

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАССОЛОВ В ДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ АНАБАРО-ХАТАНГСКОГО БАСЕЙНА

*Анатолий Витальевич Черных*

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, аспирант геолого-геофизического факультета, e-mail: tolyachernykh@gmail.com

Современные пластовые воды девонского комплекса на территории Анабаро-Хатангского бассейна относятся к хлоридному натриевому типу с величиной общей минерализации от 220 до 287 г/дм<sup>3</sup>. В раннем и среднем девоне на территории исследования происходило интенсивное соленакопление в лагунных условиях и при потере связи с открытым океаном соленость сингенетических вод достигала 330 г/дм<sup>3</sup>. Схожие условия седиментации в настоящее время наблюдаются в сабхах Синайского полуострова и Красного моря.

**Ключевые слова:** рассолы, девон, галогенная формация, Анабаро-Хатангский бассейн, палеогидрогеохимические реконструкции.

## FORMATION FEATURES OF BRINES IN THE DEVONIAN DEPOSITS OF ANABARO-KHATANGA BASIN

*Anatoliy V. Chernykh*

Novosibirsk National Research State University, 630090, Russia, Novosibirsk, 2 Pirogova St., graduate student of geology and geophysics department, e-mail: tolyachernykh@gmail.com

Modern formation waters of the Devonian complex in Anabar-Khatanga Basin belong to the sodium chloride type with the value of total mineralization of 220 to 287 g dm<sup>3</sup>. In the early and middle Devonian, intense salt accumulation occurred in the lagoon in the study area, and with loss of communication with the open ocean, the salinity of syngenetic waters reached 330 g/dm<sup>3</sup>. Similar sedimentation conditions currently observed in Sabha Sinai Peninsula and the Red Sea.

**Key words:** brines, Devon, halogen formation, Anabar-Khatanga basin, paleohydrogeochemical reconstruction.

Рассолы являются доминирующим компонентом подземной гидросферы, составляя более 95–99 % ее массы. Поэтому выяснение закономерностей их формирования имеет глобальное значение и является одной из фундаментальных проблем современной гидрогеохимии, которая длительное время обсуждалась в трудах В. А. Сулина, М. Г. Валяшко, Н. И. Толстихина, М. Б. Букаты и А. С. Лейна, В. В. Руби, П. Сонненфельда.

Формирование седиментационных рассолов связано с процессами сгущения и концентрирования морской воды. М. Г. Валяшко (1962) выделяет восемь стадий испарительного сгущения морской воды: известняковая (M = 15–36 г/дм<sup>3</sup>); доломитовая (M = 72–85 г/дм<sup>3</sup>); гипсовая (M = 135–150 г/дм<sup>3</sup>); галитовая (M = 320 г/дм<sup>3</sup>); эпсомитовая (M = 400 г/дм<sup>3</sup>); сильвинитовая (M = 410 г/дм<sup>3</sup>); карналлитовая (M = 440 г/дм<sup>3</sup>); бишофитовая (M = 522 г/дм<sup>3</sup>) [1].

Основной солью, осаждающейся при испарении морской воды, является галит NaCl. Увеличение минерализации и плотности рассола происходит за

счет появления в нем все более растворимых соединений. Сульфатно-хлоридная натриевая морская вода на стадии осаждения гипса становится хлоридной магниевой-натриевой, эпсомита – сульфатно-хлоридной натриево-магниевой, карналлита – хлоридной магниевой. Такой состав сохраняется и на заключительной эвтонической стадии галогенеза, когда из раствора осаждается бишофит, а сам эвапоритовый бассейн прекращает свое существование [2].

В пределах Арктической части РФ Анабаро-Хатангский бассейн (АХБ), расположенный в северо-восточной части Красноярского края и северо-западной части республики Саха (Якутия), является примером широкого распространения высококонцентрированных рассолов выщелачивания. Рассмотрение особенностей состава подземных вод и их условий формирования поможет лучше понять процессы галогенеза, протекавшие в девонскую эпоху.

Гидрогеологические исследования на его территории ведутся с 1920-х годов. В период с 1942 по 1980 годы были проведены широкомасштабные исследования гидрогеологических условий, гидрогеохимии и криогенной толщи коллективами Института мерзлотоведения, Института геологии Арктики и Красноярского геологического управления и приведены в работах П. Д. Сиденко, М. К. Калинин, И. П. Зайцева, В. И. Гуревича, Г. Д. Гинсбурга и др.

На территории Анабаро-Хатангского бассейна, по данным бурения, установлено 11 гидрогеологических комплексов, возрастом от рифейского до кайнозойского. Крепкие рассолы хлоридного натриевого состава распространены в отложениях девонского, каменноугольного, пермского и триасового комплексов, с общей минерализацией до 320 г/дм<sup>3</sup>. Основной причиной образования рассолов на исследуемой территории являются процессы выщелачивания девонской галогенной формации Северо-Сибирского солеродного бассейна, которая прослеживается на территории мобильных краевых платформ (Нордвик-Хатангская, Норильская), хребта Сетте-Дабан.

Мощность девонских отложений на территории исследования достигает 1000 м. Комплекс изучен бурением на Кожевниковской, Нордвикской и Улаханской площадях. Нижний девон включает в себя сопочную свиту, в составе которой мощность соленосных горизонтов достигает 500 м, вышележащая сульфатная толща имеет переменные толщины от 0 до 140 м и от 250 до 300 м на Нордвикском и Кожевниковском куполах соответственно. Вверх по разрезу залегают известняки и доломиты с фауной франкского яруса. По результатам сейсмогеологических исследований ФГУГП «Южморгеология» был выявлен соляной шток в Харатумусской впадине, высотой более 10 км, уходящий своими корнями в кембрийские отложения [3]. Средний девон вскрыт на Нордвикской площади (скв. Нордвикская-42) и представлен глинистыми известняками, доломитами, мергелями. Верхний девон характеризуется широким распространением морских сероцветных карбонатов.

По химическому составу воды девонского комплекса относятся к хлоридному натриевому типу (по С. А. Щукареву) с величиной общей минерализации от 220 (скв. Кожевниковская 9-К) до 287 г/дм<sup>3</sup> (скв. Нордвикская 60-К). Значения суммы ионов натрия и калия варьируются от 84 до 120 г/дм<sup>3</sup>, кальция – 0,5–2,1 г/дм<sup>3</sup>, маг-

ния – 0,1–1,1 г/дм<sup>3</sup>. Концентрация ионов хлора изменяется в пределах 130–171 г/дм<sup>3</sup>, сульфат-иона – 0,15–1,93 г/дм<sup>3</sup> и гидрокарбонат-иона – 0,17–4,33 г/дм<sup>3</sup>.

Для понимания процессов формирования химического состава подземных вод необходимо рассмотреть историю формирования отложений девонского комплекса на изучаемой территории. При проведении палеогидрогеохимических реконструкций АХБ в качестве основы были использованы палеогеографические карты, построенные сотрудниками ИНГГ СО РАН, и методика, предложенная Я. В. Садыковой, которая основывается на естественно-историческом подходе и использовании современных гидрохимических эталонов при выборе величины минерализации и концентраций основных компонентов солевого состава сингенетических вод древних морских и озерно-аллювиальных бассейнов [4].

В позднесилурийское время исследуемый регион представлял собой возвышенную сушу, в пределах которой активно протекали процессы эрозии и денудации, преобладал инфильтрационный водообмен, повсеместно захоранивались пресные метеогенные воды гидрокарбонатного кальциевого состава. Суша была окаймлена с севера и запада мелководным шельфом, где в обстановках закрытого шельфа накапливались доломитовые и доломито-глинистые осадки и протекали процессы испарения морской воды. Подобные обстановки просуществовали до начала эмского века, который связан с началом обширной трансгрессии.

Среднедевонская эпоха характеризуется преимущественно морским осадконакоплением. Максимуму трансгрессии соответствует морская карбонатная толща юктинской свиты. Интенсивное соленакопление в Нордвикской части бассейна происходило в эмское-эйфельское время. В ее пределах захоранивались воды с минерализацией, достигающей до 330 г/дм<sup>3</sup>, хлоридного натриевого, хлоридного кальциевого и хлоридного магниевого состава (рис. 1). На юго-востоке территории преобладали обстановки низменной равнины. Здесь накапливались пресные и солоноватые инфильтрационные воды с минерализацией 0,5–2 г/дм<sup>3</sup> с преобладанием в составе ионов Ca<sup>2+</sup> и HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. На остальной территории АХБ существовал мелководный бассейн, где соленость вод достигала 30–35 г/дм<sup>3</sup> и в составе преобладали ионы Cl<sup>-</sup> и Na<sup>+</sup>. В позднем живете наблюдался регрессивный этап развития бассейна.

С франского века начался новый трансгрессивный этап, в течение которого морской бассейн расширился и море заняло большую часть Средне-Сибирской суши. В наиболее открытых частях бассейна накапливались карбонатные осадки и вместе с ними захоранивались солоноватые воды с минерализацией 5–15 г/дм<sup>3</sup> с преобладанием в составе ионов Cl<sup>-</sup> и Na<sup>+</sup>. В фамене регрессия охватила все бассейны севера Сибири, обстановки стали более мелководными, Нордвикский купол представлял собой карбонатную платформу, и в его пределах накапливались доломиты и известняки.

Солеродный девонский бассейн оказал большое влияние на дальнейшее формирование компонентного состава и величины минерализации подземных вод для более молодых отложений каменноугольного, пермского и особенно триасового возраста.

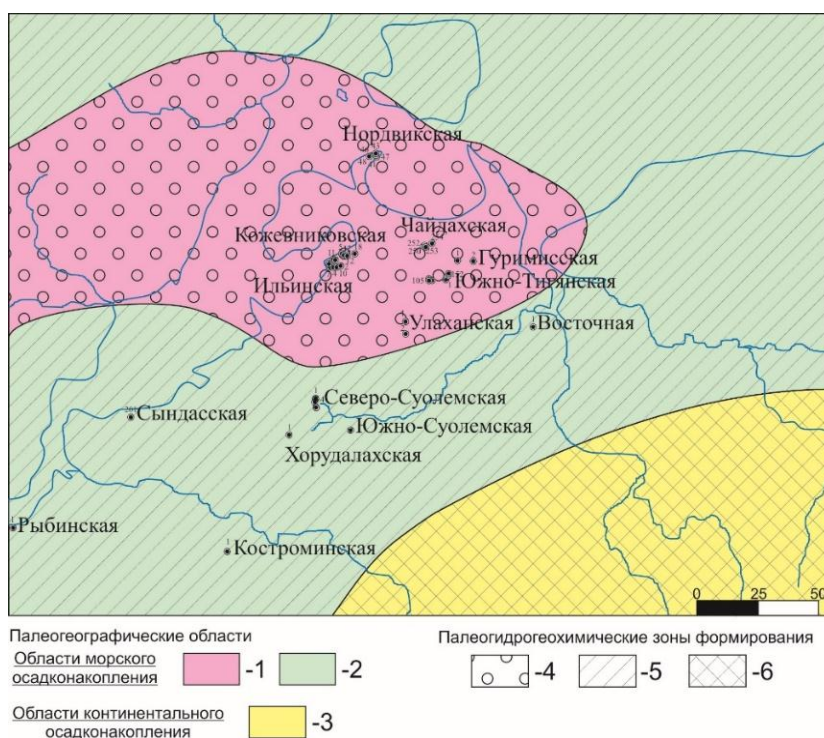


Рис. 1. Палеогидрогеохимическая карта на эмское-эйфельское время (ранний-средний девон) (палеогеографическая основа по данным ИНГГ СО РАН):

1 – замкнутый бассейн, лагуна, прибрежная себха, солончак или соленое озеро; 2 – море, мелкая часть шельфа и прибрежная зона; 3 – алювиально-озерная равнина (20–100 м); 4 – рассольные воды с минерализацией 50–330 г/дм<sup>3</sup>, при повышенном содержании Ca<sup>2+</sup> и Cl<sup>-</sup> при повышенном содержании Na<sup>+</sup>; 5 – соленые воды с минерализацией 35–50 г/дм<sup>3</sup> с преобладанием в составе ионов Cl<sup>-</sup> и Na<sup>+</sup>; 6 – пресные и солоноватые инфильтрационные воды с минерализацией 0,5–2 г/дм<sup>3</sup> с преобладанием в составе ионов Ca<sup>2+</sup> и HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Для понимания механизмов формирования современного химического состава подземных вод АХБ необходимо рассмотреть гидрогеохимические процессы, протекающие при соленакоплении в аридном и семиаридном климате.

Схожие условия седиментации в настоящее время наблюдается в сабхах Ближнего Востока. Анализ особенностей химического состава поверхностных вод сабх Абу-Даби, Джедда, Джизан, Бардавил выявил характер изменения содержания основных ионов в зависимости от величины их общей минерализации. Отмечается рост значений коэффициента  $r_{Na/rCl}$  с ростом минерализации вплоть до стадии садки галита (320 г/дм<sup>3</sup>). Затем его значения снижаются на стадиях садки сильвина, карналлита и бишофита в АХБ, сабхах Бардавил, Абу-Даби.

В сабхах бассейнов Джизан и Джедда коэффициент  $r_{Na/rCl}$  ниже значений стадий садки кальцита, доломита, гипса и галита. В целом значения коэффициента  $r_{Na/rCl}$  во всех типах вод колеблется от 0,70 до 0,95 до стадии садки гипса, затем увеличивается до стадии садки галита и при достижении минерализации 300–320 г/дм<sup>3</sup> уменьшается до 0,2 (рис. 2).

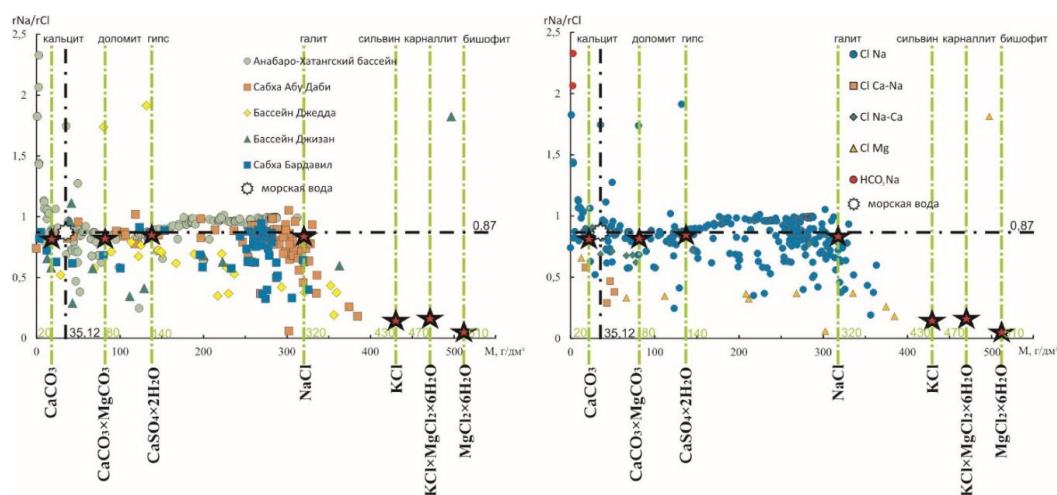


Рис. 2. Зависимость генетического коэффициента  $rNa/rCl$  от величины общей минерализации рассолов

Как видно из графика, за счет процессов выщелачивания в настоящее время в рассолах преобладают ионы хлора и натрия, как следствие, в сабхе Бардавил отлагается галит, а в сабхах Джизан, Абу-Даби и Джедда преобладают ионы магния и начинает отлагаться сильвин. Изменения в химическом составе вод и поведение основных генетических коэффициентов в целом схожи в АХБ и сабхах Джедда и Бардавил, где отлагаются гипсовые строматолиты и галитовые шевроны [5].

Таким образом, солеродный бассейн, существовавший в раннем девоне, оказал основное влияние на современный химизм подземных вод в районах распространения солянокупольных структур Анабаро-Хатангского бассейна. Изучение современной гидрогеохимии показало, что за счет генетического типа рассолов выщелачивания, их высокой минерализации и при условиях затрудненного водообмена в районе исследований формируется инверсионный тип вертикальной гидрогеохимической зональности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Валяшко М. Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. – М. : Изд-во МГУ, 1962. – 398 с.
2. Носарева С. П. Формирование и геохимические особенности рассолов южного Предуралья : дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Пермь, 2007. – 166 с.
3. Новые данные о строении Анабаро-Хатангской седловины (в пределах акватории Хатангского залива) / А. П. Пронкин, В. И. Савченко, Б. В. Шумский, Л. Б. Мейснер // Природные ресурсы Красноярского края. – 2011. – № 11. – С. 56–60.
4. Садыкова Я. В. Методика восстановления солевого состава вод мезозойских бассейнов с терригенной седиментацией // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами : материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием. – Владивосток, 2015. – С. 126–129.
5. Rushdi J. Taj, Mahmoud A. Aref. Hydrochemistry, evolution, and origin of brines in supratidal saline pans, south Jeddah, Red Sea coast, Saudi Arabia // Arab J Geosci. – 2015. – N 8. – P. 8835–8851.

© А. В. Черных, 2017