

## **ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ПРИРОДНЫХ ВОД СЕЛА ВЕРХ-ТУЛА (НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

### ***Александр Николаевич Пыряев***

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, к.х.н., научный сотрудник, e-mail: pyrayev@igm.nsc.ru; Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, ассистент кафедры химической и биологической физики

### ***Дмитрий Анатольевич Новиков***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3/6, к.г.-м.н., зав. лабораторией, e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru; Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа и кафедры общей и региональной геологии

### ***Федор Федорович Дульцев***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3/6, научный сотрудник, e-mail: DultsevFF@ipgg.sbras.ru

### ***Анатолий Витальевич Черных***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3/6, научный сотрудник, e-mail: ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

### ***Анастасия Алексеевна Максимова***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3/6, инженер, e-mail: rock.nastaya64@gmail.com

### ***Антон Сергеевич Деркачев***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3/6, инженер, e-mail: a.derkachev@g.nsu.ru

В работе представлены первые данные изотопно гидрогеохимических исследований природных вод села Верх-Тула. Они характеризуются в основном  $\text{HCO}_3$  Na-Mg-Ca составом с величиной общей минерализации, варьирующей от 542 до 731 мг/дм<sup>3</sup>, и содержанием кремния от 0,46 до 7,04 мг/дм<sup>3</sup>. Геохимические параметры среды варьируют от восстановительных до окислительных с Eh -157,4 - +231, слабощелочными рН (7,4 – 8,1) и содержанием  $\text{O}_{2\text{раств}}$  0,29 – 5,52 мг/дм<sup>3</sup>. Установлено, что значения  $\delta\text{D}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  поверхностных и подземных вод существенно различаются и варьируют от -105 до -126 ‰ и от -13,2 до -16,3 ‰ – для первых, и от -136 до -138 ‰, от -18,3 до -18,8 ‰ – для вторых. Согласно полученным данным, большинство подземных вод имеют время пребывания в водоносном горизонте не менее 5 лет, их питание не зависимо от локальных поверхностных вод. Изотопный состав водорастворенного углерода ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  от -14,3 до -12,5 ‰) указывает на биогенное происхождение углекислоты, участвующей в процессах карбонат-силикатного выветривания.

**Ключевые слова:** гидрогеохимия, стабильные изотопы кислорода, водорода, углерода, село Верх-Тула, Новосибирская область

## ISOTOPE COMPOSITION OF NATURAL WATERS IN THE VERKH-TULA SETTLEMENT (THE NOVOSIBIRSK REGION)

1.

**Aleksandr N. Pyrayev**

Institute of Geology and Mineralogy V.S. Sobolev SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptyuga Ave., Ph.D., Researcher, e-mail: pyrayev@igm.nsc.ru

**Dmitry A. Novikov**

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3/6, Akademika Koptyuga Ave., PhD, head of the laboratory, e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru; Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, 2, Pirogova st., associate professor

**Fedor F. Dultsev**

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3/6, Akademika Koptyuga Ave., Researcher, e-mail: DultsevFF@ipgg.sbras.ru

**Anatoliy V. Chernykh**

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3/6, Akademika Koptyuga Ave., Researcher, e-mail: ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

**Anastasia A. Maksimova**

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3/6, Akademika Koptyuga Ave., engineer, e-mail: rock.nastaya64@gmail.com

**Anton S. Derkachev**

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3/6, Akademika Koptyuga Ave., engineer, e-mail: a.derkachev@g.nsu.ru

The first data obtained in the isotope hydrogeochemical studies of natural waters in the Verkh-Tula settlement are presented in the work. The composition of these waters is mainly  $\text{HCO}_3$  Na-Mg-Ca with TDS varying from 542 to 731  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , and silicon content 0.46 to 7.04  $\text{mg}/\text{dm}^3$ . The geochemical parameters of the medium vary from reductive to oxidative with Eh -157.4 - +231, weakly alkaline pH (7,4 – 8,1) and  $\text{O}_{2\text{dissolved}}$  0.29 – 5.52  $\text{mg}/\text{dm}^3$ . It was established that  $\delta\text{D}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  of surface and ground waters differ from each other substantially and vary from -105 to -126 ‰ and from -13.2 to -16.3 ‰ – for the former, and from -136 to -138 ‰, from -18.3 to -18.8 ‰ – for the latter. According to the data obtained, for the majority of groundwaters, the time of water residence in the aquifer is not less than 5 years, and their feeding is independent of local surface waters. The isotope composition of water-dissolved carbon ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  from -14.3 to -12.5 ‰) points to the biogenic origin of carbon dioxide participating in carbonate-silicate weathering.

**Keywords:** hydrogeochemistry, stable isotopes of oxygen, hydrogen, carbon, Verkh-Tula settlement, the Novosibirsk Region

Несмотря, на длительный период изучения гидрогеологических условий Новосибирской городской агломерации с населением более 2 млн человек до настоящего времени природные воды остаются крайне слабоизученными [1-3]. Среди последних исследований следует отметить работы [4-11].

Карта регионального распределения изотопного состава кислорода и водорода природных вод, совмещенная с локальной линией метеорных вод (LMWL – Local meteoric water line) [12-13]) может служить мощным и удобным инструментом для решения целого комплекса гидрогеологических задач: установление генезиса вод, выявление областей их питания и разгрузки, изучения процессов смешения водных потоков. При этом, изотопный состав водорастворенной формы углерода является прекрасным дополнением, отражающим взаимодействие вод с окружением [12].

Выявление главных источников питания поверхностных вод играет очень важную роль при построениях карт регионального распределения изотопного состава вод, поскольку позволяет выявить точки аномального его отклонения, обусловленные смешением вод данной локации с водами отдельных (не относящихся к данному участку) водоносных горизонтов, область разгрузки которых может быть существенно отдалена от области их питания.

В настоящей работе была проведена оценка вклада подземных вод в питание поверхностных вод на примере рек Тула, Верх-Тула и Святого Источника (Новосибирская область) (рис. 1) с целью выявления изотопных аномалий в региональном распределении изотопного состава кислорода и водорода метеорных вод.

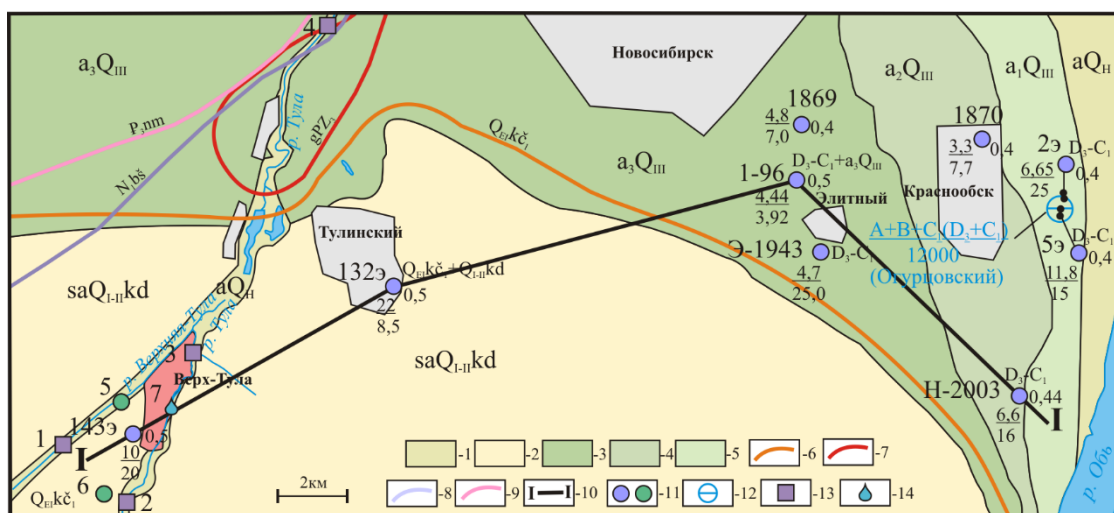


Рис. 1. Местоположение изученных объектов.

- а) 1 – аллювиальные отложения поймы р. Оби и пойменной террасы р. Чик и Тула; 2 – слабоводоносный горизонт субаэральных отложений краснодубровской свиты; 3 – аллювиальные отложения третьей надпойменной террасы р. Оби; 4 – водоносный горизонт аллювиальных верхнеплейстоценовых отложений второй надпойменной террасы р. Оби; 5 – водоносный горизонт аллювиальных верхнеплейстоценовых отложений первой надпойменной террасы р. Оби; 6 – водоносный горизонт нижнекочковской подсвиты; 7 – водоносная зона трещиноватости верхнепалеозойских интрузивных пород; 8 – водоносный горизонт бещеульской свиты; 9 – водоупорный локально-водоносный горизонт новомихайловской свиты; 10 – линия геолого-гидрогеологического разреза; 11 – скважины (сиреневым цветом – изученные ранее; зелёным цветом – в рамках настоящей работы): 5 – скв. 2, ул. Прибрежная; 6 - скв. 1, ул. Кобызева; 12 - месторождение подземных вод, законсервированное, 13 – точки отбора проб поверхностных вод: 1 - р. Верх-Тула; 2 – р. Тула, выше поселка; 3 – р. Тула; 4 – г. Новосибирск, р. Тула (рядом с кольцом по ул. Петухова, СНТ Полянка); 14 – Святой источник в с. Верх-Тула

В течение 2019-2021 гг. на территории Новосибирской области был отобран и продолжает дополняться обширный материал для лабораторных исследований изотопного состава поверхностных и подземных вод. Часть из них приурочена к юго-западной части Новосибирской городской агломерации – реке Тула и ее притоку, реке Верх-Тула (их отбор проводился в мае 2019 - июле 2020).

Исследование изотопного состава кислорода, водорода вод, а также углерода водорастворенной углекислоты (DIC – dissolved inorganic carbon) проводилось в Аналитическом центре МИИ Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН с помощью изотопного масс-спектрометра Finnigan<sup>TM</sup> MAT 253, снабженного приставками пробоподготовки H/Device и GasBench II. Значения  $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$  и  $\delta^{13}C_{DIC}$  определяли в соответствии с известными методиками [14-18]. Все измерения проводились относительно материалов сравнения Международного агентства по атомной энергии [19]: NBS-18 и NBS-19 - при измерениях  $\delta^{13}C_{DIC}$  в водах; VSMOW2, SLAP2 и GISP – при измерениях  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  в водах. Погрешность измерений не превышала 0,2 ‰ при анализе изотопного состава углерода, 0,3 ‰ – кислорода и 2 ‰ – водорода.

Территория поселка Верх-Тула и его окрестностей, где были отобраны пробы, в геологическом отношении относится к юго-западной окраине Колывань-Томской складчатой зоны, где последняя граничит с Западно-Сибирской плитой [20]. Исследуемый регион характеризуется двухъярусным строением геологического разреза: под рыхлыми отложениями кайнозойского возраста несогласно залегает сильно дислоцированный палеозойский фундамент.

В соответствии с геологическим строением в гидрогеологическом разрезе данного участка выделяется два гидрогеологических комплекса: верхний – четвертичного возраста, и нижний – палеозойского.

Верхний комплекс на данном участке представлен водоносными горизонтами (от молодых к древним): аллювиальных голоценовых отложений пойменной террасы реки Тула (*a Q<sub>IV</sub>*); субаэральных ниже-среднеплейстоценовых отложений краснодубровской свиты (*sa Q<sub>I-II</sub> kd*); нижеоплейстоценовых отложений нижнекочковской подсвиты (*Q<sub>EI</sub> kc<sub>1</sub>*). Кровля разреза представлена, по данным бурения, покровными субаэральными отложениями верхнеплейстоценового возраста (*sa Q<sub>III</sub>*) мощностью до 3 м. Данный слой представлен суглинками с примесью гравия и щебня. Водоносный горизонт аллювиальных голоценовых отложений пойменной террасы реки Тула имеет мощность 6,5 м. Он представлен супесями, суглинками, песками с гравием и галькой в основании. Водоносный горизонт краснодубровской свиты слабо обводнен. Мощность горизонта непостоянна. Так, в скважине 143э, расположенной в 700 м от устья р. Тула, мощность свиты составила 29,5 м. Максимальная же мощность свиты 55,5 м зафиксирована на водоразделе рек Обь и Тула (скв. 132э). Этот водоносный горизонт сложен суглинками, в нижней части – прослоями супесей и песков. Водоносный горизонт отложений нижнекочковской подсвиты сложен песками, мощность которого по данным бурения скважины 143э составляет 20 метров и уменьшается в направлении р. Обь.

Водоносный комплекс палеозойского фундамента в исследуемом районе вскрыт скважиной 143э на глубине 77 м. Представлен он обводненной зоной трещиноватости преимущественно в песчаниках и алевроито-глинистых сланцах светло-серого и темно-серого цвета.

Статический уровень в скважине 143э установился на отметке 120 м над уровнем моря. Удельные дебиты скважин составили в скв.143э – 10 л/с (понижение уровня 20 м), в скв. 132э – 22 л/с (понижение 8,5 м).

Изученные воды имеют слабощелочную среду (рН изменяется в диапазоне от 7,7 до 8,2), величина общей минерализации варьирует в диапазоне от 542 до 731 мг/дм<sup>3</sup>. Превалирующими анионами в большинстве вод выступают  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , содержание которых изменяется в диапазоне от 350 до 535 и от 5 до 77 мг/дм<sup>3</sup>, соответственно, при мольном соотношении  $\text{SO}_4^{2-}/\text{HCO}_3^-$  от 0,01 до 0,12. Углекислый газ и карбонат-ион в водах присутствуют в существенном количестве лишь в части вод, для остальных – ниже порога определения. Концентрация DIC в водах, рассчитанная как сумма диссоциатов угольной кислоты ( $\text{CO}_2 + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ ), изменяется от 5,8 до 8,9 ммоль/дм<sup>3</sup>. Воды характеризуются диапазоном значений  $\delta\text{D}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  от -139,4 до -105,0 ‰ и от -18,9 до -13,2 ‰, соответственно при  $\delta^{13}\text{C}$  от -14,3 до -12,5 ‰. В большинстве случаев поверхностные воды имеют более тяжелый изотопный состав кислорода и водорода. Исключение составляют воды, отобранные из р. Тула после впадения Святого Источника (точка 3 на рис. 2), а также из скв. 2 в с. Верх-Тула (точка 5 на рис. 2). Воды Святого источника, отобранные в разные периоды времени, имеют самый легкий изотопный состав кислорода и водорода и составляют плотную группу точек (синие точки с общим номером 7 на рис. 2), располагающихся в нижней левой части диаграммы  $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ . Воды р. Верх-Тула, напротив, имеют самые высокие относительные концентрации тяжелых изотопов D и <sup>18</sup>O. Воды р. Тула занимают промежуточное положение по изотопному составу кислорода и водорода между водами р. Верх-Тула и большинством подземных вод.

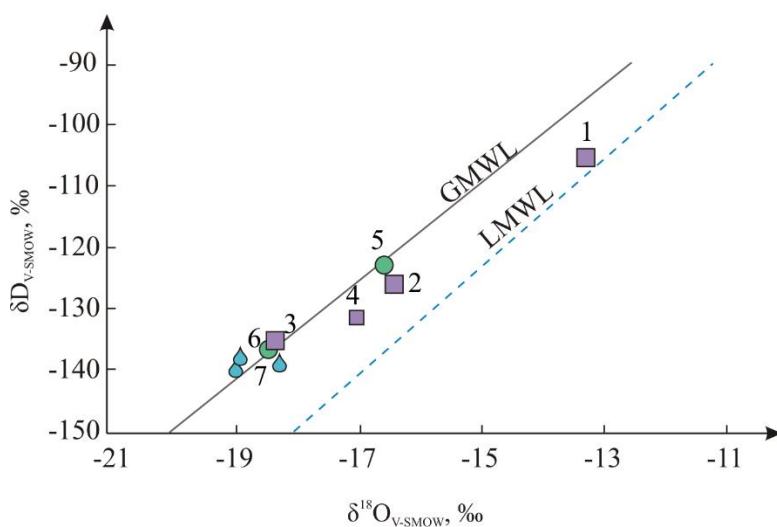


Рис. 2. Значения  $\delta\text{D}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  для природных вод села Верх-Тула относительно GMWL [21] и LMWL [22]: Номера соответствуют обозначениям на карте.

Все полученные пары значений  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  образуют точки, лежащие, в пределах аналитической погрешности, в область, ограниченную GMWL [21] и локальной линией метеорных вод (LMWL – local meteoric water line [22]), что указывает на метеорное происхождение всех изученных вод [12, 13, 23]. Отклонение точек, отвечающих поверхностным водам, вправо от линии Крейга на зависимости  $\delta D$ - $\delta^{18}O$  является, по-видимому, следствием проявления эффекта испарения [12]. Существенное отклонение полученных данных от LMWL [22], вероятно, может быть связано с неточностями в построении последней, что указывает на целесообразность ее современной коррекции. Материал для этих целей на текущий момент собирается и находится на стадии активной разработки.

Легкий изотопный состав кислорода и водорода в фоновых водах Святого Источника, по-видимому, может быть обусловлен двумя основными факторами. С одной стороны – вероятная удаленность области его питания к территории с более отрицательным среднегодовым изотопным составом метеорных вод (региональная вариация изотопного состава метеорных вод [12]). С другой – смещением сезонности питания Святого источника к атмосферным осадкам холодного времени года ввиду частичной или полной эвапотранспирации атмосферных осадков теплого времени года [24]. Существенных перепадов высот в пределах Новосибирской области не наблюдается, поэтому фактор высотного градиента [12] в данном случае не рассматривался.

Таблица 1

Характеристика стабильных изотопов Н, О и С природных вод села Верх-Тула

№ пробы на карте	Место отбора пробы	$\delta D$ , ‰	$\delta^{18}O$ , ‰	DIC, ммоль/дм <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , ммоль/дм <sup>3</sup>	$\delta^{13}C_{DIC}$ , ‰
1	р. Верх-Тула	-105	-13,2	7,6	0,58	-14,1
2	р. Тула, выше поселка Верх-Тула	-126	-16,3	5,8	0,52	-12,5
3	р. Тула после места разгрузки Святого источника	-135	-18,3	7,8	0,27	-12,6
4	р. Тула (ул. Петухова, СНТ Полянка)	-131	-16,9	6,9	0,80	-12,6
5	скв. 2, ул. Прибрежная, с. Верх-Тула	-123	-16,5	8,7	0,12	-14,3
6	скв. 1, ул. Кобызева, с. Верх-Тула	-136	-18,3	8,9	0,21	-14,2
7	Святой источник от 03.06.2019	-139	-18,9	8,5	0,12	-14,0
	Святой источник от 03.11.2019	-136	-18,4	*	*	-12,9
	Святой источник от 24.02.2020	-139	-18,2	8,6	0,21	-13,2
	Святой источник от 07.07.2020	-137	-18,8	*	*	-12,8

Примечание: \* - данные отсутствуют.

Высокая стабильность изотопного состава кислорода и водорода в водах Святого источника на протяжении года регулярных наблюдений, по-видимому, является следствием длительного пребывания воды в гидрологической системе питающего водоносного горизонта. Учитывая, что амплитуда вариации значений  $\delta^{18}\text{O}$  для вод указанного водопункта не превышала 0,7 ‰, время пребывания воды в гидрологической системе составляет не менее 5 лет [12].

Воды, отобранные из скв. 1 в с. Верх-Тула (точка 6 на карте) имеют очень близкий изотопный состав кислорода и водорода к водам Святого Источника, что может указывать на единство их питающих систем. При этом воды из скв. 2 в с. Верх-Тула, располагающейся территориально ближе к Святому источнику, имеют существенно отличающиеся значения  $\delta\text{D}$  (-123 ‰) и  $\delta^{18}\text{O}$  (-16,5 ‰), очень близкие к изотопному составу кислорода и водорода вод р. Тула до места разгрузки Святого источника (точка 2 на карте).

В свою очередь, подземные воды, питающие Святой источник и скв. 1, оказывают существенное влияние на изотопный состав кислорода и водорода вод р. Тула. Из данных таблицы видно, что после разгрузки Святого источника воды р. Тула обогащаются легкими изотопами кислорода ( $\delta^{18}\text{O} = -18,3$  ‰) и водорода ( $\delta\text{D} = -135$  ‰). То есть, питание вод р. Тула носит смешанный характер, сочетая сток атмосферных осадков и подземный.

Для вод р. Верх-Тула, предполагается смещение акцента питания к осадкам теплого времени года, усугубляемое процессами испарения, приводящими к дополнительному утяжелению изотопного состава кислорода ( $\delta^{18}\text{O} = -13,2$  ‰) и водорода ( $\delta\text{D} = -105$  ‰) вод [12, 13]. Смешение рек Верх-Тула и Тула приводит к закономерному, хоть и незначительному, утяжелению значений  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$  в водах последней до -16,9 и -131 ‰, соответственно. Используя известное уравнение смешения [12], можно оценить процентное соотношение потоков рек и подземных источников как 9 (Тула), 27 (Верх-Тула) и 64 % (подземные воды). Таким образом, в питании указанных рек в изучаемом районе преобладающее место занимают воды подземных источников.

Изотопный состав углерода DIC изученных вод варьирует в довольно узком диапазоне (значения  $\delta^{13}\text{C}$  изменяются от -14,3 до -12,5 ‰). Естественная концентрация водорастворенной углекислоты в дождевой воде составляет  $10^{-2}$  ммоль/дм<sup>3</sup> [25]. Из данных таблицы 1 видно, что в нашем случае имеет место превышение этой концентрации в 690-890 раз, что указывает на то, что основным источником DIC в данном случае выступает почвенная углекислота. Значения  $\delta^{13}\text{C}$  характерны для биогенной углекислоты, участвующей в процессах смешанного силикат-карбонатного выветривания [25].

Резюмируя вышесказанное, следует отметить, что изученные воды имеют метеорное происхождение. Для части подземных вод установлено питание за счет инфильтрации поверхностных вод. Для вод Святого Источника и скв. 1 в пос. Верх-Тула установлено независимое от локальных поверхностных вод питание, приуроченное к отдельному водоносному горизонту большой емкости с временем пребывания вод в системе – не менее 5 лет. Подземные воды занимают значимое место в питании рек. По экспертной оценке авторов, общий вклад

подземных вод в питание речной системы может достигать 64 %. Изотопный состав углерода  $\text{D}_{13}\text{C}$  в изученных водах указывает на биогенное происхождение углекислоты, участвующей в процессах карбонат-силикатного выветривания.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0025, РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках грантов № 19-45-540004, 20-45-543004 и 20-45-543005.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

2. Посохов Е.В., Толстихин Н.И. Минеральные воды (лечебные, промышленные, энергетические). – М.: Недра, 1977. – 240 с.
3. Вериго Е.К., Быкова В.В., Гусев В.К. Заельцовское месторождение радоновых вод (Новосибирское Приобье) // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Западной Сибири. – 1979. – Т. 14. – С. 47-51.
4. Гусев В.К., Вериго Е.К. Радоновые воды Кольвань-Томской складчатой зоны, их использование и охрана. // Изменение природных условий под влиянием деятельности человека. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1984. – С. 99-107.
5. Росляков Н.А., Жмодик С.М., Пахомов В.Г. Естественные радионуклиды в геологической среде Новосибирской области // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы IV Международной конференции, г. Томск, 4-8 июня 2013 г. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 461-464.
6. Корнеева Т.В., Новиков Д.А. Механизмы накопления микроэлементов в радоновых водах Заельцовского месторождения (юг Западной Сибири) // Подземные воды Востока России: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием), г. Новосибирск, 18-22 июня 2018 г. – 2018. – С. 270-276.
7. Сухорукова А.Ф., Новиков Д.А. Гидрогеология Заельцовско-Мочищенского проявления радоновых вод (г. Новосибирск) // Подземные воды Востока России: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием), г. Новосибирск, 18-22 июня 2018 г. – 2018. – С. 473-480.
8. Новиков Д.А., Вакуленко Л.Г., Сухорукова А.Ф. Геохимия системы вода-порода проявления слабарадоновых вод "Инские источники" (юг Западной Сибири) // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: Материалы четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием, г. Улан-Удэ, 17-20 августа 2020 г. – 2020. – С. 88-92.
9. Новиков Д.А., Дульцев Ф.Ф., Сухорукова А.Ф., Максимова А.А., Черных А.В., Деркачев А.С. Радионуклиды в природных водах Новосибирской городской агломерации // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: Материалы четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием, г. Улан-Удэ, 17-20 августа 2020 г. – 2020. – С. 134-138.
10. Новиков Д.А., Пыряев А.Н., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Сухорукова А.Ф. Первые результаты комплексных изотопно-гидрогеохимических исследований природных вод Новосибирской городской агломерации // ГЕО-Сибирь-2020. Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология: Материалы XVI международной научной конференции, г. Новосибирск, 20-24 апреля 2020 г. – 2020. – С. 179-194.
11. Новиков Д.А., Копылова Ю.Г., Вакуленко Л.Г., Сухорукова А.Ф., Пыряев А.Н., Максимова А.А., Дульцев Ф.Ф., Черных А.В. Изотопно-геохимические особенности проявления



- слаборадонных вод "Инские источники" (юг Западной Сибири) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 3. – С. 135-145.
12. Новиков Д.А., Сухорукова А.Ф., Корнеева Т.В., Кменова-Тотцева Р.М., Максимова А.А., Деркачев А.С., Дульцев Ф.Ф., Черных А.В. Гидрогеология и гидрогеохимия месторождения минеральных радоновых вод «Каменское» (г. Новосибирск) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 4. – С. 192-208.
13. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы Земли. – Научный мир, 2009. – 632 с.
14. Hoefs J. Stable isotope geochemistry. 8th edition. Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, 2018. – 460 p.
15. Epstein S., Mayeda T. // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1953. – V. 4. – P. 213-224.
16. Nelson S.T. A simple, practical methodology for routine VSMOW/SLAP normalization of water samples analyzed by continuous flow methods // *Rapid Commun. Mass Spectrom.* – 2000. – V. 14. – P. 1044-1046.
17. Górká M., Sauer P.E., Lewicka-Szczebak D., Jedrysek M.-O. Carbon isotope signature of dissolved inorganic carbon (DIC) in precipitation and atmospheric CO<sub>2</sub> // *Environmental Pollution*. – 2011. – V. 159. – P. 294-301.
18. Evans, M. N., Selmer, K. J., Breeden III, B. T., Lopatka, A. S., and Plummer, R. E. Correction algorithm for online continuous flow  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  carbonate and cellulose stable isotope analyses // *Geochem. Geophys. Geosyst.* – 2016. – 17. – С. 3580– 3588.
19. Коpec, B. G., Feng, X., Posmentier, E. S., & Sonder, L. J. Seasonal deuterium excess variations of precipitation at Summit, Greenland, and their climatological significance // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. – 2019. – V. 124. – P. 72– 91.
20. [Электронный ресурс] URL: <https://nucleus.iaea.org/sites/ReferenceMaterials/Pages/Stable-Isotopes.aspx>.
21. Бабин Г.А., Черных А.И., Головина А.Г., Жигалов С.В., Долгушин С.С., Ветров Е.В., Кораблева Т.В., Бодина Н.А., Светлова Н.А., Федосеев Г.С., Хилько А.П., Епифанов В.А., Лоскутов Ю.И., Лоскутов И.Ю., Михаревич М.В., Пихутин Е.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Алтай-Саянская. Лист N-44 – Новосибирск. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 392 с. + 4 вкл.
22. Craig H. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*. – 1961. – V. 133. – P. 1702–1703.
23. [Электронный ресурс] URL: <https://nucleus.iaea.org/wiser/index.aspx>.
24. Alçiçek H., Bülbül A., Yavuzer I., Alçiçek M. C. Origin and evolution of the thermal waters from the Pamukkale Geothermal Field (Denizli Basin, SW Anatolia, Turkey): Insights from hydrogeochemistry and geothermometry // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 2019. – 372. – С. 48–70.
25. Gat J. R., Matsui E. Atmospheric water balance in the Amazon basin: An isotopic evapotranspiration model // *Journal of Geophysical Research*. – 1991. – V. 96. – № D7. – P. 13179-13188.
26. Das A., Krishnaswami S., Bhattacharya S.K. Carbon isotope ratio of dissolved inorganic carbon (DIC) in rivers draining the Deccan Traps, India: Sources of DIC and their magnitudes // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2005. – Vol. 236. – P. 419-429.

## REFERENCES

1. Posohov E.V., Tolstihin N.I. Mineral'nye vody (lechebnye, promyshlennye, jenergeticheskie). – М.: Nedra, 1977. – 240 s.
2. Verigo E.K., Bykova V.V., Gusev V.K. Zael'covskoe mestorozhdenie radonovyh vod (Novosibirskoe Priob'e) // *Novye dannye po geologii i poleznym iskopaemym Zapadnoj Sibiri*. – 1979. – Т. 14. – S. 47-51.

3. Gusev V.K., Verigo E.K. Radonovye vody Kolyvan'-Tomskoj skladchatoj zony, ih ispol'zovanie i ohrana. // *Izmenenie prirodnyh uslovij pod vlijaniem dejatel'nosti cheloveka*. – Novosibirsk: Nauka. Sibirskoe otdelenie, 1984. – S. 99-107.

4. Rosljakov N.A., Zhmodik S.M., Pahomov V.G. Estestvennye radionuklidy v geologicheskoj srede Novosibirskoj oblasti // *Radioaktivnost' i radioaktivnye jelementy v srede obitanija cheloveka: Materialy IV Mezhdunarodnoj konferencii*, Tomsk, 4-8 ijunja 2013 g. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2013. – S. 461-464.

5. Korneeva T.V., Novikov D.A. Mehanizmy nakoplenija mikrojelementov v radonovyh vodah Zael'covskogo mestorozhdenija (jug Zapadnoj Sibiri) // *Podzemnye vody Vostoka Rossii: Materialy Vserossijskogo soveshhanija po podzemnym vodam Vostoka Rossii (XXII Soveshhanie po podzemnym vodam Sibiri i Dal'nego Vostoka s mezhdunarodnym uchastiem)*, g. Novosibirsk, 18-22 ijunja 2018 g. – 2018. – S. 270-276.

6. Suhorukova A.F., Novikov D.A. Hidrogeologija Zael'covsko-Mochishhenskogo pojavlenija radonovyh vod (g. Novosibirsk) // *Podzemnye vody Vostoka Rossii: Materialy Vserossijskogo soveshhanija po podzemnym vodam Vostoka Rossii (XXII Soveshhanie po podzemnym vodam Sibiri i Dal'nego Vostoka s mezhdunarodnym uchastiem)*, g. Novosibirsk, 18-22 ijunja 2018 g. – 2018. – S. 473-480.

7. Novikov D.A., Vakulenko L.G., Suhorukova A.F. Geohimija sistemy voda-proda pojavlenija slaboradonovyh vod "Inskie istochniki" (jug Zapadnoj Sibiri) // *Geologicheskaja jevoljucija vzaimodejstvija vody s gornymi porodami: Materialy chetvertoj Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*, g. Ulan-Udje, 17-20 avgusta 2020 g. – 2020. – S. 88-92.

8. Novikov D.A., Dul'cev F.F., Suhorukova A.F., Maksimova A.A., Chernyh A.V., Derkachev A.S. Radionuklidy v prirodnyh vodah Novosibirskoj gorodskoj aglomeracii // *Geologicheskaja jevoljucija vzaimodejstvija vody s gornymi porodami: Materialy chetvertoj Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*, g. Ulan-Udje, 17-20 avgusta 2020 g. – 2020. – S. 134-138.

9. Novikov D.A., Pyrjaev A.N., Chernyh A.V., Dul'cev F.F., Suhorukova A.F. Pervye rezul'taty kompleksnyh izotopno-gidrogeohimicheskikh issledovanij prirodnyh vod Novosibirskoj gorodskoj aglomeracii // *Interjekspos GEO-Sibir' - "Nedropol'zovanie. Gornoe delo. Napravlenija i tehnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh. Jekonomika. Geojekologija"*: Materialy XVI mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, g. Novosibirsk, 20-24 aprelja 2020 g. – 2020. – S. 179-194.

10. Novikov D.A., Kopylova Ju.G., Vakulenko L.G., Suhorukova A.F., Pyrjaev A.N., Maksimova A.A., Dul'cev F.F., Chernyh A.V. Izotopno-geohimicheskie osobennosti pojavlenija slaboradonovyh vod "Inskie istochniki" (jug Zapadnoj Sibiri) // *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. – 2021. – T. 332. – № 3. – S. 135-145.

11. Novikov D.A., Suhorukova A.F., Korneeva T.V., Kmenova-Totceva R.M., Maksimova A.A., Derkachev A.S., Dul'cev F.F., Chernyh A.V. Hidrogeologija i gidrogeohimija mestorozhdenija mineral'nyh radonovyh vod «Kamenskoe» (g. Novosibirsk) // *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. – 2021. – T. 332. – № 4. – S. 192–208.

12. Ferronskij V.I., Poljakov V.A. *Izotopija gidrosfery Zemli*. – Nauchnyj mir, 2009. – 632 s.

13. Hoefs J. *Stable isotope geochemistry*. 8th edition. Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, 2018. – 460 p.

14. Epstein S., Mayeda T. // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1953. – V. 4. – P. 213-224.

15. Nelson S.T. A simple, practical methodology for routine VSMOW/SLAP normalization of water samples analyzed by continuous flow methods // *Rapid Commun. Mass Spectrom.* – 2000. – V. 14. – P. 1044-1046.

16. Górka M., Sauer P.E., Lewicka-Szczebak D., Jedrysek M.-O. Carbon isotope signature of dissolved inorganic carbon (DIC) in precipitation and atmospheric CO<sub>2</sub> // *Environmental Pollution*. – 2011. – V. 159. – P. 294-301.

17. Evans, M. N., Selmer, K. J., Breeden III, B. T., Lopatka, A. S., and Plummer, R. E. Correction algorithm for online continuous flow  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  carbonate and cellulose stable isotope analyses / *Geochem. Geophys. Geosyst.* – 2016. – 17. – C. 3580–3588.
18. Kopec, B. G., Feng, X., Posmentier, E. S., & Sonder, L. J. Seasonal deuterium excess variations of precipitation at Summit, Greenland, and their climatological significance // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres.* – 2019. – V. 124. – P. 72–91.
19. [Jelektronnyj resurs] URL: <https://nucleus.iaea.org/sites/ReferenceMaterials/Pages/Stable-Isotopes.aspx>.
20. Babin G.A., Chernyh A.I., Golovina A.G., Zhigalov S.V., Dolgushin S.S., Vetrov E.V., Korableva T.V., Bodina N.A., Svetlova N.A., Fedoseev G.S., Hil'ko A.P., Epifanov V.A., Loskutov Ju.I., Loskutov I.Ju., Miharevich M.V., Pihutin E.A. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1000000 (tret'e pokolenie). Serija Altae-Sajanskaja. List N-44 – Novosibirsk. Objasnitel'naja zapiska. – SPb.: Kartograficheskaja fabrika VSE-GEI, 2015. – 392 s. + 4 vkl.
21. Craig H. Isotopic variations in meteoric waters. *Science.* – 1961. – V. 133. – P. 1702–1703.
22. [Jelektronnyj resurs] URL: <https://nucleus.iaea.org/wiser/index.aspx>.
23. Alçiçek H., Bülbül A., Yavuzer I., Alçiçek M. C. Origin and evolution of the thermal waters from the Pamukkale Geothermal Field (Denizli Basin, SW Anatolia, Turkey): Insights from hydrogeochemistry and geothermometry // *Journal of Volcanology and Geothermal Research.* –2019. – 372. – P. 48–70.
24. Gat J. R., Matsui E. Atmospheric water balance in the Amazon basin: An isotopic evapotranspiration model // *Journal of Geophysical Research.* – 1991. – V. 96. – № D7. – P. 13179-13188.
25. Das A., Krishnaswami S., Bhattacharya S.K. Carbon isotope ratio of dissolved inorganic carbon (DIC) in rivers draining the Deccan Traps, India: Sources of DIC and their magnitudes // *Earth and Planetary Science Letters.* – 2005. – Vol. 236. – P. 419-429.

© А. Н. Пыряев, Д. А. Новиков, Ф. Ф. Дульцев,  
А. В. Черных, А. А. Максимова, А. С. Деркачев, 2021