

*Д. А. Новиков<sup>1,2\*</sup>, А. Н. Пыряев<sup>2,3</sup>*

## **О роли изотопного состава кислорода и водорода подземных вод нефтегазоносных отложений в изучении их генезиса**

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

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Российская Федерация

<sup>3</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

**Аннотация.** Приведены данные по изотопному составу кислорода и водорода подземных вод, залегающих в водоносных горизонтах широкого стратиграфического диапазона в Арктическом секторе Западной Сибири. Полученные значения  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  – очень разнообразны, охватывают интервалы от -120 до -50 ‰ и от -17 до -2 ‰, соответственно. Показано, что индивидуальные значения  $\delta^{18}O$  и  $\delta D$  для сингенетических вод, захороненных как в морских, так и континентальных условиях, не являются определяющими. Очевидно, что изотопный состав вод был обусловлен, в первую очередь, климатическими условиями на момент их попадания в осадочно-породный бассейн. Для вод, захороненных в морских обстановках, несмотря на широкую вариацию изотопного состава кислорода и водорода характерны выраженные изотопные кислородные сдвиги относительно линии Крейга, превышающие 2 ‰. В то время, как для вод заведомо континентальных, либо прибрежно-морских палеообстановок, величины кислородных сдвигов, как правило, не превышают указанного пограничного значения.

**Ключевые слова:** гидрогеохимия, стабильные изотопы, кислород, водород, нефтегазоносные отложения, палеогидрогеохимия, генетический тип, северные районы Западной Сибири

*D. A. Novikov<sup>1,2\*</sup>, A. N. Pyryaev<sup>2,3</sup>*

## **The role of oxygen and hydrogen isotopic composition in the study of the genesis of groundwater in oil-and-gas-bearing deposits**

<sup>1</sup>Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>3</sup>Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

**Abstract.** Data on oxygen and hydrogen isotopic composition of groundwater occurring in aquifers of a wide stratigraphic range in the Arctic sector of Western Siberia are presented. The obtained values of  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$  are very diverse and ranged from -120 to -50 ‰ and from -17 to -2 ‰ respectively. It has been shown that individual values of  $\delta^{18}O$  and  $\delta D$  for syngenetic waters buried in both marine and continental conditions are not decisive. It is obvious that the isotopic composition was determined by the climatic conditions during their sedimentation. Waters buried in marine environments, despite the wide variation in the isotopic composition of oxygen and hydrogen, are characterized by pronounced oxygen isotopic shifts relative to the Craig line, exceeding 2 ‰. While for waters of obviously continental or coastal-marine conditions, the values of oxygen shifts do not exceed the specified boundary value.

**Keywords:** hydrogeochemistry, stable isotopes, oxygen, hydrogen, oil and gas deposits, paleohydrogeochemistry, genetic type, northern regions of Western Siberia

### *Введение*

Теоретические и экспериментальные исследования распределения стабильных изотопов водорода и кислорода в подземных водах выступают краеугольным камнем современной гидрогеохимии являясь основой при изучении различных генетических и геохимических типов природных вод. Химический состав природных вод начинает формироваться в обстановках осадконакопления и выступает продуктом длительной геологической эволюции. Затем на стадиях диа- и катагенеза, захваченные породой воды претерпевают значительные изменения, вовлекаясь во множество процессов, таких как: элизионный водообмен, вертикальная, латеральная миграция и взаимодействие в системе «вода-порода-газ-ОВ». В этой связи наряду с составом растворенных веществ для правильной идентификации генетического облика подземных вод необходимо всесторонне изучать их изотопный состав. Окончательное отнесение водного раствора к тому или иному генетическому типу возможно только после изучения изотопного состава вод, отвечающего процессам формирования их влаги, фракционирования и обмена изотопами с окружающими породами [6].

### *Методы и материалы*

Основные результаты исследования изотопного состава кислорода и водорода подземных вод нефтегазоносных отложений северных районов Западной Сибири, охватывающих широкий стратиграфический диапазон – мезозой (от сеномана до байоса) и, частично, палеозой приведены в работах [1, 2, 4, 8]. Исследование изотопного состава кислорода и водорода вод проводилось в Аналитическом центре МИИ Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН на масс-спектрометре изотопных отношений Finnigan™ MAT 253, снабженном приставками пробоподготовки H/Device (определения  $\delta D$ ) и GasBench II (определения  $\delta^{18}O$ ).

### *Результаты и обсуждение*

Полученные в настоящей работе данные об изотопном составе кислорода и водорода вод глубокозалегающих водоносных горизонтов нефтегазоносных месторождений северных районов Западной Сибири продолжают многолетние геохимические исследования [3, 5, 7]. Изотопные характеристики показали, что имеющиеся точки на графике  $\delta D = f(\delta^{18}O)$  располагаются в очень широком диапазоне как значений самих изотопных составов, так и величин  $d$  (дейтериевых эксцессов,  $d = \delta D - 8 \times \delta^{18}O$ ) и  $KC$  (кислородных сдвигов,  $KC = \delta^{18}O - (\delta D - 10)/8$ ) (рис. 1). Из представленных данных видно, что для большинства изученных объектов, вне зависимости от того, какие из водоносных пластов были задействованы при исследовании, изотопный состав вод – очень разнообразный: относительная концентрация дейтерия в них варьирует от -123 до -54 ‰, при значениях  $\delta^{18}O$  от -16,6 до -2,5 ‰.

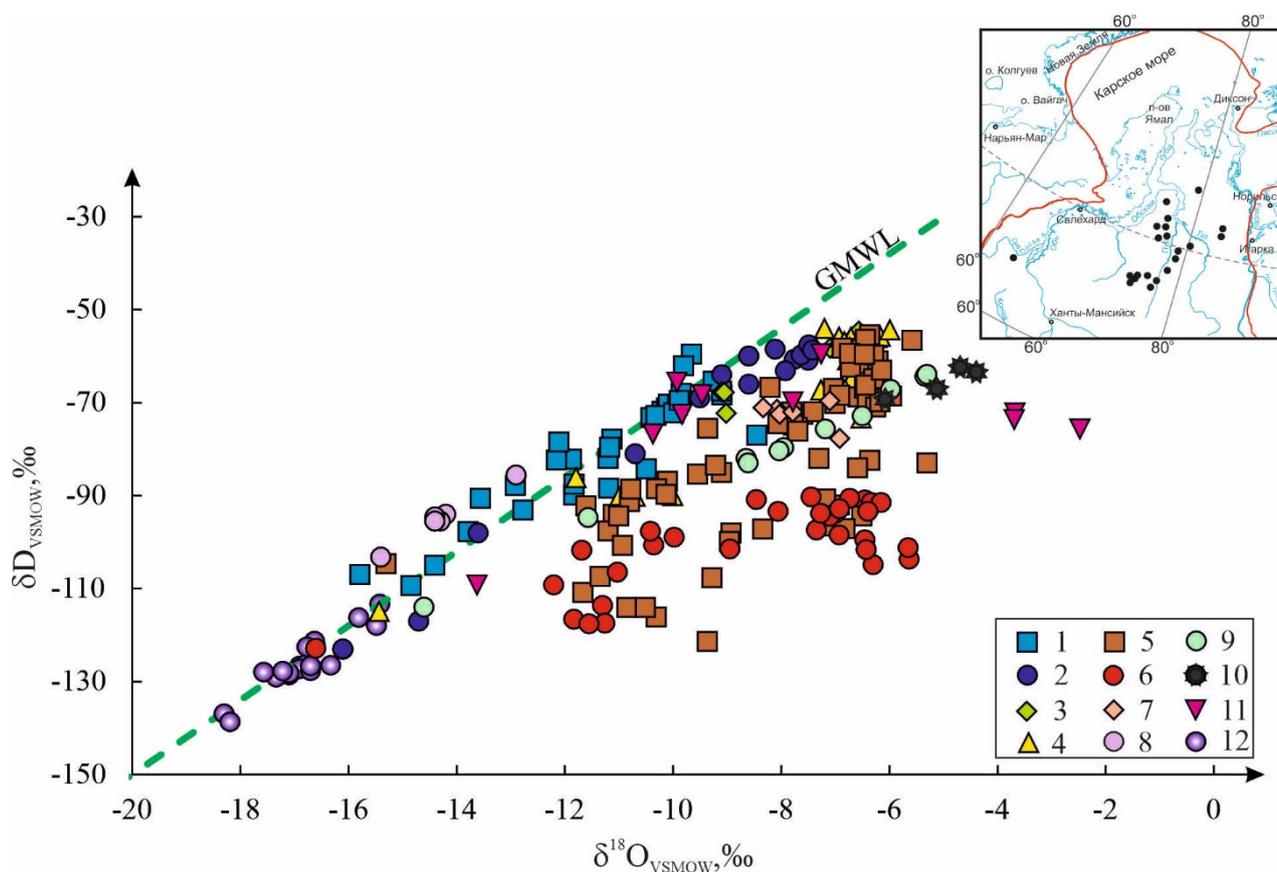


Рис. 1. Изотопный состав кислорода и водорода подземных вод нефтегазоносных отложений северных районов Западной Сибири относительно GMWL.

Возраст водовмещающих отложений: 1 – сеноман; 2 – альб; 3 – апт; 4 – готерив; 5 – валанжин; 6 – берриас; 7 – оксфорд; 8 – келловей; 9 – бат; 10 – аален; 11 – доюрские; 12 – инфильтрационные воды области питания южных районов Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна.

То есть, диапазон вариации значений  $\delta D$  составляет более 60 ‰, а различие в относительном содержании  $^{18}O$  достигает 14 ‰. Интересно отметить, что широкий диапазон вариации изотопных составов характерен не только для всего набора данных, но и для отдельных водоносных горизонтов: воды сеноманских отложений имеют значения  $\delta D$  от -119 до -60 ‰ при  $\delta^{18}O$  от -15,8 до -8,4 ‰. Альбские водоносные горизонты содержат воды с изотопным составом  $\delta D$  от -123 до -58 ‰, при  $\delta^{18}O$  от -16,1 до -7,4 ‰. Аналогичные наблюдения зафиксированы для вод в отложениях готерива ( $\delta D$  от -115 до -54 ‰;  $\delta^{18}O$  от -15,4 до -6,0 ‰), валанжина ( $\delta D$  от -121 до -55 ‰;  $\delta^{18}O$  от -15,3 до -5,3 ‰), берриаса ( $\delta D$  от -123 до -90 ‰;  $\delta^{18}O$  от -16,6 до -5,6 ‰), бата ( $\delta D$  от -95 до -64 ‰;  $\delta^{18}O$  от -14,6 до -5,3 ‰), доюрских – триасовых и палеозойских - водоносных горизонтах ( $\delta D$  от -109 до -59 ‰;  $\delta^{18}O$  от -13,6 до -2,5 ‰). Существенно уже распределение изотопного состава H и O вод в отложениях апта ( $\delta D$  от -72 до -55 ‰;  $\delta^{18}O$  от -9,1 до -6,6 ‰), оксфорда ( $\delta D$  от -78 до -70 ‰;  $\delta^{18}O$  от -8,3 до -6,9 ‰), келловая ( $\delta D$  от -

103 до -86 ‰;  $\delta^{18}\text{O}$  от -15,4 до -12,9 ‰) и аалена ( $\delta\text{D}$  от -76 до -59 ‰;  $\delta^{18}\text{O}$  от -7,8 до -3,7 ‰), что, по-видимому, обусловлено, в первую очередь, меньшей выборкой проб из этих водоносных горизонтов, но также может свидетельствовать о более устойчивых климатических условиях этих временных интервалов.

Наиболее интересными являются пробы, отобранные из водоносных горизонтов валанжина, берриаса и аалена. На фоне широкого распределения изотопного состава кислорода и водорода, для них характерны выраженные кислородные сдвиги. Для отдельных проб они превышают 8 ‰. Установлено, что КС коррелирует очень слабо с возрастом водоносных горизонтов: в большинстве проб вод из сеноманских, альбских, аптских, отложений кислородный сдвиг не превышает 2 ‰. Начиная с готеривских, затем в валанжинских и берриасских водоносных горизонтов значение КС в водах значительно превышает 2‰, достигая 8,6 ‰ в пробах, отобранных из берриасских водоносных горизонтов. Увеличение возраста приводит к просадке величин КС до 2-3‰ в оксфорде и крайне низким (даже отрицательным) – для большинства проб келловея. Переход к бату и аалену вновь приводит к возрастанию величин КС до значений, в среднем, превышающих 2 ‰. Иными словами, простой линейной корреляции между возрастом водоносных отложений и КС сингенетических вод не наблюдается.

При рассмотрении зависимости кислородного сдвига от палеосолености сингенетических вод, напротив, наблюдается явная закономерность (рис. 2а). Видно, что по мере возрастания их палеосолености практически прямопропорционально возрастает и величина КС. В водах альба и сеномана (близких по указанным показателям) при палеосолености около 17-20 г/дм<sup>3</sup> имеем средние значения КС около +0,8 и 0 ‰. Средний кислородный сдвиг в водах готерива составляет +1,9 ‰ при средней палеосолености в 25 г/дм<sup>3</sup>. В водах валанжина, берриаса, оксфорда, отличающихся максимальной палеосоленостью из представленной коллекции проб (выше 25 г/дм<sup>3</sup> в валанжине/оксфорде и 34-37 г/дм<sup>3</sup> – в берриасе), величины КС – максимальные. Большинство точек изотопного состава вод имеют КС более 2 (средние значения для вод валанжина и берриаса составляют 3,3 и 5,1 ‰). Подчеркнем при этом, что для вод указанных водоносных горизонтов также наблюдается и очень широкая вариативность значений КС. При этом большинство из этих точек ложится выше условной границы в 2 ‰.

На следующем этапе исследований был выполнен анализ современной и палеосолености сингенетических вод одних и тех водоносных горизонтов:  $\Delta\text{M} = \text{Mсин.} - \text{Mсовр.}$  Установлено, что современная минерализация отличается от палеосолености вод в некоторых водоносных горизонтах до 10 – 30 г/дм<sup>3</sup>. Максимальные значения  $\Delta\text{M}$  фиксируются для подземных вод валанжинского и берриасского возраста где фиксируются наибольшие кислородные сдвиги (до 8-9 ‰) (красный овал на рис. 2б). Механизм опреснения сингенетических вод связан с протеканием процессов термодегидратации глинистых минералов при температурах более 100 °С в условиях элизионного водообмена.

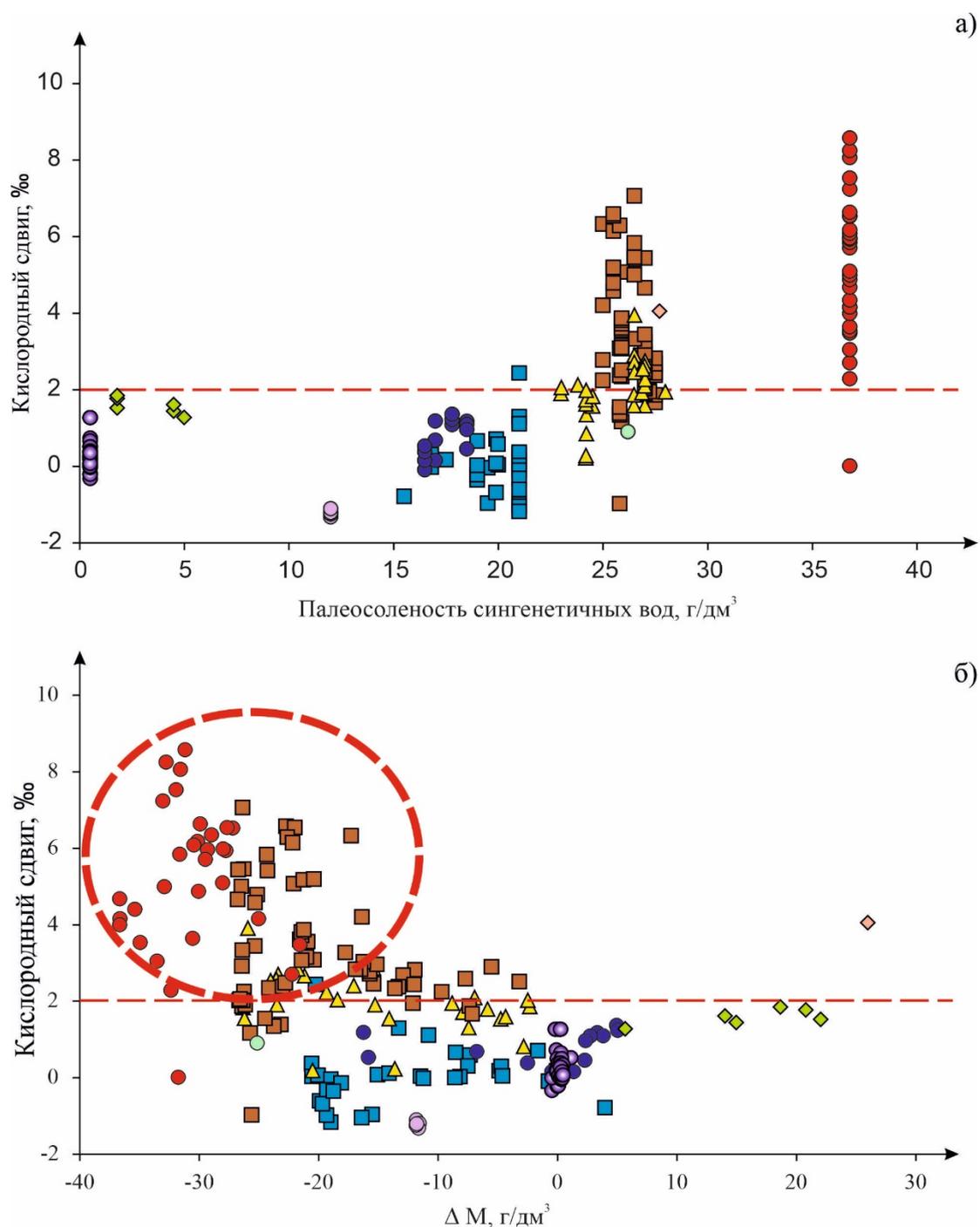


Рис. 2. Величины КС от палеосолености сингенетических вод (а) и  $\Delta M$  общей минерализации подземных вод (б).

Условные обозначения см. рис. 1.

### Заключение

Полученные результаты впервые убедительно объясняют генезис подземных вод и природу инверсионной вертикальной гидрогеохимической зональности северных районов Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна, что не укладывается в постулаты классической гидрогеологии осадочных бассейнов, которые говорят о том, что величина общей минерализации подземных вод

должна расти по мере уменьшения степени водообмена. Дальнейший анализ изотопный данных совместно с данными по геохимии подземных вод глубоких горизонтов Арктического сектора Западной Сибири позволит выявить в группе седиментогенных вод две разновидности (по А.А. Карцеву): конденсатогенных и литогенных (возрожденных).

### *Благодарности*

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ № FWZZ-2022-0014.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новиков Д. А., Пыряев А. Н. Стабильные изотопы О, Н и С в подземных водах нефтегазоносных отложений северных районов Западно-Сибирского осадочного бассейна // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2023. – № 2. – С. 23–32.
2. Новиков Д. А., Пыряев А. Н., Максимова А. А., Дульцев Ф. Ф., Черных А. В. Эволюция состава стабильных изотопов Н, О и С в водах нефтегазоносных отложений северных районов Западной Сибири // Георесурсы. – 2023. – Т. 25. – № 4. – С. 219–232.
3. Новиков Д. А., Борисов Е. В. Прогноз нефтегазоносности юрских резервуаров зоны сочленения Енисей-Хатангского и Западно-Сибирского бассейнов // Геология и геофизика. – 2021. – Т. 62. – № 2. – С. 216–237.
4. Новиков Д. А., Пыряев А. Н., Черных А. В., Дульцев Ф. Ф., Рыжкова С. В. Первые данные по изотопному составу пластовых вод разрабатываемых нефтяных месторождений Новосибирской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 2. – С. 59–72.
5. 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.
6. Novikov D. A. Genetic classification of subsurface waters and brines of Arctic regions of Siberia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – V. 193. – No. 1. – 012049.
7. Novikov D. A. Hydrogeochemistry of the Arctic areas of Siberian petroleum basins // Petroleum Exploration and Development. – 2017. – V. 44. – No. 5. – P. 780–788.
8. Novikov D. A., Khvashchevskaya A. A., Pyriaev A. N., Nalivaiko N. G., Gosteva I. A., Chernykh A. V., Maksimova A. A., Ryzhkova S. V., Pavlova S. A., Dultsev F. F. Integrated Isotope-Geochemical and Microbiological Studies of Groundwaters in Oilfields (the Southern Part of the West Siberian Basin) // Modeling Earth Systems and Environment. – 2024. – V. 10. – No. 2. – P. 2113–2131.

© Д. А. Новиков, А. Н. Пыряев, 2024