

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГИДРОГЕОХИМИИ АРКТИКИ*

Дмитрий Анатольевич Новиков

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, тел. (383)363-80-36, e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Детальный анализ гидрогеохимических материалов по осадочным бассейнам Арктики выявил четкую смену геохимических и генетических типов подземных вод и рассолов. На самой начальной стадии метаморфизации находятся воды пестрого химического состава зоны активного газоводообмена. Затем следуют подземные воды осадочных бассейнов с отсутствием в разрезе солей, которые, в свою очередь, сменяются рассолами осадочных бассейнов с галогенными формациями. Заключительным звеном в этой цепи с максимальной степенью метаморфизации состава являются рассолы кристаллических щитов архей-протерозойского возраста. Инфильтрационные рассолы выщелачивания в пределах солянокупольных структур в генетическом плане представляют единую группу в пределах бассейна Свердруп, Анабаро-Хатангского и других.

Ключевые слова: гидрогеохимия, вертикальная гидрогеохимическая зональность, подземные воды и рассолы, Арктика, осадочный бассейн.

KEY FEATURES OF THE ARCTIC HYDROGEOCHEMISTRY

Dmitry A. Novikov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Ph. D., Head of the Laboratory of Hydrogeology of sedimentary basins of Siberia, tel. (383)363-80-36, e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Detailed analysis of hydrogeochemical data on Arctic sedimentary basins has revealed a clear change in geochemical and genetic groundwater and brine types. Waters of diverse chemical composition of the supergene zone are at the beginning of evolution followed by the sedimentary basin groundwaters with salt-free section, which, in turn, are replaced by brines of sedimentary basins with salt structures. Archean-Proterozoic brines of the crystalline shields are the most evolved. Leached infiltration brines within the salt plugs are genetically similar in the Sverdrup, Anabar-Khatanga and other basins.

Key words: hydrogeochemistry, vertical hydrogeochemical zoning, groundwaters and brines, Arctic, sedimentary basin.

Осадочные бассейны Арктики представляют огромный интерес как регион с огромными потенциальными ресурсами углеводородов. В настоящее время промышленные скопления нефти и газа выявлены во многих из них: Атабаска, Бофорт-Маккензи, Западно-Сибирский, Свердруп и другие. Их уникальность заключается в том, что этаж промышленной нефтегазоносности по изученным бассейнам охватывает отложения от древних (докембрийских) до современных (четвертичных). С проведением геологоразведочных работ в Арктике связано

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-05-00868 А).

накопление огромного фактического материала, отражающего сведения об условиях залегания, химическом и газовом составе подземных вод, структуре гидродинамического поля и геотермическом режиме недр. При этом изученные бассейны характеризуются высокой степенью неоднородности гидрогеологической изученности. Следует отметить, что в рамках настоящей работы впервые сделана попытка обобщения всех гидрогеохимических материалов по осадочным бассейнам Арктики.

Гидрогеологическим исследованиям осадочных бассейнов Сибири посвящены многочисленные работы А.С. Анциферова, М.Б. Букаты, В.И. Вожова, Г.Д. Гинсбурга, Ю.Г. Зимина, Г.А. Ивановой, М.К. Калинин, А.А. Карцева, А.Э. Конторовича, Н.М. Кругликова, А.Р. Курчикова, В.М. Матусевича, Д.А. Новикова, Б.П. Ставицкого, О.Н. Яковлева и других. Особенности гидрогеологического строения Северо-Аляскинского, Бофорт-Маккензи, Свердрупского, Западно-Гренландского, Восточно-Канадского и других бассейнов рассмотрены в работах Н. Baadsgaard, S. Bachu, Z. Chen, C.A. Connolly, K. Dewing, M. Gascoyne, S.E. Grasby, J.S. Hanor, B. Hitchon, Y. Lee, F.J. Longstaffe, J.A. Nunn, C.M. Sauveplane, R.L. Stotler, J.R. Underschultz, L.M. Walter и других.

При сравнительном анализе подземных вод и рассолов осадочных бассейнов Арктики выделяется несколько гидрогеохимических групп (рис. 1). Первая представлена солоноватыми и солеными водами пестрого состава с величиной общей минерализации до 15 г/дм^3 . Эти воды повсеместно распространены в водоносных горизонтах зоны активного газоводообмена (гипергенеза) или выявлены в приконтурных зонах углеводородных залежей (конденсатогенные воды). Помимо пестрого химического состава и невысокой минерализации конденсатогенные воды также характеризуются высокой газонасыщенностью – до 2 л/л и более. Вторая, наиболее многочисленная группа, представлена подземными водами и рассолами хлоридного натриевого, хлоридно-гидрокарбонатного натриевого состава с величиной общей минерализации от 15 до 350 г/дм^3 . Соленые подземные воды с величиной общей минерализации до 70 г/дм^3 , как показывает детальный анализ результатов гидрогеохимического опробования и палеогидрогеологических реконструкций, не связаны с галогенными формациями и относятся по генезису к седиментогенным водам, в различной мере смешанным с литогенными (элизионными), высвобождающимися из уплотняющихся глинистых осадков, сопровождая процесс их термодегидратации при минералогической перестройке. Группа проб с величиной общей минерализации $250\text{--}350 \text{ г/дм}^3$ характеризует генетический тип рассолов выщелачивания каменной соли. Такими же геохимическими параметрами характеризуются рассолы районов со схожими геологическими условиями проявления соляного тектогенеза в осадочных бассейнах Аликанте (Испания), Заргос (Иран), Северного моря, Свердруп (арктические районы Канады), Северной Германии и многих других. Третья группа точек представлена хлоридными кальциевыми рассолами с величиной общей минерализации более 200 г/дм^3 . Такие рассолы выявлены в водоносных горизонтах древней Сибирской платформы, Лено-Анабарского и Лаптевского бассейнов и кристаллических щитов: Анабарского и Канадского (см. рис. 1).

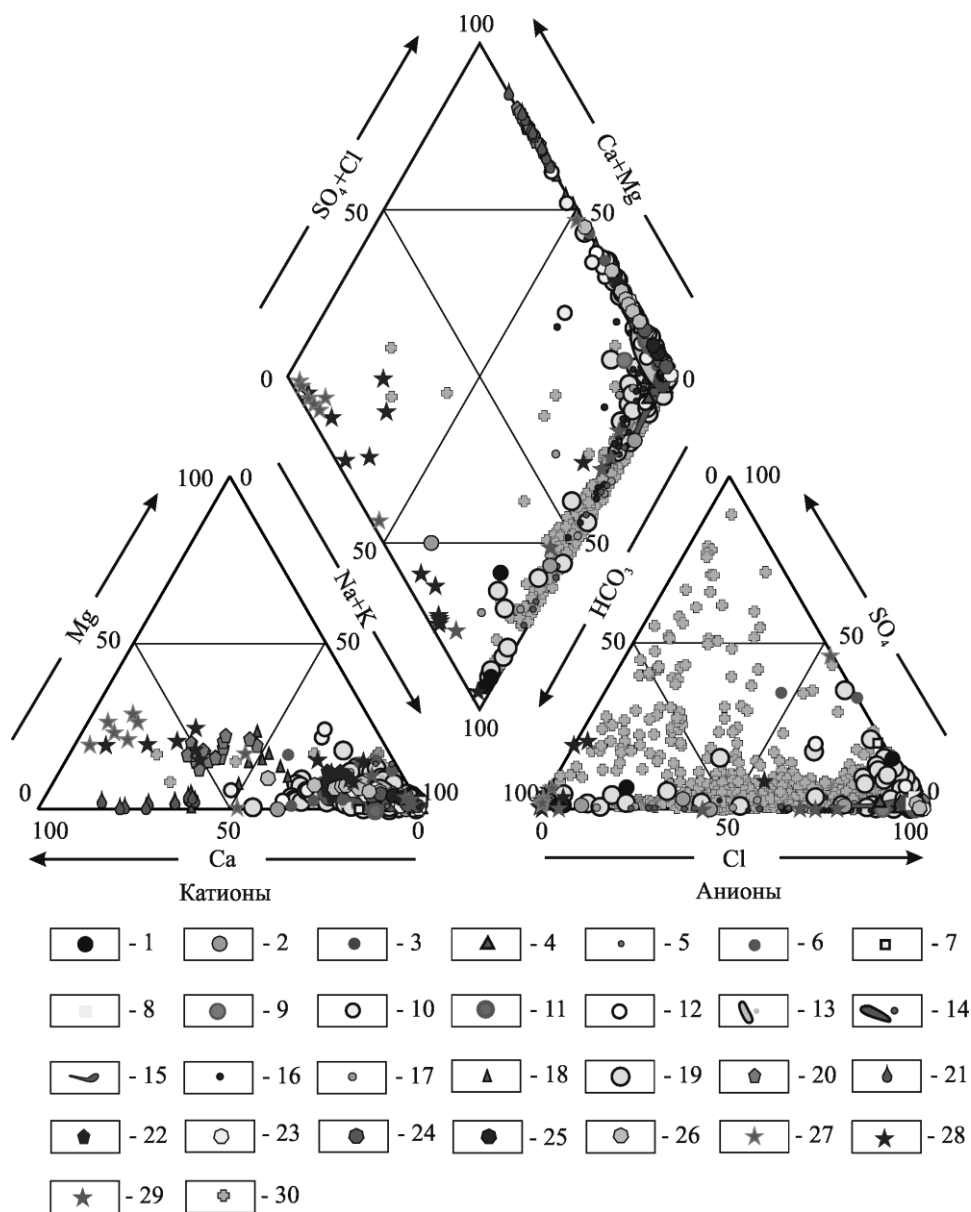


Рис. 1. Диаграмма Пайпера по составу подземных вод осадочных бассейнов Арктики:

Анабаро-Хатангский бассейн (гидрогеологические комплексы): 1 – апт-альб-сеноманский, 2 – неокомский, 3 – верхнеюрский, 4 – ниже-среднеюрский, 5 – триасовых образований, 6 – пермский, 7 – каменноугольных отложений, 8 – девонский, 9 – ордовикский, 10 – венд-кембрийский, 11 – рифейский, 12 – кристаллических пород нижнего протерозоя и архея; Арктические районы Западно-Сибирского бассейна (гидрогеологические комплексы): 13 – апт-альб-сеноманский, 14 – неокомский, 15 – верхнеюрский, 16 – ниже-среднеюрский, 17 – палеозойский; 18 – кембрийские рассолы Сибирской платформы; 19 – рассолы триасового комплекса бассейна Свердруп; 20 – рассолы кембрийских отложений Анабарского щита (южный склон); 21 – рассолы архей-протерозойских отложений Канадского щита; 22 – рассолы верхнедевонско-нижнекаменноугольных отложений Тимано-Печерского бассейна; бассейн Альберта (гидрогеологические комплексы): 23 – меловой, 24 – юрский, 25 – каменноугольных отложений, 26 – девонский; бассейн Атабаска: (гидрогеологические комплексы): 27 – четвертичных отложений, 28 – верхнемеловой горизонт с нефтенасыщенными песками, 29 – верхнемеловой базальный горизонт; 30 – подземные воды и рассолы кайнозойских гидрогеологических комплексов бассейна Бофорт-Маккензи

Установлено, что с ростом степени метаморфизации рассолов значительно меняется их состав. Так, в изучаемом регионе наиболее метаморфизованные рассолы с повышенным содержанием кальция (отношение Ca/Cl составляет более 0,33) выявлены в водоносных горизонтах кембрия, венда и рифея Сибирской платформы (рис. 2). Подземные воды и рассолы Западной Сибири и других осадочных бассейнов с отсутствием галогенных формаций находятся на самой начальной стадии метаморфизации состава, у которых отношение Ca/Cl обычно не превышает 0,20, а более высокие значения в их пределах соотносятся с водами активного газовообмена. Инфильтрогенные рассолы выщелачивания в пределах солянокупольных структур Анабаро-Хатангского бассейна в генетическом плане схожи с современными рассолами выщелачивания солянокупольных структур Ирано-Пакистанского бассейна (Конарсия, Гавбаст) и других.

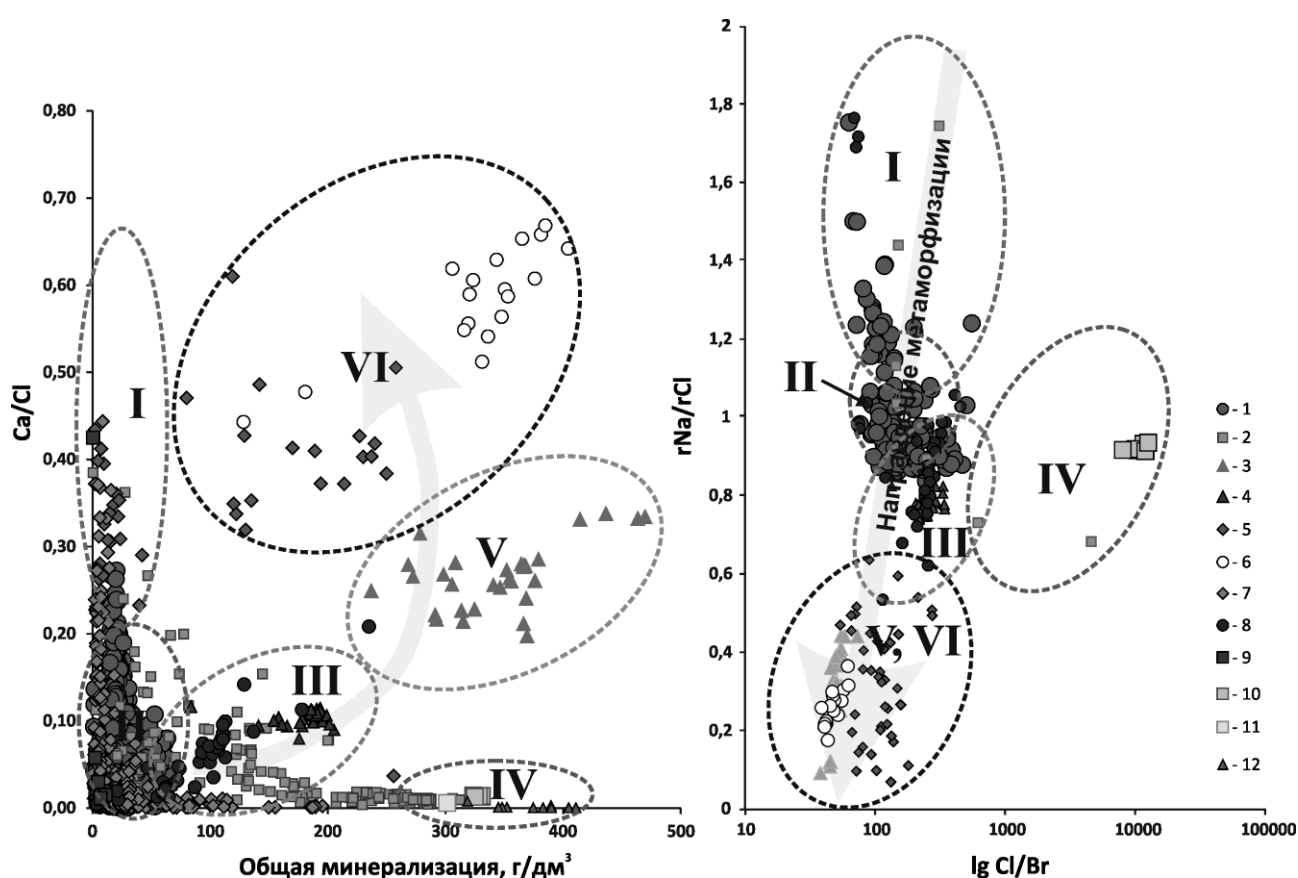


Рис. 2. Зависимость коэффициента метаморфизации Ca/Cl от величины общей минерализации подземных вод (а) и генетического коэффициента $r\text{Na}/r\text{Cl}$ от Cl/Br в подземных водах осадочных бассейнов Арктики:

Западно-Сибирского (1), Анабаро-Хатангского (2), Восточно-Сибирского (3), Тимано-Печерского (4), Канадского щита (5), Анабарского щита (6), Бофорт-Маккензи (7), Альберта (8), Атабаска (9) и соляных диапиров: Конарсия (10), Пиносо Аликанте (11) и Горлебен (12).

Генетические группы подземных вод и рассолов: I – зоны активного газовообмена, II – осадочных бассейнов с отсутствием соленосных отложений, III – осадочных бассейнов с галогенными формациями, IV – районов распространения солянокупольных структур, V – древних осадочных бассейнов с галогенными формациями, VI – кристаллических щитов

Среди всех изученных подземных вод и рассолов Арктики, как показал детальный анализ гидрогеохимических материалов, наиболее метаморфизованными являются рассолы, распространенные в пределах Анабарского и Канадского кристаллических щитов. Они характеризуются хлоридным кальциевым составом и величиной общей минерализации более 200 г/дм³. Анализ распределения основных генетических коэффициентов подтверждает это. Величина rNa/rCl составляет 0,1–0,6, Cl/Br колеблется в интервале 50–150, а отношение Ca/Cl превышает 0,3 (см. рис. 2). Таким образом, выстраивается четкая схема геохимических типов и генетических групп подземных вод и рассолов осадочных бассейнов Арктики. На самой начальной стадии метаморфизации находятся воды пестрого химического состава зоны активного газоводообмена. Затем идут подземные воды осадочных бассейнов с отсутствием соленосных отложений, которые, в свою очередь, сменяются рассолами осадочных бассейнов с галогенными формациями. Заключительным звеном в этой цепи с максимальной степенью метаморфизации выступают рассолы кристаллических щитов архей-протерозойского возраста.

Детальный анализ гидрогеологических материалов позволяет сделать следующие выводы: 1) Эволюция структуры гидродинамического поля проходила в тесной связи с гидрогеологической цикличностью развития осадочных бассейнов. В настоящее время в исследуемом регионе имеется два типа природных водонапорных систем: элизионная, характерная для внутренних областей бассейнов, и инфильтрационная – для внешних прибортовых; 2) В осадочных бассейнах доминируют подземные воды и рассолы с величиной общей минерализации от 0,2 до 350 г/дм³ хлоридного-гидрокарбонатного натриевого, хлоридного натриевого и хлоридного кальциевого типов; 3) Гидрогеохимические материалы указывают на то, что подземные воды мезозойских отложений Западно-Сибирского, Енисей-Хатангского, Анабаро-Хатангского бассейнов, а также Бофорт-Маккензи и Атабаска, находятся на начальной стадии метаморфизации химического состава. Наиболее измененными за счет процессов взаимодействия с вмещающими горными породами и рассеянным органическим веществом являются рассолы Анабарского и Канадского кристаллических щитов; 4) Современный химизм подземных вод и рассолов является продуктом длительной геологической эволюции, на которую оказали влияние множество геологических и гидрогеологических факторов, в первую очередь постседиментационные процессы, происходящие в системе вода–порода–газы–ОВ, и формирования, и разрушения залежей УВ. Главным же фактором, определяющим современную гидрогеохимию осадочных бассейнов Арктики, является время их взаимодействия с вмещающими горными породами, начиная с момента их попадания в осадочных бассейнах.

© Д. А. Новиков, 2015