

УДК 551.736

СТРАТИГРАФИЯ И СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЯ ПЕРМСКОЙ ЭВАПОРИТОВОЙ ФОРМАЦИИ СОЛЕРОДНОЙ ПРОВИНЦИИ КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

© 2023 г. М. П. Антипов¹, В. А. Быкадоров¹, Ю. А. Волож¹, С. В. Наугольных¹, И. С. Патина¹,
Ю. А. Писаренко², И. С. Постникова¹ *

¹Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

²АО “Нижне-Волжский научно-исследовательский институт геологии и геофизики”, Саратов, Россия

*e-mail: postnikova_irina1994@mail.ru

Поступила в редакцию 14.01.2022 г.

После доработки 06.09.2022 г.

Принята к публикации 12.09.2022 г.

Рассмотрены вопросы строения и стратиграфии эвапоритовой формации солеродной провинции Каспийского региона. На основе сейсмостратиграфического подхода выполнена корреляция геологических разрезов бортовых частей солеродной провинции с галокинетически деформированными разрезами ее центральных областей. В результате исследований предложена новая местная стратиграфическая схема пермской эвапоритовой формации Центральной субпровинции и изложены принципы ее конструирования с использованием результатов сейсмостратиграфического анализа ассельско-татарского сейсмогеологического подэтажа и принятых серийных легенд трех групп листов геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 – Скифской (Южно-Европейской), Центрально-Европейской и Уральской (по номенклатуре Межведомственного стратиграфического комитета России). Полученные результаты существенно уточняют известные схемы нефтегеологического районирования Прикаспийской нефтегазоносной провинции и способствуют освоению ресурсов глубоких (подсолевых) горизонтов ее осадочного чехла.

Ключевые слова: Прикаспийская впадина, корреляция, пермская система, кунгурский ярус, филипповский горизонт, иренский горизонт

DOI: 10.31857/S0869592X23020011, EDN: NUJWMT

ПРОБЛЕМЫ СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЭВАПОРИТОВОЙ ФОРМАЦИИ

Пермская эвапоритовая формация солеродной провинции Каспийского региона залегает под мощным покровом надсолевых отложений и является очень сложным объектом для стратиграфического расчленения ее разреза, в том числе и для создания местных стратиграфических схем. Обнажения формации немногочисленны и приурочены к сводам отдельных соляных антиклиналей, осложняющих западный склон Уральского складчатого сооружения и северо-восточный склон Донбасс-Туаркырской складчатой системы, а также к сводам нескольких соляных куполов Прикаспийской низменности.

Прикаспийский бассейн в раннепермское время располагался в зоне аридного климата Пангеи (рис. 1). Эвапоритовая формация по периферии солеродной провинции залегает с размывом на различных горизонтах нижней перми и карбона,

представленных морскими терригенными и карбонатными породами. В глубоких частях Прикаспийской впадины перерыв в осадконакоплении перед формированием соленосной формации, по нашим представлениям, а также по данным многочисленных скважин в центральной части впадины, отсутствует.

Особенностью пермской эвапоритовой формации является то, что ее внутренняя структура резко дисгармонична по отношению к структуре подстилающих (подсолевых) и перекрывающих (надсолевых) отложений. Именно благодаря этому свойству формация уверенно выделяется на глубинных и временных сейсмических разрезах, полученных методом общей глубинной точки (МОГТ), что позволяет надежно документировать границы ее распространения под покровом мощных толщ надсолевых отложений.

Выделение геологических формаций – это важный элемент составления тектонических карт и выяснения тектонического развития региона

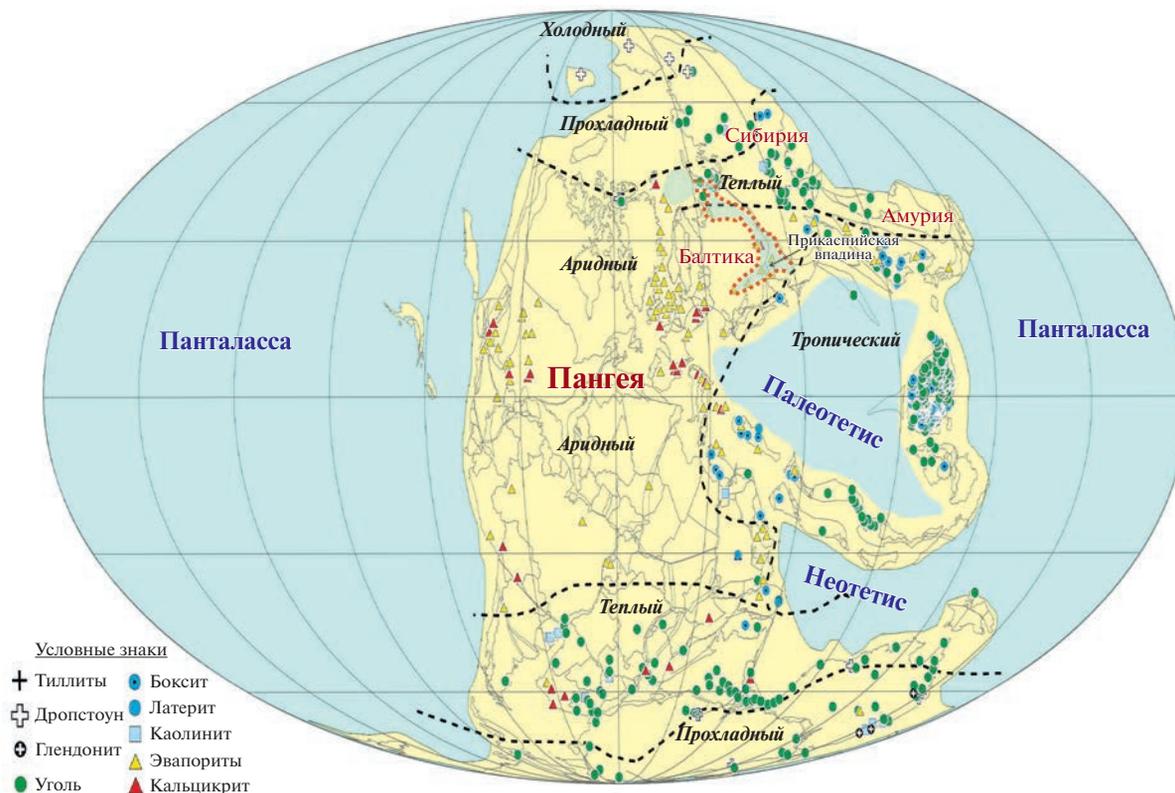


Рис. 1. Палеотектоническая карта пермского этапа развития Пангеи (Torsvik, Cocks, 2017), совмещенная с литолого-климатической картой (Boucot et al., 2013) (по Трапезников, 2019, с дополнениями).

(Кириков и др., 2017). Кроме того, формационный анализ должен широко использоваться как метод стратиграфии, позволяющий говорить о палеогеографических и тектонических обстановках, стадиях развития и типах структур, соответствующих выделяемым формациям (Леонов, 1974). Мы рассматриваем эвапоритовую формацию Каспийского региона с позиций Н.С. Шатского, который геологическими формациями называл “такие естественные комплексы, сообщества или ассоциации горных пород, отдельные части которых (породы, слои, свиты) тесно парагенетически связаны друг с другом как в возрастном (последовательность, переслаивание), так и в пространственном отношении (фациальные смены)” (Шатский, 1965). Н.С. Шатский придавал большое значение формационному анализу и изучению формации в качестве регионального геостратиграфического подразделения с помощью геологических методов.

Чтобы дальнейшее изложение было понятно русским и зарубежным исследователям, остановимся на трактовке некоторых используемых ниже терминов. В англоязычной и русскоязычной литературе существуют серьезные различия в трактовке терминов “соляная тектоника” (salt tectonic) и “галокинез” (halokines) (Косыгин, 1950; Volozh et al.,

2003; Антипов, Волож, 2012; Беленицкая, 2020; Писаренко и др., 2021a, 2021b). В англоязычной литературе это синонимы. Ими обозначают процессы формирования дисгармоничных структур, обусловленные нагнетанием соли в их своды. При этом причины, вызывающие движения соли, не рассматриваются. Дисгармоничные структуры могут формироваться под воздействием любых сил вне зависимости от их природы. Это могут быть как внешние силы сжатия или растяжения, прилагаемые ко всему разрезу осадочного чехла, так и силы, возникающие внутри самой соленосной толщи в процессе ее погружения в зону высоких температур и литостатического давления. В русскоязычной литературе эти два термина обозначают принципиально различные понятия. Понятие соляная тектоника более широкое, чем галокинез. Под галокинезом понимается особая форма соляной тектоники, которая проявляет себя, “когда течение соли вызывается исключительно силой тяжести, т.е. уменьшением потенциальной гравитационной энергии при отсутствии значительных латеральных тектонических сил” (Косыгин, 1950). В отличие от соляной тектоники, которая проявляется во всех солеродных бассейнах, галокинез отмечен только в тех из них, где седиментацион-

ная мощность галогенной толщи превышает 1.5 км. Установлено, что в большинстве солеродных бассейнов время накопления галогенной формации достаточно короткое (Писаренко и др., 2011). А поскольку накопление солей происходит в мелководных водоемах, процессы галокинеза могут проявляться только в бассейнах, погружающихся со скоростью не ниже 15 см в 1000 лет. Подобные условия наблюдаются в плоскодонных мелководных бассейнах пассивных окраин континентов и внутриконтинентальных рифтов, а также в эпиконтинентальных бассейнах котловинного типа. К последнему типу относится Прикаспийский бассейн кунгурского времени.

Следует обратить внимание на то, что дисгармоничные структуры, развитые в пределах солеродных бассейнов, где течение солей вызвано исключительно соляной тектоникой, отличаются от структур, сформированных в солеродных бассейнах, где проявлялись процессы галокинеза. Для первых действует правило, что всякое структурное осложнение в кровле соленосной толщи сопровождается осложнением в ее подошве. Для вторых осложнения в кровле соли не всегда находят отображение в ее подошве. Кроме того, в надсолевом комплексе галокинетических структур выделяются исключительно дизъюнктивные структуры растяжения (сбросы) (Антипов, Волож, 2012). Вид соляной тектоники, при котором деформации обусловлены тектоническими силами, мы будем называть тектоногалокинезом. Галокинез проявился исключительно на территории Прикаспийской впадины, а тектоногалокинез – в пределах смежных с ней тектонически активных в это время структур.

В настоящее время при геологическом картировании для стратиграфического расчленения пермского разреза солеродной провинции Каспийского региона используются несколько вариантов стратиграфических шкал: (1) Международная шкала 2004 г. и ее вариант 2019 г.; (2) Общая стратиграфическая шкала России и региональная шкала южной и юго-восточной частей Восточно-Европейской платформы, утвержденные Межведомственным стратиграфическим комитетом РФ (МСК РФ) в 2019 г.; (3) местные стратиграфические шкалы, составленные для легенд трех групп листов геологических карт масштаба 1 : 1000000: Скифской (Южно-Европейской), Центрально-Европейской и Уральской структурно-формационных зон (в понимании МСК России при геологическом геокартографировании) (Гогин и др., 2015), в которых размещены различные части пермской солеродной провинции.

В последние два десятилетия отделы и подотделы пермской системы общей и региональных

стратиграфических схем России претерпели существенные изменения. МСК России, следуя решениям Международной комиссии по стратиграфии, принял трехчленное деление пермской системы. При этом уфимский ярус был отнесен к нижнему (приуральскому) отделу перми, татарский ярус переведен в разряд отдела, а казанский и уржумский ярусы объединены в средний (биармийский) отдел. Однако такому решению остро противостоят существующие принципы приоритета и общая фактология (Лозовский и др., 2009). В татарском отделе оставлены четыре стратиграфических горизонта, объединенные попарно в северодвинский и вятский ярусы. Соответствующие изменения, наряду с многочисленными коррективами в расчленении разрезов отдельных фациальных зон, были внесены и в легенды серийных групп листов геологических карт.

При этом, как отмечают сами авторы этих легенд, достичь консенсуса по расчленению разрезов фациальных зон, в которых присутствуют отложения пермской эвапоритовой формации солеродной провинции Каспийского региона, в силу объективных причин (геологических особенностей региона и методов расчленения и корреляции разрезов) не удалось (Гогин и др., 2015). Во-первых, в пределах границ солеродной провинции отложения эвапоритовой формации доступны для изучения прямыми геологическими методами исключительно с использованием глубокого бурения, так как на большей части территории провинции подошва формации залегает на глубинах свыше 7 км. Во-вторых, существуют проблемы и трудности, связанные с обнаружением в соленосных толщах палеонтологических остатков. В керне скважин местами выделены только палинологические комплексы и остатки остракод, позволяющие вычленять кунгурские и казанские слои, но установить последовательность напластования ритмопачек внутри верхнеартинско-кунгурского комплекса, а зачастую даже достоверно обосновать само их выделение не удается (Деревягин и др., 1981). В-третьих, при построении местных стратиграфических схем расчленение отдельных разрезов эвапоритовой формации и их корреляция выполняются с использованием приемов ритмостратиграфии с выделением циклически построенных слоевых ассоциаций трех рангов: ритмопачек, ритмосвит (толщ), ритмосерий. Однако, как показывает анализ имеющихся схем, даже в хорошо изученных бурением периферийных районах солеродной провинции, где первичная седиментационная последовательность напластования пачек не затронута или слабо нарушена процессами соляной тектоники, методика ритмостратиграфии оказывается эффективной только

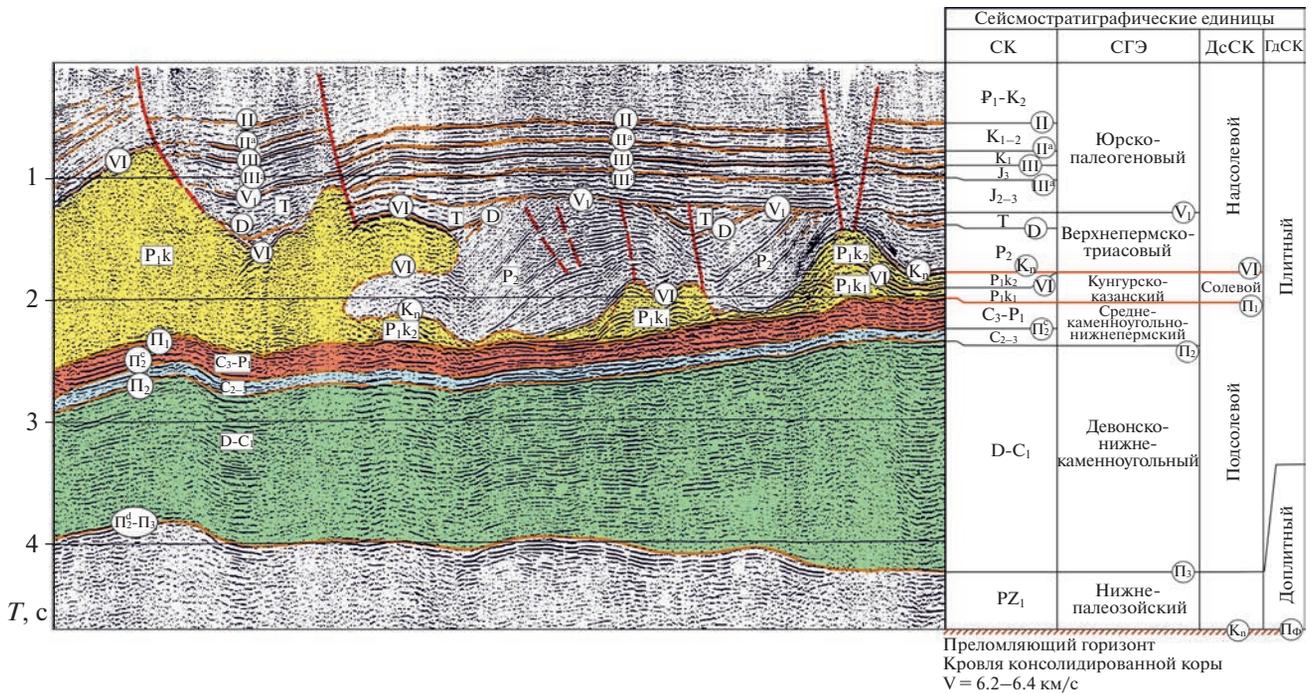


Рис. 2. Фрагмент сейсмостратиграфического разреза в центральной части Прикаспийской впадины показывает расчленение осадочного чехла с выделенными сейсмокомплексами (СК), сейсмогеологическими этажами (СГЭ), дислокационными (ДсСК) и геодинамическими (ГдСК) сейсмокомплексами. Индексы в кружках обозначают опорные отражающие сейсмические горизонты в качестве границ разделов сейсмостратиграфических комплексов. Буквы в прямоугольниках – стратиграфический возраст сейсмостратиграфических комплексов. Цветом на разрезе выделены сейсмогеологические этажи и подэтажи. Положение разреза показано на рис. 4.

при выделении крупных подразделений ранга серий и свит (рис. 2).

Фрагмент временного сейсмического разреза (рис. 2) демонстрирует строение и сейсмостратиграфические подразделения осадочного чехла Центрально-Прикаспийской субпровинции, которые включают дислокационные и геодинамические сейсмокомплексы, сейсмогеологические этажи и сейсмокомплексы. Внутри солевого (эвапоритового) дислокационного сейсмокомплекса выделить и проследить мелкие литостратиграфические единицы невозможно. Разрез эвапоритовой формации рассматривается как единое целое без подразделений. Сейсмическими методами осадочный чехол разделен на сейсмокомплексы и сейсмогеологические этажи, отвечающие различным этапам развития осадочного чехла.

Выделенные по данным бурения ритмопачки практически невозможно проследить и коррелировать на сейсмических разрезах в шельфовой части Прикаспийского солеродного бассейна, где толща не нарушена процессами галокинеза. Данные бурения указывают на наличие в разрезе этой толщи перерывов и размывов. Это хорошо видно на фрагментах временных сейсмических профилей в Западной и Северо-Западной субпровинци-

ях при использовании методики высокоразрешающей сейсморазведки (Писаренко и др., 2021a, 2021b). Характер волновой картины на сейсмических разрезах свидетельствует о многочисленных перерывах и размывах в процессе накопления эвапоритовой толщи в условиях шельфа (рис. 2, 3), которые затруднительно проследить в пространстве. На глубинных сейсмостратиграфических разрезах (рис. 4) хорошо видно, как параллельно-слоистые шельфовые толщи кунгура переходят в деформированные породы центральной части бассейна, теряя слоистую структуру в результате проявления процессов галокинеза, образуя купола шириной 2–4 км, внутренняя структура которых не поддается реконструкции по сейсмическим и геологическим данным.

Несмотря на то, что последовательность ритмопачек и даже их количество различными исследователями трактуются по-разному, можно предположительно сопоставить чередующиеся карбонатные и сульфатные пачки кунгурского яруса (в особенности пачки в верхах иренского горизонта в стратотипе кунгурского яруса) с ритмопачками периферических частей Прикаспийской низменности, общее строение которых продемонстрировано на рис. 5 (подробнее см.: Степанов, 1951; Тихвин-

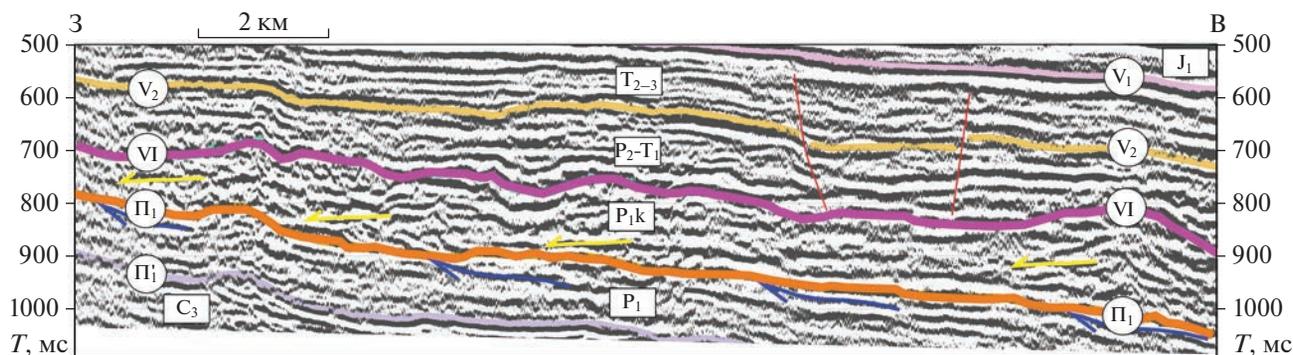


Рис. 3. Фрагмент временного сейсмического разреза в пределах Северо-Западной субпровинции Прикаспийской нефтегазоносной провинции.

Хаотичная волновая картина сейсмической записи внутри эвапоритовой формации (сейсмокомплекс между малиновым и оранжевым горизонтами) указывает на многочисленные перерывы в процессе накопления соленосных пород, где по данным бурения выделяется несколько ритмопачек соленосной толщи. Желтые стрелки внутри соленосной формации указывают на трансгрессивный характер налегания на подстилающие отложения, синие стрелки фиксируют срезы в подошве соленосного слоя. Индексы в прямоугольниках – стратиграфический возраст сейсмокомплексов. Индексы в кружках – обозначения опорных отражающих горизонтов. Положение профиля показано на врезке рис. 4.

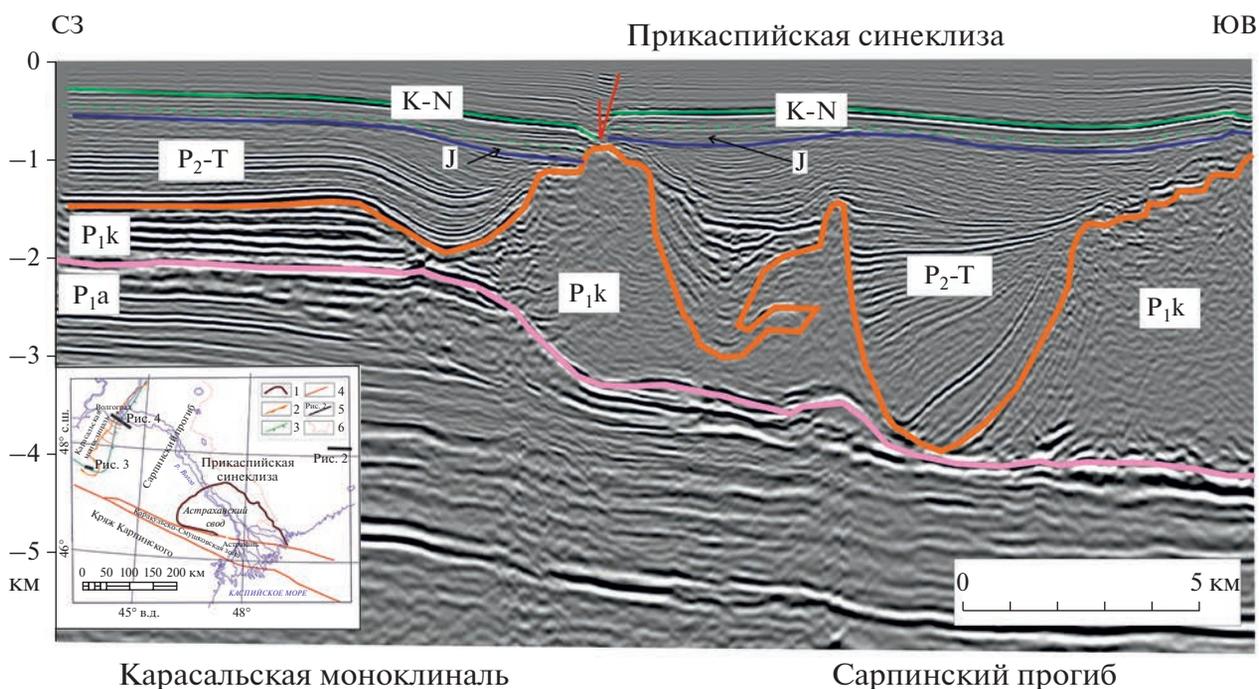


Рис. 4. Строение кунгурской эвапоритовой формации в западном борту Прикаспийской впадины. Условные обозначения к карте: 1 – граница Астраханского свода; 2 – уступ раннепермского карбонатного шельфа и внутрибассейновых платформ; 3 – уступы визе-башкирских карбонатного шельфа и внутрибассейновых платформ; 4 – разрывные нарушения; 5 – положение сейсмостратиграфических разрезов, приведенных в тексте; 6 – государственная граница России и Казахстана.

ская и др., 1967; Чувашов, Дюпина, 1973; Чувашов и др., 1990, 2002; Чувашов, 1997; Софроницкий и др., 1974; Софроницкий, Золотова, 1988; Софроницкий, Ожгибесов, 1991; Наугольных 2007; Naugolnykh, 2017, 2018, 2020). Это сопоставление подтвер-

ждается общей последовательностью палеогеографических событий, имевших место в пределах всего западного борта Урала на протяжении пермского периода. Даже если допустить существование не соединявшихся между собой отдельных ванн в

(а)		(б)				
Горизонт	Писаренко и др., 2000	Гогин и др., 2015	Горизонт	Писаренко и др., 2000, 2011	Свидзинский, Барановская, 2015	
Иренский	Житкурская свита	Житкурская свита	<i>свита (ритмопачка)</i>		<i>ритмопачка</i>	
			Озерская	<i>n</i>	Ерусланская	<i>X</i>
	Улаганская свита	Улаганская свита	Ерусланская	<i>m</i>	Долинная	<i>IX</i>
Долинная			<i>l</i>	Пигаревская	<i>VIII</i>	
Волгоградская свита	Волгоградская свита	Волгоградская свита	Пигаревская	<i>k</i>	Антиповская	<i>VII</i>
			Антиповская	<i>i</i>	Погожская	<i>VI</i>
Филипповский	разрез бурением не вскрыт	Котельниковская свита	Погожская	<i>h</i>	Луговская	<i>V</i>
			Городовиковская свита	Тимонинская (Луговская)	<i>g</i>	Приволжская
Саранинский	разрез бурением не вскрыт	Городовиковская свита	Балыклейская	<i>f₂₋₃</i>	Карпенская	<i>III</i>
			Кануковская свита	(Красавская)	<i>f₁₋₂</i>	Балыклейская
Саргинский	разрез бурением не вскрыт	Кануковская свита	Волгоградская		Волгоградская	<i>I</i>

Рис. 5. Примеры стратиграфического расчленения разрезов эвапоритовой формации Прикаспийской впадины в различных ее частях.

(а) — стратиграфия кунгурского разреза центральной части впадины по разным авторам; (б) — сопоставление выделенных разными авторами ритмостратиграфических подразделений ранга свит и пачек для северной и западной бортовых зон Прикаспия.

пределах этих солеродных бассейнов, начиная со второй половины кунгурского века раннепермской эпохи, характер осадконакопления в каждой из них, так или иначе, фиксировал одни и те же геологические (преимущественно палеоклиматические) события в одной и той же последовательности (принцип стратиграфической гомотаксальности или принцип Смита—Гексли (Мейен, 1989)). Именно этим объясняется соответствие количества и последовательности пачек верхнеиренского горизонта кунгурского яруса в его стратотипе и количества и последовательности ритмопачек в верхней части кунгурского яруса в периферийных разрезах Прикаспия.

Большие сложности возникают при корреляции местных стратиграфических подразделений пермского разреза периферийных территорий с подразделениями центральных районов солеродной провинции, где седиментационная структура эвапоритовой формации переработана галокинетическими процессами. В силу этого данные о ритмичности галогенной толщи, слагающей ядра

соляных структур, малоинформативны для решения стратиграфических задач. Здесь зачастую не удастся достоверно обосновать даже выделение серий и свит внутри верхнеартинско-кунгурского литостратиграфического комплекса (Деревягин и др., 1981; Писаренко и др., 2000, 2011, 2017; Свидзинский, Барановская, 2015) (рис. 5). Сопоставление стратиграфических разрезов эвапоритовой формации нижней перми при геологическом картировании Прикаспийской впадины показывает, что геологическими методами невозможно создать единую схему корреляции и расчленения разреза в ранге свит и серий из-за процессов галокинеза. Использование для сопоставления участков распространения недеформированной эвапоритовой формации также затруднено, что видно из рис. 5б, где разными авторами выделяются различные по названию и стратиграфическому объему ритмы и свиты. Свиты и ритмы выделяются по характеру чередования разного состава солевых минералов в разрезе, а также по данным каротажных диаграмм, полученным при геофи-

зических исследованиях скважин. В центральной части Прикаспийской впадины при геологическом картировании в рамках стратиграфических горизонтов кунгурского яруса часто свиты выделяются под разными названиями (рис. 5а). В пределах периферийных частей впадины в разрезе иренского горизонта выделяются ритмы в ранге свит, названия которых зависят от конкретного района исследований. Выделение ритмов или свит в центральной части бассейна, где распространены соляные структуры, и их корреляция с краевыми частями невозможны, так как разрез дислоцирован и все первичные соотношения нарушены (рис. 4).

ФОРМУЛИРОВКА НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ЕЕ РЕШЕНИЯ

В настоящее время не существует удовлетворительной региональной стратиграфической схемы разреза солеродной провинции Каспийского региона. Главными причинами этого являются: (1) неоднозначность и затруднительность стратиграфического расчленения эвапоритовой формации, (2) существование местных стратиграфических схем только для районов со слабым проявлением процессов соляной тектоники.

Ключевую роль в решении этой проблемы играют данные об особенностях строения нижней границы эвапоритовой формации и о характере комплексов, залегающих выше и ниже этой границы. Важно знать: (а) имеются ли признаки наличия стратиграфического перерыва, если да, то какова его продолжительность; (б) наличие и тип несогласия (структурное, эрозионное, стратиграфическое). Значимость этой информации возрастает в зонах перехода от периферийных к центральным районам провинции, где подошва и кровля эвапоритовой формации залегают на глубинах от 4 до 7 км, а получить необходимые данные можно только при использовании методов сейсмостратиграфии.

Наличие в разрезе среднекаменноугольно-пермского сейсмогеологического этажа осадочного чехла Каспийского региона дисгармонично построенной эвапоритовой формации и тип ее деформаций (тектонические складчатые либо штамповые и галокинетические) однозначно диагностируются на временных и глубинных динамических сейсмических разрезах МОГТ при визуальном анализе взаимоотношений сейсмостратиграфических подразделений. Благодаря этому границы пермской солеродной провинции и ее субпровинций устанавливаются с высокой степенью надежности и легко картируются. Анализ вре-

менных и глубинных сейсмических разрезов в пределах Прикаспийской впадины показывает широкий спектр типов структур, распространенных в нижнепермской эвапоритовой формации и описанных в многочисленных публикациях (Волож и др., 1997). Следует отметить, что такие критерии, как тип и характер деформаций, а также время их проявления, позволяют не только определить положение границ субпровинций и выполнить их типизацию с учетом этих двух параметров, но и сделать предварительные выводы о литофациальном типе разреза дисгармоничной эвапоритовой формации (сульфатный, хлоридный). Таким образом, при разработке региональных и местных стратиграфических схем солеродной провинции для расчленения разреза эвапоритовой формации и сейсмогеологического районирования территории провинции следует использовать сейсмостратиграфический подход. Такой подход нами был реализован в ходе составления 4Д сейсмостратиграфической модели земной коры Каспийского региона с целью выделения в разрезе его осадочного чехла пермской дисгармоничной эвапоритовой формации и изучения ее строения (Антипов и др., 2004; Осадочные..., 2004).

СТРОЕНИЕ ПЕРМСКОЙ ЭВАПОРИТОВОЙ ФОРМАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В последние годы вследствие появления результатов совместной интерпретации данных геофизических исследований сейсморазведки МОГТ и гравиметрии были значительно пересмотрены границы распространения пермской эвапоритовой формации солеродной провинции Каспийского региона, а также расширен ее стратиграфический диапазон.

По характеру дислокаций кунгурско-кайнозойский разрез Прикаспийского солеродного бассейна разделяется на три дислокационных этажа. В них выделяется ряд квазисинхронных сейсмостратиграфических комплексов: соленосный, выполняющий ядра куполов; предкинематический; ранний синкинематический, синхронный стадии роста соляных куполов и выполняющий первичные компенсационные мульды; поздний синкинематический, синхронный стадии роста соляных диапиров, выполняющий вторичные компенсационные мульды; посткинематический.

Нижний этаж охватывает преимущественно галогенный комплекс кунгура, вернее, ту его часть, которая слагает ядра соляных структур. Внутреннее строение этого этажа определяется складками

течения очень сложной конфигурации. Верхняя граница этажа на сейсмических разрезах выделяется по смене характера рисунка отражений. Сейсмический горизонт VI, связанный с этой границей, прослеживается, как правило, лишь на вершинах соляных ядер (рис. 2).

Средний этаж состоит из пород отдельных изолированных мульд и прогибов между ядрами соляных куполов. Эти отложения накопились в ходе галокинетических движений соленосной толщи. Внутренняя структура их достаточно сложная. Здесь выделяются предкинематический и синкинематические слои нескольких генераций (компенсационные мульды первой и второй генераций), отличающиеся рисунком внутренней слоистости, что хорошо видно на временных сейсмических разрезах (рис. 2).

Предкинематические слои сформированы до начала галокинетических движений. В процессе галокинеза их форма претерпела существенные изменения, но мощность горизонтов осталась неизменной или изменялась незначительно. Синкинематические слои накапливались одновременно с движением соли. Для них характерно локальное увеличение мощности отдельных горизонтов в зонах оттока соли и появление прислоняющихся слоев или их срезание. Момент появления в разрезе синкинематических слоев маркирует время начала роста соляного ядра.

Верхний этаж образован покровом слабдеформированных отложений (посткинематические слои). В структурном отношении здесь преобладают обширные межкупольные зоны, которые обрамляют изолированные своды куполов. На этом фоне выделяются отдельные локальные, дизъюнктивные мульды, прислоняющиеся либо наложенные на соляные ядра. Отличительная особенность посткинематических слоев – выдержанность мощностей слагающих их горизонтов (за исключением дизъюнктивных мульд). Посткинематические слои накапливались, когда прекращали свой рост соляные купола. Стадии роста соляных куполов отображены и зафиксированы в стратиграфических разрезах межсолевых мульд (Волож и др., 1997).

Границы между верхним и средним дислокационными этажами четко прослеживаются на временных сейсмических разрезах как поверхности стратиграфического и углового несогласия (рис. 2). Анализ сейсмических материалов показывает, что стратиграфическое положение этой границы в пределах Прикаспийской впадины меняется. Так, в пределах восточной и южной бортовых зон она проходит на уровне подошвы триасовых отложений. В юго-восточной прибортовой зоне она

перемещается в подошву юрских отложений. Изменение положения этой границы происходит в очень узкой зоне, которая отображается в разрезе в виде флексурного изгиба дотриасовой поверхности и сопровождается резким увеличением мощностей отложений триаса. По мере продвижения к центру Прикаспийской впадины, граница юры и триаса постепенно теряет структурную выразительность. Здесь на первый план выступает структурно-эрозионное несогласие, прослеживаемое в подошве плиоцен-четвертичного комплекса. Такое поведение этой границы свидетельствует о том, что ее стратиграфическое положение в разрезе определяется не глубинными геодинамическими процессами, а закономерностями хода галокинеза.

При сейсмогеологическом районировании в качестве критерия приняты этапы галокинеза (время начала и завершения первой и второй стадий) и морфогенетические типы соляных структур. К категории соляных структур нами относятся все дисгармоничные структуры, ядра которых сложены солью. При этом соляные подушки, соляные купола и соляные штоки отнесены к классу галокинетических структур, а соляные антиклинали и штамповые (эмбриональные) соляные структуры – к классу деформационных структур.

Ниже приведены результаты выполненного нами по территории региона сейсмостратиграфического анализа имеющихся геолого-геофизических данных (временные и глубинные динамические разрезы МОГТ в совокупности с сейсмогеологическими разрезами, полученными корреляционным методом преломленных волн (КМПВ), и данными гравиметрии). В результате разработан сейсмостратиграфический каркас 4Д модели пермской эвапоритовой формации солеродной провинции Каспийского региона, сопровождаемой схемой сейсмогеологического районирования провинции (рис. 6). Создана также седиментационная модель эвапоритовой формации по профилю через северный борт Прикаспийского девонско-раннепермского глубоководного бассейна. Она составлена с учетом накопления франско-нижебашкирского и башкирско-нижепермского сейсмогеологического этажа плитного геодинамического сейсмокомплекса.

Полученные результаты позволили (а) установить границы солеродной провинции; (б) выявить степень и природу деформаций пермской эвапоритовой формации, а также характер ее взаимоотношений с выше- и нижележащими комплексами; (в) реконструировать топографию и глубины солеродного бассейна на начало раннепермского времени и в среднепермское время, опираясь на особенности строения нижней и

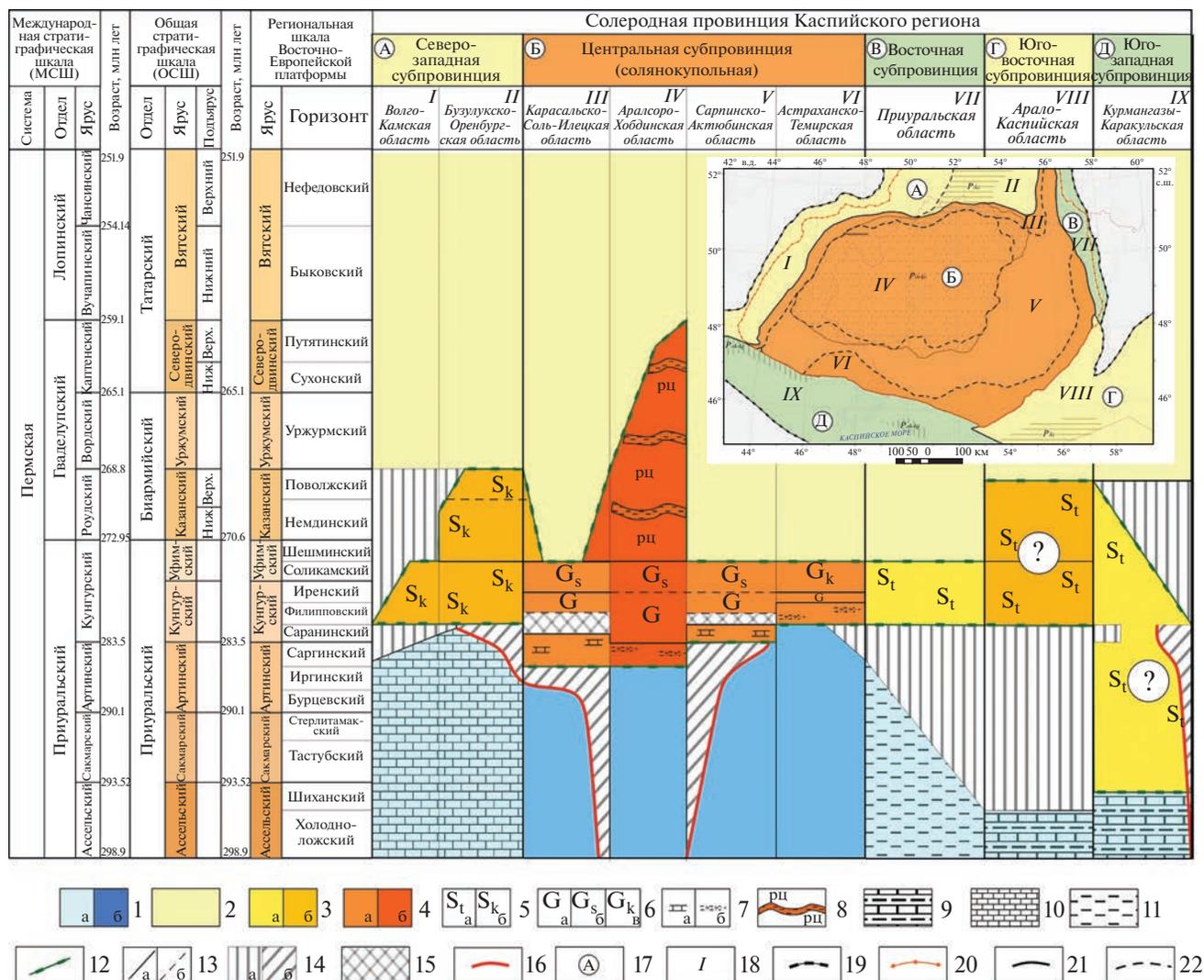


Рис. 6. Сейсмостратиграфический каркас 4Д модели пермской (верхнеасельско-нижнетатарской) дисгармоничной эвапоритовой формации Каспийской солеродной провинции.

Условные обозначения к основному рисунку: 1 – подсолевые сейсмокомплексы без расчленения: а – мелководные (прибрежно-морские и внутреннего шельфа), б – глубоководные (внешнего шельфа и котловины); 2 – надсолевые сейсмокомплексы без разделения по рангам; 3 – отложения пермской дисгармоничной эвапоритовой формации, тектонически деформированные, с образованием структурных форм: а – складчатого типа (соляные диапиры), б – штампового типа; 4 – отложения пермской дисгармоничной эвапоритовой формации, галокинетически деформированные, с образованием ядер соляных куполов и диапиров, сложенных галитом кунгурского возраста (а), галитом кунгурского возраста и рециклинговой терригенно-соленосной толщей средней перми (б); 5–8 – состав подразделений местных стратиграфических шкал эвапоритовой формации, выделяемых в ходе сейсмостратиграфического анализа ее разреза и разреза возрастного сейсмостратиграфического подразделения, в котором размещена формация; 5, 6 – местные литостратиграфические подразделения крупных рангов: 5 – сульфатного типа: а – сульфатно-терригенного состава, б – сульфатно-карбонатного состава; 6 – галогенного типа разного состава: а – галогенного, б – сульфатно-галогенного, в – карбонатно-галогенного; 7 – толщи преимущественно карбонатного (а) либо терригенного (б) состава с прослоями эвапоритов; 8 – рециклинговый комплекс; 9–11 – состав подсолевых сейсмокомплексов: 9 – терригенно-карбонатный, 10 – карбонатный, 11 – терригенный; 12, 13 – границы эвапоритовой формации (12), литостратиграфических подразделений серий и свит (13), выделяемые сейсмостратиграфически и литологически (а), только литологически (б); 14 – отсутствие отложений, связанное с региональным подъемом и размытием осадков (а) и со склоновой эрозией (б); 15 – перерыв в осадконакоплении (нон-седимент); 16 – поверхность склоновой эрозии.

Условные обозначения к схеме районирования (врезка): 17 – субпровинции: А – Северо-Западная, Б – Центральная (солянокупольная), В – Восточная, Г – Юго-Восточная, Д – Юго-Западная; 18 – области: I – Волго-Камская, II – Бузулукско-Оренбургская, III – Карасальско-Соль-Илецкая, IV – Аралсор-Хобдинская, V – Сарпинско-Актюбинская, VI – Астраханско-Темирская, VII – Приуральская, VIII – Арало-Каспийская, IX – Курмангазы-Каракульская; 19 – граница Прикаспийской солеродной провинции; 20 – современные границы распространения эвапоритовой формации; 21 – границы субпровинций; 22 – границы областей. Вопросительный знак обозначает предполагаемую (виртуальную) границу между литостратиграфическими подразделениями.

верхней границ формации и данные о ее составе; (г) реконструировать первичную седиментационную структуру и мощность формации; (д) существенно уточнить палеогеографическую обстановку в пределах солеродной провинции и условия седиментации как в пределах собственно Прикаспийского девонско-раннепермского глубоководного бассейна, так и по его периферии (Атлас..., 2002; Оренбургский..., 2013; Антипов и др., 2015).

По результатам сейсмостратиграфического анализа были также выявлены парагенетические связи между характером подсолевого субстрата (отложения мелкого, глубокого шельфа и глубоководной котловины), литофациальным составом эвапоритовой формации (преимущественно сульфатный либо галогенный) и типом ведущего процесса (тектоногалокинез или галокинез), ответственного за нарушение первичной седиментационной последовательности залегания соленосных толщ.

Установленные закономерности позволили определить параметры, которые использованы при районировании солеродной провинции Каспийского региона по типам разрезов и структур эвапоритовой формации, с выделением в ее пределах субпровинций и областей внутри них. Разрезы субпровинций различаются по таким параметрам, как (а) характер подсолевого субстрата, (б) возрастной диапазон формации, (в) тип соляных структур (штамповые куполовидные соляные поднятия, соляные антиклинали, соляные купола и диапиры). Главным отличительным параметром разрезов областей является литофациальный состав самых крупных подразделений местных стратиграфических схем (литостратиграфических комплексов), а также общее их количество в разрезе формации. Исходя из значений этих параметров, территория солеродной провинции Каспийского региона разделяется на пять субпровинций, четыре из которых (Юго-Западная, Юго-Восточная, Восточная и Северо-Западная) размещены по периферии Прикаспийского девонско-раннепермского глубоководного бассейна и одна, Центральная, в границах собственно глубоководного бассейна (рис. 6, врезка).

В пределах Юго-Западной субпровинции эвапоритовая формация находится в составе складчатого геодинамического сейсмокомплекса, выполняющего краевой прогиб позднепалеозойского Донбасс-Туаркырского складчатого сооружения, дополнительно деформированного в предъюрское время. Этот комплекс венчает разрез верхнего сейсмогеологического подэтажа среднекаменноугольно-пермского сейсмогеологического этажа. Возраст самой формации достоверно не установлен. Однако по результатам сейсмостратиграфи-

ческого анализа в данном регионе показано, что сейсмокомплекс, включающий в себя эвапориты, подстилают отложения верхнего карбона, а перекрывают отложения триаса. Непосредственно на площади Курмангазы (рис. 7) снизу дисгармонично построенный сейсмогеологический подэтаж ограничен сейсмическим горизонтом "P₁", который корреляционно увязывается на западе, на северном склоне кряжа Карпинского, с горизонтом "С₃" (кровля терригенных отложений верхнего карбона), а на востоке, в северном борту Южно-Бузачинского прогиба, с горизонтом "V1" (подошва пермских отложений). Перекрывают эвапоритовую формацию отложения верхней перми, мезозоя и кайнозоя.

Таким образом, вероятный возраст сейсмокомплекса в целом по региону мы оцениваем как пермский. При этом мы допускаем, что отдельные местные стратиграфические подразделения, сложенные собственно эвапоритами, могут быть разобщены, формируя в разрезе формации отдельные различающиеся по возрасту линзовидные тела. По имеющимся геологическим данным, на крайнем западе субпровинции (Преддонецкий прогиб) ее стратиграфический диапазон ограничен верхней частью ассельского яруса—артинским ярусом (Мовшович, 1977; Стратиграфические..., 1993), а восточнее, в пределах западной переклинали кряжа Карпинского, — артинским—кунгурским ярусами (Государственная..., 2009). Еще восточней, уже в пределах соседних субпровинций, пермские эвапориты известны на более высоком стратиграфическом уровне — в средней перми (Писаренко и др., 2021а, 2021б). На этом основании, а также учитывая, что эвапоритовая формация Юго-Западной субпровинции подстилается мелководными шельфовыми отложениями, а перекрывается континентальными, ее стратиграфический диапазон логично рассматривать от верхней части ассельского яруса до казанского яруса включительно. Кроме того, результаты сейсмостратиграфического анализа свидетельствуют о присутствии пермской эвапоритовой формации в разрезе осадочного чехла не только Западно-Туранской, но и Скифской сейсмогеологической провинции, по меньшей мере в пределах северной части ее Донбасс-Туаркырской сейсмогеологической области (Волож и др., 2015).

В Юго-Восточной субпровинции эвапоритовая формация размещена в составе доплитного геодинамического сейсмокомплекса Западно-Туранской плиты. Дисгармонично построенный сейсмокомплекс (предположительно эвапоритовый, поскольку по данным гравиметрии он имеет более низкие плотности, чем перекрывающие

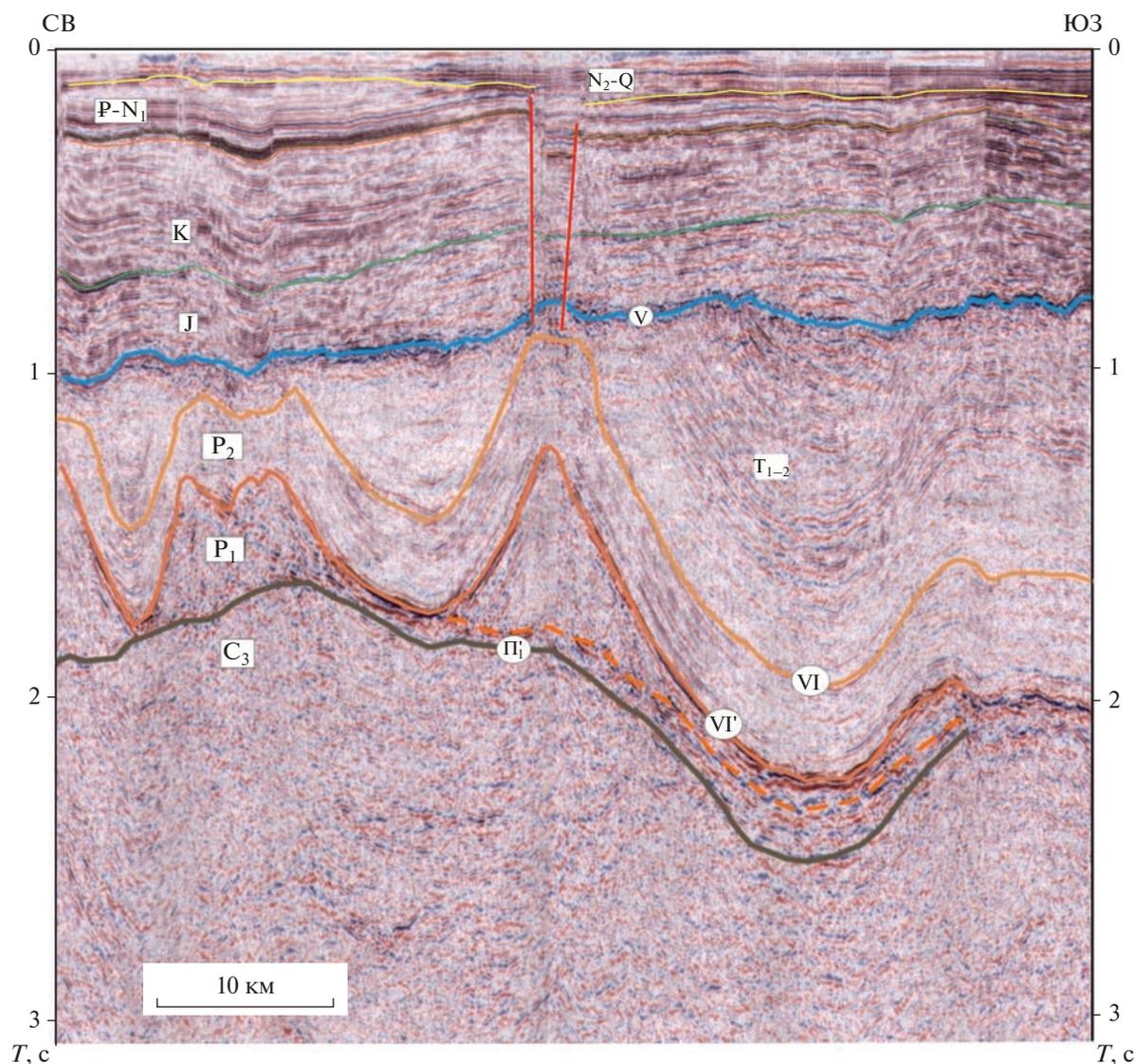


Рис. 7. Фрагмент временного сейсмического разреза, демонстрирующий наличие нижнепермских дисгармоничных образований эвапоритовой формации в пределах Северного Каспия в структуре Курмангазы. Индексы в прямоугольниках – возраст сейсмостратиграфических комплексов, индексы в кружках – опорные сейсмические горизонты. Положение профиля показано на врезке рис. 4.

толщи) мощностью первые сотни метров, ограниченный снизу горизонтом “б” или “а”, а сверху горизонтами VI или (T_V^n), выделяется внутри доплитного геодинамического сейсмокомплекса осадочного чехла в районе Северного Устья в пределах мезозойско-кайнозойских Самского, Кулажатского и Култукского прогибов и в Кульбайской мульде. Его характерной особенностью является наличие локальных “раздувов” мощности с образованием небольших куполов, осложненных мелкими разломами (структуры Бегеш, Аманжол, Тышканды, Харой). Над такими раздувами нет четких отрицательных гравиметрических аномалий, поэтому можно предполагать глинисто-соленос-

ный или глинисто-ангидритовый состав слагающих его отложений. Биостратиграфические данные о возрасте пород дисгармонично построенного сейсмокомплекса здесь отсутствуют. Однако в Судочьем прогибе в скв. 1 Вост. Аламбек на глубине 4200 м вскрыты более глубоководные фациальные и одновозрастные предположительные аналоги этого сейсмокомплекса, представленные черными горизонтально-слоистыми аргиллитами с прослоями мергелей. Здесь А.М. Павловым и А.А. Савельевым определен гониатит *Rorapoceras hanieli* Smith (Калугин и др., 1981; Волож и др., 2015), имеющий, по их мнению, кунгурско-уфимский возраст (подробнее см.: Калугин и др.,

1981, с. 74; название гониатита в оригинальном тексте работы А.К. Калугина с соавторами дано с опечатками). Учитывая, что во вскрытом скважинной разрезе сейсмокомплекс несогласно перекрыт красноцветными верхнепермско-триасовыми отложениями, его следует датировать скорее как кунгурско-казанский, чем казанский.

Необходимо отметить, что наличие пермских соленосных отложений в разрезе осадочного чехла на территории Западно-Туранской плиты в настоящее время доказано бурением. Так, на Южном Устюрте в Дарьялык-Дауданском прогибе в структуре Ербурун на Шорджинском выступе вскрыты соленосные толщи мощностью до 450 м (Антипов и др., 2015).

Таким образом, стратиграфический диапазон формации в Юго-Восточной субпровинции по данным сейсмостратиграфического анализа ограничен снизу подошвой кунгурского яруса, а сверху верхней пермью (татарский отдел). В пределах Восточной субпровинции эвапоритовая формация размещена в составе складчатого геодинамического сейсмокомплекса краевого прогиба Урало-Тяньшанского складчатого сооружения, где деформации произошли в предтриасовое время. Стратиграфическое положение эвапоритовой формации здесь определяется сейсмостратиграфическим методом в пределах кунгурского яруса и нижней части уфимского яруса. Она залегает с перерывом на подстилающих отложениях, которые здесь представлены проградационными терригенными отложениями мелководного аккумулятивного шельфа.

В пределах Северо-Западной субпровинции эвапоритовая формация размещена в составе среднекаменноугольного (московского)–пермского сейсмогеологического этажа плитного геодинамического сейсмокомплекса древней Восточно-Европейской платформы. Эвапоритовая формация представлена здесь сульфатно-карбонатным комплексом осадков мелководного шельфа. Ее возраст достоверно установлен как позднеартинско-казанский. Внутри Северо-Западной субпровинции выделяются две области: Бузулукско-Оренбургская и Волго-Камская. В Бузулукско-Оренбургской области эвапоритовая формация представлена двумя литостратиграфическими комплексами: (а) верхним сульфатно-карбонатным уфимско-казанского возраста и (б) нижним галогенно-карбонатным позднеартинско-кунгурского возраста. В Волго-Камской области формация более однородна и представлена одним литостратиграфическим комплексом кунгурско-соликамского возраста сульфатно-галогенно-карбонатной специализации.

В Центральной (солянокупольной) субпровинции эвапоритовая формация размещена в составе московско-пермского сейсмогеологического этажа плитного геодинамического сейсмокомплекса Русской и Прикаспийской плит. Здесь она, будучи ограниченной регионально выдержанными опорными сейсмическими горизонтами “P₁” и “VI”, выделяется как самостоятельное сейсмостратиграфическое подразделение сейсмогеологического этажа ранга сейсмокомплекса. В Центральной субпровинции выделяются четыре области: Карасальско-Соль-Илецкая, Аралсорско-Хобдинская, Сарпинско-Актюбинская и Астраханско-Темирская.

Эвапоритовая формация здесь представлена галогенными толщами, подстилается глубоководными терригенными отложениями и перекрывается континентальными отложениями средней и верхней перми. Формация в Центральной субпровинции, за исключением Аралсорско-Хобдинской области, состоит из трех литостратиграфических комплексов: (а) нижнего “предэвапоритового”, терригенного; (б) среднего галитового; (в) верхнего галогенно-сульфатного, хлоридно-калиевой специализации.

В Аралсорско-Хобдинской области разрез формации наращивают “рециклинговые” соленосные отложения, сформированные за счет переотложения соли в условиях, подобных современным условиям ее накопления в озерах Эльтон и Баскунчак (Беленицкая, 2020). Примечательной особенностью “рециклингового” литостратиграфического комплекса (вскрыт скважинами на площадях Черная Падина, Солнечная, Тимофеевская, Аралтюбесор, Мухор, Коксозды и др.) является переслаивание пластов соли со средне- и верхнепермскими красноцветными терригенными отложениями (Писаренко и др., 2011, 2017, 2021а, 2021б; Антипов, Волож, 2012). В состав эвапоритовой формации кроме кунгурских отложений включаются и средне- и верхнепермские толщи “рециклинговых” солей, накопившихся на синкинематическом этапе развития за счет размыва кунгурских отложений при росте купола и обнажении на дневной поверхности или на дне моря (Писаренко и др., 2021а, 2021б).

Следует подчеркнуть, что возрастные границы указанных литофациальных комплексов нами были определены путем создания седиментационной модели формирования эвапоритовой формации на базе имеющейся геологической и сейсмостратиграфической информации. Эти границы в определенной степени носят виртуальный характер. Они отображают седиментационную

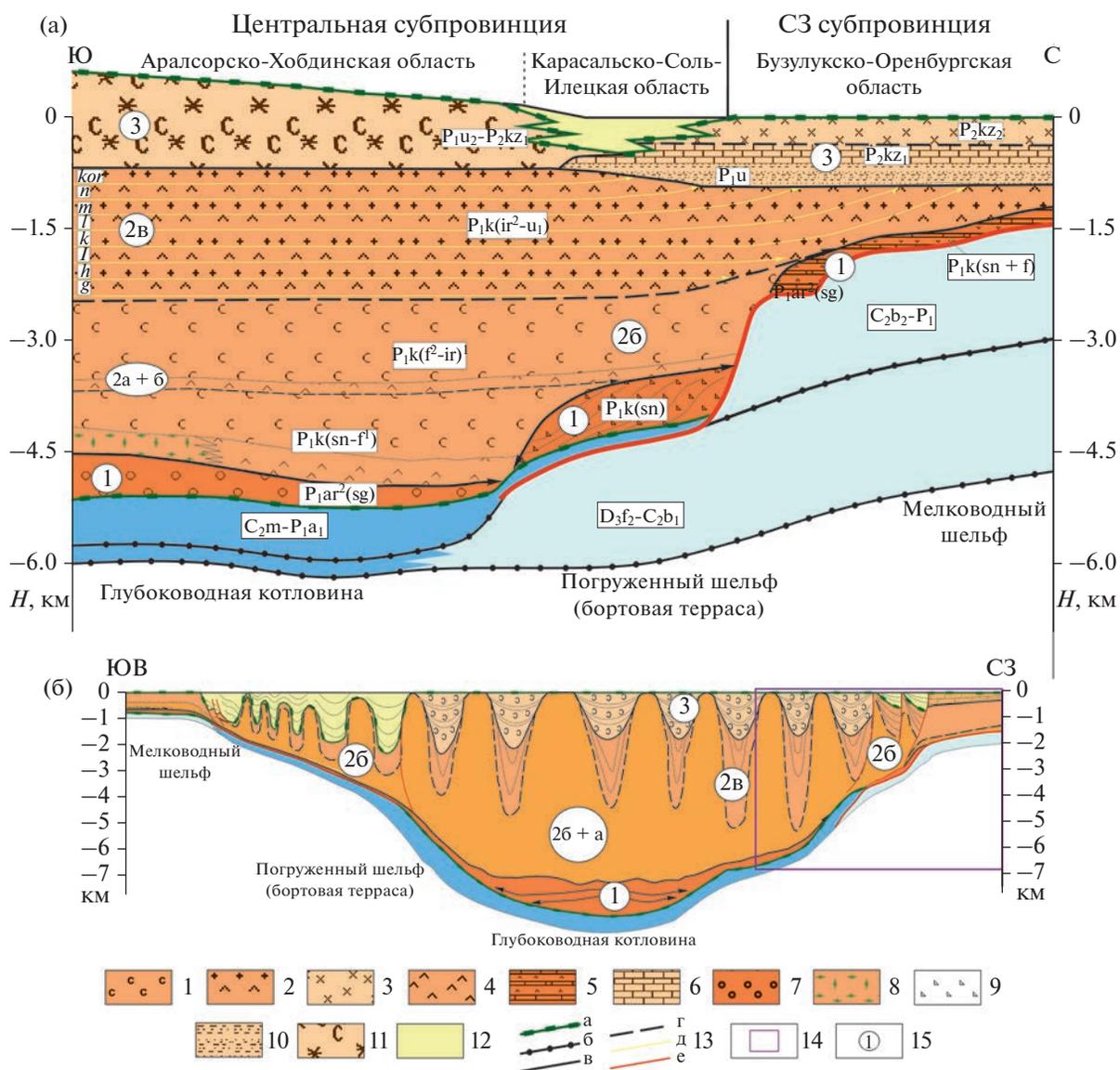


Рис. 8 (а) Седиментационная модель (схема) эвапоритовой формации через северный борт Прикаспийского девонско-раннепермского глубоководного бассейна (реконструкция на конец казанского времени) по фрагменту профиля через Каспийскую солеродную провинцию. (б) Геологический профиль через Каспийскую солеродную провинцию. Условные обозначения: 1 – галиты; 2 – соленосная толща с калийными солями; 3 – соленосно-терригенные отложения; 4 – ангидриты; 5 – сульфатно-карбонатная толща, возможно с рифами; 6 – известняки; 7 – отложения подводных конусов выноса; 8 – глубоководные терригенно-карбонатные отложения; 9 – карбонатные обломочные отложения, продукты разрушения рифов (отложения подножья рифов); 10 – терригенные морские сероцветные отложения; 11 – красноцветные соленосные отложения; 12 – надсолевые отложения; 13 – границы: а – эвапоритовой формации; б – сейсмостратиграфических подразделений ранга сейсмогеологических этажей, в – литостратиграфических подразделений ранга ритмосерий, г – литостратиграфических подразделений ранга ритмосвит, д – литостратиграфических подразделений ранга ритмопачек, е – поверхность склоновой эрозии; 14 – расположение седиментационной модели на профиле; 15 – литостратиграфические подразделения ранга серий по стадиям формирования (цифры в кружках): 1 – предэвапоритовая; 2а – котловинная, накапливаемая до начала галокинеза; 2б – шельфовая, накапливаемая до начала галокинеза; 2в – формирующаяся одновременно с процессом галокинеза; 3 – рециклинговая.

структуру формации на момент, когда она еще не была нарушена тектоногалокинезом (рис. 8).

Этим обстоятельством объясняется низкая степень детальности (рис. 6) расчленения разреза эвапоритовой формации Прикаспийского девон-

ско-раннепермского глубоководного бассейна (Центральная субпровинция). Оно выполнено только на уровне самых крупных подразделений местных шкал ранга литостратиграфических комплексов. Более дробное их расчленение на се-

рии и свиты, а тем более на ритмопачки не удается провести на современной стадии изученности региона. Как указано выше, корректно эта процедура может быть выполнена при разработке местных стратиграфических схем для наиболее хорошо изученной Северо-Западной субпровинции и отдельных примыкающих к ней областей Центральной и Восточной субпровинций (Мовшович, 1977; Лапкин, Мовшович, 1994; Писаренко и др., 2000; Гогин и др., 2015).

Таким образом, установлено, что границы солеродной провинции Каспийского региона, особенно южные, значительно шире границ Прикаспийского девонско-раннепермского глубоководного бассейна и его проградационно-аккумулятивного терригенного шельфа. Эти границы определялись здесь положением перемычки, отделявшей Прикаспийский глубоководный бассейн окраинно-морского типа от бассейнов Палеотетиса. Эта перемычка возникла к концу башкирского времени в ходе аккреции континентальных масс на северной активной окраине Палеотетиса. Поэтому конец башкирского века – начало московского века следует рассматривать как время заложения солеродной провинции, хотя формирование в ней эвапоритовой формации началось значительно позднее, причем неодновременно: раньше всего на юго-западе и позже всего на юго-востоке.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Пермская эвапоритовая формация солеродной провинции Каспийского региона является очень сложным объектом для стратиграфического расчленения ее разреза. Результаты выполненных исследований позволили предложить технологии составления местных сейсмостратиграфических схем соленосных толщ, подвергнутых воздействию тектоногалокинеза, что привело к нарушению их первичной седиментационной слоистости и мощности отдельных слоевых элементов формации.

Согласно стратиграфическому кодексу (Стратиграфический..., 2019), основным валидным подразделением местной литостратиграфической шкалы является свита либо, в случае отсутствия палеонтологических данных о ее возрасте, толща. Пространственное взаимоотношение свит (толщ) и их возраст служат основой при конструировании стратиграфического каркаса разреза, определяя возрастной диапазон и границы распространения литостратиграфических подразделений более крупных рангов: серий (совокупность свит) и комплексов (совокупность серий). Также в стратиграфическом кодексе указано, что пространственные границы подразделений крупных

рангов, как вертикальные, так и, что не менее важно, латеральные, устанавливаются не прямо путем их геолого-геофизического картирования, а в ходе выяснения пространственного взаимоотношения валидных литостратиграфических подразделений – свит (толщ) (Стратиграфический..., 2019). При этом кодекс определяет основные критерии, которыми необходимо руководствоваться при объединении свит в серии, а серий в комплексы. В то же время следует заметить, что при выделении литостратиграфических комплексов в разрезах осадочного чехла требования кодекса не всегда соблюдаются строго.

Таким образом, в соответствии с кодексом достоверность стратиграфического каркаса местной шкалы определяется в первую очередь валидностью ее основного литостратиграфического подразделения – свиты (толщи). Только к ним предъявляется требование о валидности, которое предусматривает четкость проявления в разрезе их граничных поверхностей, а также доступность их картирования имеющимися геолого-геофизическими методами.

Однако при составлении местных стратиграфических схем отдельных областей Центральной субпровинции (Прикаспийского девонско-раннепермского глубоководного бассейна) такая технология не применима. Во-первых, во всех современных схемах дисгармонично построенная эвапоритовая формация рассматривается в ранге литостратиграфического комплекса, хотя особенности строения ее разреза частично (единый тектоно-седиментационный цикл осадконакопления) соответствуют критериям серии, а частично (мощность, степень и характер ее дислоцированности) – комплекса. Во-вторых, как было показано выше, непосредственно геолого-геофизическими методами картируются именно границы крупных подразделений шкалы: собственно литостратиграфических комплексов и их составных элементов ранга серий. Подразделения ранга свит могут быть выделены только в той части разреза эвапоритовой формации, в которой сохранилась ее первичная седиментационная слоистость. Как правило, это его нижняя часть, сложенная породами терригенного или карбонатного состава с прослоями эвапоритов незначительной мощности. На рис. 8 и 9 это верхнеартинская (саргинская) терригенная толща, выделенная нами в качестве Кушумской предгалогенной (предгалогенная стадия – время формирования эвапоритовой формации, непосредственно предшествующее накоплению соленосных осадков) серии эвапоритовой формации. Но и в этой части эвапоритовой формации пространственные взаимоотношения выделенных

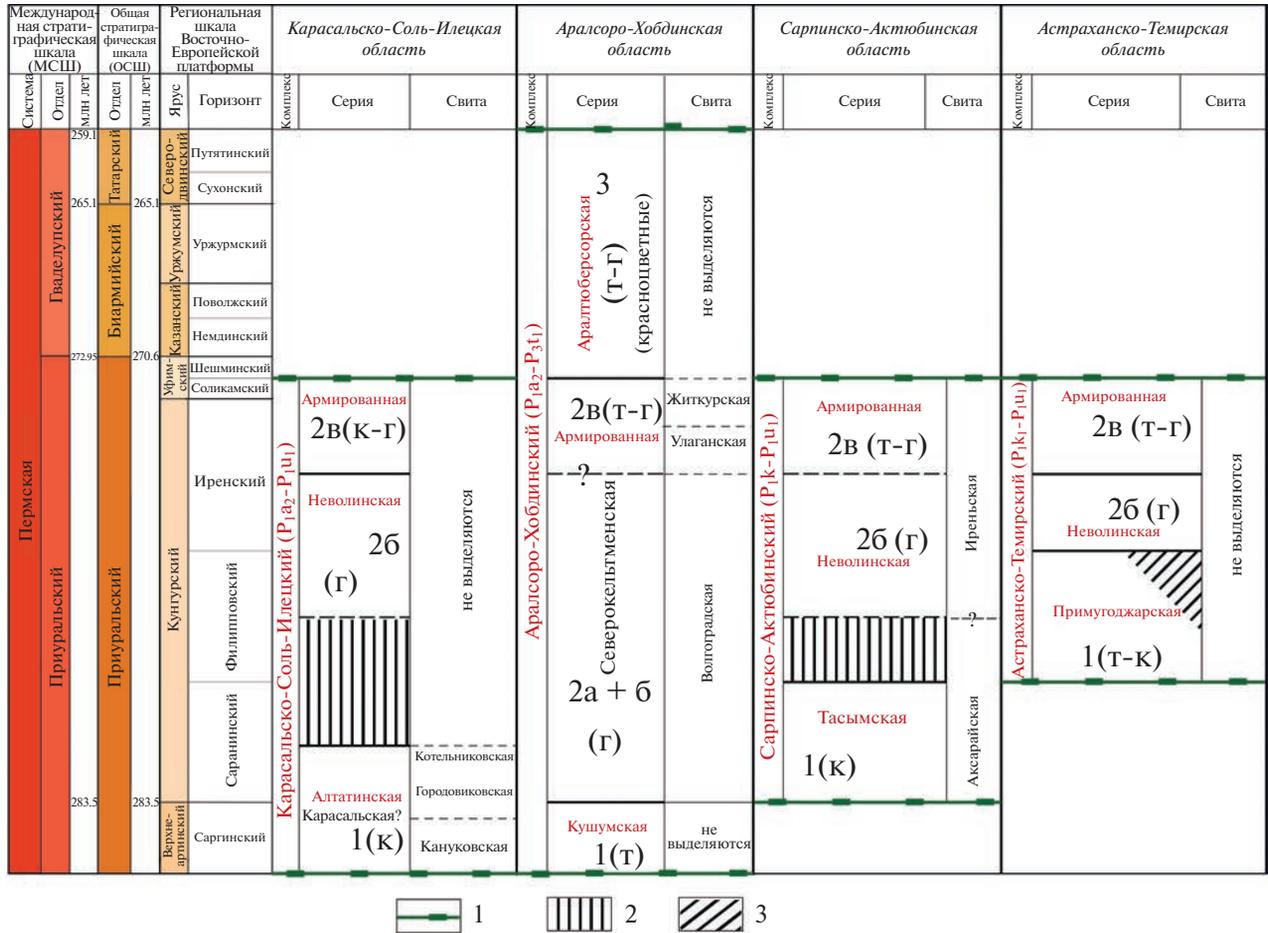


Рис. 9. Сейсмостратиграфическое расчленение эвапоритовой формации Каспийского региона и соотношение с региональными стратиграфическими подразделениями. Условные обозначения: 1 – границы эвапоритовой формации; 2 – отсутствие отложений, связанное с региональным подъемом и размывом осадков; 3 – отсутствие отложений, связанное со склоновой эрозией. Буквами обозначен состав пород: к – карбонатный, т – терригенный, г – галогенный. Красным цветом в таблице обозначены названия серий и комплексов, предложенных ГИН РАН по сейсмостратиграфическим данным. Цифрами с буквами обозначены литостратиграфические подразделения ранга серий по стадиям формирования (см. рис. 8).

свит остаются не до конца установленными. В вышележащих частях разреза формации, сложенных преимущественно галитом, внутри которых первично-параллельно-наслоенные пачки пластов позже были смяты в складки “ламинарного” течения, все выделенные стратиграфические подразделения ранга свит (толщ) и мельче невалидны, поскольку их границы, как вертикальные, так и, что не менее важно, латеральные, не устанавливаются в разрезах ни геологическими, ни геофизическими методами.

Предложенная выше технология конструирования местных стратиграфических схем, основанная на моделировании процесса осадконакопления с использованием результатов сейсмостратиграфического анализа, открывает путь к решению возникших проблем, благодаря возможности непо-

средственного картирования границ подразделений этих схем.

Однако в этом случае появляется новая проблема – необходимость определения критериев для обоснования ранга местных литостратиграфических подразделений – сейсмострат, которые были выделены при сейсмостратиграфическом расчленении разреза эвапоритовой формации. Анализ стратиграфических работ показывает, что стандартный подход к расчленению эвапоритовой формации, предписанный Стратиграфическим кодексом России (2019), применим только в периферийных районах Прикаспия, где верхняя часть ее разреза не нарушена процессами соляной тектоники. В центральных частях Прикаспийской впадины использование традиционных стратиграфических подходов для расчленения верхнеартинско-кунгурских отложений невозможно. Для

разделения эвапоритовой формации такого типа требуется специфический подход с выделением валидных (непосредственно картируемых сейсмостратиграфическими методиками) комплексов и серий, а также с использованием выделенных ритмостратиграфических подразделений ранга свит и ритмопачек в Карасальско-Соль-Илецкой области.

В настоящей работе авторами сделана попытка выполнить расчленение солеродной формации на основе построения 4Д модели для позднеасельско-казанского седиментационного бассейна Каспийского региона в целом и для Центральной субпровинции (Прикаспийская нефтегазоносная провинция) в частности. При ее конструировании определяющим критерием для отнесения выделенного подразделения к рангу комплекса служит его возрастной диапазон, а к рангу серий — стадия процесса осадконакопления эвапоритовой формации, за время которой происходило формирование разреза серии в каждой из выделенных областей (рис. 8б). В солеродных провинциях, аналогичных изученной нами Каспийской, началу соленакопления предшествует формирование глубоководной (минус 1.5–2.0 км) котловины, а к концу на месте котловины развивается предгорное аккумулятивное плато (плюс 0.2–0.5 км). Процесс накопления эвапоритовой формации проходил в несколько стадий с образованием осадочных серий различного состава и возраста: (а) предэвапоритовая стадия; (б) предгалокинетическая стадия накопления эвапоритов до начала галокинеза с двумя разновидностями седиментации — котловинной и шельфовой; (в) галокинетическая стадия формирования эвапоритов одновременно с процессом галокинеза; (г) рециклинговая стадия накопления за счет размыва ранее образованных солей при продолжающемся процессе галокинеза. Границы этих стадий возможно выделить лишь с использованием данных сейсмостратиграфии. Предлагаемые нами серии и комплексы эвапоритовой формации, выявленные на основе сейсмостратиграфической информации, и их соотношение с разноранговыми литостратиграфическими подразделениями местных стратиграфических схем, отражены на рис. 9.

ВЫВОДЫ

1. Проанализированы местные и региональные стратиграфические схемы пермской эвапоритовой формации Каспийского региона. Показано, что несоответствия в определении границ местных литостратиграфических подразделений ранга пачек, свит и даже серий в схемах, предложенных для территории Прикаспийской впадины, традиционно

выделяемой в границах Прикаспийской солянокупольной области, обусловлены объективными причинами. Указана главная причина — несоответствие наблюдаемых пространственно-временных взаимоотношений слоев ассоциаций галогенной толщи с их первичной седиментационной последовательностью.

2. Показано, что в Прикаспийской впадине расчленение соленосного интервала разреза на свиты методами ритмостратиграфии невозможно. Продемонстрированы результаты использования сейсмостратиграфической 4Д модели Каспийского региона (масштаба 1 : 2 500 000) для картирования границ специфических подразделений местных и региональных стратиграфических схем солеродных провинций ранга комплексов и серий. Для таких подразделений предлагается термин “лито-сейсмостратиграфические”.

3. Предложена методика составления межрегиональной стратиграфической схемы солеродной провинции Каспийского региона, а также региональной схемы Центральной субпровинции и местных схем для ее областей. Предлагаемая методика базируется на использовании: (а) сейсмостратиграфического анализа внутреннего строения возрастных сейсмостратиграфических подразделений (сейсмостраты тектоно-седиментационного типа) осадочного чехла, в составе которых размещается пермская эвапоритовая формация; (б) реконструкции процессов осадконакопления в пределах солеродной провинции во время формирования среднекаменноугольно-пермского сейсмогеологического этажа, внутри которого размещена эвапоритовая формация.

4. Определены сейсмостратиграфические критерии выделения границ лито-сейсмостратиграфических комплексов и серий эвапоритовой формации и критерии районирования пермской солеродной провинции Каспийского региона и выделения в ее пределах субпровинций, а внутри последних — областей. Для выделения границ комплексов главный критерий — это дисгармоничный характер внутреннего рисунка отражений сейсмостратиграфического подразделения осадочного чехла, в составе которого размещается пермская эвапоритовая формация, а для выделения серий — стадийность процесса соленакопления. Определяющим критерием для районирования солеродной провинции принята морфология структурных форм осадочного чехла (ядра соляного купола, соляной антиклинали или штампового поднятия платформенного типа).

5. Предложена схема районирования эвапоритовой формации солеродной провинции Каспийского региона с обособлением Центральной субпро-

винции и четырех субпровинций по ее периферии. Центральная субпровинция выделена как регион, где деформации обусловлены процессами галокинеза, периферийные субпровинции – как регионы проявления тектоногалокинеза. Северо-Западная и Юго-Восточная субпровинции – это регионы проявления штамповых деформаций растяжения, а Восточная и Юго-Западная субпровинции – регионы складчатых деформаций сжатия.

6. Предложены региональная схема расчленения эвапоритовой формации Центральной субпровинции и местные схемы для четырех ее областей, демонстрирующие соотношение литолого-сейсмостратиграфических серий с региональными стратиграфическими единицами, которые используются при составлении геологических карт.

Источник финансирования. Тема исследования соответствует госзаданию ГИН РАН, подбор материалов для регионального сейсмостратиграфического анализа осуществлен в рамках гранта РНФ 22-27-00827.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антипов М.П., Волож Ю.А.* Особенности строения и нефтегазоносности надсолевого разреза Прикаспийской впадины // Прикаспийская впадина: актуальные проблемы геологии и нефтегазоносности. Труды Общества нефтяников геологов Казахстана (ОНГК). 2012. № 1. С. 131–152.
- Антипов М.П., Волож Ю.А., Чамов Н.П.* Четырехмерные модели нефтегазоносных бассейнов // Современные проблемы геологии. М.: Наука, 2004. С. 251–270. (Тр. ГИН РАН. Вып. 565).
- Антипов М.П., Волож Ю.А., Куандыков Б.М., Трохименко М.С.* Природа нефтегазолокализирующих объектов тасымского типа (Актюбинско-Астраханская зона поднятий) // Каспийский регион, проблемы строения и нефтегазоносности глубокозалегающих комплексов. Труды Казахстанского Общества нефтяников-геологов (КОНГ). 2015. Вып. 5. С. 81–92.
- Атлас литолого-палеогеографических, структурных и экологических карт Центральной Евразии. Алма-Ата: НИИ Природных ресурсов ЮГГЕО, 2002. 26 с., 42 листа карт.
- Беленицкая Г.А.* Соли Земли: тектонические, кинематический и магматические аспекты геологической истории. М.: Изд-во ГЕОС, 2020. 605 с.
- Волож Ю.А., Липатова В.В., Грошев В., Шишкина Т.А.* Типы соляных структур Прикаспийской впадины // Геотектоника. 1997. № 3. С. 41–55.
- Волож Ю.А., Быкадоров В.А., Антипов М.П., Парасьина В.С., Рыбальченко В.В.* Особенности строения палеозойских отложений Устюрта в связи с нефтегазоносностью // Нефтегазоносные бассейны Казахстана и перспективы их освоения. Алматы: Казахстанское общество геологов-нефтяников, 2015. С. 330–349.
- Гогин И.Д. и др.* Отчет по теме “Разработать общую стратиграфическую основу госгеолкарты-1000/3 и -200/2 и актуализировать региональные корреляционные схемы фанерозоя для основных регионов России”, ВСЕГЕИ, 2015. https://vsegei.ru/ru/info/stratigraphy/stratigraphic_scale/KorrRegionalChapts2.pdf
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб: 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист М-38 – Волгоград. Объяснительная записка. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2009. 399 с. +17 вкл.
- Деревягин В.С., Свидзинский С.А., Седлецкий В.И.* Нижнепермская галогенная формация Северного Прикаспия. Ред. Жарков М.А. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1981. 397 с.
- Калугин А.К., Слауцитайс И.П., Грибков В.В.* Стратиграфия доюрских отложений полуострова Бузачи и Северного Устюрта // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1981. № 9. С. 73–80.
- Кириков В.П., Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В.* Тектоническое районирование платформенных чехлов на примере Восточно-Европейской платформы // Региональная геология и металлогения. 2017. № 72. С. 16–25.
- Косыгин Ю.А.* Соляная тектоника платформенных областей. М.: Гостехиздат, 1950. 248 с.
- Лапкин И.Ю., Мовшович Е.В.* История изучения отложений пермской системы юга Восточно-Европейской платформы. Статья 3. Современные исследования // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1994. Т. 69. Вып. 5. С. 77–95.
- Леонов Г.П.* Основы стратиграфии. М.: Изд-во Московского ун-та, 1974. Т. 2. Гл. XXIII. С. 445–483.
- Лозовский В.Р., Миних М.Г., Грунт Т.А., Кухтинов Д.А., Пономаренко А.Г., Сукачева И.Д.* Уфимский ярус восточноевропейской шкалы: статус, валидность, корреляционный потенциал // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2009. Т. 17. № 6. С. 46–58.
- Мейен С.В.* Введение в теорию стратиграфии. М.: Наука, 1989. 216 с.
- Мовшович Е.В.* Палеогеография и палеотектоника Нижнего Поволжья в пермском и триасовом периодах. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1977. 240 с.
- Наугольных С.В.* Пермские флоры Урала. М.: Геос, 2007. 322 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 524).
- Оренбургский тектонический узел: геологическое строение и нефтегазоносность. Ред. Волож Ю.А., Парасьина В.С. М.: Научный мир, 2013. 264 с.
- Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция. Ред. Леонов Ю.Г., Волож Ю.А. М.: Научный мир, 2004. С. 526.
- Писаренко Ю.А., Прохорова Н.П., Кухтинов Д.А., Левина В.И.* Местные стратиграфические подразделения нижней перми Прикаспийского региона // Недра Поволжья и Прикаспия. 2000. Вып. 21. С. 3–18.
- Писаренко Ю.А., Писаренко В.Ю., Киреенко О.С.* Модель пермского этапа соленакопления на юго-восточной части Русской плиты и ее значение для поиска месторождений нефти и газа и различных полезных ископаемых // Геология нефти и газа. 2011. № 1. С. 44–52.
- Писаренко Ю.А., Писаренко В.Ю., Дунаева М.Н.* Стратиграфические, литолого-фациальные и структурные соотношения разновозрастных соленосных пород и их значение в проявлении процессов соляного тектогенеза

за в Прикаспийской впадине // Недр Поволжья и Прикаспия. 2017. Вып. 91. С. 21–35.

Писаренко Ю.А., Гончаренко О.П., Писаренко В.Ю. Особенности строения нижнепермской соленосной толщи и характер проявления соляного тектогенеза в северном и северо-западном обрамлении Прикаспийской впадины. Статья 1 // Изв. Саратовского ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2021а. Т. 21. Вып. 1. С. 58–64.

Писаренко Ю.А., Гончаренко О.П., Писаренко В.Ю. Особенности строения нижнепермской соленосной толщи и характер проявления соляного тектогенеза в северном и северо-западном обрамлении Прикаспийской впадины. Статья II // Изв. Саратовского ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2021б. Т. 21. Вып. 2. С. 93–102.

Свидзинский С.А., Барановская М.А. Особенности ритмостратиграфии галогенной толщи и палеогеографические условия формирования калийно-магниевого минерализации в юго-западной тупиковой части Северо-Прикаспийского солеродного бассейна // Изв. Саратовского ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2015. Т. 15. Вып. 3. С. 57–62.

Софроницкий П.А., Золотова В.П. Лоны артинского и кунгурского ярусов Пермского Прикамья // Биостратиграфия и литология верхнего палеозоя Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. С. 79–84.

Софроницкий П.А., Ожгибесов В.П. Международный конгресс “Пермская система Земного шара”. Путеводитель геологических экскурсий. Часть 3. Пермская геологическая система Пермского Приуралья. Свердловск: Полиграфист, 1991. 152 с.

Софроницкий П.А., Золотова В.П., Грайфер Б.И., Ларионова Е.Н., Оборин А.А., Пнев В.П., Хурсик В.З., Ехлаков Ю.А., Проворов Ю.А., Красильников Б.В., Щербакowa М.В., Лукин В.С. Путеводитель экскурсии по нижнепермским отложениям по рекам Косье, Сылве и Каме. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 1974. 102 с.

Степанов Д.Л. Верхний палеозой западного склона Урала (опыт биостратиграфического анализа). Л.–М.: Гостоптехиздат, 1951. 223 с. (Тр. ВНИГРИ. Нов. сер. Вып. 54).

Стратиграфические схемы фанерозоя Украины. Киев: МСКУ, 1993.

Стратиграфический кодекс России. Издание третье, исправленное и дополненное. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. 96 с. (МСК России, ВСЕГЕИ).

Тихвинская Е.И., Тихвинский И.Н., Игонин В.М., Золотова В.П., Хурсик В.З. Пермская система. Кунгурский ярус, его объем и распространение // Материалы по геологии востока Русской платформы. Вып. 27. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1967. С. 3–53.

Трапезников Д.Е. Палеогеографические и палеотектонические обстановки Соликамской впадины в уфимское время. Автореферат дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Пермь: НТИ ГИ УрО РАН, 2019. 20 с.

Чувашов Б.И. Кунгурский ярус пермской системы (проблемы выделения и корреляции) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1997. Т. 5. № 3. С. 10–28.

Чувашов Б.И., Дюпина Г.В. Верхнепалеозойские терригенные отложения западного склона Среднего Урала. М.: Наука, 1973. 208 с.

Чувашов Б.И., Дюпина Г.В., Мизенс Г.А., Черных В.В. Опорные разрезы верхнего карбона и нижней перми западного склона Урала и Приуралья. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 369 с.

Чувашов Б.И., Черных В.В., Богословская М.Ф. Биостратиграфическая характеристика стратотипов ярусов нижней перми // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2002. Т. 10. № 4. С. 3–19.

Шатский Н.С. Избранные труды. Т. 3. М.: Наука, 1965. 348 с.

Boucot A.J., Xu C., Scotese C.R. Phanerozoic Paleoclimate: An Atlas of Lithologic Indicators of Climate // Concepts in Sedimentology and Paleontology. SEPM. 2013. № 11. 478 p.

Naugolnykh S.V. Lower Kungurian shallow-water lagoon biota of the Middle Cis-Urals, Russia: towards the paleoecological reconstruction // Global Geology. 2017. V. 20 (1). P. 1–13.

Naugolnykh S.V. Lower Permian conifers of the Urals: taxonomic and morphological diversity and paleoecology // Paleontol. J. 2018. V. 52. № 7. P. 34–51.

Naugolnykh S.V. Main biotic and climatic events in Early Permian of the Western Urals, Russia, as exemplified by the shallow-water biota of the Kungurian lagoons // Palaeoworld. 2020. V. 29. Iss. 2. P. 391–404.

Torsvik T.H., Cocks M., Robin L. Earth History and Palaeogeography. Cambridge University Press, 2017. 332 p.

Volozh Yu.A., Talbot C.J., Ismail-Zadeh A.T. Salt structures and hydrocarbons in the Pricaspian basin // AAPG Bull. 2003. V. 87. № 2. P. 313–334.

Рецензенты К.Б. Абилхасимов,
И.В. Куницына, М.Г. Леонов

Stratigraphy and Seismostratigraphy of the Permian Evaporite Formation in the Salt-Producing Province of the Caspian Region: Problems and Solutions

M. P. Antipov^a, V. A. Bykadorov^a, Y. A. Volozh^a, S. V. Naugolnykh^a, I. S. Patina^a,
Y. A. Pisarenko^b, and I. S. Postnikova^{a, #}

^a Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^b Nizhnevolzhsky Geology and Geophysics Research Institute, Saratov, Russia

[#]e-mail: postnikova_irina1994@mail.ru

The paper deals with the composition and stratigraphy of the evaporite formation in the salt-producing province of the Caspian region. Based on seismostratigraphic approach, the correlation of geological sections in

the lateral areas of the salt-producing province with the halokinetically deformed sections in the central areas of the Precaspian depression is proposed. As a result of the research, a new local stratigraphic scheme of the Permian evaporite formation of the Central subprovince is proposed and the principles of its construction using the results of the seismostratigraphic analysis of the Asselian-Tatarian seismogeological substage and the accepted serial legends of three groups of sheets of geological maps (scale 1 : 1000 000; Scyphian (South-European), Central-European, and Uralian maps) are outlined. The results obtained significantly clarify the known schemes of the oil and geological zoning of the Caspian oil and gas province and contribute to the development of the resources of the deep (subsalt) horizons of its sedimentary cover.

Keywords: Precaspian depression, correlation, Permian system, Kungurian stage, Philippian horizon, Irenian horizon