

Важные показатели свойств рассоли и источники рапопроявлений в Амударьинском нефтегазовом бассейне

А.Р. Деряев ✉

Научно-исследовательский институт природного газа ГК «Туркменгаз», г. Ашгабат, Туркменистан
✉ annagulyderyayew@gmail.com

Резюме: В настоящее время исследование происхождения и особенностей рапопроявлений в бассейне Амударьи имеет важное значение. Оно помогает углубить понимание геологической и климатической истории региона, а также вносит свой вклад в осознание процессов формирования осадочных пород и их применения в различных областях науки и промышленности. Цель исследования – изучить геологические и геохимические особенности рапопроявлений в пределах Амударьинского бассейна. Это поможет понять, как данные характеристики влияют на процессы добычи углеводородов. В ходе исследования были применены методы геологического анализа и картирования рапопроявлений. Кроме того, для определения состава рап использовался химический анализ образцов. Результатом работы стало детальное описание геологической структуры рап, включая их слоистую организацию, текстуру и особенности распределения минералов. В ходе исследования с помощью химического анализа образцов были определены ключевые минералы, которые присутствуют в рапах, – гипс, ангидрит и галит. Кроме того, был проведен анализ геологических процессов, которые привели к формированию рапопроявлений. Это позволяет понять механизмы образования и эволюцию осадочных пород в истории данной территории. Полученные данные позволяют сделать вывод о древности и условиях образования рап на данной территории, а также предположить возможные изменения в геологической и климатической истории региона. Эти результаты играют важную роль в расширении знаний о развитии геологической структуры Центральной Азии и могут быть полезными для будущих исследований в области геологии и климатологии этого региона.

Ключевые слова: рапопроявления, рассоли, рапы, осадочные породы, минералы, углеводороды, нефтегазоносный бассейн, Центральная Азия

Для цитирования: Деряев А.Р. Важные показатели свойств рассоли и источники рапопроявлений в Амударьинском нефтегазовом бассейне. *Горная промышленность*. 2025;(2):146–152. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-2-146-152>

Important indicators of brine properties and sources of pressurized strong brines in the Amu Darya oil and gas basin

A.R. Deryaev ✉

State Concern “Turkmengaz”, Ashgabat, Turkmenistan
✉ annagulyderyayew@gmail.com

Abstract: Studying the origin and specific features of pressurized strong brine reservoirs in the Amu Darya basin is of significant importance at the present time. It helps to enhance insights into the geological and climatic history of the region, as well as contributes to the understanding the processes of sedimentary rock formation and its application in various fields of science and industry. The aim of this research is to study the geological and geochemical features of the pressurized strong brine reservoirs within the Amu Darya basin. This will help to understand how these properties affect the processes of hydrocarbon recovery. The study applied methods of geologic analysis and mapping of pressurized strong brine manifestations. In addition, chemical analysis of samples was used to determine the composition of the brines. The work produced a detailed description of the geological structure of the pressurized strong brine reservoirs, including their layered structure, texture and specific features of mineral distribution. Chemical analysis of the samples performed as part of the study helped to identify the key minerals that are present in the strong brines, such as gypsum, anhydrite and halite. In addition, the paper provides an analysis of the geological processes that resulted in formation of the brines. This allows a better understanding of the formation mechanisms and evolution of these sedimentary rocks during the history of the area. The data obtained make it possible to draw conclusions about the age and the formation conditions of the pressurized strong brine reservoirs in the area, as well as to assume possible changes in the geological and climatic history of the region. These results play an important role in improving our insights into the development of the geologic structure of Central Asia and may be useful for further research into the geology and climatology of the region.

Keywords: pressurized strong brine manifestations, brines, strong brines, sedimentary rocks, minerals, hydrocarbons, oil and gas bearing basin, Central Asia

For citation: Deryaev A.R. Important indicators of brine properties and sources of pressurized strong brines in the Amu Darya oil and gas basin. *Russian Mining Industry*. 2025;(2):146–152. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-2-146-152>

Введение

Понимание зависимости дебита углеводородов от характеристик рапопроявлений имеет важное значение для оптимизации добычи, разработки эффективных стратегий разведки месторождений и обеспечения устойчивости процессов добычи в данной геологической области. Такое исследование позволяет не только расширить теоретические знания о геологических процессах, но и предоставить практические рекомендации для индустрии добычи углеводородов, способствуя повышению эффективности и экономической выгоды работы месторождений в этом регионе.

Рассоли (или рапы) – это осадочные горные породы, образовавшиеся в результате известковых осадений, отложенных в солёных водах морей или озёр. Обычно имеет слоистую структуру с различными оттенками цвета, обусловленными примесями и различной степенью компактности. Рассоли формируются в результате испарения морской воды в закрытых бассейнах или озёрах. При этом растворённые минералы концентрируются и осаждаются в виде породы. В Амударьинском бассейне, который является частью Центральноазиатского региона, также можно найти рапопроявления. В этой области в исторические периоды были озёра и моря, в которых осаждались соли, в результате чего формировались рапы. В процессе геологических изменений и поднятия земной коры рапы могли быть вынесены на поверхность, стать частью горных пород или формировать отдельные отложения.

Проблематика исследования заключается в выявлении и описании сложных факторов, влияющих на зависимость дебита (объема жидкости или газа) от глубины вскрытия рапы в пористой среде. Исследование включает в себя анализ геологических, гидродинамических и геохимических процессов, что является сложной задачей в связи с множеством переменных и факторов, влияющих на эту зависимость, и направлено на разработку более точных и эффективных методов оценки и прогнозирования дебита углеводородов на месторождениях с рапопроявлениями, что имеет большое значение для нефтегазовой промышленности и геологических наук. Это важно для оценки потенциала месторождений нефти, газа или воды, а также для оптимизации процессов их добычи. Понимание влияния глубины вскрытия рапы на дебит позволяет разрабатывать более эффективные стратегии разведки и разработки месторождений, что является актуальной задачей в области геологии и нефтегазовой промышленности.

Цель исследования заключается в изучении происхождения и характеристик рапопроявлений на указанной территории для определения их влияния на дебит жидкости или газа при добыче углеводородов. Проблемный вопрос

данного исследования заключался в изучении зависимости дебита углеводородов от геологических и геохимических особенностей рапопроявлений в Амударьинском бассейне. Гипотеза предполагала, что характеристики рапопроявлений оказывают существенное влияние на процессы добычи углеводородов, в том числе на общий дебит.

Материалы и методы

В процессе исследования геологической структуры рапопроявлений в Амударьинском бассейне были использованы различные методы геологического анализа. Основной целью использования этих методов было детальное описание геологической структуры рап на данной территории. В рамках исследования была проведена оценка слоистой организации рапопроявлений, их текстуры и структуры для выявления периодичности осадконакопления и процессов формирования пород. Методы геологического картирования были также широко использованы для создания детальных карт распределения рапопроявлений на поверхности бассейна. Это позволило более точно определить геологическую структуру рап и выявить особенности их распределения в данном регионе [1]. Для определения состава рап и выявления основных минералов, входящих в их состав, были применены методы химического анализа образцов. Это позволило более детально изучить характеристики этих осадочных пород и сделать выводы о происхождении их компонентов. Важным аспектом исследования являлась оценка взаимосвязи между геологической структурой рап и геологическими процессами, происходящими на территории бассейна. Это включало анализ тектонических движений, изменений климата и геодинамических явлений, которые могли оказывать влияние на формирование и развитие рапопроявлений.

Химический анализ образцов играл ключевую роль в исследовании рапопроявлений в Амударьинском бассейне и был направлен на определение минерального состава рапы и состава рассолов, что является важным этапом для полного понимания характеристик и происхождения этих осадочных пород [2]. Проведение химического анализа позволило точно определить наличие и содержание различных минералов в рапопроявлениях. Основные компоненты, такие как гипс, ангидрит и галит, были идентифицированы и оценены с точки зрения их распространенности и концентрации в образцах. Эти данные предоставили ценную информацию о происхождении рапы и условиях ее образования в прошлом. Помимо этого, химический анализ образцов позволил оценить состав рассолов, которые являются важным компонентом рапы. Анализ содержания солей и других химических элементов в рассолах способствует более глубокому пониманию условий

накопления и осаднения солей в данной геологической системе. Полученные данные помогают не только уточнить геохимические процессы, но и пролить свет на механизмы образования и эволюцию рапопроявлений в Амударьинском бассейне.

Картирование рапопроявлений сыграло важную роль в исследовании геологической структуры в Амударьинском бассейне и позволило провести детальное изучение распределения рапопроявлений и их текстуры на поверхности. Первостепенное значение имело изучение распределения рапопроявлений на местности. Картирование позволило определить места наибольшей концентрации рапы, ее общую площадь распространения, а также характерные формы и размеры рапопроявлений. Это позволило получить представление о масштабах и геометрии данных образований. Кроме того, картирование позволило изучить текстуру рапопроявлений на поверхности. Особенности структуры и распределения пород в изучаемых рапопроявлениях могут предоставить ценную информацию об условиях осаднения солей, а также истории геологических процессов в регионе. Анализ текстуры рапы помогает понять ее слоистую организацию, уточнить типы минералов и их распределение внутри образования.

Для определения зависимости дебита от глубины вскрытия рапы был использован метод анализа геологических данных и их сопоставления с данными о дебите скважин. Были проанализированы данные о глубинах вскрытия рапы на различных участках, о дебите скважин на этих участках и построены графики зависимости дебита от глубины вскрытия рапы для различных участков, выделены основные тренды и закономерности.

Для определения значений коэффициента абсолютной проницаемости породы (КАПД) на площадях Джурамерген и Самантепе использовался метод анализа дебитов скважин и плотности флюида. Исходные данные о дебитах скважин и плотности флюида были использованы для расчета значений КАПД по формуле или методу, основанных на законах физики и гидродинамики. Полученные значения КАПД были сопоставлены с данными других исследований или стандартных значений для данного типа пород, что позволило оценить их адекватность и достоверность.

Для сравнения значений давлений флюида в келловей-оксфордских и кимеридж-титонских отложениях использовался метод анализа геологических данных о давлениях в скважинах и внутрипластовых условиях. Были проанализированы данные о давлениях в различных горизонтах отложений на разных участках исследования. Были сделаны выводы о сравнительных значениях давлений флюида в рассматриваемых отложениях и их влиянии на условия добычи углеводородов.

Для получения сведений о содержании сероводорода в соляно-ангидритовой толще были собраны образцы соляно-ангидритовой толщи и проведен их химический анализ на содержание сероводорода. Полученные данные о содержании сероводорода были проанализированы и использованы для оценки характеристик данной породы и ее влияния на процессы добычи углеводородов и экологическую ситуацию на месторождении.

Результаты

В соляно-ангидритовых отложениях рассолопроявления имеют очаговое спорадическое распространение и тяготеют к трещинам. Намечаются проявления, тяготеющие

к системе трещин первого порядка, группирующихся в линейно-вытянутую зону разломов, и к системе трещин второго порядка, имеющих площадное распространение в пределах антиклинальной структуры. Трещины, которые возникают во время и после накопления эвапоритовой формации, не только способствуют нарушению герметичности солей, но и обеспечивают благоприятные емкостно-фильтрационные характеристики консолидированных пород в составе эвапоритовой формации [3].

Область рассоло- или рапопроявлений из соляно-ангидритовых отложений в Амударьинском бассейне ограничена ареалом соленосных отложений более 500 м. За ее пределами рапопроявления не обнаружены. Интенсивность рапопроявлений различная. Дебиты самоизливов изменяются от нескольких до 10000 м³/сут. Отмечается связь дебита с интервалом вскрытия рапопроявляющего объекта. Преимущественно наиболее высокие дебиты получены в верхних частях соленосного разреза, к периферии структуры дебит рапопроявления меньше, и рапа уже вскрывается в нижних секциях разреза. Построения пространственных моделей рапопроявлений подтверждают этот вывод. Рапопроявления в пределах локальной площади группируются в зону, которая имеет форму конуса, вершина которой соответствует доминирующей части складки по подсолевым отложениям.

Рапа в Амударьинском бассейне залегает в соленосных отложениях в виде линз. В качестве обоснования локализованного распространения рапы приводятся факты отсутствия проявлений в скважинах, пробуренных рядом со скважинами, где возникли открытые фонтаны. Обычно начальный дебит рапопроявления возникает в течение 2–5 сут после запуска, после чего самоизливание в скважине прекращается [4]. Самоизливание может продолжаться более длительное время, но это случается реже. На примере можно увидеть, что вода проявлялась в скважине 13 на площади Багаджа почти в течение 60 дн., а на площади Сакар в скважине 1 рапа фонтанировала около 3,5 мес. Продолжительность самоизлива на скважине 4 – Денгизкуль составила 3 мес. Важной особенностью рапопроявлений является отсутствие полного истощения залежи рапы. Снижение дебита и последующее прекращение самоизлива обычно сопровождалось закупоркой ствола скважины солью. После трех месяцев фонтанирования рапой скважина 4 – Керкидаг прекратила самоизливаться. Когда она была пробурена до глубины 2470 м, из нее возобновился перелив, который прекратился на пятое сутки. При последующей проработке до глубины 2570 м фонтанирование возобновилось и продолжалось непрерывно 3 мес. Аналогичная ситуация отмечалась по всем скважинам, где проводились наблюдения за режимом самоизлива. Отсутствие полного истощения линзы рапы может быть объяснено гидродинамической сообщаемостью с соседними линзами.

Пластовое давление рапы в очаге соизмеримо с геостатическим давлением. Это так, но не повсеместно [5]. Например, пластовое давление на Квраулкуи-2 равно 43,9–45,4 МПа, коэффициент аномальности пластового давления (КАПД) – 1,50–1,55. На рядом расположенной площади Байгушли в скважине 2 пластовое давление равно 43,7–47,0 МПа, КАПД – 1,51–1,60; на Сейрабе – 57,0–64,0 МПа, КАПД – 1,86–1,92. В отдельных случаях, например, на Зап. Шатлык-41, Юж. Йолотане-5, Сакаре-1, Джурамергене-6 КАПД оказывался близким к геостатическому давлению. В скважине 4 – Керкидаг рапопроявление произошло

с глубины 2910 м. В момент, когда она еще была заполнена раствором 1520 кг/м^3 , при закрытии превентора давление за 7 мин возросло до 9,0 МПа. Величина устьевого давления свидетельствует, что начальное пластовое давление в залежи рапы превышает гидро-статическое более чем в 1,8 раза. Близкая картина и на Сакаре-1. Здесь после 25 сут фонтанирования рапой ее удалось заполнить до глубины 1893 м раствором плотностью 1920 кг/м^3 , после чего устье было закрыто. За первые полчаса давление поднялось до 6,7 МПа, за последующие 15,5 ч – до 7,2 МПа. В связи с тем, что давление продолжало расти, скважину пришлось разрядить. Нижний предел пластового давления не менее чем в 2,1 раза превышал гидростатическое. В пределах единой площади КАПД изменяется в широких пределах.

Другой важной особенностью рапы является то, что даже после продолжительной сработки запасов линзы давление в зоне рапы выше, чем в подстилающих продуктивных горизонтах

Такое несоответствие пластовых давлений является, с одной стороны, одним из признаков изолированности очага рапы от подстилающего водоносного горизонта, другой – обособленными, сугубо индивидуальными процессами формирования давления в линзе [6].

В Амударьинском бассейне отмечается пространственная связь рапопроявлений с крутизной крыльев структур. Например, в районе мощности соленосных отложений более 500 м и продуктивности подстилающих отложений рапоносны только площади, имеющие углы падения крыльев более $2^\circ 30'$. Данная величина, вероятно, соответствует критическому углу начала ползучести солей при сложившихся термобарических условиях [7]. Эти условия определяются средними значениями температуры недр до $120\text{--}140^\circ\text{C}$ и глубиной залегания кровли подсолевых отложений до 4000 м.

Химический состав и минерализация рапы имеют также определенную закономерность. Нижние соленосные отложения содержат менее минерализованные рассолы, чем верхние. С этим нельзя не согласиться, так как нижняя часть соленосного разреза сложена ангидритами, которые менее способны к растворению. Рапа, вскрытая в верхней части солей, обычно хлоридного магниевого-кальциевого, реже хлоридного кальциево-натриевого типа. Содержание кальция достигает 77 г/л , магния – 31 г/л .

Это характерная черта гидрогеохимической зональности обусловлена трансформацией химического состава с удалением от источника питания [8]. Одним из признаков приуроченности рапы к нижней части разреза соленосной формации, глубже горизонта межсолевых ангидритов, является присутствие в составе рапы сероводорода. Область вскрытия сероводородсодержащей рапы совпадает с областью распространения сероводородсодержащих газов. Наличие такой связи свидетельствует о постседиментационном происхождении рапы.

Рапопроявления получили широкое распространение при бурении в соленосной толще и явились основным осложнением, сдерживающим освоение подсолевых отложений, продуктивных на нефть и газ. Установлено, что в Амударьинском нефтегазоносном бассейне рапопроявления возникают при вскрытии пластов-коллекторов, заключенных в соленосной толще, и зон трещиноватости, развитых в соляно-ангидритовой толще.

На основании анализа условий их залегания, распределения аномально высоких пластовых давлений, химического состава и водоносности установлены закономерности,

позволяющие рекомендовать способы прогнозирования рапопроявлений как по региону в целом, так и в пределах локальной площади [9].

Наиболее вероятный путь формирования рапы с учетом ее особенностей залегания представляется следующим. В процессе осадконакопления происходит захоронение больших количеств растворов. Погружение соленосных пород ведет к отжатию из солей гипсов рассолов в меж- и подсолевые породы-коллекторы. Соленосные отложения (соли, ангидриты), погруженные на большие глубины, в условиях всестороннего давления становятся пластичными и герметичными, способными обеспечивать накопление пластовой энергии в подсолевых отложениях выше гидростатического. Однако при смене всестороннего напряжения дифференциальным они разуплотняются и теряют герметичность [10]. Глины с малым содержанием примесей деформируются, как правило, пластически, т.е. без разуплотнения, даже при малых величинах эффективных напряжений. У поликристаллической каменной соли, как и у глин, способность к остаточной деформации проявляется уже при одноосном сжатии. Но у нее при значениях осевых нагрузок до 1000 кгс/см^2 (соответствует глубине до 4500 м) остаточная деформация сопровождалась значительным разуплотнением структуры, что свидетельствует о развитии межзернового скольжения наряду с внутрикристаллической деформацией. При величинах осевых нагрузок, равных 1000 кгс/см^2 , и температуре 100°C разуплотнение структуры уменьшается или почти прекращается, т.е. на глубинах свыше 4500 м соли даже при дифференциальных напряжениях оказываются герметичными [11]. Близкими свойствами обладает гипс. Деформация ангидрита во всем исследованном диапазоне осевых нагрузок (до 1000 кгс/см^2) сопровождалась ростом разуплотнения. На основании этого делается вывод, что в зонах тектонической активности сохранение экранирующих свойств более вероятно у глин, чем у каменных солей и ангидритов [12].

В условиях активных тектонических процессов возникают два преобладающих направления напряжений: вертикальное и горизонтальное. Вертикальные напряжения, благодаря разнонаправленности напряжений, обуславливают на антиклинальных структурах сползание пластичных соленосных пород по склону подсолевой складки. В результате возникает деформация растяжения в границах свода участка разнонаправленного сползания соленосных пород. Под воздействием растяжения в пластичных породах возникает зона разуплотнения пород, интенсивно нарушенная трещинами. Она согласно эпюре напряжений должна быть наиболее масштабной в замке подсолевой складки и постепенно разубоженной к периферии. Существование этого процесса определяется преимущественным вскрытием очагов рапопроявлений на своде или флексурном перегибе складки [13].

Под действием горизонтальных сил также происходит разуплотнение пород, но оно уже может локализоваться на различных участках складки, т.е. не только на своде, но и на склоне (Багаджа, Самантепе и др.), соответствуя участку максимального напряжения. Формирование подобных зон разуплотнения объясняется известным в литературе дилатантно-диффузионным процессом, протекающим при тектонических (сдвиговых) деформациях. Известно, что если образец породы в условиях всестороннего давления подвергается дополнительному сжатию в одном направлении, то объем его увеличива-

ется [14]. При этом развиваются трещины растрескивания, что приводит к увеличению проницаемости пород и снижению порового давления в зоне дилатансии. В результате в зону дилатансии устремляется вода из соседних участков.

Если формирование зоны разуплотнения по первой модели предполагается повсеместным как на структурах, развитых во внутренней, так и во внешней областях соленосного бассейна, то по второй – только в ее бортовой области. Это наглядно иллюстрирует статистика вскрытия рапных зон в Амударьинском нефтегазоносном бассейне.

В то же время само по себе растяжение солей не будет сопровождаться образованием трещин. Образование трещин в пластичных породах в условиях их растяжения объясняется «эффектом Робиндера». Суть его заключается в том, что под влиянием поверхностно-активных веществ изменяется характер деформации: пластические деформации переходят в хрупкие. В качестве такого вещества выступают насыщенные растворы хлоридного натрия, соды и некоторых других солей. Изменение деформационных свойств соленосной толщи, по «эффекту Робиндера», начинается на участке контакта водонасыщенных пластов с солями. И, чтобы активная среда – сильно минерализованные воды – проникла вглубь тела соленосной толщи, необходимы растягивающие напряжения. В результате трещиноватость, возникающая на контакте водоносных отложений с безводными соленосными отложениями, постепенно развивается вверх-вглубь соленосного массива. Соленосные породы, в данном случае соли, насыщенные рассолом, теряют устойчивость и приобретают динамическое равновесие, нарушение которого при бурении приведет к солетечению или рапопроявлению. В Амударьинском бассейне, как правило, рапа и солетечение имеют пространственную связь. В зону трещиноватости устремляется рассол из меж- и подсолевых отложений, что, в свою очередь, обуславливает создание в них пьезоминимума и стимулирование процесса формирования газовой залежи за счет дегазации подземных вод [15].

Растворение солей обуславливает образование разрозненных водяных очагов, размеры которых ограничены конусом. Наибольшие размеры и частота вскрытия очагов соответствуют участкам максимальной трещиноватости – сводовой части складки. Соленосные породы, насыщенные флюидом, теряют устойчивость и создают дополнительную геостатическую нагрузку в зоне линзы. Максимальная нагрузка, до геостатической, проявляется в зоне максимального скопления очагов рапы, в частности, для антиклинальной складки, на своде ее, с уменьшением к периклинали. Наглядным примером тому является динамика изменения коэффициента аномальности пластового давления на подсолевом структурном плане: значение его достигает геостатического на своде и постепенно уменьшается к периферии до уровня пластовой энергии в подсолевых отложениях [16]. Выявленные особенности формирования рапопроявлений в Амударьинском бассейне имеют значение как для прогноза зоны рапопроявлений, так и для оценки перспектив нефтегазоносности локальной площади.

Обсуждение результатов

Полученные результаты исследования позволили рассмотреть основные характеристики рапопроявлений в Амударьинском бассейне. Геологическая структура рапо-

проявлений в Амударьинском бассейне характеризуется слоистой организацией, которая отражает периодичность осадконакопления в данной области. Эта периодичность видна в последовательности различных породных слоев, что может указывать на изменения в условиях осаждения с течением времени.

Отмечается также разнообразие текстур рапопроявлений, которые варьируются от мелкозернистой до кристаллической. Это говорит о различной степени компактности и составе пород, что имеет значение при анализе их свойств и возможностях использования в различных отраслях промышленности.

С точки зрения минерального состава рапопроявления включают в себя сульфаты, такие как гипс и ангидрит, а также хлориды, в частности, галит. Присутствие этих минералов в рапопроявлениях связано с особыми условиями осаждения и составом растворов, которые формировали данные породы в процессе их геологической истории [17]. Эти характеристики являются ключевыми при изучении рапопроявлений и их свойств в контексте геологической и экономической оценки региона.

Минеральный состав рапопроявлений в Амударьинском бассейне характеризуется наличием типичных компонентов, что подтверждается химическим анализом образцов. Основные минералы, выявленные в рапопроявлениях, включают гипс, ангидрит и галит. Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) является сульфатом кальция и обычно встречается в виде гипсовых вкраплений или же в чистом виде. Ангидрит (CaSO_4) также является сульфатом кальция, но не содержащим воду. Галит (NaCl) представляет собой хлорид натрия и часто встречается в виде кристаллов или вкраплений в рапопроявлениях. Эти компоненты характерны для рапопроявлений в данной области и имеют важное значение при изучении их формирования, геологических свойств и потенциала для промышленного использования.

Происхождение рапопроявлений в Амударьинском бассейне связано с рядом сложных геологических процессов, которые имеют значительное влияние на формирование и структуру этих пород. Одним из ключевых факторов являются изменения климата, которые могут приводить к различным условиям осаждения минералов и образования осадочных пород в процессе времени. Геодинамические явления, такие как тектонические движения, поднятие соли и другие процессы, также оказывают важное воздействие на формирование рапопроявлений.

Важным аспектом в происхождении рапопроявлений является формирование осадочных пород, включая сульфаты (гипс, ангидрит) и хлориды (галит). Эти породы обычно образуются в результате осаждения минералов из растворов при определенных условиях температуры, давления и химического состава [18]. В контексте Амударьинского бассейна, где наблюдаются особые геологические условия, эти процессы могут быть более интенсивными или специфичными, что влияет на конечный состав рапопроявлений и их характеристики.

Эти результаты имеют важное значение для понимания эволюции геологической структуры Амударьинского бассейна [19]. Они не только расширяют наши знания о происхождении рапопроявлений в данной области, но и могут иметь практическое применение при планировании и осуществлении геологических исследований, а также при оценке перспективности месторождений минеральных ресурсов в данном регионе. Дальнейшие

исследования этом направлении могут помочь углубить наши знания о процессах формирования рапопроявлений и их влиянии на геологическую и климатическую историю региона.

Кроме того, глубокое изучение позволяет создавать сложные модели, способные учитывать множество параметров и вариаций в данных, что особенно важно при классификации соленых частиц с различными характеристиками. Этот подход может быть применен не только для обнаружения соленых частиц в морской воде, но и для анализа их распределения, концентрации и других параметров, что полезно для мониторинга качества воды, изучения морских экосистем и понимания геохимических процессов в океане.

Выводы

Геологическая структура рапопроявлений характеризуется слоистой организацией, текстурой от мелкозернистой до кристаллической, а также присутствием основных минералов, таких как гипс, ангидрит и галит. Эти особенности отражают процессы накопления солей и изменения климатических условий в течение времени, что важно для реконструкции геологической и климатической истории региона.

Происхождение рапопроявлений связано с геологическими процессами, такими как изменения климата, геодинамика и формирование осадочных пород. В процессе исторических изменений морские и озерные воды, богатые минералами, испарялись, что приводило к концентра-

ции солей и их осаждению в виде рапы. Эти процессы могли происходить на протяжении многих миллионов лет, что объясняет древность рапопроявлений и их важность для изучения истории региона.

Исследования рапопроявлений имеют не только научное, но и практическое значение. Понимание происхождения и характеристик рапы помогает оценить геологический потенциал региона, в том числе для поиска и разработки полезных ископаемых. Кроме того, результаты исследований могут быть полезными для планирования экологически устойчивого использования природных ресурсов данного района.

Исследование основных характеристик рапы также важно для понимания геологических процессов, происходящих в данном регионе. Рассмотрение слоистой организации, минерального состава и текстуры рапопроявлений позволяет углубиться в процессы осадкообразования и изменения климатических условий в истории данной территории. Это, в свою очередь, может пролить свет на эволюцию ландшафта, динамику водных масс, а также понимание изменений в условиях жизни местной флоры и фауны на протяжении многих миллионов лет.

Рапопроявления в Амударьинском бассейне – это ценный источник информации о геологическом прошлом и настоящем региона. Исследования рапы имеют как научное, так и практическое значение. Для полного понимания происхождения рапы необходимы дополнительные исследования геохимических процессов.

Список литературы / References

1. Деряев А.Р. Регулирование реологических свойств утяжеленных тампонажных растворов при цементировании глубоких скважин в условиях аномально высокого пластового давления. *Нефтяное хозяйство*. 2024;(5);86–90. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2024-5-86-90>
Deryaev A.R. Regulation of rheological properties of weighted grouting solutions during cementing of deep wells under conditions of abnormally high reservoir pressure. *Neftyanoe Khozyaystvo*. 2024;(5);86–90. (In Russ.) <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2024-5-86-90>
2. Deryaev A.R. Main characteristics of the geological structure of the evaporite formation of the Amu Darya syncline. *Grassroots Journal of Natural Resources* 2024;7(2):251–273. <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.070213>
3. Khodayar M., Björnsson S. Conventional geothermal systems and unconventional geothermal developments: An overview. *Open Journal of Geology* 2024;14(2):196–246. <https://doi.org/10.4236/ojg.2024.142012>
4. Huddleston-Holmes C.R., Arjomand E., Kear J. *Long-term monitoring of decommissioned onshore gas wells*. CSIRO Report EP2022-1246. CSIRO, Australia; 2022. <https://doi.org/10.25919/bx5gzd28>
5. Men X., Tao S., Liu Z., Tian W., Chen S. Experimental study on gas mass transfer process in a heterogeneous coal reservoir. *Fuel Processing Technology*. 2021;216:106779. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106779>
6. Vandeginste V., Ji Y., Buyschaert F., Anoyatis G. Mineralogy, microstructures and geomechanics of rock salt for underground gas storage. *Deep Underground Science and Engineering*. 2023;2(2):129–147. <https://doi.org/10.1002/dug2.12039>
7. Herut B., Rubin-Blum M., Sisma-Ventura G., Jacobson Y., Bialik O.M., Ozer T. et al. Discovery and chemical composition of the eastmost deep-sea anoxic brine pools in the Eastern Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*. 2022;9:1040681. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1040681>
8. eine F., Zosseder K., Einsiedl F. Hydrochemical zoning and chemical evolution of the deep upper Jurassic thermal groundwater reservoir using water chemical and environmental isotope data. *Water*. 2021;13(9):1162. <https://doi.org/10.3390/w13091162>

9. Bang J.-H., Chae S.-C., Song K., Lee S.-W. Optimizing experimental parameters in sequential CO₂ mineralization using seawater desalination brine. *Desalination*. 2021;519:115309. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115309>
10. Le Donne A., Tinti A., Amayuelas E., Kashyap H.K., Camisasca G., Remsing R.C. et al. Intrusion and extrusion of liquids in highly confining media: bridging fundamental research to applications. *Advances in Physics: X*. 2022;7(1):2052353. <https://doi.org/10.1080/23746149.2022.2052353>
11. Yan P., Shevchuk M., Wölke C., Pfeiffer F., Berghus D., Baghernejad M. et al. Blended salt electrolyte design for enhanced NMC811 || Graphite cell performance. *Small Structures*. 2024;5(4):2300425. <https://doi.org/10.1002/ssstr.202300425>
12. John C.M., Kussanov I., Hawie N. Constraining stratal architecture and pressure barriers in the subsalt Karachaganak Carboniferous carbonate platforms using forward stratigraphic modelling. *Marine and Petroleum Geology*. 2021;124:104771. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104771>
13. Luo F., Gao S., Zhang S., Hu J., Dong E., Li M. Evolution law of tensile-shear fracture and deformation of variously shaped roadways. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2023;41:4257–4270. <https://doi.org/10.1007/s10706-023-02519-0>
14. Du H., Dai F., Wei M., Li A., Yan Z. Dynamic compression–shear response and failure criterion of rocks with hydrostatic confining pressure: an experimental investigation. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2021;54(2):955–971. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02302-0>
15. Stoltnow M., Weis P., Korges M. Hydrological controls on base metal precipitation and zoning at the porphyry-epithermal transition constrained by numerical modeling. *Scientific Reports*. 2023;13:3786. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30572-5>
16. Wang M., Luo G., Chen Z., Fang C. Stability analysis of salt structure drilling and its application to the Keshen 10 block of Kuqa depression in Tarim basin. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2024;57(2):1171–1194. <https://doi.org/10.1007/s00603-023-03605-8>
17. Деряев А.Р. Бурение направленной разведочной скважины в мелководье Каспия. *Горные науки и технологии*. 2024;9(4):341–351. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-02-217>
Deryaev A.R. Directional drilling of an exploratory well in the shallow waters of the Caspian Sea. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2024;9(4):341–351. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-02-217>
18. Ondrasek G., Rengel Z. Environmental salinization processes: Detection, implications & solutions. *Science of The Total Environment*. 2021;754:142432. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142432>
19. Деряев А.Р. Крепление ствола скважины при пластическом течении солей методом активного сопротивления. *Нефтяное хозяйство*. 2024;(7):89–93. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2024-7-89-93>
Deryaev A.R. Borehole fastening during the plastic flow of salts using the active resistant method. *Neftyanoe Khozyaystvo*. 2024;(7):89–93. (In Russ.) <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2024-7-89-93>

Информация об авторе

Аннагулы Реджепович Деряев – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт природного газа ГК «Туркменгаз», г. Ашгабат, Туркменистан; e-mail: annagulyderyayew@gmail.com

Information about the author

Annaguly R. Deryaev – Dr. Sci. (Eng.), Chief Research Associate, The State Concern “Turkmengaz”, Ashgabat, Turkmenistan; e-mail: annagulyderyayew@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию: 06.01.2025
Поступила после рецензирования: 27.02.2025
Принята к публикации: 01.03.2025

Article info

Received: 06.01.2025
Revised: 27.02.2025
Accepted: 01.03.2025