

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛЯНО-КУПОЛЬНЫХ СТРУКТУР КАК ЧАСТЬ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ ЛАНДШАФТОГЕНЕЗА

А.М. Тюрин

ООО «ВолгоУралНИПИгаз, Оренбургский государственный университет, Россия, Оренбург
 e-mail: amturin1952@bk.ru

Рассмотрены данные термокаротажа в скважинах Каинсайско-Линевской зоны (северо-восток Прикаспийской впадины, Оренбургская область). Дано обоснование необходимости изучения теплофизических характеристик соляно-купольных структур и вмещающих терригенных отложений (до почвенного слоя включительно), как одной из значимых составляющих феноменологической концепции ландшафтогенеза.

Ключевые слова: соляно-купольные структуры, тепловой поток, термокартаж, ландшафтогенез, Оренбургская область.

Введение

Карбонаты девонско-среднекаменноугольного возраста Прикаспийской впадины и девонско-нижнепермского южной части волго-уральской карбонатной платформы перекрыты мощной толщей эвапоритов кунгурского яруса нижней перми. Первичное пластовое залегание толщи и перекрывающих ее терригенных отложений перми, мезозоя и кайнозоя нарушено процессами галокинеза. Сформированы соляно-тектонические структуры – купола, гряды и компенсационные мульды.

Институтом степи Уральского отделения РАН разработана феноменологическая концепция соляно-купольного ландшафтогенеза [1, 2]. Локальное влияние соляно-купольных структур (куполов и гряд) на природную среду рассматривается в рамках целостной системы. Связанные с ними интерферирующие факторы приводят к формированию геологических, геоморфологических, геохимических, климатических, почвенных и геоботанических аномалий относительно фоновой ландшафтнй среды. В пределах последней формируются редкие и уникальные урочища.

Автор статьи [3] с позиций феноменологической концепции разделил публикации, в которых рассматриваются вопросы воздействия галокинеза на различные природные компоненты, на четыре группы:

- оригинальные идеи и концепции в области формирования соляно-купольных структур;
- геоморфологические проявления галокинеза;
- ландшафтные проявления соляно-купольных структур;
- прикладные аспекты (недропользование, рекреационно-туристические и природоохранные) использования соляно-купольных геосистем.

В публикациях [1-3] не затрагивается одна из главных характеристик соляных куполов и гряд, связанная с их теплофизическими свойствами. Они являются проводниками тепла с глубины 2,0-12,0 км до почвенного слоя. В Прикаспийской впадине замеренная температура на глубине 4,4 км составляет 90-120 °С. Температуропроводность соли $12,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, теплопроводность – $6,9 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$. У терригенных пород, вмещающих соляно-купольные структуры, значения этих параметров существенно ниже – $5,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ и $2,3 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$ соответственно [4]. Теплопроводность ангидритов $3,0 \text{ мВт}/\text{м}^2$, карбонатов от 1,7 до $2,7 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$ [5]. В Прикаспийской впадине наиболее низкие значения теплового потока – менее $30 \text{ мВт}/\text{м}$, на ее северо-востоке [6]. В ее восточной части тепловой поток по площади варьируется от 30 до $67 \text{ мВт}/\text{м}^2$, что связано с фокусирующим действием соляных куполов и

гряд [7]. В Предуральском прогибе на глубине 1000 м температура в пределах зоны соляно-купольных структур варьируется от 31,5 до 52,4 °С, в интервале 100-1000 м геотермический градиент – от 1,1 до 3,5 °С/100 м [8]. На одной и той же глубине температура над сводами куполов и гряд выше, чем над их периферийными частями.

Изучение теплофизических характеристик соляно-купольных структур «выпало» из комплексных исследований в рамках феноменологической концепции. Минимальная глубина кровля солей Северо-Баскунчакского купола (Астраханская область) 35-60 м. Мощность кепрока – от первых метров до 80 м [9]. На северо-западе Прикаспийской впадины, где локализован купол, подсолевые отложения залегают на глубинах более 6,0 км. Северо-Баскунчакский купол «подводит» глубинное тепло к подпочвенным отложениям и почвенному слою. С куполом связаны поверхностные водотоки, которые обеспечивают 95 % общего стока в озеро Баскунчак [10]. Их водосбор частично находится в его кепроке. В публикации приведены характеристики водотоков. О температуре воды не сообщается. Не сообщается о температуре воды из скважин, главная задача которых мониторинг гидрогеологического режима в районе озера. Не приведена она и при описании гидрогеохимических особенностей подземных вод верхней части Баскунчакского купола [11].

Размеры Индерского соляного купола (Западный Казахстан) 20×25 км. Подсолевые отложения залегают на глубине 9-11 км. Расчетная температура на этих глубинах 150-200 °С [4]. Минимальные глубины залегания кровли солей 5-70 м, мощность кепрока (глинистые гипсы и ангидриты) от первых метров до 250 м [12]. Индерский купол обеспечивает более интенсивный тепловой поток в кепрок и надсолевые отложения, чем Северо-Баскунчакский. В статье [13] приведены результаты его исследований на основе феноменологической концепции. Изучались и родники на берегу озера Индер, область питания которых находится в отложениях над соляным куполом. Приведены их дебиты и минерализация воды. Температуру воды авторы посчитали неинформативным параметром.

Цель данной публикации – постановка вопроса о необходимости изучения теплофизических характеристик соляно-купольных структур и вмещающих терригенных отложений (до почвенного слоя включительно), как одной из значимых составляющих феноменологической концепции. Сделано это на примере данных термокаротажа в скважинах Каинсайско-Линевской зоны.

Направления изучения теплофизических характеристик соляно-купольных структур

Теплофизические характеристики соляно-купольных структур изучаются с позиции физики Земли. В публикации [4] приведены фактические данные термокаротажа и результаты моделирования геотермического поля по линии Джамбай-Кенкияк (восток Прикаспийской впадины). Главный вывод: высокотеплопроводящие соляные купола искажают фоновый тепловой поток от мантии до поверхности земли.

Наиболее развитое направление изучения теплофизических характеристик геологического разреза связано с нефтью и газом. Соляные структуры не только прогревают перекрывающие и вмещающие отложения, но и снижают температуру нижележащих за счет отвода их тепла вверх [14]. В случае залегания соленосной толщи над нефтематеринскими породами, последние под соляными куполами могут находиться в пределах нефтяного окна генерации углеводородов в течение более длительного периода. Этот эффект повышает перспективы нефтеносности осадочных бассейнов с соленосными толщами, трансформированными процессами галокинеза. Выводы авторов имеют большое значение для понимания условий генерации нефти и газа в Прикаспийской впадине. Подсолевые нефтематеринские породы в мульдах могут находиться в газовом окне генерации углеводородов, а под соляными куполами, где их температура ниже, – в нефтяном. То есть, на локальной площади возможно одновременное генерирование нефти и газа. Этот вопрос рассмотрен и на примере северной бортовой зоны Прикаспийской впадины [15].

В публикации [8] приведены методические приемы расчета термобарических параметров разреза по данным бурения и меридиональный профиль современных температур (реконструкция) через оренбургский сегмент Предуральского прогиба. На основе термобарической модели региона осуществляется прогноз зон аномально высоких поровых давлений в интервалах разреза и степень катагенетического преобразования органического вещества нефтематеринских пород.

По данным термокаротажа и результатам изучения теплофизических характеристик керна путем моделирования рассчитано геотемпературное поле Астраханского карбонатного массива [5]. При этом определен вклад в структуру фонового теплового потока радиогенной теплогенерации. Полученные данные являются частью геолого-геофизической модели Астраханского газоконденсатного месторождения.

Авторы публикации [16] на примере Северо-Восточной Германии рассмотрели влияние температурных аномалий, связанных с соляными куполами, на зрелость органического вещества и сроки генерации углеводородов. Кроме того, аномалии влияют на процесс циркуляции пластовых вод в мульдах. Это еще одно направление изучения теплофизических характеристик соляно-тектонических структур. Более сложные модели циркуляции пластовых вод в мульдах для этого же региона рассмотрены в публикации [17]. К склону соляного купола приурочена узкая зона, в которой формируется поток восходящих теплых вод, а холодные воды, на удалении от него, двигаются вниз к подошве надсолевых отложений мульды.

Имеется способ поисков соляных куполов [18] с небольшими изменениями теплопроводности по площади. Бурятся вскрывающие его скважины, в них измеряется температура слоя. По полученным данным рассчитываются тепловые потоки и их соотношения. Максимальный тепловой поток соответствует верхней части соляного купола. Более эффективной для картирования соляно-купольных структур будет обычная геотермическая съемка, применяемая как прямой метод поиска месторождений углеводородов [19]. Температура замеряется в мелких скважинах или шурфах ниже слоя, подверженного ее суточным колебаниям (1-2 м).

В зоне сочленения Соль-Илецкого свода и Предуральского прогиба выполнены дистанционные исследования с целью прогноза участков, перспективных на нефть и газ. Они включали и видеотепловизионную съемку. По ее результатам определяется температура поверхности земли в ночное время. Эти данные нуждаются в целенаправленном анализе. Представляется, что возможности видеотепловизионной съемки позволяют выявлять тепловые аномалии, связанные с соляными куполами и грядами.

Теплофизические характеристики соляно-тектонических структур изучаются для определения параметров строительства проектируемых скважин и подсчета запасов залежей углеводородов. На их основе даются обоснования возможности получения термальной энергии из соляных куполов [20]. Знание распределения температур в соляно-тектонических структурах необходимо для математического моделирования их формирования [15, 21].

Геологическое строение Каинсайско-Линевской зоны

Каинсайско-Линевская зона включает запад оренбургской части Прикаспийской впадины. Последняя на севере маркируется склоном бортового уступа Волго-Уральской карбонатной платформы (рис. 1). Административно зона находится на территории Илекского и Соль-Илецкого районов Оренбургской области.

В 1960-х годах верхние части соляно-купольных структур Каинсайско-Линевской зоны изучены бурением на калийно-магнезиальные соли. По результатам структурного бурения на нефть и газ на глубину 1200 м изучены надсолевые отложения в зоне их примыкания к Буранной соляной гряде. Аэромагнитная съемка масштаба 1:50000 выполнена в 1979-1981 гг. Соляным куполам соответствуют отрицательные аномалии ΔT_a .

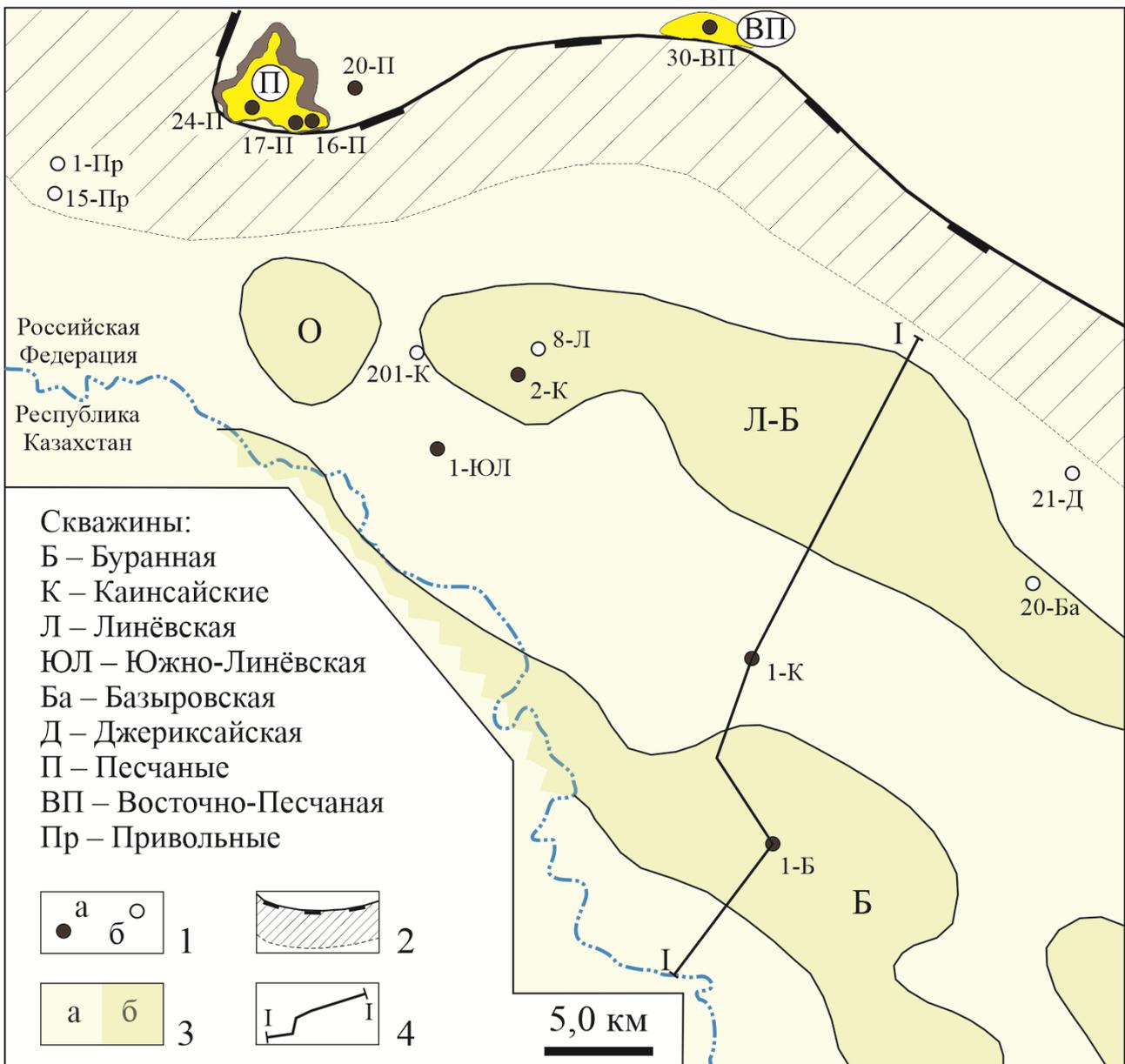


Рисунок 1 – Каинсайско-Линевская зона. Схема геологического строения

Примечание: 1 – скважины, вскрывшие подсолевые карбонаты (а) и не вскрывшие их (б); 2 – склон карбонатной платформы девонско-нижнепермского возраста; 3 – пластовое залегание соленосной толщи кунгурского яруса и мульды (а), соляные купола и гряды (б): Озерский купол (О), Линевско-Базыравская (Л-Б) и Буранная (Б) гряды; 4 – положение сейсмогеологического разреза I-I

До 1993 г. геологоразведочные работы (ГРП) на нефть и газ в Каинсайско-Линевской зоне и на сопредельных площадях выполнялись ГПП «Оренбурггеология». Пробурено пять параметрических скважин (1 и 15 Привольные, 8 Линевская, 20 Базыровская, 21 Джерексайская) и одна поисковая (16 Песчаная). Все, кроме 21 Джерексайской, заложены на подсолевые отложения, но вскрыла их только одна – 16 Песчаная, расположенная в зоне бортового уступа карбонатной платформы.

В период 1993-2011 гг. ГРП в Каинсайско-Линевской зоне и на площадях к северу от нее выполнялись ООО «Газпром добыча Оренбург». Они включали сейсморазведку МОГТ в модификациях 2D, ШП и 3D, гравиразведку масштаба 1:25000, низкочастотную акустическую разведку АНЧАР, сейсмическую локацию бокового обзора СЛБО, электроразведку ДНМЭ и газогеохимическую съемку. На подсолевые отложения пробурены четыре скважины. Три параметрические – 1 Каинсайская (глубина 6516 м), 1 Буранная (6504 м), 1 Южно-Линевская (6145 м), и одна поисковая – 2 Каинсайская (6581 м).

На надсолевые – поисковая 201 Каинсайская (3202 м). Они решили поставленные задачи, однако не подтвердили прогнозируемые перспективы нефтегазоносности подсолевых и надсолевых отложений.

По данным сейсморазведки МОГТ южнее скважины 1 Каинсайская закартирован выступ кристаллического фундамента, ограниченный с юга разломом (рис. 2). Мощность додевонских отложений, предположительно терригенных ордовикского возраста, севернее скважины достигает 1500 м. В южном направлении они выклиниваются.

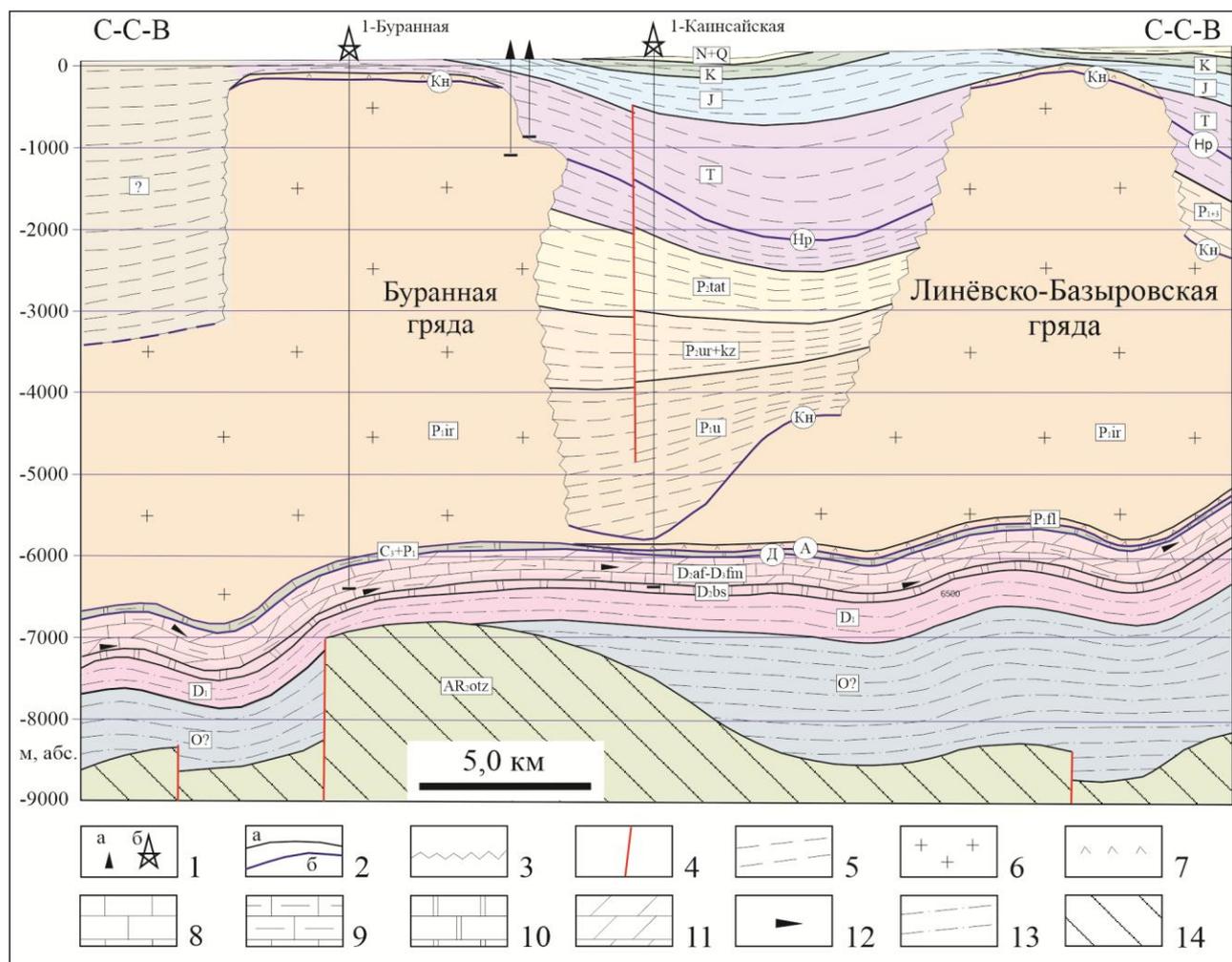


Рисунок 2 – Сейсмогеологический разрез по линии I-I

Примечание: 1 – скважины разведочные на калийно-магнезиальные соли (а), параметрические на нефть и газ (б); 2 – стратиграфические и литологические границы (а и б), в том числе, являющиеся отражающими (б); 3 – субвертикальные склоны соляных гряд; 4 – разломы. Литологические различия пород: терригенные надсолевые отложения (5), отложения соляных гряд, представленные преимущественно галитом (6), ангидриты (7), известняки (8), известняки глинистые (9), доломиты (10), мергели (11), глинистые горючие сланцы (12), терригенные ордовика и нижнего девона (13), кристаллического фундамента (14). Индексы отражающих границ (подписаны в кружочках): Д – кровля девона; А – кровля подсолевых отложений; Кн – кровля солей кунгурского яруса; Нр – кровля пласта песчаника в отложениях триаса.

Литолого-фациальные особенности подсолевых отложений Каинсайско-Линевской зоны охарактеризованы разрезами скважин 1 Буранная (вскрыто 310 м), 1 и 2 Каинсайские (449 и 449 м), 1 Южно-Линевская (109 м). Наиболее древние отложения вскрыты скважиной 2 Каинсайская. Относятся к эмсскому ярусу нижнего девона (вскрыто 20 м). Представлены чередованием аргиллитов, алевролитов, алевро-песчаников и песчаников. Мощность отложений среднего девона (доломиты и известняки) достигает 240 м. Франский ярус сложен доломитами, известняками, аргиллитами, алевролитами и песчаниками. Терригенные

породы преобладают в его верхней части. Состав отложений фаменского яруса – известняки преимущественно микрозернисто-пелитоморфные, аргиллиты, мергели. Мощность отложений верхнего девона – до 245 м. К их кровле приурочена отражающая граница Д.

Окско-серпуховские отложения карбона представлены органогенными доломитами и известняками. Мощность – до 146 м. Ассельский ярус нижней перми сложен тонко-среднезернистыми доломитами, прослоями битуминозными. Артинский ярус – доломитами почти черными, крипто- и микрозернистыми, глинистыми, битуминозными. Это типичные глубоководные депрессионные фации открытого моря. Мощность отложений артинского яруса в разрезе скважины 1 Каинсайская – 37 м. К кровле подсолевых отложений приурочена отражающая граница А.

В скважине 1 Буранная в открытом стволе опробованы отложения девона. Получено 1,5 м³ нефти. При опробовании подсолевых отложений в скважине 1 Каинсайская зафиксирован непромышленный приток газа. Отмечены признаки нефтегазоносности подсолевого разреза скважины 2 Каинсайская. Но притоки углеводородов из пористых пластов не получены.

Высота бортового уступа волго-уральской карбонатной платформы 2000-2200 м. В его верхней части (карбонаты артинского яруса) открыто два месторождения – Песчаное нефтегазоконденсатное (скважины 17, 20 и 24) и газоконденсатное Восточно-Песчаное (скважина 30).

Литологический состав, условия залегания и физические характеристики соленосной толщи кунгурского яруса и надсолевых терригенных отложений Каинсайско-Линевской зоны приведены в публикациях [22-25]. Проявления галокинеза на северо-востоке Прикаспийской впадины имеют те же общие черты, что и в других ее районах. Основные структурные формы – соляные гряды, отдельные купола и мульды. Наиболее протяженный соляно-тектонический элемент представлен Линевско-Базыровской грядой, имеющей длину 90 км, ширину 5-10 км и северо-западно-западное простирание, а также примыкающей к ее западному окончанию системой отдельных куполов (Озерский, Сухореченский и Кончербайский) субширотного простирания. Карачаганакский купол, по-видимому, не является элементом вышеописанной системы и должен рассматриваться как самостоятельная соляная структура. На всем протяжении вышеописанная система куполов и гряд расположена параллельно простиранию бортового уступа волго-уральской платформы, южнее последнего на 8-10 км, и является генетически связанной с ним.

Южнее Линевско-Базыровской гряды расположена система гряд, имеющая северо-западное простирание. Она включает Буранную и Новоивановскую гряды, а также расположенный между их окончаниями Покровский купол. По типу все купола и гряды относятся к прорванным. Они имеют крутые склоны, близкие к вертикальным, осложненные соляными карнизами. Между Линевско-Базыровской и Буранной грядами находится Каинсайская мульда. К кровле соленосной толщи приурочена отражающая граница Кн.

Скважина 1 Буранная расположена в центральной части Буранной гряды. Здесь ширина ее верхней части достигает 8 км. Кепрок в разрезе скважины (интервал 257-297 м) сложен гипсами с карбонатно-глинистыми включениями. Перекрыт терригенными отложениями юры и мела (глины с прослоями песчаников и алевролитов), а также неоген-четвертичными (суглинки и глины) В соленосной толще резко доминирует галит. Имеются пласты ангидритов, терригенных и карбонатных пород, а также пачки калийно-магнезиальных солей. Особенностью разреза скважины является залегание солей непосредственно на подсолевых карбонатах, кровля которых вскрыта на глубине 6194 м. Буранная гряда приурочена к выступу кристаллического фундамента.

Скважины 8 Линевская и 2 Каинсайская расположены на западном окончании Линевско-Базыровской гряды. Вскрытый ими разрез существенно отличается от разреза скважины 1 Буранная. В разрезе скважины 2 Каинсайская глинисто-карбонатно-гипсовая толща (кепрок) вскрыта в интервале 43-295 м. Ниже карбонатно-терригенные породы

уфимского и казанского ярусов перми залегают попеременно с солями и ангидритами. Залегание пластов от субгоризонтального до 10-30° к оси керна. Кровля подсольевых отложений вскрыта на глубине 5851 м. На известняках нижней перми залегают пласты ангидрита мощностью 8 м.

В разрезе скважины 20 Базыровская глины нижней части надсолевого разреза залегают на глубине 508 м непосредственно на солях (кепрок отсутствует). До глубины 2540 м разрез сложен галитом с редкими пропластками аргиллитов, доломитов и ангидритов. Ниже – переслаивание аргиллитов, алевролитов и песчаников. Вблизи забоя (5200 м) в разрезе появляются известняки, доломиты и ангидриты.

Скважина 1 Каинсайская вскрыла разрез межкупольной мульды. Мощность неоген-четвертичных отложений, представленных суглинками, песчаниками и аргиллитоподобными глинами, составляет 58 м. Палеогеновые отложения в ее разрезе отсутствуют. Меловые (мощность 189 м) и юрские (520 м) представлены глинами с прослоями песчаников, мергелей и галечников. Общая мощность отложений триаса 1490 м. Наибольшим содержанием пластов песчаников характеризуется их верхняя часть мощностью 400 м. Мощность отдельных пластов достигает 10-12 м. Выделяется пласт песчаника мощностью 30 м (интервал 1640-1670 м, акжарская свита?), который распространен в пределах всей Каинсайско-Линевской зоны. К его кровле приурочена отражающая граница Нр.

Общая мощность надсолевых отложений перми составляет 3683 м. Они представлены однотипными породами. Глины в основном двух разновидностей: красно-коричневые аргиллитоподобные плотные или песчанистые рыхлые и темно-бурые плотные. Песчаники среднезернистые, слабой и средней степени окатанности и отсортированности. Кунгурский ярус (интервал 5930-6067 м) сложен слоистой аргиллитово-алевритовой толщей, залегающей на пласте ангидрита мощностью 43 м. Скважина 1 Каинсайская вскрыла бессолевой участок одноименной мульды.

До глубины 4150 м разрез терригенных отложений, вскрытых скважиной 1 Южно-Линевская, не отличается от разреза скважины 1 Каинсайская. Ниже залегают терригенно-галогенная толща нижнеказанского подъяруса средней перми – чередование пластов галита и аргиллита. Имеются пласты алевролитов и песчаников. В отложениях уфимского яруса нижней перми (интервал 5362-5778 м) карбонатно-терригенные породы доминируют над эвапоритами. Кунгурский ярус представлен галогенно-терригенно-карбонатной толщей. На подсольевых карбонатах (кровля на глубине 6036 м) залегают пласты ангидрита мощностью 11 м. В юго-восточной части Волго-Уральской карбонатной платформы пласт ангидрита, залегающий на подсольевых карбонатах, относится к филипповскому горизонту кунгурского яруса, а соленосные отложения – к иренскому горизонту.

По внутреннему строению соляных куполов и гряд имеются обширные данные бурения на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении. Однако, несмотря на это, на сегодня имеются только самые общие представления о формировании этих соляно-тектонических структур. Им соответствует Буранная гряда. В нее выжаты соли из сопредельных мульд. Формирование Линевско-Базыровской гряды, представляющей «слоеный пирог» из надсолевых терригенных отложений и эвапоритов, в эту схему не укладывается.

Горное давление

Плотность интервала разреза 1200-4200 м надсолевых терригенных отложений в скважине 1 Каинсайская оценена по данным геофизических исследований скважин. Она плавно возрастает от 2,20 г/см³ до 2,50 г/см³ [23]. В интервале от 4200 м до кровли кунгурского яруса их плотность колеблется вблизи значения 2,50 г/см³. Очевидно, на глубине порядка 4200 м достигается максимальное гравитационное уплотнение глин. То есть, при формировании мульды нижняя часть надсолевых отложений постепенно погружается на большие глубины. Под действием возрастающего горного давления происходит уплотнение терригенных пород, и, следовательно, возрастание горного давления

на остатки солей, не выжатых в купола. Этот процесс приводит к формированию бессолевых мульд.

Плотность солей в соляных куполах, не включающих пачки надсолевых терригенных отложений, – $2,20 \text{ г/см}^3$. По результатам моделирования гравитационного поля эффективная плотность надсолевой толщи в Каинсайской мульде составляет $2,43 \text{ г/см}^3$. Такое распределение плотностей является физической основой картирования соляно-тектонических структур по данным гравиразведки.

Плотность надсолевых отложений в разрезе скважины 1 Буранная составляет примерно $2,20 \text{ г/см}^3$. Горное давление на кровлю карбонатов (6194 м) – 1363 кг/см^2 . Горное давление на кровлю карбонатов в разрезе скважины 1 Каинсайская (глубина 6067 м) – 1474 кг/см^2 . При плотности подсолевых карбонатов равной $2,70 \text{ г/см}^3$ горное давление в мульде на глубине 6194 м составляет 1508 кг/см^2 . Горизонтальный градиент горного давления под северным склоном Буранной гряды – 145 кг/см^2 (9,6 % от давления в мульде). Это огромная величина, обуславливающая геодинамическую неустойчивость горных пород под и над субвертикальными склонами соляных куполов. В отложениях над ними могут протекать специфические процессы, вносящие вклад в локальные особенности ландшафтогенеза.

Особенности данных термокаротажа

В публикации [26] приведена геотермическая карта на отметку -1000 м центральных районов Приволжского округа, построенная по высокоточным измерениям температуры в скважинах с восстановленным тепловым режимом (термокаротаж выполнен в длительно простаивающих скважинах). В публикации [27] – аналогичная карта для Башкирского Предуралья. Технология ее построения и ограничивающие факторы рассмотрены в публикации [28].

1. Относительно достоверные данные термокаротажа можно получить в скважинах, простаивающих перед его выполнением не менее 1 месяца.

2. Не рекомендуется выполнять термокаротаж в скважинах без достаточной выстойки после цементирования и окончания проходки. При застывании цемента выделяется тепло. Оно выделяется и при разрушении горной породы буровым инструментом.

3. Высокая вероятность недостоверности данных термокаротажа в скважинах с недостаточной выстойкой отмечается на небольших глубинах и в нижней части разреза. В его средней части влияние на достоверность данных термокаротажа техногенных факторов может быть небольшим.

4. Величину геотермического градиента с относительной ошибкой $\pm 5 \%$ можно определить только для больших интервалов разреза (порядка 500-1000 м).

5. Влияние процессов денудации, осадконакопления и неотектонических движений на температурный режим разреза соизмеримо с погрешностью измерения температур.

6. Заметное воздействие рельефа и вариаций климата на температурный режим разреза ограничивается глубиной 150-200 м.

7. В рассматриваемом регионе мощность зоны активного водообмена составляет 100-200 м, а замедленного – 300-400 м.

8. Контроль достоверности данных термокаротажа на небольших глубинах осуществляется по температуре «нейтрального слоя» (примерно на глубине 25 м).

9. Палеоклимат оказывает заметное влияние на температуры геологического разреза до глубины 2000 м.

В термометрии введено понятие «температура «нейтрального слоя» (на глубине за пределами влияния сезонных факторов). В зависимости от широты местности она меняется от 4 до 10 °С [26]. При моделировании геотермического поля по линии скважин Джамбай-Кенкияк температура в нейтральном слое принята равной 6 °С. «Примерно такая температура была нами при термозондировании реально зафиксирована на «нейтральном слое» (в скважинах на глубине 20-30 м)» [4, с. 93]. Однако, на термограммах скважин восточной части Прикаспийской впадины, приведенных в публикации, «нейтральный слой»

не фиксируется. Это же относится к термограммам скважин Арланской площади Башкирского Предуралья [28] и Таримского бассейна [29]. Выход 2-4 термограмм скважин на температуры «нейтрального слоя» отмечается только в данных, приведенных в публикации [26].

Количественное влияние палеоклимата на термограммы скважин Каинсайско-Линевской зоны можно оценить по данным, приведенным в публикации [30, рис. 3] (83 термограммы по скважинам Урала и Восточной Европы). На глубинах 200-300 м влияние палеоклимата 18-19 вв. не просматривается. В интервале 0-200 м связанные с ним температурные аномалии не превышают $-0,5 - +1,5$ °С.

Фрикционное тепло

Автор публикации [4] рассмотрел вопрос о генерации тепла соляным куполом, находящимся в процессе роста (фрикционное тепло). Его вывод: генерация фрикционного тепла мизерная и этот фактор можно не принимать во внимание при изучении теплофизических характеристик разреза. По нашему мнению, этот вопрос нуждается в специальном изучении.

При бурении скважины 501 Вершиновская (крайний юго-восток Соль-Илецкого свода) в разрезе надсолевых терригенных отложений в интервале 436-1407 м зафиксированы температурные аномалии. Наиболее контрастная в интервале 436,4-470,0 м – максимальная температура 81 °С при номинальной 33-36 °С. По данным бурения и сейсморазведки МОГТ 3D сделано два вывода [31]: увеличение диаметра ствола скважины и осложнения бурения в интервале 436-1407 м связаны с областями дроблений пород вблизи плоскостей разломов; термические аномалии обусловлены разогревом пластов песчаника за счет трения при перемещении по плоскостям разломов. Скорость подъема соляных куполов Баскунчакского массива составляет 4,5-8,0 мм/год [9, 10]. При росте соляного купола формируется фрикционное тепло, главным образом, в локальной зоне его крутого склона. Там, где в надсолевых отложениях над ним сформирована зона геодинамической неустойчивости горных пород, в ней возможны специфические тепловые эффекты.

Данные термокаротажа по Каинсайско-Линевской зоне

При бурении параметрических, поисковых и разведочных скважин ООО «Газпром добыча Оренбург» комплекс геофизических исследований включает и термокартаж. Общая задача – изучение термических характеристик вскрытого разреза. Термокартаж проводится и для решения технологических задач – оценки технического состояния скважины (качества цементирования колонн), выявления интервалов поглощения бурового раствора, контроля опробования разреза. Однако эти данные не всегда сводятся в единую термометрическую кривую, характеризующую вскрытый разрез.

На рисунке 3 приведены фрагменты термометрических кривых по скважинам Каинсайско-Линевской зоны. Шаг измерения температуры по разрезу скважин 10 м. Термокартаж в скважине 1 Южно-Линевская (интервал 0-4849,2 м) выполнен 16.06.1999 г. Ее ствол до глубины 4150 обсажен колонной, ниже открытый. В скважине 2 Каинсайская (0,6-6068,2 м) ствол обсажен до глубины 5890 м. Термокартаж выполнен 30.05.2002 г. Данных по условиям и срокам выполнения термокаротажа в скважине 1 Буранная (10-6450 м) у нас не имеется. Нижняя часть термограммы скважины 1 Каинсайская (интервал 5850-6520 м) характеризует ее призабойную зону, прогретую бурением. Верхней соответствует нереально низкий градиент температуры. Эти данные не приняты во внимание.

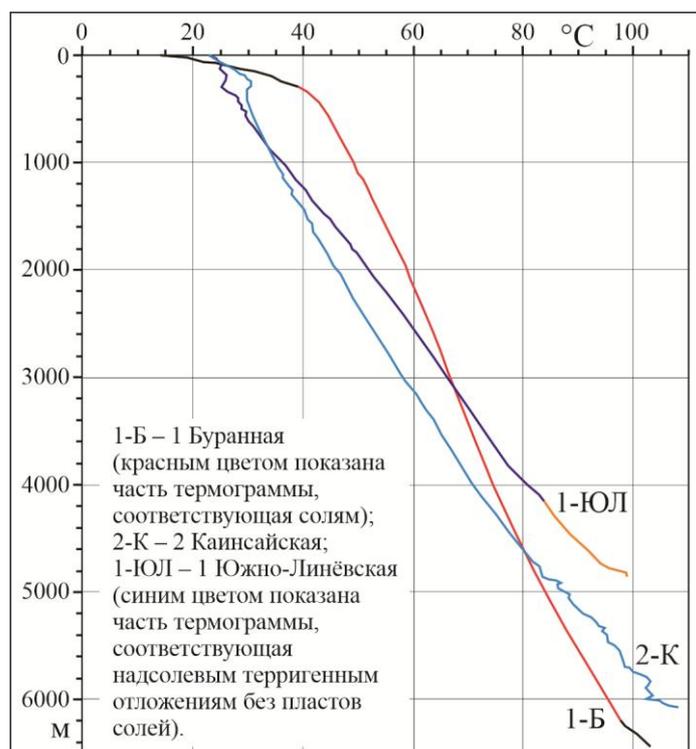


Рисунок 3 – Термограммы по разрезам скважин

Примечание: 1-Б – 1 Буранная (красным цветом показана часть термограммы, соответствующая солям); 2-К – 2 Каинсайская; 1-ЮЛ – 1 Южно-Линевская (синим цветом показана часть термограммы, соответствующая надсолевым терригенным отложениям без пластов солей).

Термограмма скважины 1 Буранная в интервале 500-6180 м соответствует однотипной литологии вскрытого разреза – доминирует галит. Термограмма скважины 1 Южно-Линевская в интервале 500-3800 м – относительно однородному терригенному разрезу. С высокой вероятностью они отражают реальные температуры в разрезах скважин. В термограмме по первой скважине выделяется пять интервалов с незначительно различающимися вертикальными градиентами температуры: 1,1 (500-1040 м), 1,0 (1050-1910 м), 0,8 (1920-4240 м), 1,0 (4250-5350 м) и 1,2 (5360-6180 м) °C/100 м. Средний градиент 0,9 °C/100 м. Температура на глубине 500 м составляет 44 °C, на глубине 6000 – 95 °C, на глубине 6180 – 98 °C.

В термограмме по скважине 1 Южно-Линевская выделяется два однородных интервала градиентов температуры: 1,5 (500-1900 м) и 1,4 (1910-3800 м) °C/100 м. Температура на глубине 500 м – 29 °C. Экстраполяция линии, аппроксимирующей температуры в нижнем интервале, на глубину 6000 м дает 107 °C, что на 12 °C выше, чем на этой же глубине в скважине 1 Буранная. Термограммы скважин 1 Буранная и 1 Южно-Линевская пересекаются на глубине 3150 м, температура 68 °C. Выше этой глубины соли Буранной гряды прогревают вмещающие терригенные отложения, ниже – остужают их и подсолевые породы. Высокие значения градиента температуры в разрезе скважины 1 Южно-Линевская в интервале 3810-4760 м – 1,5 °C. В средней и нижней его частях имеются пласты солей. Градиент температуры в нем должен быть ниже, чем в терригенных отложениях без солей. Возможно, здесь проявился эффект отвода тепла по латерали в Линевско-Базыровскую гряду. Термокривая ниже глубины 4760 м явно осложнена техногенной помехой – разогревом горной породы буровым инструментом.

Разрез соленосных отложений, вскрытый скважиной 2 Каинсайская, контрастно неоднородный. Однако уверенно выделяются два интервала, в которых термический градиент температуры постоянный: 1,0 (500-1090 м) и 1,2 (1100-3800 м) °C/100 м. Это свидетельствует о том, что размеры неоднородностей в разрезе гораздо меньше тех, на которые реагирует тепловой поток.

Главный вывод: фактические данные, идентифицированные как достоверные, позволяют рассчитать при опоре на известные теплофизические характеристики горных пород геотемпературное поле Каинсайско-Линевской зоны и тепловой поток в подпочвенные отложения и почвенный слой.

Можно осторожно предположить, что верхняя часть термограммы скважины 1 Буранная соответствует реальности. Температур, «нейтрального слоя» на ней не имеется. Температура на глубине 10 м – 14 °С, градиент в интервале 70-150 м – 9,5 °С/100 м. Возможно, малопроницаемые неоген-четвертичные отложения (интервал 6-35 м) прогреты теплом, транспортируемым солями.

Температура на глубине 10-40 м в скважинах 1 Южно-Линевская и 2 Каинсайская 23-24 °С, что кардинально не соответствует температуре «нейтрального слоя». В первой в интервале 190-320 м, температура примерно постоянная. Это может быть связано с влиянием техногенных факторов. В скважине 2 Каинсайская примерно постоянная температура в интервале 270-490 м. Верхние 25 м интервала включают нижнюю часть кепрока, нижняя сложена солями с минимальными включениями глин. Геологических предпосылок для такого распределения температур не имеется. Температурная аномалия связана с техногенными факторами, предположительно, с циркуляцией воды в затрубном пространстве обсадных колонн. Верхние части термограмм (до глубины 500 м) по этим двум скважинам не соответствуют реальным температурам разреза.

Возможное влияние теплового потока соляно-купольных структур на ландшафтогенез

Рассматриваемые в статье соляно-купольные структуры находятся на юге природно-административной зоны «Подуралье» [32]. Здесь развиты черноземы южные дефлированные и темно-каштановые почвы. Имеются солонцы и пески. Средняя температура июля +22 °С, января -15 °С. Среднее количество осадков в год менее 350 мм. Глубина промерзания почвы (включая подпочвенный слой) более 140 см.

Представляется, что главным следствием повышенного теплового потока в почву над соляными куполами и грядами будет меньшая глубина ее промерзания к началу таяния снега по отношению к среднему значению для зоны. Это может иметь серьезные последствия для ландшафтогенеза.

1. Глубина промерзания почвы в зоне степей является одним из факторов, определяющих запасы в ней органического вещества [33]. Чем меньше глубина промерзания, тем длительней период активной жизни почвы и выше продуцирование гумуса.

2. Неглубокое промерзание почвы ведет к быстрому ее оттаиванию весной и более раннему началу впитывания талых вод [34]. То есть, в почву над соляными куполами и грядами поступает их больше. Этим определяется ее повышенная продуктивность относительно средней по зоне.

3. Увеличенное поступление в почву талых вод ведет к сокращению весеннего поверхностного стока и замедлению процессов эрозии почвы и подпочвенного слоя над соляными куполами и грядами.

Факторы по пунктам 2 и 3 оказывают влияние и на продуктивность сельскохозяйственных угодий.

Выводы

Теплофизические характеристики соляно-купольных структур и связанные с ними тепловые потоки до почвы включительно являются органической частью феноменологической концепции ландшафтогенеза. Этот вопрос имеет научное и практическое значение. На основе информации о тепловых потоках к почвенному слою может быть оптимизировано использование сельскохозяйственных угодий. Дальнейшее изучение теплофизических характеристик соляно-купольных структур и степени их влияния

на ландшафтогенез рекомендуется выполнить на нескольких объектах Оренбургской области. Один из них – Буранная соляная гряда.

Список литературы

1. Петрищев В.П. Феноменологическая концепция солянокупольного ландшафтогенеза // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2006. № 3(11). С. 148-150.
2. Петрищев В.П., Чибилев А.А. Феноменологическая концепция солянокупольного ландшафтогенеза // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2011. № 1. С. 7-12.
3. Петрищев В.П. Современные тенденции изучения ландшафтного проявления соляной тектоники // Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности. Оренбург: Изд-во ОГУ, 2021. С. 238-243.
4. Хуторской М.Д., Поляк Б.Г. Искажения теплового поля при росте соляных куполов // Тепловое поле Земли и методы его изучения. М.: Изд-во РУДН, 2000. С. 24-32.
5. Хуторской М.Д. Геотемпературное поле Астраханского карбонатного массива (Прикаспийская впадина) // Процессы в геосредах. 2018. № 4(18). С. 1226-1239.
6. Рихтер Я.А. Геотермический режим, тепловой и флюидный потоки Прикаспийской впадины // Известия Саратовского университета. Сер. Науки о Земле. 2011. Т. 11. Вып. 2. С. 72-83.
7. Хуторской М.Д. Тепловой поток в областях структурно-геологических неоднородностей. М.: Наука, 1982. 77 с.
8. Шилов Г.Я., Василенко Е.И. Опыт применения термобарических параметров разреза для оценки перспектив нефтегазоносности разреза площадей Предуральяского прогиба // Каротажник. 2013. № 11(233). С. 37-46.
9. Ушивцева Л.Ф., Несмиянова А.С., Острикова Е.Е. Геоморфологическая характеристика и история формирования соляных куполов юго-западного Прикаспия // Геология, география и глобальная энергия. 2020. № 4(79). С. 42-53.
10. Зеленковский П.С., Куриленко В.В. Природно-техногенная система соляного озера Баскунчак и особенности эксплуатации ее ресурсов // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2013. Вып. 4. С. 33-52.
11. Ушивцева Л.Ф., Соловьева А.В. Гидрогеохимические особенности подземных вод четвертичного комплекса отложений Баскунчакского гипсово-соляного массива // Геология, география и глобальная энергия. 2015. № 1(56). С. 92-100.
12. Трапезников Д.Е. Геологическое строение Индерского соляного купола // Горное эхо. 2021. № 3(84). С. 17-22.
13. Петрищев В.П., Норейка С.Ю., Петрищева Н.В., Ахмеденов К.М. Особенности компонентов ландшафтных геосистем солянокупольного происхождения западной части Прикаспийской впадины // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 6(181). С. 189-196.
14. Mello U.T., Karner G.D. and Anderson R.N. Role of salt in restraining the maturation of subsalt source rocks. *Marine and Petroleum Geology*. 1995. vol. 12. no 7. pp. 697-716.
15. Галушкин Ю.И., Яковлев Г.Е. Влияние соленосных отложений на условия нефтегазогенерации породами подсолевого комплекса (северный борт Прикаспийской впадины) // Геохимия. 2007. № 7. С. 691-703.
16. Littke R., Bayer U., Gajewski D., Nelskamp S. Dynamics of Complex Intracontinental Basins: The Central European Basin System. Springer. Berlin. Heidelberg, 2008. 519 p.
17. Canova D.P., Fischer M.P., Jayne R.S. and Pollyea R.M. Advective Heat Transport and the Salt Chimney Effect: A Numerical Analysis. *Geofluids*. 2018. vol. 18. pp. 1-18.

18. Бабаев В.В., Потюкаев Е.М., Золоташко В.И. Способ поисков соляных куполов. Авторское свидетельство SU 1806397, 30.03.1993. Заявка № 4642504 от 12.12.1988.
19. Балеевских М.Е., Блинова В.Н., Липаев А.А. О проблемах прогнозирования нефтегазоносности недр по данным геотермии // Управление техносферой. 2019. Т. 2. № 4. С. 343-356.
20. Gray T.A. Geothermal resource assessment of the Gueydan salt dome and the adjacent southeast Gueydan field, Vermilion Parish, Louisiana. 2010. LSU Master's Theses. 299.
21. Баймухаметов А.А., Мартынов Н.И., Танирбергенов А.Г. Математическое моделирование формирования соляных куполов в земной коре. Алматы, 2017. 242 с.
22. Карнаухов С.М., Политыкина М.А., Тюрин А.М., Леонов Г.В. Надсолевые отложения – новый объект поисков залежей углеводородов на юге Оренбургской области // Геология нефти и газа. 1999. № 3-4. С. 20-27.
23. Тюрин А.М. Геолого-геофизические характеристики пород надсолевого и солевого комплексов северо-восточной части Прикаспийской впадины // Недра Поволжья и Прикаспия. 1999. Вып. 18. С. 37-43.
24. Тюрин А.М. Геолого-геофизические основы изучения перспектив нефтегазоносности надсолевых отложений юга Оренбургской области // Геоинформатика. 1999. № 4. С. 25-33.
25. Тюрин А.М. Строение верхней части соляных куполов Каинсайско-Линевской зоны // Разведка и охрана недр. 2000. № 6. С. 26-28.
26. Христофорова Н.Н., Непримеров Н.Н., Христофоров А.В., Николаев А.В., Христофорова М.А. Тепловой режим и оценка перспектив нефтегазоносности приволжского региона // Георесурсы. 2004. № 1(15). С. 24-27.
27. Голованова И.В., Масагутов И.В. Тепловое поле Башкирского Предуралья // Геодинамика. Глубинное строение. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2009. С. 104-108.
28. Голованова И.В., Сальманова Р.Ю., Тагирова Ч.Д. Методика расчета глубинных температур с учетом исправленных на влияние палеоклимата значений теплового потока // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 9. С. 1426-1435.
29. Zhuo Q.G., Meng F.W., Zhao M.J., Li Y., Lu X.S., Ni P. The salt chimney effect: delay of thermal evolution of deep hydrocarbon source rocks due to high thermal conductivity of evaporites. *Geofluids*. 2016. vol. 16. issue 3. pp. 440-451.
30. Горностаева А.А., Демежко Д.Ю. Анализ изменений температуры земной поверхности на Урале и в Восточной Европе в 18-19 веках по данным скважинной термометрии // Уральский геофизический вестник. 2013. № 2(22). С. 24-30.
31. Тюрин А.М., Силагина Т.В. Природа термических аномалий в разрезе параметрической скважины 501 Вершиновская // Газовая промышленность. 2013. № 2(686). С. 12-15.
32. Чибилев А.А. (мл.). Физико-географическая и социально-экономическая характеристика природно-административного зонирования Оренбургской области // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2016. Т. 16. Вып. 4. С. 226-231.
33. Безуглова О.С. Современное состояние черноземов Ростовской области и проблемы регионального мониторинга // Актуальные проблемы устойчивого развития агроэкосистем (почвенные, экологические, биоценоотические аспекты). Симферополь: ООО «Издательство Типография «Ариал», 2019. С. 16-21.
34. Рыспеков Т.Р., Балкожа М.А. Современное состояние агроэкосистем подзоны средне-каштановых почв степной зоны Казахстана // Актуальные проблемы устойчивого развития агроэкосистем (почвенные, экологические, биоценоотические аспекты). Симферополь: ИТ «Ариал», 2019. С. 67-70.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 27.01.2022

Принята к публикации 23.03.2022

THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF SALT-DOME STRUCTURES AS A PART OF THE PHENOMENOLOGICAL CONCEPT OF THE LANDSCAPE GENESIS

A. Tyurin

VolgoUralNIPIgaz LLC, Orenburg State University, Russia, Orenburg

e-mail: amturin1952@bk.ru

The data of thermal logging in the wells of the Kainsaysko-Linevskaya zone (the north-east of the Caspian depression, the Orenburg region) are considered. The substantiation of the need to study the thermophysical characteristics of salt dome structures and enclosing terrigenous deposits (up to the soil layer) as one of the significant components of the phenomenological concept of landscape genesis is given.

Key words: salt-dome structures, heat flow, thermal logging, landscape genesis, Orenburg region.

References

1. Petrishchev V.P. Fenomenologicheskaya kontseptsiya solyanokupol'nogo landshaftogeneza. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2006. N 3(11). S. 148-150.
2. Petrishchev V.P., Chibilev A.A. Fenomenologicheskaya kontseptsiya solyanokupol'nogo landshaftogeneza. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya. 2011. N 1. S. 7-12.
3. Petrishchev V.P. Sovremennye tendentsii izucheniya landshaftnogo proyavleniya solyanoi tektoniki. Regional'nye problemy geologii, geografii, tekhnosfernoi i ekologicheskoi bezopasnosti. Orenburg: Izd-vo OGU, 2021. S. 238-243.
4. Khutorskoi M.D., Polyak B.G. Iskazheniya teplovogo polya pri roste solyanikh kupolov. Teplovoe pole Zemli i metody ego izucheniya. M.: Izd-vo RUDN, 2000. S. 24-32.
5. Khutorskoi M.D. Geotemperaturnoe pole Astrakhanskogo karbonatnogo massiva (Prikaspiiskaya vpadina). Protsessy v geosredakh. 2018. N 4(18). S. 1226-1239.
6. Rikhter Ya.A. Geotermicheskii rezhim, teplovoi i flyuidnyi potoki Prikaspiiskoi vpadiny. Izvestiya Saratovskogo universiteta. Ser. Nauki o Zemle. 2011. T. 11. Vyp. 2. S. 72-83.
7. Khutorskoi M.D. Teplovoi potok v oblastiakh strukturno-geologicheskikh neodnorodnostei. M.: Nauka, 1982. 77 s.
8. Shilov G.Ya., Vasilenko E.I. Opyt primeneniya termobaricheskikh parametrov razreza dlya otsenki perspektiv neftegazonosnosti razreza ploshchadei Predural'skogo progiba. Karotazhnik. 2013. N 11(233). S. 37-46.
9. Ushivtseva L.F., Nesmiyanova A.S., Ostrikova E.E. Geomorfologicheskaya kharakteristika i istoriya formirovaniya solyanikh kupolov yugo-zapadnogo Prikaspiya. Geologiya, geografiya i global'naya energiya. 2020. N 4(79). S. 42-53.
10. Zelenkovskii P.S., Kurilenko V.V. Prirodno-tekhnogennaya sistema solyanogo ozera Baskunchak i osobennosti ekspluatatsii ee resursov. Vestnik SPbGU. Ser. 7. 2013. Vyp. 4. S. 33-52.
11. Ushivtseva L.F., Solov'eva A.V. Gidrogeokhimicheskie osobennosti podzemnykh vod chetvertichnogo kompleksa otlozhenii Baskunchakskogo gipsovo-solyanogo massiva. Geologiya, geografiya i global'naya energiya. 2015. N 1(56). S. 92-100.

12. Trapeznikov D.E. Geologicheskoe stroenie Inderskogo solyanogo kupola. Gornoe ekho. 2021. N 3(84). S. 17-22.
13. Petrishchev V.P., Noreika S.Yu., Petrishcheva N.V., Akhmedenov K.M. Osobennosti komponentov landshaftnykh geosistem solyanokupol'nogo proiskhozhdeniya zapadnoi chasti Prikaspiiskoi vpadiny. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. N 6(181). S. 189-196.
14. Mello U.T., Karner G.D. and Anderson R.N. Role of salt in restraining the maturation of subsalt source rocks. *Marine and Petroleum Geology*. 1995. vol. 12. no 7. pp. 697-716.
15. Galushkin Yu.I., Yakovlev G.E. Vliyanie solenosnykh otlozhenii na usloviya neftegazogeneratsii porodami podsolevogo kompleksa (severnii bort Prikaspiiskoi vpadiny). *Geokhimiya*. 2007. N 7. S. 691-703.
16. Littke R., Bayer U., Gajewski D., Nelskamp S. Dynamics of Complex Intracontinental Basins: The Central European Basin System. Springer. Berlin. Heidelberg, 2008. 519 p.
17. Canova D.P., Fischer M.P., Jayne R.S. and Pollyea R.M. Advective Heat Transport and the Salt Chimney Effect: A Numerical Analysis. *Geofluids*. 2018. vol. 18. pp. 1-18.
18. Babaev V.V., Potyukaev E.M., Zolotashko V.I. Sposob poiskov solyanykh kupolov. Avtorskoe svidetel'stvo SU 1806397, 30.03.1993. Zayavka № 4642504 ot 12.12.1988.
19. Baleevskikh M.E., Blinova V.N., Lipaev A.A. O problemakh prognozirovaniya neftegazonosnosti nedr po dannym geotermii. *Upravlenie tekhnosferoi*. 2019. T. 2. N 4. S. 343-356.
20. Gray T.A. Geothermal resource assessment of the Gueydan salt dome and the adjacent southeast Gueydan field, Vermilion Parish, Louisiana. 2010. LSU Master's Theses. 299.
21. Baimukhametov A.A., Martynov N.I., Tanirbergenov A.G. Matematicheskoe modelirovanie formirovaniya solyanykh kupolov v zemnoi kore. Almaty, 2017. 242 s.
22. Karnaukhov S.M., Politykina M.A., Tyurin A.M., Leonov G.V. Nadsolvevye otlozheniya – novyi ob"ekt poiskov zalezhei uglevodorodov na yuge Orenburgskoi oblasti. *Geologiya nefiti i gaza*. 1999. N 3-4. S. 20-27.
23. Tyurin A.M. Geologo-geofizicheskie kharakteristiki porod nadsolvevogo i solvevogo kompleksov severo-vostochnoi chasti Prikaspiiskoi vpadiny. *Nedra Povolzh'ya i Prikaspiya*. 1999. Vyp. 18. S. 37-43.
24. Tyurin A.M. Geologo-geofizicheskie osnovy izucheniya perspektiv neftegazonosnosti nadsolvevykh otlozhenii yuga Orenburgskoi oblasti. *Geoinformatika*. 1999. N 4. S. 25-33.
25. Tyurin A.M. Stroenie verkhnei chasti solyanykh kupolov Kainsaisko-Linevskoi zony. *Razvedka i okhrana nedr*. 2000. N 6. S. 26-28.
26. Khristoforova N.N., Neprimerov N.N., Khristoforov A.V., Nikolaev A.V., Khristoforova M.A. Teplovoi rezhim i otsenka perspektiv neftegazonosnosti privolzhskogo regiona. *Georesursy*. 2004. N 1(15). S. 24-27.
27. Golovanova I.V., Masagutov I.V. Teplovoe pole Bashkirskogo Predural'ya. *Geodinamika. Glubinnoe stroenie. Teplovoe pole Zemli. Interpretatsiya geofizicheskikh polei*. Ekaterinburg: IGF UrO RAN, 2009. S. 104-108.
28. Golovanova I.V., Sal'manova R.Yu., Tagirova Ch.D. Metodika rascheta glubinykh temperatur s uchetom ispravlenykh na vliyanie paleoklimata znachenii teplovogo potoka. *Geologiya i geofizika*. 2014. T. 55. N 9. S. 1426-1435.
29. Zhuo Q.G., Meng F.W., Zhao M.J., Li Y., Lu X.S., Ni P. The salt chimney effect: delay of thermal evolution of deep hydrocarbon source rocks due to high thermal conductivity of evaporites. *Geofluids*. 2016. vol. 16. issue 3. pp. 440-451.
30. Gornostaeva A.A., Demezhko D.Yu. Analiz izmenenii temperatury zemnoi poverkhnosti na Urale i v Vostochnoi Evrope v 18-19 vekakh po dannym skvazhinnoi termometrii. *Ural'skii geofizicheskii vestnik*. 2013. N 2(22). S. 24-30.
31. Tyurin A.M., Silagina T.V. Priroda termicheskikh anomalii v razreze parametricheskoi skvazhiny 501 Verшинovskaya. *Gazovaya promyshlennost'*. 2013. N 2(686). S. 12-15.

32. Chibilev A.A. (ml.). Fiziko-geograficheskaya i sotsial'no-ekonomicheskaya kharakteristika prirodno-administrativnogo zonirovaniya Orenburgskoi oblasti. Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Nauki o Zemle. 2016. T. 16. Vyp. 4. S. 226-231.

33. Bezuglova O.S. Sovremennoe sostoyanie chernozemov Rostovskoi oblasti i problemy regional'nogo monitoringa. Aktual'nye problemy ustoichivogo razvitiya agroekosistem (pochvennye, ekologicheskie, biotsenoticheskie aspekty). Simferopol': OOO "Izdatel'stvo Tipografiya "Arial", 2019. S. 16-21.

34. Ryspekov T.R., Balkozha M.A. Sovremennoe sostoyanie agroekosistem podzony sredne-kashtanovykh pochv stepnoi zony Kazakhstana. Aktual'nye problemy ustoichivogo razvitiya agroekosistem (pochvennye, ekologicheskie, biotsenoticheskie aspekty). Simferopol': IT "Arial", 2019. S. 67-70.

Сведения об авторах

Анатолий Матвеевич Тюрин

К.г.-м.н., заведующий лабораторией промыслово-геофизических исследований ООО «ВолгоУралНИПИгаз», доцент кафедры геологии, геодезии и кадастра, Оренбургский государственный университет

ORCID ID: 0000-0003-4550-2680

Anatoly Tyurin

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Laboratory of Field and Geophysical Research of «VolgoUralNIPIgaz» LLC, Associate Professor of the Department of Geology, Geodesy and Cadastre, Orenburg State University

Для цитирования: Тюрин А.М. Теплофизические характеристики соляно-купольных структур как часть феноменологической концепции ландшафтогенеза // Вопросы степеведения. 2022. № 1. С. 12-27. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-1-12-27