

DOI 10.21672/2077-6322-2021-81-2-025-030

**СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЭВАПОРИТОВ
В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ ЗЕМЛИ**

Быстрова Инна Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Астраханский государственный университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, innabistrova1948@mail.ru

Смирнова Татьяна Сергеевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Астраханский государственный университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, Juliet_23@mail.ru

Актуальность работы состоит в том, что геохимической спецификой подземной гидросферы служат исключительно разнообразные по составу рассолы и соленые воды, которые свойственны осадочным бассейнам платформенного типа с галогенными формациями. Поэтому выяснение происхождения, закономерностей формирования и размещения солеродных пород является одной из фундаментальных проблем современной теоретической геологии нефти и газа. Цель работы – проанализировать особенности образования эвапоритов в геологической истории Земли. Высокая значимость научных и прикладных проблем «соляной» геологии и широкий интерес к данной проблеме традиционно определяются потребностями в разнообразном галургическом сырье, а также их тесными связями с интересами многих дисциплин (гидрогеохимии, учения о месторождениях полезных ископаемых, геологии нефти и газа и др.). В работе раскрывается возможность использования данных о современном галогенезе для расшифровки условий и закономерностей древнего соленакопления в разные геологические периоды, начиная от сравнительно молодых до наиболее древних; в выявлении соотношения и связи континентального и морского галогенеза в различные геологические эпохи. Выявлены закономерности распространения и формирования солеродных пород, определяют возможность их использования в качестве источников гидроминерального сырья.

Ключевые слова: эвапориты, галогенез, солеродные бассейны, соленакопление, сульфаты

**MODERN ISSUES OF EVAPORITE FORMATION
IN THE GEOLOGICAL HISTORY OF THE EARTH**

Bystrova Inna V., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyan Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, innabistrova1948@mail.ru

Smirnova Tatyana S., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyan Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, juliet_23@mail.ru

The relevance of the work. The geochemical specificity of the underground hydrosphere is extremely varied in composition brines and salt waters, which are characteristic of platform-type sedimentary basins with halogen formations. Therefore, elucidation of the origin, formation and distribution patterns of salt-bearing rocks is one of the fundamental problems of modern theoretical geology of oil and gas. *The purpose of this work* is to analyze the features of the formation of evaporites in the geological history of the Earth. The high importance of scientific and applied problems of "salt" geology and the wide interest in this problem are traditionally determined by the needs for various halurgic raw materials, as well as their close ties with the interests of many disciplines (hydrogeochemistry, studies of mineral deposits, oil and gas geology, etc.). The work reveals the possibility of using data on modern halogenesis to decipher the conditions and patterns of ancient salt accumulation in different geological periods, ranging from relatively young to the most ancient; in identifying the relationship and relationship of continental and marine halogenesis in different geological epochs; *Conclusions:* The regularities of the distribution and formation of salt-bearing rocks have been revealed, and the possibility of their use as sources of hydromineral raw materials has been determined.

Keywords: evaporites, halogenesis, salt basins, salt accumulation, sulfates

На современном этапе имеющихся научно-теоретических и эмпирических сведений об образовании эвапоритов в геологической истории Земли следует отметить, что ряд из вопросов по солеродным породам, имеющих определенное практическое значение, требуют более глубокого практического обоснования.

Высокая значимость научных и прикладных проблем «соляной» геологии и широкий интерес к данной проблеме традиционно определяются потребностями в разнообразном галургическом сырье.

Значительный вклад в изучение связи галогенеза с эволюцией атмосферы в ходе геологической истории Земли внес А. А. Годовиков. В своих работах он отмечал, что по мере эволюции в составе атмосферы увеличилось содержание кислорода. Это способствовало возрастанию роли окислительных процессов, приводящих к образованию сульфатов, высших окислов серы в корах выветривания и зонах окисления.

Крупные залежи каменной соли известны уже в докембрии, а залежи ангидрита имеют возраст порядка 900 млн лет. Допускается участие в образовании солей глубинных эндогенных вод, что более вероятно на ранних стадиях развития земной коры.

Условия древнего и современного галогенеза резко различны. В современную эпоху соленосные отложения накапливаются чаще всего в озерах, заливах и лагунах, а в прошлые эпохи, как правило, они были связаны с разнообразными водами морского генезиса.

Среди современных солеродных бассейнов наибольшее значение имеют морские заливы, лагуны, соединенные с морем постоянно действующими проливами, а также морские озера, развившиеся из лагун и отшнурованные от моря перемычками.

Примером морского осолоненного залива является залив Каспийского моря – Кара-Богаз-Гол. Вода, поступающая из моря в залив, веером растекается по поверхности рапы и вовлекается в общее круговое течение с постепенно уменьшающейся скоростью [11]. По пути движения в поверхностном потоке концентрация солей в рассоле возрастает, в результате чего данное течение транспортирует и доставляет их во впадины дна центральной части залива. В акватории залива поверхностные рассолы распределяются по трем зонам: смещения, центральной и прибрежной. В зоне смещения морская вода разбавляет насыщенные рассолы. Поэтому ей соответствуют карбонатно-гипсовые осадки (кальцит, гипс, глауберит, астраханит, мирабалит), а в прибрежной зоне (галитовая) преобладает галит, а также осаждается эпсомит.

Процесс образования солей весьма сложный. Он включает дифференциацию рассолов, вертикальное расслоение рапы, устойчивость режима течения воды и несимметричную зональность соленосных отложений.

Солеродные бассейны прошлого времени обычно располагались во впадинах конечного стока в аридной климатической зоне. Как правило, они отделялись от основной морской или океанической акватории промежуточным морским бассейном. Именно здесь морская вода сгущалась и входила в стадию метаморфизма [10; 12].

На научно-эмпирической основе было установлена связь галогенеза с процессами образования рифтов и рифтовых зон (трансформные границы литосферных плит).

Галогенные накопления рифтов имеют значительную мощность, а в Красном море они достигают 4–6 км. В нижней части прослеживается переход от терригенных образований к галогенным, а в кровле эвапоритовых толщ – к карбонатным морским осадкам. Как правило, в галогенных рифтовых отложениях преобладают повышенные концентрации железа, марганца, цинка, свинца, меди и серебра.

В истории Земли главными эпохами галогенеза являются кембрийская, девонская, пермская, юрская, меловая и неогеновая.

Впервые сульфатные породы были обнаружены в Австралии в среднем рифее (формация Биттер-Спрингс), а также в Северной Америке (Гренвильская серия).

В ряде районов мира Восточной Сибири, Иране, Омане, Пакистане, Гренландии и Северной Америки также получили широкое развитие верхнерифейские и вендские

сульфатные формации. Именно с вендского времени, по мнению ряда ученых, начался процесс осаждения также и каменных солей. Вероятнее всего именно они продолжались и в течение фанерозоя и носили неравномерный характер [1; 12] (рис. 1).

В истории формирования солеродных бассейнов выделяют ряд эпох обширного соленакопления. К ним относятся: ранний кембрий, вторая половина ранней и поздней перми, поздний триас, поздняя юра, ранний мел, в меньшей степени средний и поздний девон, а также и миоцен.

В процессе соленакопления отмечаются длительные временные интервалы, приуроченные к позднему кембрию – раннему девону, раннему карбону, среднему триасу и палеоцену, в течение которых этот процесс резко сокращался [7; 11].

Важной особенностью палеозойского процесса соленакопления является сосредоточение их в небольшом количестве крупнейших солеродных бассейнах, связанных с эпиконтинентальными морями. Яркими примерами являются Восточно-Сибирский и Ирано-Пакистанский (кембрий), Западно-Канадский, Северо-Сибирский, Днепровско-Донецко-Припятский (девон), Восточно-Европейский с Прикаспийской впадиной, Германо-Североморский (Цехштейновый) и Мидконтинента США (пермь).

В это время существовали и более мелкие по размерам бассейны. К ним относятся кембрийский солеродный бассейн, который занимал почти два миллиона квадратных километров на Сибирской платформе, раннепермский (кунгурский) на территории Прикаспийской впадины, площадью 660 000 км². Соляные купола, расположенные в центральной части впадины прорывают относительно мощную толщу мезо-кайнозойских осадков. В ряде из них кровля выходит на дневную поверхность (Индер, Челкар, Баскунчак, Эльтон) [5; 6].

По данным Страхова (1962), Лоуэнстама (1968), Жаркова (1974) и др., в пермский период в геологической истории Земли (Северное полушарие) был этапом глобального соленакопления. Именно в это время происходила миграция полюсов и дрейф континентов, причиной которых стали планетарные явления во Вселенной, а также процессы, происходящие в глубоких недрах планеты. Это привело к активизации тектонических процессов и палеогеографических перестроек внутри Земли, повлияло на формирование особых палеотектонических и палеогеографических условий образования обширных внутриконтинентальных солеродных бассейнов.

Одним из ярчайших примеров таких солеродных бассейнов является раннепермский, расположенный на юго-востоке Русской платформы и приуроченный к территориям Волго-Уральской области, Прикаспийской впадины и Предуралья прогиба. Активизация пермского соленакопления была обусловлена влиянием герцинского тектогенеза.

В мезозойский этап отмечается увеличение количества солеродных бассейнов. Однако масштабы соленакопления в них по сравнению с палеозойским временем стали меньше.

В кайнозойское время происходит увеличение количества бассейнов на фоне одновременного сокращения их размеров. Следует отметить, что именно в это время появляются первые континентальные озерные соленосные толщи [4].

Отмечаем, что процесс соленакопления в определенной степени аналогичен эволюции карбонатакопления. В палеозойское время в огромных эпиконтинентальных бассейнах наряду с соленакоплением происходила седиментация карбонатов. В результате изменения физико-географической обстановки в мезозойское, а также кайнозойское время не сохранились условия обширных шельфов, благоприятных для карбонато- и соленакопления. Важным ключом в этом процессе явилось изменение климата, что отразилось на формировании данных осадков. Это обусловило смещение описываемых процессов в те палеогеографические зоны, которые необходимы для их формирования и развития.

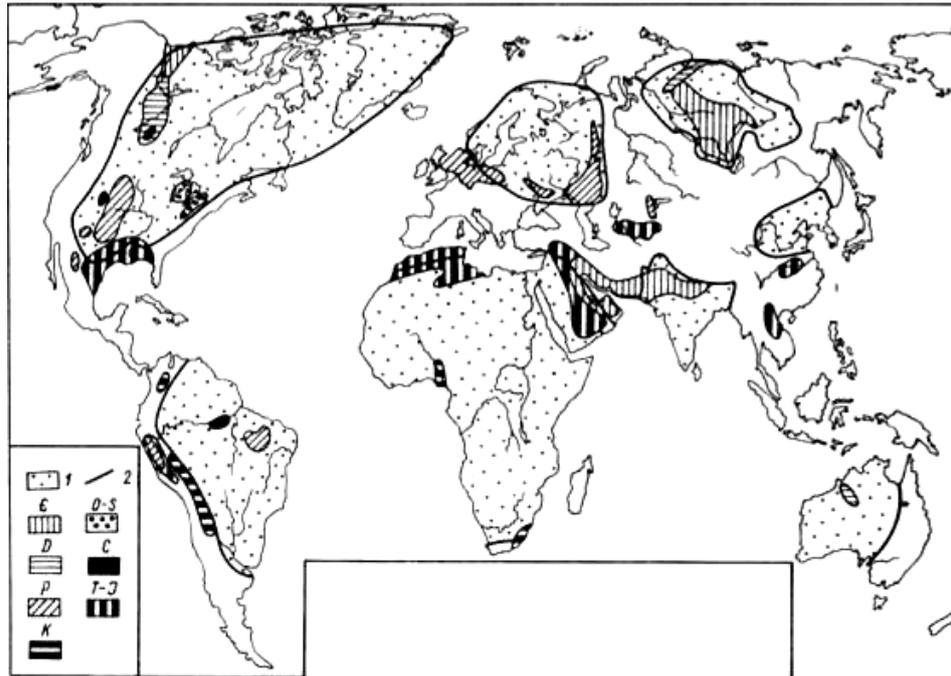


Рис. Главнейшие солеродные бассейны мира (по Сияякову В. И.):
1 – платформы, 2 – границы платформ

Эти процессы также привели к изменению вещественного состава соленосных отложений в бассейнах соленакопления. По мнению большинства ученых, было отмечено, что фанерозойский этап привел к развитию гипсов, ангидритов и соленосных формаций хлоридного типа.

На протяжении пермского времени и неогена происходит формирование хлоридно-сульфатных формаций с содержанием сульфата калия и магния. Для неогенового этапа развития характерно появление карбонатов натрия [1; 4].

Следовательно, фанерозойский этап развития характеризуется процессом формирования двух крупных циклов соленакопления – палеозойским и мезозойско-кайнозойским [2; 7]. Для каждого из них характерно накопление морских карбонатов (гипсов) и солей (хлоридов). По завершению этих циклов в период кратковременных пермского и неогенового этапов формируются и калийно-сульфатные формации в континентальных озерных комплексах. В отложениях пермского возраста присутствуют галит-глауберитовые породы, а неоген характеризуется весьма разнообразным минеральным составом.

В процессе осадконакопления в палеозое и мезозое отмечается следующая особенность. Кембрийское, пермское, в меньшей степени девонское соленакопление в палеозое и миоценовое в кайнозое испытывают влияние глобальных похолоданий и оледенений. Здесь возникает диалектическое противоречие между аридным типом климата, который является наиболее благоприятным и даже необходимым для соленакопления, и похолоданием с учетом восприятия влияния климата, как в конкретном регионе, так и в глобальной динамике температуры на всей планете. Этот факт рассматриваем в контексте глобального похолодания, а также оледенения. Это приводит к нарастанию контрастности климата, и обуславливает более четкое проявление зональности климатических поясов. В данном конкретном случае происходит четкая обособленность аридных зон, в которых происходит процесс соленакопления.

В периоды наступления глобальных похолоданий и оледенений отмечается уменьшение содержания воды в атмосфере (общая влажность). Давно известный

в науке факт, что в процессе связывания жидкой воды в ледники в период покровных континентальных оледенений происходит понижение уровня Мирового океана. Это приводит к формированию подводных барьеров и изоляции водоемов, что способствует процессу соленакопления [8].

Результаты анализов последнего оледенения (вюрмское), которое не является самым мощным, показали, что уровень Мирового океана составлял на 140–160 м ниже современного, а в рисское время он уже достиг отметок 200–300 м (Кузнецов, 1997). Подтверждением общего падения уровня моря в периоды похолоданий свидетельствуют также и о соответствии климатических показаний уровню моря.

В этом отношении мезозойское позднетриасовое и позднерурско-раннемеловое соленакопление, происходившее в эпоху глобального потепления, по мнению ряда ученых, является несколько аномальным и обусловлено, видимо, иными причинами.

Рассмотрение вопроса процесса соленакопления в эволюции Земли позволит расшифровать условия и закономерности древнего соленакопления в разные геологические периоды (начиная от сравнительно молодых до наиболее древних); выявить соотношения и связи континентального и морского галогенеза в различные геологические эпохи; обосновать роль исторического времени образования месторождений минеральных солей разного типа. Для этого необходимо более детально рассмотреть имеющиеся данные о современном галогенезе.

Список литературы

1. Азизов, А. И. Основные особенности строения, состава и генезиса хлоридных и сульфатных калиеносных формаций / А. И. Азизов, И. Н. Тихвинский // Основные проблемы соленакопления. – Новосибирск : Наука, 1981. – С. 79–84.
2. Батулин, Е. Н. Проблемы освоения крупнейших калийных месторождений мира / Е. Н. Батулин, Е. А. Меньшикова, С. М. Блинов, Д. Ю. Наумов, П. А. Белкин // Современные проблемы науки и образования. – М., 2012. – № 6. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=7513>.
3. Валяшко, М. Г. Закономерности формирования месторождения солей / М. Г. Валяшко. – М. : МГУ, 1962. – 309 с.
4. Валяшко, М. Г. Специфика условий формирования отложений заключительных стадий галогенеза / М. Г. Валяшко., И. К. Жеребцова // Основные проблемы соленакопления. – Новосибирск : Наука, 1981. – С.45–48.
5. Головачев, И. В. Типизация особенностей сульфатного карста солянокупольных структур Северного Каспия / И. В. Головачев, Е. И. Головачева // Геология, география и глобальная энергия. – 2013. – № 1. – С. 206–211.
6. Еремин, Н. И. Неметаллические полезные ископаемые / Н. И. Еремин. – М. : Московский университет, 2007. – 459 с.
7. Ибламинов, Р. Г. Палеотектонические обстановки формирования месторождений солей / Р. Г. Ибламинов // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. – Пермь, 2013. – № 16. – С. 263–265.
8. Имамеев, А. Н. Соляные залежи юго-восточного обрамления Прикаспийской впадины / А. Н. Имамеев, Е. Ф. Станкевич, Ю. В. Баталин и др. // Советская геология. – 1984. – № 4. – С. 28–36.
9. Ковальский, Ф. И. Галогенная формация соляных куполов Северного Прикаспия / Ф. И. Ковальский // Основные проблемы соленакопления. – Новосибирск : Наука, 1981. – С. 131–134.
10. Комиссарова, И. Н. Основные черты древнего и современного соленакопления на территории Прикаспийской впадины / И. Н. Комиссарова // Новые данные по геологии соленосных бассейнов Советского Союза. – М. : Наука, 1986. – С. 171–180.
11. Мязина, Н. Г. Внутримежсолевые рассолы кунгурских отложений Прикаспийской синеклизы / Н. Г. Мязина // Геология, география и глобальная энергия. – 2014. – № 2 (53). – С. 57–65.
12. Серебряков, А. О. Геологическая и геохимическая типизация солеродных регионов мира / А. О. Серебряков // Естественные и технические науки. – 2010. – № 4 (49). – С. 171–174.

References

1. Azizov, A. I., Tikhvinsky, I. N. Osnovnye osobennosti stroeniya, sostava i genezisa khlordnykh i sulfatnykh kaliyosnykh formatsiy [The main features of the structure, composition and genesis of chloride and sulfate potassium-bearing formations]. *Osnovnye problemy solenakopleniya* [Main problems of salt accumulation]. Novosibirsk, Nauka Publ. House, 1981, pp. 79–84.
2. Baturin, E. N., Menshikova, E. A., Blinov, S. M., Naumov, D. Yu., Belkin, P. A. Problemy osvoeniya krupneyshikh kaliynykh mestorozhdeniy mira [Problems of development of the largest potash deposits in the world]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. Available at: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=7513>.
3. Valyashko, M. G. *Zakonomernosti formirovaniya mestorozhdeniya soley* [Regularities of the formation of salt deposits]. Moscow, Moscow State University Publ. House, 1962, 309 p.
4. Valyashko, M. G., Zherebtsova, I. K. Spetsifika usloviy formirovaniya otlozheniy zaklyuchitelnykh stadiy galogeneza [Specificity of the conditions for the formation of deposits of the final stages of halogenesis]. *Osnovnye problemy solenakopleniya* [Basic problems of salt accumulation]. Novosibirsk, Nauka Publ. House, 1981, pp.45–48.
5. Golovachev, I. V., Golovacheva, E. I. Tipizatsiya osobennostey sulfatnogo karsta solyan-okupolnykh struktur Severnogo Kaspiya [Typization of sulfate karst features of salt-domed structures of the North Caspian]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, geography and global energy]. 2013, no 1. pp. 206–211.
6. Eremin, N. I. *Nemetallicheskie poleznye iskopaemye* [Non-metallic minerals]. Moscow, Moscow State University Publ. House, 2007, 459 p.
7. Iblaminov, R. G. Paleotektonicheskie obstanovki formirovaniya mestorozhdeniy soley [Paleotectonic settings of salt deposits formation]. *Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii* [Problems of mineralogy, petrography and metallogeny]. 2013, no 16, pp. 263–265.
8. Imameev, A. N., Stankevich, E. F., Batalin, Yu. V. et al. Solyanye zalezhi yugovostochnogo obramleniya Prikaspiyskoy vpadiny [Salt deposits of the southeastern framing of the Caspian basin]. *Sovetskaya geologiya* [Soviet geology], 1984, no 4, pp. 28–36.
9. Kovalsky, F. I. Galogennaya formatsiya solyanykh kupolov Severnogo Prikaspiya [Halogen formation of salt domes of the Northern Caspian region]. *Osnovnye problemy solenakopleniya* [Main problems of salt accumulation]. Novosibirsk, Nauka Publ. House, 1981, pp. 131–134.
10. Komissarova, I. N. Osnovnye cherty drevnego i sovremenno solenakopleniya na territorii Prikaspiyskoy vpadiny [The main features of ancient and modern salt accumulation on the territory of the Caspian basin]. *Novye dannye po geologii solenosnykh basseynov Sovetskogo Soyuz* [New data on the geology of salt-bearing basins of the Soviet Union]. Moscow, Nauka Publ. House, 1986, pp. 171–180.
11. Myazina, N. G. Vnutriimezhsolevye rassoly kungurskikh otlozheniy Prikaspiyskoy sineklizy [Intra-salt brines of the Kungur deposits of the Caspian syncline]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, geography and global energy]. 2014, no 2 (53), pp. 57–65.
12. Serebryakov, A. O. Geologicheskaya i geokhimicheskaya tipizatsiya solerodnykh regionov mira [Geological and geochemical typification of salt-bearing regions of the world]. *Yestestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and technical sciences]. 2010, no 4 (49), pp. 171–174.