

## Палеогидрогеохимия нижней юры арктических районов Западной Сибири

Черных А.В.<sup>1</sup>, Новиков Д.А.<sup>1,2</sup>, Дульцев Ф.Ф.<sup>1</sup>, Борисов Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, ChernykhAV@ipgg.sbras.ru*

<sup>2</sup> *Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск*

**Аннотация.** Палеогидрогеологическая история арктических районов Западной Сибири включает в себя 4 гидрогеологических цикла: индско-синемюрский, плинсбахско-сеноманский, туронско-серраваллийский, тортонско-голоценовый. В работе рассмотрена палеогидрогеохимия конца индско-синемюрского и начала плинсбахско-сеноманского цикла. В целом, в геттанге и синемюрене всей территории доминировали континентальный режим осадконакопления, денудационные процессы и процессы инфильтрации пресных атмосферных вод гидрокарбонатного кальциевого состава. В плинсбахе началась трансгрессия моря, минерализация сингенетических вод в наиболее погруженных частях бассейна достигала до 20–25 г/дм<sup>3</sup>. Во время крупнейшей трансгрессии в тоарском веке, глубины моря достигали 100 метров в центральных частях бассейна, а минерализация сингенетических хлоридных натриевых вод могла достигать 30 г/дм<sup>3</sup>.

**Ключевые слова:** гидрогеологический цикл, палеогидрогеохимия, инфильтрация, элизия, Западная Сибирь, Арктика.

## Paleohydrogeochemistry of the Lower Jurassic deposits in the Arctic regions of West Siberia

Chernykh A.V.<sup>1</sup>, Novikov D.A.<sup>1,2</sup>, Dultsev F.F.<sup>1</sup>, Borisov E.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB of RAS. ChernykhAV@ipgg.sbras.ru*

<sup>2</sup> *Novosibirsk State University*

**Abstract.** The paleohydrogeological history of the Arctic regions of West Siberia includes 4 hydrogeological cycles: the Induan-Sinemurian, Pliensbachian-Cenomanian, Turonian-Serravallian, and Tortonian-Holocene. Paper considers paleohydrogeochemistry of the end of the Induan-Sinemurian and the beginning of the Pliensbachian-Cenomanian cycle. During the hettangian and the sinemurainages the continental sedimentation regime, denudation processes, and the processes of infiltration of fresh atmospheric water (with a carbonate calcium composition) dominated throughout the territory. The transgression starts in the Pliensbachian, the salinity of syngenetic waters in the deepest parts of the basin reached 20–25 g/l. During the largest transgression in the Toarian age, the depths of the sea reached 100 m in the central parts of the sea basin, and the salinity of syngenetic chloride sodium waters could reach 30 g/dm<sup>3</sup>.

**Key words:** Hydrogeological cycle, paleohydrogeochemistry, infiltration, elision, West Siberia, Arctic region.

Современные палеогидрогеологические исследования требуют комплексного рассмотрения данных по большинству геологических областей: гидрогеологии, литологии, стратиграфии, тектонике и т.д. Результаты этих исследований помогают в решении многих вопросов современной гидрогеохимии нефтегазоносных отложений, включая формирование состава подземных вод, их генезис, типы вертикальной гидрогеохимической зональности, процессы нефтегазообразования и нефтегазонакопления и другие (Li et al., 2001; Шварцев и др., 2004; Rosenthal et al., 2006; Drake et al., 2009; Hendry et al., 2013; Khan et al., 2011; Novikov, 2017; Novikov et al., 2018; Yousif et al., 2018; Novikov et al., 2019; Новиков, 2019; Новиков и др., 2019 а; Новиков и др., 2019 б).

В основу работы по проведению палеогидрогеохимических реконструкций была заложена методика восстановления солевого состава вод древних бассейнов (Басков, 1983; Садыкова и др., 2017; Садыкова и др., 2018; Sadykova, 2018). В условиях континентального осадконакопления в денудационных и денудационно-аккумулятивных областях (низкие горы, денудационные плато) доминируют процессы инфильтрации гидрокарбонатных кальциевых вод с величиной общей минерализации до 0.5 г/дм<sup>3</sup>. В обстановках возвышенных равнин формируются пресные и солоноватые воды. Они характеризуются гидрокарбонатным кальциевым составом с величиной общей ми-

нерализации, изменяющейся в пределах от 0.5 до 1.5 г/дм<sup>3</sup>, содержания хлорид-иона и натрия до 25 %-экв. Воды гидрокарбонатного кальциевого состава с содержанием хлорид-иона и натрия до 25 %-экв. с величиной общей минерализации 1.5-2.0 г/дм<sup>3</sup> установлены в пределах денудационно-аккумулятивных равнин. В условиях низменных аккумулятивных равнин захораниваются солоноватые воды (минерализация 2-5 г/дм<sup>3</sup>) хлоридного натриевого состава с содержанием гидрокарбонат-иона и кальция до 25 %-экв. При обстановках переходного осадконакопления (прибрежное мелководье и прибрежно-морская равнина) формируются воды хлоридного натриевого состава с содержанием катионов кальция и магния до 25 %-экв. и с величиной общей минерализации 5-15 г/дм<sup>3</sup>. В мелководно-морских условиях, где глубины моря не превышают 25 м, установлены соленые морские воды хлоридного натриевого состава с содержанием катионов магния до 25 %-экв. и минерализацией 15.0-20.0 г/дм<sup>3</sup>. В обстановках, где глубины моря варьируют от 25 до 200 м, величина общей минерализации хлоридных натриевых вод с содержанием катионов магния до 25 %-экв. вод достигает 20.0-35.0 г/дм<sup>3</sup>. В глубоководных обстановках минерализация соленых хлоридных натриевых вод с содержанием катионов магния до 25 %-экв. вод могла достигать 40.0 г/дм<sup>3</sup>. Также, в основу исследования легли палеогеографические карты юрского периода (Конторович и др., 2013). База данных по арктическим районам Западной Сибири включает в себя результаты испытания более 4000 объектов 251 поисковой площади и данные полного химического анализа 7213 проб подземных вод.

По результатам проведенных реконструкций в истории арктических районов Западной Сибири можно выделить индско-синемюрский, плинсбахско-сеноманский, туронско-сerrраваллийский, тортонско-голоценовый гидрогеологические циклы. В данном исследовании рассматривается конец индско-синемюрского и начало плинсбахско-сеноманского цикла, т.к. объектом исследования были выбраны нижнеюрские отложения.

В геттанге и синемюре аллювиальные и аккумулятивные равнины являлись преобладающими обстановками осадконакопления, а Таймырские горы и Новая Земля послужили источниками сноса в северной части исследуемого региона. Доминировали денудационные процессы и процессы инфильтрации атмосферных осадков. Захоранивались воды преимущественно гидрокарбонатного кальциевого состава с соленостью, не превышающей 0.5-1.5 г/дм<sup>3</sup>.

Начавшаяся в плинсбахе трансгрессия привела к образованию в пределах Ямальского и Гыданского полуостровов мелководного морского бассейна, в пределах которого минерализация вод варьировала в пределах 2-15 г/дм<sup>3</sup> (рис. 1). На эти колебания указывают немногочисленные находки брахиоподов и аммонитов и высокие концентрации пеллеципод, а также поглощенный комплекс глин (Граммберг, 1973; Шурыгин и др., 2000). Сингенетичные воды имели хлоридный натриевый состав с содержанием гидрокарбонат-иона и кальция до 25%-экв. и минерализацией от 2 до 5 г/дм<sup>3</sup>. В южной части региона исследования установлен переход прибрежно-морских обстановок в континентальные, где доминировали процессы инфильтрации атмосферных осадков. Внешними областями питания и источниками сноса в этот период являлись Новоземельская, Средне-Сибирская, Таймырская и Уральская возвышенности, в их пределах формировались гидрокарбонатные кальциевые воды с минерализацией до 0.5 г/дм<sup>3</sup>

В результате происходившей в тоарское время крупнейшей трансгрессии в регионе исследования значительно увеличилась область морского осадконакопления и глубины морского бассейна (до 100 м в Антипаютинско-Тадебияхинской, Большехетской, Карской мегасинеклизах и Агапско-Енисейском желобе) (рис. 2). Установление нормально-морского режима седиментации подтверждают находки двустворок, ростров белемнитов и фораминифер (Конторович и др., 2013). Отложения Илыкитербютской свиты, одной из нефтематеринских толщ в регионе, накапливались в глубоководных частях бассейна, где величина минерализации сингенетичных хлоридных натриевых вод достигала 35-38 г/дм<sup>3</sup>. Восточные и западные границы морского бассейна в тоарское время имели схожие очертания с плинсбахом.

Площадь морского осадконакопления сократилась на северо-западе территории исследования в тоарско-раннеааленское время из-за расширения зоны мелководья, с глубинами бассейна до 25 м. В наиболее глубоких участках продолжалось накопление глин, а в бортовых частях установ-

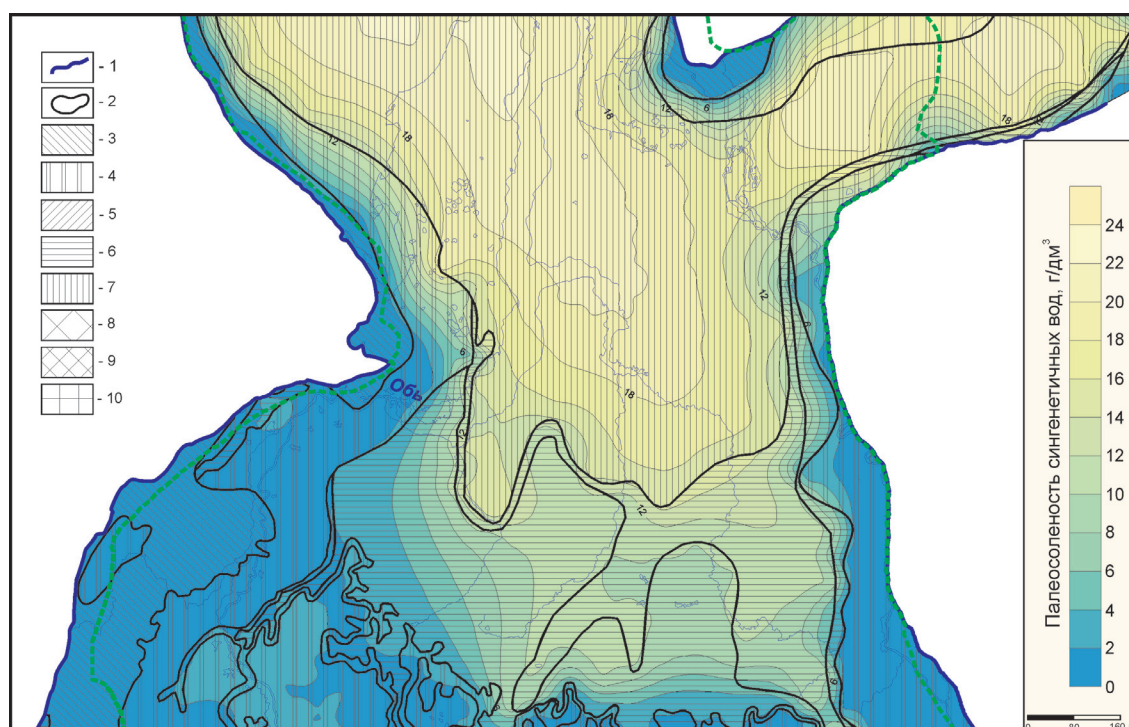


Рис. 1. Палеогидрогеохимическая карта на плинсбахский век.

1 – граница юрского осадочного бассейна; 2 – граница палеогидрогеохимических зон; 3 – низкие горы, воды гидрокарбонатного кальциевого состава ( $M$  до  $0.5 \text{ г/дм}^3$ ); 4 – возвышенная равнина, воды гидрокарбонатного кальциевого состава ( $M$  от  $0.5$  до  $1.5 \text{ г/дм}^3$ ), содержание ионов хлора и катионов натрия до 25 %-экв.; 5 – денудационно-аккумулятивная равнина, воды гидрокарбонатного кальциевого состава ( $M$  от  $1.5$  до  $2.0 \text{ г/дм}^3$ ), содержание ионов хлора и катионов натрия до 25 %-экв.; 6 – низменная аккумулятивная равнина, воды хлоридного натриевого состава ( $M$  от  $2.0$  до  $5.0 \text{ г/дм}^3$ ), содержание гидрокарбонат-иона и катионов кальция до 25 %-экв.; 7 – прибрежная равнина, воды хлоридного натриевого состава ( $M$  от  $5.0$  до  $15.0 \text{ г/дм}^3$ ), содержание катионов кальция и магния до 25 %-экв.; 8 – прибрежная зона до 25 м глубиной, воды хлоридного натриевого состава ( $M$  от  $15.0$  до  $20.0 \text{ г/дм}^3$ ), содержание катионов магния до 25 %-экв.; 9 – море с глубинами от 25 до 200 м, воды хлоридного натриевого состава ( $M$  от  $20.0$  до  $35.0 \text{ г/дм}^3$ ), содержание катионов магния до 25 %-экв.; 10 – море с глубинами от 200 до 400 м, воды хлоридного натриевого состава ( $M$  до  $40.0 \text{ г/дм}^3$ ), содержание катионов магния до 25 %-экв.

Fig. 1. Paleohydrogeochemical map for the Pliensbachian age.

1 – boundary of the Jurassic sedimentary basin; 2 – boundary of paleohydrogeochemical zones; 3 – low mountains, water of a hydrocarbonate calcium composition ( $M$  up to  $0.5 \text{ g/dm}^3$ ); 4 – elevated plain, water of a hydrocarbonate calcium composition ( $M$  from  $0.5$  to  $1.5 \text{ g/dm}^3$ ), the content of chlorine ions and sodium cations up to 25% -eq.; 5 – denudation-accumulative plain, calcium hydrogen carbonate water ( $M$  from  $1.5$  to  $2.0 \text{ g/dm}^3$ ), the content of chlorine ions and sodium cations up to 25% -eq.; 6 – low-lying accumulative plain, water of sodium chloride composition ( $M$  from  $2.0$  to  $5.0 \text{ g/dm}^3$ ), the content of bicarbonate ion and calcium cations up to 25% -eq.; 7 – coastal plain, water of sodium chloride composition ( $M$  from  $5.0$  to  $15.0 \text{ g/dm}^3$ ), the content of calcium and magnesium cations up to 25% -eq.; 8 – coastal zone with depths up to 25 m, water of sodium chloride composition ( $M$  from  $15.0$  to  $20.0 \text{ g/dm}^3$ ), the content of magnesium cations is up to 25% -eq.; 9 – sea with depths from 25 to 200 m, water of sodium chloride composition ( $M$  from  $20.0$  to  $35.0 \text{ g/dm}^3$ ), the content of magnesium cations is up to 25% -eq.; 10 – sea with depths from 200 to 400 m, water of sodium chloride composition ( $M$  up to  $40.0 \text{ g/dm}^3$ ), the content of magnesium cations up to 25% -eq.

лено увеличение грубообломочных фракций и появление песчаных пластов. Границы денудационных и прибрежных равнин в это время сохраняли свои очертания.

По результатам комплексного анализа современной геохимии подземных вод нефтегазоносных отложений и детальных палеогидрогеохимических реконструкций можно сделать вывод, что

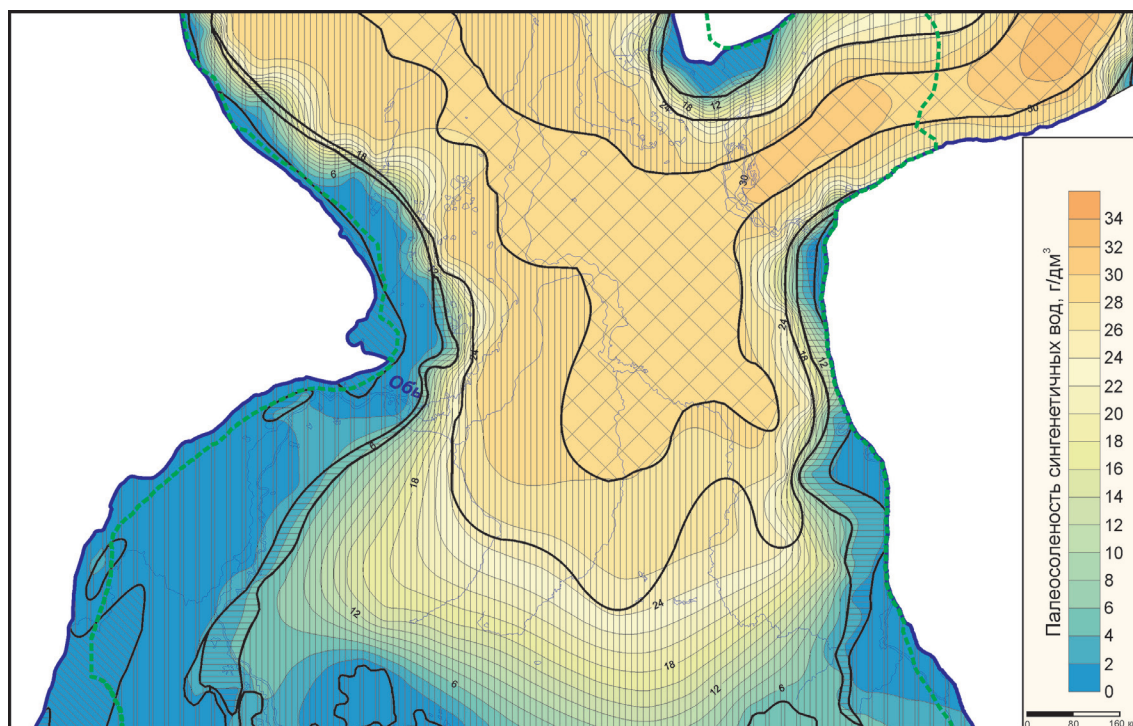


Рис. 2. Палеогеогеохимическая карта на тоарский век. Усл. обозначения см. рис. 1.

Fig. 2. Paleohydrogeochemical map for the Toarcian age. For legend, see Fig. 1.

в резервуарах нижней юры большим распространением пользуются седиментогенные подземные воды, которые могут быть смешаны с древними инфильтрационными, проникшими в результате регрессии морского бассейна.

Исследования проводились при финансовой поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0025 «Геохимия, генезис и механизмы формирования состава подземных вод арктических районов осадочных бассейнов Сибири», РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-70074 «Ресурсы Арктики», РФФИ и Правительства Ямало-Ненецкого автономного округа в рамках научного проекта № 19-45-890005.

## Литература

1. Басков Е.А. Основы палеогеогеологии рудных месторождений. Л. Изд-во: Недра. 1983. 263 с.
2. Новиков Д.А. Роль элизионного водообмена в формировании гидродинамического поля Ямало-Карской депрессии // Литология и полезные ископаемые. 2019. № 3. С. 248–261. DOI: 10.31857/S0024-497X20193248-261.
3. Новиков Д.А., Вакуленко Л.Г., Ян П.А. Особенности латеральной гидрогеохимической и аутигенно-минералогической зональности оксфордского регионального резервуара Надым-Тазовского междуречья // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 6. С. 843–859. DOI: 10.15372/GiG2019041.
4. Новиков Д.А., Черных А.В., Садыкова Я.В., Дульцев Ф.Ф., Хилько В.А., Юрчик И.И. Эволюция гидрогеохимического поля северных и арктических районов Западно-Сибирского осадочного бассейна в мезозое // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 10. С. 165–180. DOI: 10.18799/24131830/2019/10/2314.
5. Садыкова Я.В., Дульцева М.Г. Роль палеогеогеохимических факторов в формировании состава подземных вод нефтегазоносных отложений северо-восточной части Большехетской мегасинеклизы // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 2. С. 168–181. DOI: 10.1134/S0097807817020130.
6. Садыкова Я.В., Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф. Палеогеогеохимия верхнеюрских отложений арктических районов Западной Сибири // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России. 2018. С. 412–417.
7. Конторович А.Э., Конторович В.А., Рыжкова С.В., Шурыгин Б.Н., Вакуленко Л.Г., Гайдебурова Е.А., Данилова В.П., Казаненков В.А., Ким Н.С., Костырева Е.А., Москвин В.И., Ян П.А. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. Р. 972–1012.

8. Грамберг И.С. Палеогидрогеохимия терригенных толщ. Л. Изд-во: Недра. 1973. 172 с.
9. Шварцев С.Л., Новиков Д.А. Природа вертикальной гидрогеохимической зональности нефтегазоносных отложений (на примере Надым-Тазовского междуречья, Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 8. С. 1008–1020.
10. Шурыгин Б.Н., Никитенко Б.Л., Девятов В.П., Ильина В.И., Меледина С.В., Гайдебурова Е.А., Дзюба О.С., Казаков А.М., Могучева Н.К. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система. Новосибирск. Изд-во: СОРАН филиал «ГЕО». 2000. 480с.
11. Drake H., Tullborg E.L. Paleohydrogeological events recorded by stable isotopes, fluid inclusions and trace elements in fracture minerals in crystalline rock, Simpevarp area, SE Sweden // Applied Geochemistry. 2009. № 24. P. 715–732. DOI:10.1016/j.apgeochem.2008.12.026.
12. Hendry M.J., Barbour S.L., Novakowski, Wassenaar L.I. Paleohydrogeology of the Cretaceous sediments of the Williston Basin using stable isotopes of water // Water Resources Research. 2013. V. 49. P. 4580–4592. DOI: 10.1002/wrcr.20321.
13. Khan Z.A., Tewari R.C. Paleochannel and paleohydrology of a Middle Siwalik (Pliocene) fluvial system, northern India // Journal of Earth System Science. 2011. V. 120. Iss. 3. P. 531–543. DOI: 10.1007/s12040-011-0083-4.
14. Li Y., Wang Y., Deng A. Paleoclimate record and paleohydrogeological analysis of travertine from the Niangziguan Karst Springs, northern China // Science in China. 2001. V. 44. P. 114–118.
15. Novikov D.A. Hydrogeochemistry of the Arctic areas of Siberian petroleum basins // Petroleum Exploration and Development. 2017. V. 44. № 5. P. 780–788. DOI: 10.1016/S1876-3804(17)30088-5.
16. Novikov D.A., Sadykova Y.V., Chernykh A.V., Dultsev F.F., Sukhorukova A.F. Paleohydrochemistry of Jurassic and Cretaceous deposits in arctic regions of Western Siberia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. V. 193. № 012051. DOI: 10.1088/1755-1315/193/1/012051.
17. Novikov D.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F. Paleohydrogeochemistry of the Upper Jurassic Deposits of the Arctic Regions of the West Siberian Megabasin // Journal of Physics: Conference Series. 2019. V. 1172 (1). № 012094. DOI: 10.1088/1742-6596/1172/1/012094.
18. Rosenthal E., Flexer A., Möller P. The paleoenvironment and the evolution of brines in the Jordan-Dead Sea transform and in adjoining areas // International Journal of Earth Sciences. 2006. № 95. P. 725–740. DOI: 10.1007/s00531-005-0057-3
19. Sadykova Y.V. Singenetic waters composition reconstruction methods of mesozoic sedimentary basins // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. 2018. V. 193 (1). № 012059. DOI: 10.1088/1755-1315/193/1/012059.
20. Yousif M., Henselowsky F., Bubenzer O. Palaeohydrology and its impact on groundwater in arid environments: Gebel Duwi and its vicinities, Eastern Desert, Egypt // Catena. 2018. V. 171. P. 29–43. DOI: 10.1016/j.catena.2018.06.028.