

**А. В. Черных<sup>1,2</sup>, Д. А. Новиков<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия*

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

**Аннотация.** Гидрогеологическая история Анабаро-Хатангского бассейна охватывает период от архея до четвертичного периода и включает в себя 12 гидрогеологических циклов. Юрско-эоплейстоценовый цикл является самым продолжительным, в течение которого существовали континентальные условия седиментации с самым долгим инфильтрационным этапом (от нижнего мела до неоплейстоцена). Соли девонского солеродного бассейна играют ключевую роль в процессах формирования состава подземных вод и рассолов в пределах следующих структур: Нордвик, Южный Тигян, Ильи Кожевникова, Ледовка и Белая.

*Ключевые слова:* Анабаро-Хатангский бассейн; периодизация гидрогеологической истории; гидрогеологический цикл; инфильтрация; элизия

## **PALEOHYDROGEOLOGY OF THE ANABAR-KHATANGA BASIN**

**A. V. Chernykh<sup>1,2</sup>, D. A. Novikov<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch  
of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

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

**Abstract.** The hydrogeological history of the Anabar-Khatanga basin covers the period from the Archaean to the Quaternary and includes 12 hydrogeological cycles. The Jurassic-Eopleistocene cycle is the longest during which there were continental conditions of sedimentation with the longest infiltration stage (from the Lower Cretaceous to the Neo-Pleistocene). The salts of the Devonian salt basin play a key role in the formation of the groundwater and brines composition within the following structures: Nordvik, Southern Tigyán, Ilya Kozhevnikova, Ledovka and Belaya.

*Key words:* the Anabar-Khatanga basin; periodization of hydrogeological history; hydrogeological cycle; infiltration; elision

### **Введение**

О роли подземных вод в историческом аспекте высказывались еще в конце XIX века А. Добре (1887) и С. Н. Никитин (1895). В 1929 году П. Н. Чирвинский ввел в научную литературу и обосновал понятие исторической гидрогеологии или палеогидрогеологии [1]. Исследования отечественных ученых, таких как К. И. Маков, А. Н. Семихатов, А. М. Овчинников, М. А. Гатальский, А. А. Карцев, Е. А. Басков, В. М. Матусевич, Я. А. Ходжакулиев, Е. А. Барс, Г. П. Якобсон, А. М. Никаноров, Е. В. Пиннекер, Г. П. Волобуев, Л. А. Абукова, С. Б. Вагин и др., явились основой для применения палеогидрогеологии при изучении условий формирования и закономерностей размещения месторождений нефти и газа [2–6].

В России палеогеогеологические исследования в последнее время почти не проводятся, опубликованы отдельные работы по осадочным бассейнам Сибири, Восточного Предкавказья, Пермского Прикамья [7–14]. В мире все больше к палеогеогеологическим реконструкциям привлекаются изотопные данные [15–20].

Исследуемый район расположен в граничных районах Республики Саха (Якутия) и Красноярского края (рис. 1). В исследуемом регионе установлены области распространения инверсионной и нормальной вертикальной гидрогеохимической зональности. Во время Второй мировой войны на территории Анабаро-Хатангского бассейна были начаты широкомасштабные геолого-разведочные работы на нефть и газ. Исследуемый регион рассматривается в последние годы как один из перспективных для прироста ресурсной базы углеводородов в пределах арктических районов Восточной Сибири, в том числе шельфа моря Лаптевых. В июне 2017 года при бурении поисковой скважины Центрально-Ольгинской № 1 на шельфе Хатангского залива ПАО «Роснефть» открыло новое месторождение. Исследуемый регион слабо изучен, особенно его южная часть. Нами рассмотрены палеогеогеологические аспекты этой проблемы.

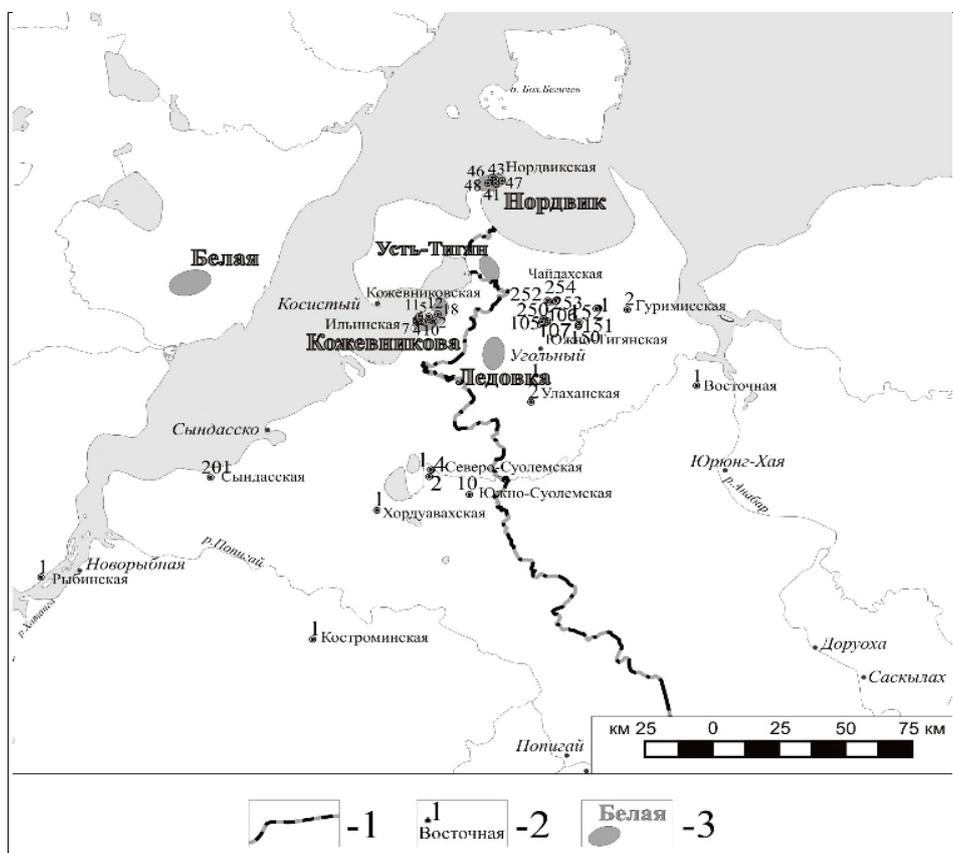


Рис. 1. Обзорная карта Анабаро-Хатангского бассейна (по материалам ИНГГ СО РАН): 1 — административные границы; 2 — изученные скважины; 3 — местоположение основных солянокупольных структур

#### Фактический материал и методика исследований

Палеогеогеологические реконструкции осадочных бассейнов выполняются с середины прошлого века. На основе методик А. А. Карцева, Е. А. Баскова и других

исследователей выполнена периодизация гидрогеологической истории Анабаро-Хатангского бассейна, выделены гидрогеологические циклы, элизионные и инфильтрационные этапы развития.

Реконструкция гидрогеологической истории осадочного бассейна основывается на периодизации — выделении гидрогеологических циклов и этапов. Гидрогеологический цикл начинается с трансгрессии, включает в себя процессы осадконакопления с одновременным захоронением седиментационных вод, охватывает время последующего поднятия и регрессии и заканчивается новым погружением и трансгрессией. Первая часть гидрогеологического цикла (от начала трансгрессии до начала регрессии) образует седиментационный (элизионный) этап. Вторая часть гидрогеологического цикла образует инфильтрационный этап, когда в осадочный бассейн проникают инфильтрационные воды, постепенно вытесняя и замещая седиментационные [2]. Ввиду несоответствия границ некоторых циклов границам крупных стратиграфических подразделений (эратемам, системам, отделам) их название было дано по приуроченности к общепринятым в стратиграфической шкале ярусам.

Основой для научных исследований послужили фондовые и опубликованные материалы научных и производственных организаций (ИНГГ СО РАН, СНИИГГиМС, НИИГА, ЗАО КЦ «РОСГЕОФИЗИКА»).

### Периодизация гидрогеологической истории

В результате проведенных исследований была составлена принципиальная схема периодизации гидрогеологической истории Анабаро-Хатангского бассейна с разделением на гидрогеологические циклы и этапы.

Гидрогеологическую историю бассейна можно разделить на 12 гидрогеологических циклов (рис. 2): архейско-карелийский (I); рифейско-нижневендский (II); верхневендско-силурийский (III); нижнедевонский (IV); среднедевонско-каменноугольный (V); пермско-нижнеоленинский (VI); верхнеоленинский (VII); среднетриасовый (VIII); карнийско-нижнерэтский (IX); верхнерэтский (X); юрско-эоценовый (XI); неоплейстоценово-голоценовый (XII).

*Архейско-карелийский цикл (I)* характеризуется формированием отложений фундамента и началом формирования плитного комплекса, доминированием инфильтрационных процессов. В начале раннего рифея произошла крупная трансгрессия, охватившая всю территорию исследования, ознаменовавшая начало нового *рифейско-нижневендского гидрогеологического цикла (II)*. Шел процесс терригенно-карбонатной седиментации и захоронения морских вод вместе с осадками — элизионный этап. Отсутствие отложений нижнего венда указывает на инфильтрационный этап. Для *верхневендско-силурийского цикла (III)* характерен длительный элизионный этап с преимущественно карбонатной седиментацией, закончившийся перерывом в осадконакоплении в период ордовика и силура. 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 известняковые и известняково-глинистые осадки и протекали процессы испарения морской воды. Подобные обстановки просуществовали до начала *эмского века (IV)*, который связан с началом обширной трансгрессии. Максимуму трансгрессии соответствует морская карбонатная толща юктинской свиты. Интенсивное соленакопление в Нордвикской части бассейна происходило в эмское-эйфельское время. В ее пределах сформировался закрытый бассейн, рапа которого достигала величины общей минерализации до 330 г/дм<sup>3</sup>, захоранивались воды хлоридного натриевого, хлоридного кальциевого и хлоридного магниевого состава.

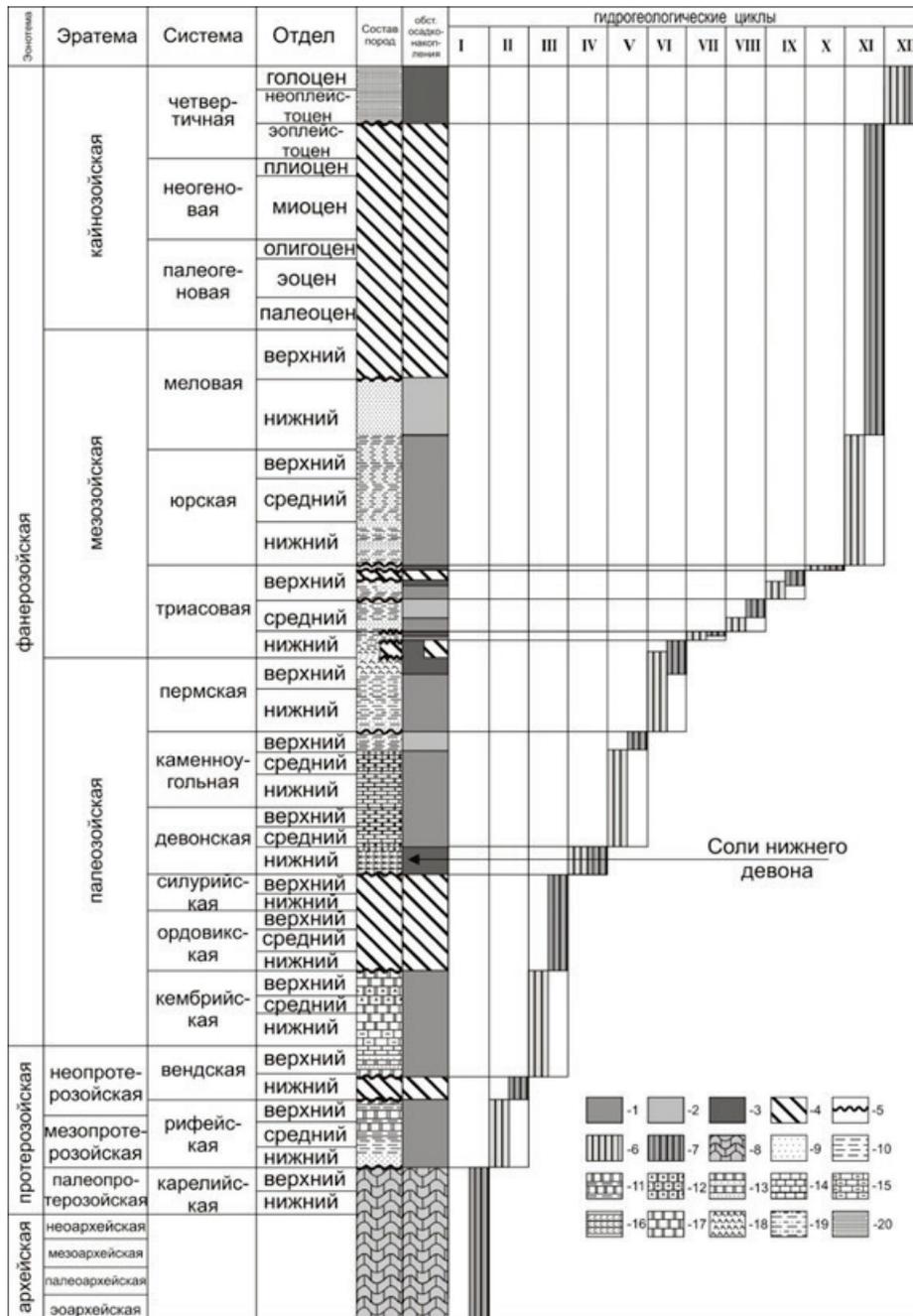


Рис. 2. Периодизация гидрогеологической истории Анабаро-Хатангского бассейна (Обстановки осадконакопления: 1 — морская; 2 — континентальная; 3 — переходная; 4 — зоны отсутствия отложений; 5 — зона размыва и несогласного залегания пластов. Гидрогеологические этапы: 6 — элизионный; 7 — инфильтрационный. Состав пород: 8 — породы кристаллического фундамента; 9 — песчаники; 10 — аргиллиты; 11 — переслаивание доломитов и аргиллитов; 12 — ангидриты; 13 — переслаивание доломитов и песчаников; 14 — известняки; 15 — глинистые известняки; 16 — соленосная толща; 17 — доломиты; 18 — туфы; 19 — переслаивание аргиллитов и алевролитов; 20 — четвертичные отложения, преимущественно пески, супеси, суглинки)

На юго-востоке территории преобладали обстановки низменной равнины. В процессе инфильтрации образовывались 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 Анабаро-Хатангского бассейна 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 начался регрессивный этап развития бассейна, соленость инфильтрогенных вод не превышала 2 г/дм<sup>3</sup>. С *франского века (V)* начался новый трансгрессивный этап, в течение которого морской бассейн расширился. 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 известняки.

В *пермско-нижнеоленинском цикле (VI)* выделяется пермский элизионный этап, проходивший в условиях морского терригенного осадконакопления. В виндское время исследуемая территория представляла в основном мелкое море, ограниченное с юга прибрежно-морской равниной, с юго-востока — алювиально-озерной равниной, почти на всей территории формировались сингенетичные солоноватые воды с минерализацией 5–15 г/дм<sup>3</sup>, с преобладанием в составе ионов Cl<sup>-</sup> и Na<sup>+</sup> при повышенном содержании ионов Mg<sup>2+</sup> и Ca<sup>2+</sup>. В середине оленекского века заканчивается *пермско-нижнеоленинский цикл*, и начинается *верхнеоленинский (VII)*, когда на юго-востоке территории протекает терригенное осадконакопление с перерывом на границе оленекского и анизийского веков [21].

В *среднем триасе (VIII)* район исследования испытывал постепенный переход от морских условий к континентальным. В анизийско-ландинское время в северной части исследуемой территории также находилось мелкое море, и формировались сингенетичные солоноватые воды с минерализацией 5–15 г/дм<sup>3</sup>, с преобладанием в составе ионов Cl<sup>-</sup> и Na<sup>+</sup> при повышенном содержании ионов Mg<sup>2+</sup> и Ca<sup>2+</sup>. Центральная часть находилась в обстановке переходного осадконакопления, здесь захоранивались солоноватые воды с минерализацией 2–5 г/дм<sup>3</sup>, с преобладанием в составе ионов Cl<sup>-</sup> и Na<sup>+</sup> при повышенном содержании HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> и Ca<sup>2+</sup>. В верхнем триасе можно выделить два гидрогеологических цикла: *карнийско-нижнерэтский (IX)* — характеризующийся регрессией, которая в итоге привела к перерыву в осадконакоплении в период с середины нория до середины рэта, и преобладанием инфильтрационных процессов; *верхнерэтский (X)* — с одновременным протеканием элизионных и инфильтрационных процессов в прибрежно-морских условиях и захоронением солоноватых вод с минерализацией 2–5 г/дм<sup>3</sup>, закончившийся перерывом в осадконакоплении.

На протяжении всей *юры и раннего неокома (XI)* на территории Анабаро-Хатангского бассейна проходило спокойное терригенное морское осадконакопление [22, 23]. В геттанге и синеморе север территории исследования представлял собой прибрежно-морскую равнину, в пределах которой захоранивались солоноватые воды с минерализацией 2–5 г/дм<sup>3</sup> преимущественно хлоридного натриевого состава с высоким содержанием кальция и гидрокарбоната иона [24, 25]. В центральной и южной частях формировались пресные и солоноватые инфильтрогенные воды с минерализацией 0,5–2 г/дм<sup>3</sup>, с преобладанием в составе ионов HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> и Ca<sup>2+</sup> при повышенном содержании Cl<sup>-</sup> и Na<sup>+</sup>. В плинсбахское время на большей части территории захоранивались соленые воды с минерализацией 5–15 г/дм<sup>3</sup>, преимущественно хлоридного натриевого состава. В тоаре на территории исследования мелководное море затопило денудационную равнину, теперь его ограничивало лишь денудационное плато, расположенное в пределах современного Таймыра. Повсеместно захоранивались воды с минерализацией 5–15 г/дм<sup>3</sup>. В байосе совместно с осадками захоранивались соленые таласогенные воды с минерализацией 5–15 г/дм<sup>3</sup>. В западной части территории захоранивались таласогенные хлоридные натриевые воды соленостью 15–20 г/дм<sup>3</sup>. Хатангское море обрамляли возвышенные части суши в виде

денудационной равнины и денудационного плато. В батский век Анабаро-Хатангский бассейн представлял собой мелководно-морской бассейн, где совместно с отложениями захоранивались соленоватые воды с минерализацией 2–5 г/дм<sup>3</sup>.

В позднем гомериве началась очередная крупная регрессия, которая привела к континентальным условиям осадконакопления практически на всей территории исследования в период с баррема по ранний сеноман. До неоплейстоцена Анабаро-Хатангский бассейн представлял собой денудационное плато — инфильтрационный этап. Начиная с *неоплейстоцена (XII)*, район подвергался воздействию многочисленных оледенений. Как показали результаты палеогидрогеохимических исследований изучаемого района, в течение всего геологического времени подземные воды претерпевали различные и сложные изменения, но современный химизм подземных вод во многом носит унаследованный характер. На территории исследования наблюдаются различные остановки осадконакопления и разные генетические типы подземных вод.

### Выводы

Палеогеографические обстановки во многом определяют химизм сингенетич-ных вод. Морские воды уже на начальных стадиях захоронения претерпевают изменения своего состава, скорость которых зависит от состава осадков, обогащенности осадка органическим веществом, гидродинамического режима, скорости седиментации. Механизм уплотнения осадков запускается на иловой стадии, как только иловые осадки оказываются гидродинамически изолированными от вод исходного морского бассейна. По мере развития осадочного бассейна и возрастания геостатических нагрузок осадки уплотняются, и из них отжимаются сингенетичные пластовые воды, которые затем поступают в песчаные пласты. Элизонные воды глин в коллекторах смешиваются с исходными седиментационными. На больших глубинах (от 3 км и более) происходит также выжимание связанной воды пониженной минерализации за счет процессов термодегидратации глинистых минералов [3].

Таким образом, детальный анализ эволюции развития Анабаро-Хатангского бассейна позволил выделить 12 гидрогеологических циклов. Юрско-эоплейстоценовый цикл является самым продолжительным, в течение которого существовали континентальные условия седиментации с самым долгим инфильтрационным этапом (от нижнего мела до неоплейстоцена).

*Исследования проводились при финансовой поддержке Проекта IX.131.3.2. «Геохимия, генезис и механизмы формирования состава подземных вод арктических районов осадочных бассейнов Сибири» Программы IX.131.3. «Эволюция гидрогеологических систем осадочных бассейнов Сибири» Приоритетного направления IX.131. «Геология месторождений углеводородного сырья, фундаментальные проблемы геологии и геохимии нефти и газа, научные основы формирования сырьевой базы традиционных и нетрадиционных источников углеводородного сырья» Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук Российской Федерации на 2013-2020 годы, Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 18-05-70074 Ресурсы Арктики.*

#### Библиографический список

1. Чирвинский П. Н. Палеогидрогеология // Проблемы современной геологии. – 1933. – Т. 3, № 8. – С. 107–122.
2. Карцев А. А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений: учеб. пособие для вузов. – М.: Гостехиздат, 1963. – 353 с.
3. Карцев А. А., Вагин С. Ю., Басков Е. А. Палеогидрогеология. – М.: Недра, 1969. – 150 с.
4. Никаноров А. М., Волобуев Г. П., Барцев О. Б. Палеогидрогеологические реконструкции нефтегазоносных бассейнов. – М.: Недра, 1975. – 192 с.
5. Матусевич В. М., Абдрашитова Р. Н., Куликов Ю. А. Палеогидрогеология и условия формирования подземных вод Фроловской нефтегазоносной области // Подземные воды востока России. Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России с междунар. участием (XIX Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока). – Тюмень, 2009. – С. 102–106.
6. Басков Е. А. Основы палеогидрогеологии рудных месторождений. – Л.: Недра, 1983. – 263 с.

7. Шестов И. Н., Тюрина И. М., Шувалов В. М. Влияние палеогидрогеологических условий на формирование нефтегазоносных месторождений Пермского Прикамья // Вестник Пермского университета. Серия: Геология. – 2008. – № 10 (26). – С. 16–19.
8. Баранов В. В. Эволюция климата в раннем и среднем палеозое северо-востока Евразии во взаимосвязи с планетарными событиями // Наука и образование. – 2010. – № 4. – С. 48–50.
9. Садыкова Я. В., Новиков Д. А. Палеогидрогеологические реконструкции верхнеюрских отложений южных районов Обь-Иртышского междуречья // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2010. – № 1. – С. 18–26.
10. Московский Г. А., Гончаренко О. П., Свидзинский С. А. Основные черты гидрохимии пермского галогенеза Прикаспия // Известия Саратовского университета. – 2011. – Т. 11, – № 1 – С. 69–75.
11. Московский Г. А., Гончаренко О. П., Ильин К. К. Высаливание хлоридов натрия и калия на заключительных стадиях галогенеза (на примере Гремячинского месторождения калийных солей в Прикаспийской впадине) // Литология и полезные ископаемые. – 2016. – № 1 – С. 95–100.
12. Садыкова Я. В. Палеогидрогеохимические реконструкции нефтегазоносных отложений полуострова Гыдан // Отечественная геология. – 2016. – № 1. – С. 16–24.
13. Садыкова Я. В., Дульцева М. Г. Роль палеогидрогеохимических факторов в формировании состава подземных вод нефтегазоносных отложений северо-восточной части Большехетской мегасинеклизы // Водные ресурсы. – 2017. – Т. 44, № 2. – С. 168–181.
14. Садыкова Я. В. Периодизация гидрогеологической истории Анабаро-Хатангской, Лено-Анабарской и Лаптевской нефтегазоносных областей // Интерэкспо Гео-Сибирь. Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология: сб. материалов XIII Междунар. науч. конгресса. – Новосибирск, 2017. – Т. 2, № 1. – С. 171–176.
15. Anadon P., Julia R. Hydrochemistry from Sr and Mg contents of ostracodes in Pleistocene lacustrine deposits, Baza Basin (SE Spain) // Hydrobiologia. – 1990. – № 197. – P. 291–303.
16. Оценка условий формирования и защищенности от техногенного загрязнения подземных вод Восточно-Предкавказского артезианского бассейна / Л. Г. Соколовский [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 7. – С. 24–31.
17. Linkages between Holocene paleoclimate and paleohydrogeology preserved in a Yucatan underwater cave / P. J. Hengstum [et al.] // Quaternary Science Reviews. – 2010. – № 29. – P. 2788–2798.
18. Comparison of carbonate C and O stable isotope records across the Jurassic/Cretaceous boundary in the Tethyan and Boreal Realms / K. Zak [et al.] // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2011. – Vol. 299. – P. 83–96.
19. Paleohydrogeology of the Cretaceous sediments of the Williston Basin using stable isotopes of water / J. M. Hendry [et al.] // Water resources research. – 2013. – Vol. 49, Issue 8. – P. 4580–4592.
20. Veizer J., Prokoph A. Temperatures and oxygen isotopic composition of Phanerozoic oceans // Earth-Science Reviews. – 2015. – № 146. – P. 92–104.
21. Мезозойские отложения Хатангской впадины / В. Н. Сакс [и др.]. – Л.: Гостоптехиздат, 1959. – 226 с.
22. Проблемы стратиграфии оксфорда и кимериджа на севере Средней Сибири (разрез полуострова Нордвик) / Б. Л. Никитенко [и др.] // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 9. – С. 1222–1241.
23. Кох А. А. Палеогидрогеологические реконструкции юрско-меловых отложений западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба // Отечественная геология. – 2014. – № 2. – С. 77–86.
24. Садыкова Я. В. О факторах формирования состава подземных вод нижнесреднеюрских отложений восточной части Енисей-Хатангского регионального прогиба и Анабаро-Хатангской седловины // ГЕО-Сибирь-2011. Недропользование. Горное дело. Новые направления и технология поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: сб. материалов VII Междунар. науч. конгресса. – Новосибирск, 2011. – С. 102–106.
25. Стратиграфия юры и мела Анабарского района (Арктическая Сибирь, побережье моря Лаптевых) и борельный зональный стандарт / Б. Л. Никитенко [и др.]. // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 8. – С. 1047–1082.

#### *Сведения об авторах*

**Черных Анатолий Витальевич**, аспирант, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, инженер, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, тел. 8(961)2263376, e-mail: tolyacher-nykh@gmail.com

**Новиков Дмитрий Анатольевич**, к. г.-м. н., доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, заведующий лабораторией гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, тел. 8(383)3638036, e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

#### *Information about the authors*

**Chernykh A. V.**, Postgraduate, Novosibirsk State University, Engineer, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 8(961)2263376, e-mail: tolyacher-nykh@gmail.com

**Novikov D. A.**, Candidate of Geology and Mineralogy, Associate Professor at the Department of Geology of Petroleum Fields, Novosibirsk State University, Head of the Laboratory of Sedimentary Basins Hydrogeology of Siberia, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, phone: 8(383)3638036, e-mail: Novikov-DA@ipgg.sbras.ru