные о присутствии на этих глубинах газа, состоящего в основном из метана. Таким образом, здесь имеются основания для предположения о присутствии УВ-флюида в глубоких недрах Прикаспийской впадины. Эта зона насыщения флюидом в какой-то степени экранируется плотными карбонатно-терригенными породами нижней перми. Однако их роль не существенна, так как и породы «экрана», и флюидизированные породы пронизаны многочисленными тектоническими нарушениями, фиксируемыми по смещениям коррелируемых площадок отражений на сейсмических разрезах. Интенсивная дислоцированность вышележащего солевого и надсолевого комплексов, тектоническая раскрытость их недр скорее способствовали разгрузке флюида и его рассеянию в породах этих комплексов, чем его концентрации, что также не оставляет особых надежд на открытие заметных скоплений УВ. Тем не менее сам поток флюида должен быть достаточно мощным, чтобы поддерживать давление в насыщенных им породах и создавать отмеченную нами сейсмическую среду (такую задачу интересно решить, зная размеры флюидизированного слоя, его среднюю плотность, динамическую вязкость и проницаемость, а также глубину и параметры АВПД).

В пределах внешней прибортовой зоны Прикаспийской впадины – в саратовском и волгоградском Правобережье, а также ближнем Заволжье – находятся многочисленные месторождения и проявления нефти, газа и газоконденсата, пространственная сопряженность которых с глубинными разломами в фундаменте столь очевидна, что не требует дополнительных доказательств. Нам представляется, что эти месторождения были сформированы благодаря разгрузке УВ-флюида, мигрировавшего по разломам из ближайших глубоко погруженных участков недр Прикаспийской впадины. Пути его проникновения могли быть обрамляющие ее листрические сбросы.

Совсем не простую задачу представляет собой решение проблемы поисков УВ в пределах глубоко погруженного (и глубокоководного) подсолевого палеозойского комплекса в центральной части Прикаспийской впадины. Мы еще недостаточно ясно представляем себе состояние ее недр, определяемое многими глубинными факторами. Некоторые важные аспекты данной проблемы были недавно нами обсуждены [16]. Мы пришли к выводу, что наблюдаемое в подселевом комплексе распределение пластовых температур и давлений, геотермический режим и поддерживающий его тепловой поток пространственно и во времени тесно связаны с насыщающим недра флюидом. Тепловой и флюидный потоки имеют общие глубинное происхождение и пути движения. Установленные закономерности термобарических условий и распределение УВ-флюидов обусловлены геодинамическим режимом впадины на новейшем этапе



ее развития, в обстановке, созданной действием общей для Прикаспийской впадины флюидодинамической системы.

Оценивая перспективы глубоких недр Прикаспийской впадины, стоит заметить, что мы до сих пор не знаем, какие это могут быть поисковые объекты. Но ясно, что на глубинах 7–10 км, технически уже достижимых, это могут быть объекты принципиально другого типа. Обычные коллекторы здесь уже теряют свое значение, так как с глубиной закономерно ухудшаются их свойства, в частности сокращается открытая пористость осадочных образований. Поэтому ниже указанных глубин в зоне весьма затрудненного водообмена классические коллекторы отсутствуют и нет условий для латеральной миграции УВ от зон их генерации, как это прокламируется сторонниками органической «теории» происхождения нефти. Отсюда следует, что для больших глубин существующие модели бассейновой миграции УВ при прогнозе на нефть и газ оказываются несостоятельными. На смену представлениям о классических коллекторах приходят новые, например концепция о нетрадиционных коллекторах жильного («гидротермального») типа. Их пустотное пространство создается в процессе выщелачивания при воздействии глубинного высокотемпературного флюида. Оно представлено сложной системой каверн и микротрещин, обычно минерализованных. В самих породах данных коллекторов развивается закономерная субвертикальная минералого-геохимическая зональность, отражающая термодинамические условия восходящей циркуляции глубинного флюида. Таким образом, тип гидротермальных изменений пород коллектора (аргиллизация, низкотемпературная пропилитизация и т.п.) и характер их зональности могут быть использованы как поисковые признаки.

Формирование на больших глубинах так называемых «инверсионных» вод гидрокарбонатно-натриевого типа с пониженной минерализацией, нередко отмечаемых в нефтегазоносных бассейнах (в том числе в бортовой зоне Прикаспийской впадины), может быть связано с поступлением глубинного флюида, обогащенного углекислотой, в пластовые воды нижней части осадочного чехла. Без этого притока «инверсионные» воды не могут сохранять свой гидрохимический тип, переходя в хлор-кальциевый тип, характерный для замкнутых систем глубинных рассолов. Присутствие «инверсионных» вод может означать, что ниже располагаются зоны коллекторов, образовавшихся в результате гидротермального выщелачивания (такие факты известны для ряда месторождений на Сургутском и Краснотеннинском сводах Западносибирского нефтегазоносного бассейна).

Таким образом, 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

V_p/V_s , модификации гравияномального поля, аномалий МТЗ и др.). Важен также учет данных геотермии, а также данных глубинной геохимии и гидрогеохимии (Hg, U, He 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 величины и вызовет гидроразрыв пласта с последующей миграцией флюидов в область меньших давлений. Величина этих критических давлений растет 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 [7]. 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 5–7 км. Возможно, это предельная глубина существования (и формирования) скоплений УВ в известных нам типах залежей. Ниже данной границы они не могут создаваться из-за сверхвысоких гидростатических давлений флюидов, превышающих местное литостатическое давление. Вероятно, на глубинах более 7–10 км мы столкнемся с принципиально иной ситуацией, когда при отсутствии локализованных залежей мы обнаружим огромные ресурсы рассеянного надкритического флюида, в котором УВ находятся при сверхвысоких давлениях в растворенном виде. Возможно, картина станет более определенной в ходе осуществления в центральной части Прикаспийской впадины проектов бурения сверхглубоких скважин. Будем надеяться, что такие грандиозные предприятия откроют дорогу к потенциальным ресурсам глубинных недр этого региона.

Основные выводы

1. Наблюдаемое в подсолевом комплексе Прикаспийской впадины распределение температур, геотермический режим и поддерживающий его тепловой поток тесно связаны с распределением



высоких и аномально высоких пластовых давлений в насыщающей недра флюидной фазе известных месторождений. Тепловой и флюидный потоки во впадине являются проявлением общего процесса тепломассопереноса, осуществляемого глубинным мантийным флюидом. Поликомпонентная система данного флюида при переходе из астеносферной мантии меняется, отражая термодинамические условия литосферы и приобретая известный нам фазовый и компонентный состав. При этом во флюиде сохраняются компоненты-индикаторы его глубинного происхождения (гелий, ртуть и др.). Выявленная к настоящему времени картина термобарических условий и распределения УВ-флюидов является следствием определенного состояния геодинамического режима недр Прикаспийской впадины на новейшем и современном этапах ее развития. Эта картина обусловлена действием общей для впадины флюидодинамической системы, контролирующей процессы разгрузки флюидных потоков и формирования скоплений УВ.

2. Необходимы новые подходы к решению проблемы прогнозирования нефтегазоносности недр. Очевидно, что эти подходы должны учитывать современное состояние знаний в области фундаментальных наук, в частности для механики напряженных сред, насыщенных флюидом, и флюидодинамики земной коры. Поиск индикаторов аномального флюидизированного состояния вещества земной коры на различных глубинах может быть осуществлен с помощью методов современной интерпретации материалов сейсморазведки, глубинной электроразведки и геотермии, а также глубинной геохимии. Разработка моделей состояния земной коры в пределах участков с установленной нефтегазоносностью позволит выявить надежные критерии для прогноза и поиска новых объектов.

3. В основу современного прогнозирования на нефть и газ должны быть положены новые принципы – геодинамические, учитывающие специфику процессов образования и эволюции земной коры и литосферы региона в целом, а также возникающих в ходе их формирования основных дислокаций. Другим не менее важным аспектом прогнозирования является учет геодинамических факторов миграции УВ в составе флюида, факторов его разгрузки и формирования залежей УВ, в первую очередь давлений, соответствующих глубинам их локализации. Наилучшие гидродинамические условия сохранения залежей УВ существуют в верхней коре, и прежде всего в осадочном чехле, до глубин порядка 5–7 км. Возможно, это предельная глубина существования (и формирования) скоплений УВ в известных нам типах залежей. Ниже указанного уровня в пределах Прикаспийской впадины их присутствие не подтверждено, так как попыток бурения пока не предпринималось.

Существование глубинного подтока углеводородов представляется вполне допустимым

многим современным исследователям. Необходимы новые генетические критерии нефтегазоносности, характеризующие природу и глубинность источника УВ-флюида, а также геодинамические критерии условий флюидизации земной коры и подъема флюидных потоков к зонам разгрузки. Для их разработки потребуются соответствующие индикаторы термодинамических условий насыщения флюидом среды на различном уровне глубин в литосфере, а также эмпирические закономерности и показатели состояния среды, полученные различными геофизическими и геохимическими методами. Предлагаемый геодинамический подход откроет принципиально новый путь к решению старой проблемы нефтяной геологии – созданию надежной научной основы прогноза и поиска месторождений УВ вообще и в пределах таких сложных и недостаточно изученных регионов как Прикаспийская впадина в частности.

Библиографический список

1. Костюченко С. Л., Солодилов Л. Н., Федоров Д. Л. Глубинная структура Прикаспия и ее влияние на перспективы нефтегазоносности // Недр Поволжья и Прикаспия. 1998. Вып. 16. С. 6–10.
2. 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, 2007. С. 191–195.
3. Николаев В. А. Методика геодинамического районирования на основе факторного и кластерного анализа : дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 2005. 420 с.
4. Рихтер Я. А. Внутриплитная региональная геодинамика : Прикаспийская впадина и её обрамление. Саратов, 2012. 116 с.
5. Егоркин А. В., Разинкова М. И. Прикаспийская впадина // Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР / отв. ред. С. М. Зверев, И. П. Косминская. М., 1980. С. 90–96.
6. Светлакова А. Н. О природе Хобдинской и Аралсорской гравитационных аномалий в Прикаспийской мегасинеклизе // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий. Уфа, 2012. С. 228–231.
7. 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 междунар. науч.-техн. конф. «Прикаспий–2007». М., 2008. С. 258–265.
8. Трофимов В. А. Глубинные сейсмические исследования МОВ-ОГТ на геотраверсе ТАТСЕЙС-2003, пересекающем Волго-Уральскую нефтегазоносную провинцию // Геотектоника. 2006. № 4. С. 3–20.
9. Леонов Ю. Г. Платформенная тектоника в свете представлений о тектонической расчлененности земной коры // Геотектоника. 1991. № 6. С. 3–20.
10. Павленкова Н. И. Флюидный режим верхних оболочек



Земли (по геофизическим данным) // Генезис углеводородных флюидов и месторождений. М., 2006. С. 47–55.

11. Каракин А. В., Камбарова А. Н. Динамическая модель коровых волноводов // Геоинформатика. 1997. № 1. С. 10–17.

12. Николаевский В. Н., Шаров В. И. Разломы и реологическая расслоенность земной коры // Физика Земли. 1985. № 1. С. 16–28.

13. Пыхалов В. В., Рихтер Я. А. Аномальная земная кора Астраханского свода // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2014. Т. 14, вып. 1. С. 71–81.

14. Горбатилов А. В. Наблюдение глубинных разломных структур земной коры, ассоциирующихся с месторождениями УВ // 2-е Кудрявцевские чтения : Всерос. конф. по

глубинному генезису нефти и газа. (Москва 21–23 окт. 2013 г.). URL: http://conference.deepoil.ru/images/stories/docs/2kr_theses/Gorbatikov_Theses.pdf (дата обращения: 15.06.2017).

15. Никитин Ю. И., Яцкевич С. В. Среднекаменноугольные глубоководные конусы выноса – перспективное направление геологоразведочных работ на нефть и газ в пределах северо-западной части Прикаспийской впадины // Недр Поволжья и Прикаспия. 2013. Вып. 76. С. 3–7.

16. Рихтер Я. А. Геотермический режим, тепловой и флюидный потоки Прикаспийской впадины // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2011. Т. 11, вып. 2. С. 72–83.

Образец для цитирования:

Рихтер Я. А. Аномальная литосфера и перспективы нефтегазоносности недр Прикаспийской впадины // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2017. Т. 17, вып. 4. С. 266–275. DOI: 10.18500/1819-7663-2017-17-4-266-275.

Cite this article as:

Richter Ya. A. The Anomalous Lithosphere and the Oil and Gas Potential of the Precaspian Depression. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 2017, vol. 17, iss. 4, pp. 266–275 (in Russian). DOI: 10.18500/1819-7663-2017-17-4-266-275.
