

Равновесие рассолов Анабаро-Хатангского бассейна с минералами вмещающих пород

Новиков Д.А.^{1,2}, Черных А.В.¹

¹ *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, NovikovDA@ipgg.sbras.ru*

² *Новосибирский национальный исследовательский государственный университет*

Аннотация. Представлены результаты расчетов равновесий в системе вода-порода на примере нефтегазоносных отложений Анабаро-Хатангского бассейна. Выявлено доминирование в разрезе подземных вод и рассолов Cl Na, Cl-HCO₃ Na и Cl Na-Ca типов с величиной общей минерализации варьирующей от 0.1 до 312.3 г/дм³. Установлено, что из всего химического разнообразия подземных вод и рассолов, только рассолы девонских и триасовых отложений равновесны или близки к равновесию с галитом. Подземные воды и рассолы рифейского, венд-кембрийского, девонского, каменноугольного, пермского, триасового, ниже-среднеюрского, верхнеюрского, неокомского и апт-альб-сеноманского водоносных комплексов близки к равновесию с сульфатами (гипсом и ангидритом), карбонатами (кальцитом, магнезитом и доломитом). Атмосферные и речные воды полуострова Юрюнг-Тумус резко недонасыщены практически ко всем минералам, а все изученные воды резко недонасыщены к бишофиту. Появление рассолов в пределах водоносного комплекса триасовых образований обязано процессу выщелачивания девонских солей в приконтактной зоне соляных штоков Нордвик, Усть-Тигян, Ледовка и др.

Ключевые слова: гидрогеология, геологическая эволюция, система вода-порода, гидрогеохимия, генезис, моделирование, Анабаро-Хатангский бассейн, Арктика.

Equilibrium of brines with host rock minerals of the Anabar-Khatanga basin

Novikov D.A.^{1,2}, Chernykh A.V.¹

¹ *Federal State Budgetary Scientific Institution Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB of RAS, NovikovDA@ipgg.sbras.ru*

² *Novosibirsk State University*

Abstract. The results of equilibria calculations in the water-rock system are presented on the example of oil and gas deposits of the Anabar-Khatanga basin. The dominance Cl Na, Cl-HCO₃ Na and Cl Na-Ca types of groundwater and brines with a total mineralization varying from 0.1 to 312.3 g/dm³ has been revealed. It has been established that of the total chemical diversity of groundwater and brines, only brines of the Devonian and Triassic sediments are in equilibrium or close to equilibrium with halite. Groundwater and brines of the Riphean, Vendian-Cambrian, Devonian, Carboniferous, Permian, Triassic, Lower-Middle Jurassic, Upper Jurassic, Neocomian and Apt-Albian Cenomanian aquifers are close to equilibrium with sulfates (gypsum and anhydrite), carbonates (calcite, magnesite, and dolomite). The atmospheric and river waters of the Urung-Tumus Peninsula are sharply undersaturated in almost all minerals, and all the studied waters are sharply undersaturated in bischofite. The appearance of brines within the aquifer complex of Triassic formations is due to the leaching process of Devonian salts in the contact zone of the salt rods of Nordvik, Ust-Tigyan, Ledovka and others.

Key words: hydrogeology, geological evolution, water-rock system, hydrogeochemistry, genesis, modeling, Anabar-Khatanga basin, Arctic.

Введение

Фундаментальная проблема по взаимодействию воды с горными породами широко обсуждается в мировом научном сообществе на протяжении многих десятилетий. Эволюция химического состава вод начинается с момента их попадания в осадочно-породный бассейн и протекает в тесной связи с вмещающими горными породами и рассеянным органическим веществом (Шварцев, 1991; Новиков, 2017).

Исследуемый регион расположен в арктических районах восточной части Красноярского края и западной части республики Саха (Якутия) (рис. 1). Гидрогеологические работы на его террито-

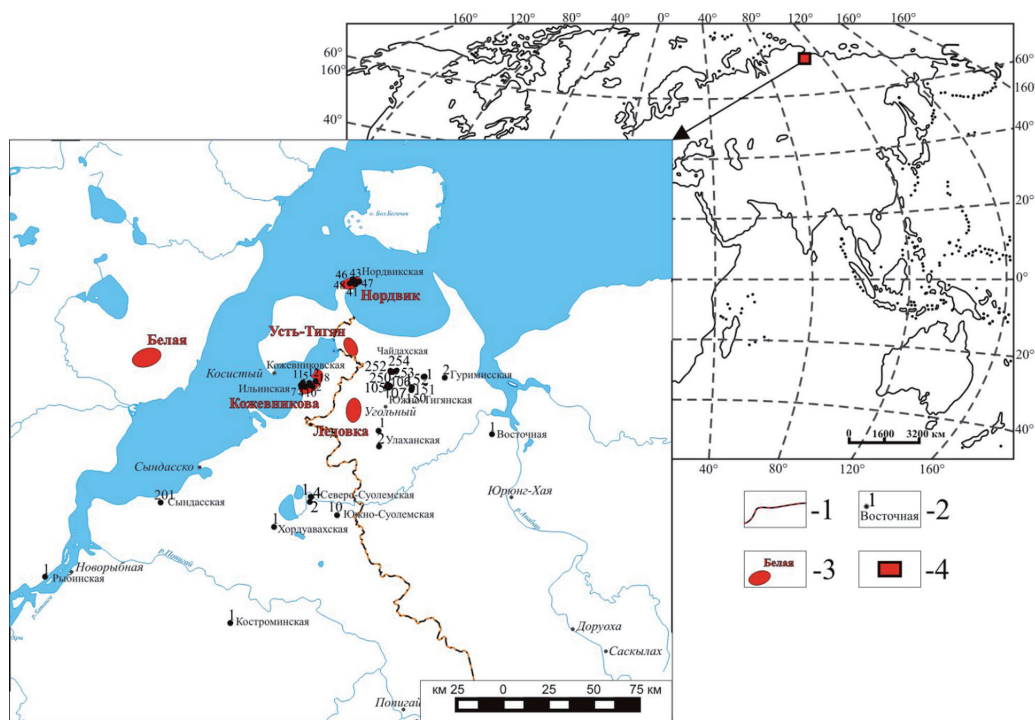


Рис. 1. Местоположение Анабаро-Хатангского бассейна.

1 – административные границы, 2 – скважины, 3 – местоположение основных солянокупольных структур, 4 – район исследования.

Fig. 1. Location of the Anabaro-Khatanga basin.

1 – administrative boundaries, 2 – boreholes, 3 – location of the main salt-dome structures, 4 – area of study.

рии были начаты в 20-х годах прошлого столетия, а в период с 1942 г. по 1980 г. выполнялись широкомасштабные исследования гидрогеологических и геокриологических условий, гидрогеохимии, результаты которых отражены в работах П.Д. Сиденко, М.К. Калинко, И.П. Зайцева, Е.А. Баскова, Г.Д. Гинсбурга и других (Калинко, Сиденко, 1955; Калинко 1959; Гинсбург, 1971; Гидрогеология..., 1970; Гидрогеология..., 1972; Анциферов, 1989). В гидрогеологическом разрезе Анабаро-Хатангского бассейна (АХБ) установлено 11 водоносных комплексов (снизу вверх): рифейский, венд-кембрийский, девонский, каменноугольный, пермский, триасовый, ниже-среднеюрский, верхнеюрский, неокомский, апт-альб-сеноманский, четвертичный аллювиальных и ледниковых отложений. В их пределах развиты подземные воды и рассолы с величиной общей минерализации варьирующей от 0.1 до 312.3 г/дм³ с доминирующими Cl Na, Cl-HCO₃ Na и Cl Na-Ca типами вод. Предварительно выделено три генетических типа подземных вод и рассолов: 1) рассолов выщелачивания каменной соли; 2) седиментогенных рассолов и 3) древних инфильтрационных вод. Генетический тип рассолов выщелачивания хлоридного натриевого состава с величиной общей минерализации до 312.3 г/дм³ развитый в ниже-среднеюрском, триасовом, пермском и каменноугольном водоносных комплексах сформировал инверсионный тип вертикальной гидрогеохимической зональности в пределах солянокупольных структур. В зонах их отсутствия установлена нормальная (прямая) вертикальная гидрогеохимическая зональность с закономерным ростом с глубиной залегания водовмещающих отложений степени гидрогеологической закрытости недр и метаморфизации рассолов с увеличением роли седиментогенных вод (Novikov, 2017; Novikov, 2018).

Результаты и обсуждение

Выявление особенностей протекания процессов формирования высокоминерализованных рассолов триасового комплекса и инверсионной зональности является одним из важнейших вопросов для изучаемого бассейна. Для решения этой задачи в работе использована разработанная М.Б. Букаты программа равновесного физико-химического численного моделирования процессов в

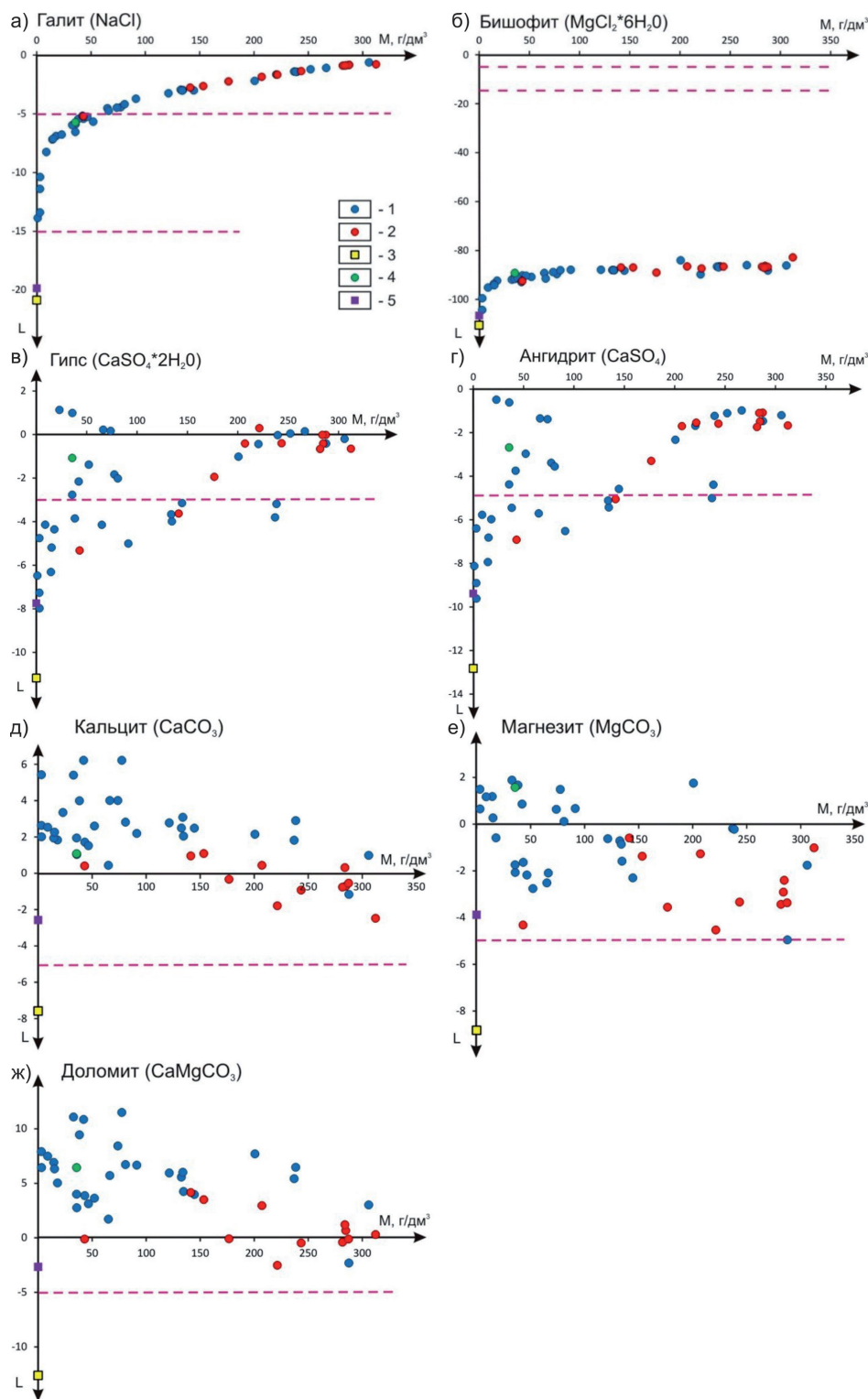


Рис. 2. Расчетная степень насыщения подземных вод и рассолов некоторыми хлоридными (а,б), сульфатными (в, г) и карбонатными (д, е, ж) минералами при стандартных условиях. Пунктирной линией показаны степени насыщения рассолов.

Подземные воды и рассолы: 1 – типовые пробы изученных водоносных комплексов, 2 – триасовых образований, 3 – атмосферные осадки, 4 – морская вода из Нордвикского залива, 5 – поверхностная вода из р. Анабар.

Fig. 2. Estimated saturation degree of groundwater and brines with some chloride (a, b), sulfate (c, d) and carbonate minerals (e, f, g) under standard conditions. The dotted line shows the degree of saturation brines.

Groundwater and brines: 1 – type samples of the studied aquifer complexes, 2 – Triassic formations, 3 – precipitation, 4 – sea water from the Nordvik Bay, 5 – surface water from the Anabar river.

системе вода-порода НГ-32 (Букаты, 1999 а). В качестве исходных данных для модели использованы: химический и минералогический состав солей п-ва Юрюнг-Тумус (по материалам Калинко, Сиденко, 1955), химический состав атмосферных, речных и морских вод в районе полуострова, а также 49 типовых проб подземных вод и рассолов основных водоносных комплексов.

Учитывая парагенетическую связь подземных рассолов водоносных комплексов с присутствующими в разрезе породами, в систему были включены 7 минералов, присутствующих в составе солей полуострова Юрюнг-Тумус: галит, бишофит, гипс, ангидрит, кальцит, доломит и магнезит. Для оценки степени насыщения раствора относительно каждого из минералов использовались соответствующие параметры насыщенности: $L = \ln K - \ln P$, где K – термодинамическая константа равновесия реакции осаждения минерала из раствора, а P – произведение активности участвующих в этой реакции веществ, вычисленное с учётом правила реагирования. В этом случае отрицательные значения L свидетельствуют о недонасыщении, положительные о пересыщении, а близкие к нулю – о равновесии раствора и соответствующего минерала. Степени насыщения рассолов по отношению к основным породообразующим минералам разбиты на три группы: 1) выше -5 (равновесные и близкие к равновесию), от -5 до -15 (умеренно недонасыщенные и недонасыщенные) и 3) ниже -15 (резко недонасыщенные) (Букаты, 1997; Букаты, 1999 б).

Для галита, бишофита, гипса и ангидрита характерен рост степени насыщения с увеличением величины общей минерализации изученных подземных вод и рассолов. Как показали результаты расчетов, рассолы девонских и триасовых образований равновесны или близки к равновесию с галитом, гипсом, ангидритом, кальцитом, магнезитом и доломитом (рис. 2). Атмосферные и речные воды полуострова Юрюнг-Тумус резко недонасыщены практически ко всем минералам. Все изученные воды резко недонасыщены к бишофиту. В целом, следует отметить, что первая группа минералов и солей, равновесных или весьма близких к состоянию равновесия с изученными подземными рассолами, включает главным образом породообразующие первичные эвапоритовые и биогенные минералы в составе соленосно-карбонатных фаций рассоловмещающих осадочных пород. С некоторыми из них равновесны практически любые подземные рассолы (например, с кальцитом, доломитом и гипсом).

В результате численного физико-химического моделирования установлены величина общей минерализации и химический состав предельно насыщенных рассолов равновесных к соленосной толще девона при ее растворении в процессе инфильтрации поверхностными водотоками. Их минерализация могла достигать 330 г/дм³, а состав был хлоридным натриевым. Последующее снижение общей минерализации до современного уровня в 150-300 г/дм³ происходило посредством разубоживания рассолов инфильтрационными водами. Таким образом, появление рассолов в пределах водоносного комплекса триасовых образований полуострова Юрюнг-Тумус обязано процессу выщелачивания девонских солей в приконтактовой зоне соляных штоков, что подтверждается выполненными палеогеогеологическими реконструкциями (Черных, Новиков, 2018) и результатами численного моделирования.

Исследования проводились при финансовой поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0025 «Геохимия, генезис и механизмы формирования состава подземных вод арктических районов осадочных бассейнов Сибири» и Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 18-05-70074 «Ресурсы Арктики».

Литература

1. Анциферов А.С. Гидрогеология древнейших толщ Сибирской платформы. М. Изд-во: Недра. 1989. 176 с.
2. Букаты М.Б. Прогнозирование нефтегазоносности рифей-нижнекембрийских отложений западной части сибирской платформы на основе изучения водно-газовых равновесий // Геология нефти и газа. 1997. № 7. С. 18–24.
3. Букаты М.Б. Рекламно-техническое описание программного комплекса HydrGeo. М. ВНИИЦ. 1999. 5 с. Номер гос. регистрации алгоритмов и программ во Всероссийском научно-техническом информационном центре (ВНИИЦ) № 50980000051 ПК. (а)

4. Букаты М.Б. Геология и геохимия подземных рассолов западной части Сибирской платформы. Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Томск. Изд.: Томский политехнический университет. 1999. 289с. (б).
5. Гидрогеология СССР. Т. XVIII. Красноярский край, Тувинская АССР (под ред. И.К. Зайцева). М. Изд-во: Недра. 1972. 479 с.
6. Гидрогеология СССР. Т. XX. Якутская ССР (под ред. А.И. Ефимова, И.К. Зайцева). М. Изд-во: Недра. 1970. 384 с.
7. Гинсбург Г.Д., Иванова Г.А. Геология и нефтегазоносность Енисей-Хатангского прогиба. Ленинград, 1971. 152 с.
8. Калинин М.К. История геологического развития и перспективы нефтегазоносности Хатангской впадины. Л. Государственное науч.-исслед. изд-во нефтяной и горно-топливной литературы. 1959. 360 с.
9. Калинин М.К., Сиденко П.Д. Геологическое строение и нефтеносность Анабаро-Хатангского междуречья. Книга 1. Л.: НИИ геологии Арктики. 1955. 200 с.
10. Новиков Д.А. Взаимодействие в системе «вода-порода» в зоне катагенеза арктических районов Западно-Сибирского мегабассейна // Нефтегазовое дело. 2017. Т. 15. № 1. С. 40–52.
11. Черных А.В., Новиков Д.А. Палеогидрогеология Анабаро-Хатангского бассейна // Известия Вузов. Нефть и газ. 2018. № 4. С. 27–33.
12. Шварцев С.Л. Взаимодействие воды с алюмосиликатными горными породами. Обзор // Геология и геофизика. 1991. № 12. С. 16–50.
13. Novikov D.A. Genetic classification of subsurface waters and brines of Arctic regions of Siberia IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. 193(1). 012049.
14. Novikov D.A. Hydrogeochemistry of the Arctic areas of Siberian petroleum basins // Petroleum Exploration and Development. 2017. V. 44. N. 5. P. 780–788.