

УДК 556.314.6(282.256.1)

## МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВЕРХНЕЙ ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗОНЫ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕЙ ОБИ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ИХ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Пасечник Елена Юрьевна<sup>1</sup>,  
paseyu@yandex.ru

Гусева Наталья Владимировна<sup>1</sup>,  
guseva24@yandex.ru

Савичев Олег Геннадьевич<sup>1</sup>,  
OSavichev@mail.ru

Льготин Виктор Александрович<sup>2</sup>,  
mail@sfo.geomonitoring.ru

Балобаненко Андрей Александрович<sup>2</sup>,  
baa@sfo.geomonitoring.ru

Домаренко Виктор Алексеевич<sup>1</sup>,  
domarenkova@tpu.ru

Владиминова Ольга Николаевна<sup>1</sup>,  
olechka-555-94@mail.ru

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

<sup>2</sup> Гидроспецгеология,  
Россия, г. Томск, 634061, ул. Никитина, 99.

**Актуальность** исследования определяется необходимостью учета наиболее полной информации о химическом составе подземных вод при их подготовке для хозяйственно-питьевого использования. Ранее для бассейна Верхней Оби были получены данные преимущественно по макрокомпонентному составу, перманганатной окисляемости, биогенным элементам и содержаниям ограниченного количества микроэлементов, что не позволяло объективно оценить возможное влияние региональных факторов с токсикологическим и санитарно-токсикологическим лимитирующими признаками воздействия.

**Цель** исследования заключается в оценке микроэлементного состава подземных вод эксплуатируемых горизонтов верхней гидрогеодинамической зоны в бассейне Верхней Оби (на территории Алтае-Саянской гидрогеологической складчатой области и примыкающих к ней районов Западно-Сибирского артезианского бассейна).

**Объекты:** подземные воды, используемые для питьевого водоснабжения в бассейне Верхней Оби (территории Республики Алтай, Алтайского края, Новосибирской, Кемеровской и Томской областей).

**Методы:** современные методы определения химического состава подземных вод, включая: в 2019 г. – масс-спектрометрический метод с индуктивно связанной плазмой (ICP MS); в 1998 г. – нейтронно-активационный анализ; статистические методы.

**Результаты.** Выполнен анализ химического состава подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения в бассейне Верхней Оби. Полученные результаты позволяют существенно расширить представление о микроэлементном составе подземных вод рассматриваемой территории. Показано, что уровень содержания большинства изученных микроэлементов меньше установленных в Российской Федерации нормативов качества. Однако показатель аддитивного воздействия (сумма отношений фактических и предельно-допустимых концентраций веществ 1–2 классов опасности  $\Sigma C_{1-2}/ПДК$ ) часто больше единицы, что указывает на потенциальное токсичное воздействие на здоровье при использовании подземных вод без соответствующей водоподготовки. Наиболее высокие значения  $\Sigma C_{1-2}/ПДК$  (более 5) отмечены для подземных вод в Алтайском крае и Республике Алтай, в селах Хабазино, Онгудай и Тальменка (водосборы притоков Оби – рек Алей, Катунь и Чумыш, соответственно). С учетом установленных рудопоявлений и характера концентрирования в подземных водах региона парагенетических ассоциаций химических элементов сделано предположение о существенном вкладе природных факторов в формирование наблюдаемого уровня содержания многих микроэлементов.

### Ключевые слова:

Микроэлементный состав, подземные воды, Верхняя Обь, Алтае-Саянская гидрогеологическая складчатая область, Западно-Сибирский артезианский бассейн.

### Введение

Гидрогеохимические исследования в бассейне Верхней Оби в связи с поисками полезных ископаемых и обеспечением водоснабжения проводятся уже более 140 лет [1–7]. За это время накоплен огромный объем информации о суммарном содержании растворенных солей, макрокомпонентном составе, перманганатной окисляемости, содержаниях соединений азота, кремния, фосфора, железа. Однако данные по микроэлементному составу подземных вод представлены в основном материалами, полученными с использованием эмиссионного спектрального метода (часто – полуколичественного) по относительно широкому перечню компонентов либо по содержанию Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, As (несколько реже – Al, Li и некоторых других элементов) с помощью атомно-абсорбционного, инверсионно-вольт-амперометрического и полярографического методов. В отдельных случаях выполнялся нейтронно-активационный анализ по ограниченному числу проб [2, 3, 5–10].

С учетом указанного выше дефицита гидрогеохимической информации и требований по обеспечению га-

рантированного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения в условиях обострения водно-экологических проблем во всем мире [5, 11–18] выполнено исследование микроэлементного состава подземных вод эксплуатируемых горизонтов верхней гидрогеодинамической зоны в части бассейна р. Обь, соответствующей Алтае-Саянской гидрогеологической складчатой области (АСГО) и примыкающих к ней пограничных районов Западно-Сибирского артезианского бассейна (ЗСАБ). Основная часть подземных и поверхностных вод формируется в условиях горных районов (относительное изменение высотных отметок поверхности более 200 м и/или абсолютные отметки более 500 м – Горный Алтай, Кузнецкое Алатау, Горная Шория, Салаир [5, 9, 10]), что позволяет (с некоторой условностью) отнести исследуемую территорию к верхней части бассейна Оби (далее – Верхняя Обь).

#### Исходная информация и методика исследования

Основная концепция исследования заключалась в оценке современного (по состоянию на 2019 г.) микроэлементного состава подземных вод верхней гидрогеодинамической зоны эксплуатируемых водоносных горизонтов и сравнении полученных данных с материалами исследований, выполненных в 1998 г. [19].

Объектом исследования являются подземные воды в: А) 2019 г. (рисунок, табл. 1) в пределах: А.1) АСГО: 3 – эксплуатационная скважина в пгт. Маслянино, Новосибирская область; 5 – наблюдательная скважина в с. Кузедеево, Кемеровская область; 7 – эксплуатационная скважина в п. Чемал, Республика Алтай; 8 – родник на окраине с. Онгудай, Республика Алтай; 9 – эксплуатационная скважина в с. Онгудай, Республика Алтай; 10 – родник в с. Курай, Республика Алтай; 11 – эксплуатационная скважина в с. Курай, Республика Алтай; 12 – эксплуатационная скважина в с. Турочак, Республика Алтай; 13 – родник на окраине с. Шебалино, Республика Алтай; А.2) примыкающих районов ЗСАБ: 1 – наблюдательная скважина в с. Боровиха, Алтайский край; 2 – наблюдательная скважина в с. Хабазино, Алтайский край; 4 – наблюдательная скважина в пгт. Болотное, Новосибирская область; 6 – эксплуатационная скважина в г. Мариинск, Кемеровская область; 21 – эксплуатационная скважина № 66 Томского подземного водозабора в Обь-Томском междуречье, Томская область; В) в 1998 г. (рисунок, табл. 2) в пределах АСГО: В.1) 11 – эксплуатационная скважина в с. Курай, Республика Алтай; 12 – эксплуатационная скважина в с. Турочак, Республика Алтай; 14 – родник у п. Чибит, Республика Алтай; 15 – эксплуатационная скважина в с. Онгудай, Республика Алтай; 16 – эксплуатационная скважина в с. Муны, Республика Алтай; В.2) в пределах примыкающих районов ЗСАБ: 17 – эксплуатационная скважина у с. Баюновские Ключи; 19 – эксплуатационная скважина в с. Эстонка, Новосибирская область; 20 – родник на окраине г. Томска (район Академгородка), Томская область; 21 – эксплуатационная скважина № 56 Томского подземного водозабора в Обь-Томском междуречье, Томская область.

Общее количество проб подземных вод – 23, в том числе в 2019 г. из наблюдательных скважин – 4, из эксплуатационных скважин – 6, из родников – 3, в 1998 г. из эксплуатационных скважин – 8, из родников – 2. Пробы воды отбирались из скважин после прокачки, из родников – после прокачки эмалированной емкостью и отстаивания [20–23]. В пробах подземных вод проводилось определение значений pH (потенциометрический метод), перманганатной окисляемости (ПО), содержания  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_2$  (титриметрический),  $\text{SO}_4^{2-}$  (турбидиметрический),  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , фосфаты, Fe (фотометрический, ионная хроматография, масс-спектрометрический с индуктивно-связанной плазмой с использованием масс-спектрометра NexION 300D),  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  (ионная хроматография), ряд микроэлементов (в 2019 г. – масс-спектрометрический с индуктивно-связанной плазмой, в 1998 г. – нейтронно-активационный). Лабораторные работы выполнены в ТПУ.

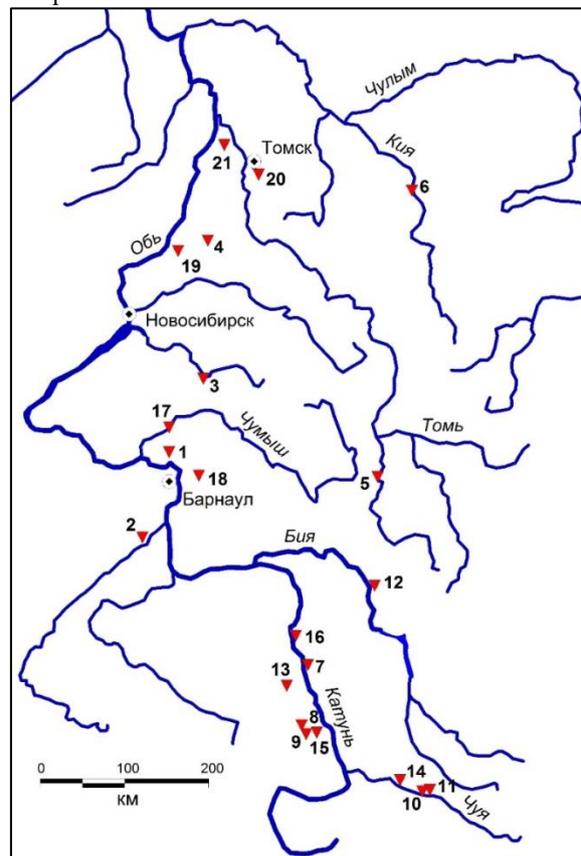


Рисунок. Схема размещения пунктов гидрогеологических наблюдений (номера пунктов приведены в табл. 1, 2)

Figure. Layout of hydrogeological observation points (point numbers are given in tables 1, 2)

Обработка полученных данных включала в себя расчет критериев аддитивного воздействия растворенных веществ (сумма отношений фактической и предельно допустимых концентраций веществ первого и второго классов опасности), оценку статистических параметров, корреляционный и регрессионный анализ при уровне значимости 5 % при использовании уравнений:

$$\delta_A \approx \frac{\sigma}{\sqrt{N}},$$
$$\delta_r \approx \frac{1-r^2}{\sqrt{N-2}},$$

где  $A$  и  $\sigma$  – среднее арифметическое и среднее квадратическое значения;  $r$  – коэффициент корреляции;  $N$  – объем выборки;  $\delta_A$  и  $\delta_r$  – погрешности определения среднего арифметического и коэффициента корреляции; связь между величинами  $x$  и  $y$  при уровне значимости 5 % принимается значимой, если выполняется условие  $|r| > 2 \cdot \delta_r$ . Результаты статистического анализа сопоставлялись с материалами геологических исследований [1, 2, 7, 10, 24, 25].

### Результаты исследования и их обсуждение

Рассматриваемая территория бассейна р. Оби соответствует гидрогеологическому региону Западно-Сибирской плиты, в пределах которого, как указывалось выше, расположены гидрогеологические структуры I порядка – ЗСАБ и АСГСО. В геологическом разрезе ЗСАБ выделяется складчатый фундамент, сложенный породами палеозоя, и чехол, образованный осадочными отложениями мезозойского и кайнозойского возрастов. В разрезе последних, в свою очередь, прослеживается два гидрогеологических этажа с резко различными условиями формирования подземных вод, разделенные региональным водоупором верхнемелового-палеогенового возраста. Верхний гидрогеологический этаж на большей части ЗСАБ представляет собой многослойную толщу, включающую более 30 водоносных горизонтов в палеогеновых, неогеновых и четвертичных отложениях. Подземные воды верхнего этажа – в основном пресные, инфильтрационного генезиса, достаточно активно используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения. В северной оконечности Кузнецкого Алатау источником водоснабжения в ряде случаев являются водоносные мезозойские отложения [1, 4, 7]. Гидрогеологические условия АСГСО характеризуются также наличием двух гидрогеологических этажей (верхний приурочен к рыхлым мезо-кайнозойским отложениям, нижний – к палеозойским и протерозойским породам различного генезиса) и широким распространением трещинно-жильных вод. Поровые воды развиты в основном в четвертичных отложениях речных долин и прилегающих территорий. Для хозяйственно-питьевого водоснабжения достаточно часто используются подземные воды нижнего этажа, несколько реже – верхнего [2, 7, 9, 10, 26].

Общая закономерность в изменении минерализации и химического состава подземных вод проявляется в увеличении суммарного содержания растворенных солей при уменьшении интенсивности водообмена (соответственно – увеличении времени взаимодействия в системе «вода–порода»), что чаще всего наблюдается в отложениях неогена (табл. 3). В пространственном и ландшафтном отношении, как это отмечено в [3, 5, 10], наибольшие значения минерализации в основном приурочены к горнотеплым участкам межгорных котловин и лесостепным участкам предгорных районов. Примерно такая же ситуация

наблюдалась в 1998 и 2019 гг., когда наибольшие значения суммы главных ионов  $\Sigma_{\text{ги}}$  ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) были зафиксированы на лесостепных участках на границе АСГСО и ЗСАБ и в долине р. Катунь на участке ее среднего течения (табл. 1, 2). Превышения нормативов качества хозяйственно-питьевого водоснабжения выявлены по содержанию: минерализация – Онгудай (пункт 9, рисунок), Тальменка (17);  $\text{Mg}^{2+}$  – Онгудай (9);  $\text{NO}_3^-$  – Чемал (7), Онгудай (9), Тальменка (17); Fe – Боровиха (1), Хабазино (2), Маслянино (3), Болотное (4), Кузедеево (5), Мариинск (6), Онгудай (9), Баюновские Ключи (180, Эстонка (19), Томский водозабор, скважина № 56 (21); Mn – Боровиха (1), Хабазино (2), Кузедеево (3); Vg – Хабазино (2), Онгудай (9); Ba – Тальменка (17); Li – Тальменка (17); Pb – Хабазино (2).

Кроме того, сумма соотношений фактических и предельно допустимых концентраций веществ первого и второго класса опасности ( $\Sigma C_{1,2}/\text{ПДК}$ ) была больше единицы в подземных водных объектах в пунктах: Боровиха (1), Хабазино (2), Маслянино (3), Кузедеево (5), Мариинск (6), Чемал (7), Онгудай (8, 9, 15), Курай (11; в 1998 г.), Шебалино (13), Чибит (14), Турочак (12; в 1998 г.), Тальменка (17), Баюновские Ключи (18), Эстонка (19), в Обь-Томском междуречье (21).

Предположительно антропогенное влияние на химический состав подземных вод, связанное с поступлением нитратов с удобрениями, отмечено в 1998 г. в Тальменке и в 2019 г. в Чемале и Онгуде. Воздействие антропогенных факторов на уровень содержания прочих изученных веществ менее очевидно. Судя по распространенности месторождений полезных ископаемых и рудопроявлений [7, 9, 10, 24, 25] и приуроченности к ним соответствующих повышенных концентраций, более вероятно природное происхождение последних. Например, практически повсеместно высокое содержание железа в подземных водах рассматриваемой территории в целом совпадает с месторождениями черных металлов (Fe – Таштагольское, Тейское, Казское, Анзасское, прилегающие территории к Бакчарскому рудопроявлению; Ti – Туганское; Mn – Усинское) и, согласно [5, 25, 26], связано как с относительным концентрированием за счет выноса других элементов, так и с поступлением соединений железа из водовмещающих пород. С выносом из водовмещающих пород (Салаирская и Урская группы месторождений Cu, Zn, Pb, Au, барита [24]), видимо, можно связать и выявленные в ряде случаев высокие концентрации Pb и Ba.

Также следует отметить, что в эксплуатационных скважинах Томского водозабора, сел Турочак и Курай и в 1998 г., и в 2019 г. наблюдались сопоставимые (с учетом погрешностей определения) концентрации Fe и примерно одинаковые тенденции их изменения ( $\text{мг/дм}^3$ : 2,70/2,47; 0,100/0,056; 0,080/0,059, соответственно). С учетом удаленности скважин, приуроченности их к разным отложениям и отбором проб в 1998 и 2019 гг. в разные фазы водного режима можно предположить, что этот факт, особенно однотипное изменение за многолетний период в трех скважинах,

объясняется влиянием условий водной миграции на уровень содержания Fe. В частности, в 2019 г. пробы, хотя и отобраны в весенний период, но (вследствие инерционности гидрогеохимических процессов) характеризуют переход от зимней межени к весеннему половодью. В 1998 г. пробы отобраны в конце летнего периода, когда инфильтрация ультрапресных атмосферных осадков и вынос из почвенного покрова органических веществ и их соединений с металлами уже сказывается на химическом составе подземных вод. В результате минерализация вод (как правило, обратно пропорциональная интенсивности водообмена) из скважин в селах Курай и Турочак в 1998 г. была несколько ниже, чем в 2019 г., а величина ПО, концентрации Fe, Co, Pb и ряда других элементов – выше.

Ряд микроэлементов (и в 1998 г., и в 2019 гг.) находится в подземных водах в количестве меньше допустимого, но, тем не менее, повышенные содержания этих элементов локализуются по территории достаточно неравномерно. Например, несколько повышенные концентрации редкоземельных элементов (РЗЭ) выявлены на участках аккумуляции продуктов денудации на границе ЗСАБ и АСГСО в районе Барнаула и Томска (табл. 1, 2). В то же время концентрации Au, Ag и Hg, несмотря на многочисленные рудопоявления, весьма незначительны, что объясняется их незначительной миграционной способностью [5, 27–30].

В целом же, с учетом результатов корреляционного анализа данных за 2019 г., прослеживается определенная тенденция концентрирования в подземных водах региона парагенетических ассоциаций химических элементов, сопряженных с рудопоявлениями [9, 10, 24]: а) титаномангнетитовыми магматическими – коэффициенты корреляции:  $r(\text{Fe}, \text{Ti})=0,92\pm 0,05$ ; б) алюминиевыми и железистых латеритов коры выветривания:  $r(\text{Fe}, \text{Al})=0,94\pm 0,04$ ;  $r(\text{Fe}, \text{Co})=0,76\pm 0,13$ ;  $r(\text{Fe}, \text{Ni})=0,90\pm 0,06$ ; в) свинцово-цинковыми и золото-сульфидными постмагматическими (связанными с кислыми интрузиями):  $r(\text{Zn}, \text{Pb})=0,97\pm 0,02$ ;  $r(\text{Pb}, \text{Bi})=0,92\pm 0,05$ ;  $r(\text{Zn}, \text{Bi})=0,87\pm 0,07$ ;  $r(\text{Au}, \text{As})=0,48\pm 0,23$ ;  $r(\text{Fe}, \text{Bi})=0,60\pm 0,19$ ;  $r(\text{Fe}, \text{Cu})=0,55\pm 0,21$ .

Кроме того, отмечены (также по данным за 2019 г.) статистически значимые коэффициенты корреляции между концентрациями РЗЭ, с одной стороны, и с другой стороны – Th, Fe (более 0,80–0,90) [31] и Р (более 0,70), что указывает на формирование россыпей на участках палеозойского обрамления ЗСАБ (например, Туганское циркон-ильменитовое месторождение с включениями монацита [25]). В случае Fe эти связи могут быть использованы и в процессе водоподготовки, поскольку сорбция многих микроэлементов на частицах гидроксидов  $\text{Fe}^{3+}$  (в процессе обезжелезивания) потенциально позволяет достичь снижения величины  $\Sigma\text{C}_{1-2}/\text{ПДК}$  до требуемых значений (до единицы).

Таблица 1. Химический состав подземных вод в бассейне Верхней Оби по результатам отбора проб в 2019 г.

Table 1. Chemical composition of groundwater in the Upper Ob basin according to the results of sampling in 2019

Показатель Indicator	Номер пункта пробоотбора на рисунке/Sampling point number in figure													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	21
Пункт/Point	Боровиха Borovikha	Хабазино Khabazino	Маслянино Maslyanino	Болотное Bolotnoe	Куздеево Kuzdeevo	Маринск Martinsk	Чемал Chemal	Онгудай Onguday		Курай Kuray		Турочак Turochak	Шебалино Shebalino	Томский водозабор Tomsk water intake
Место отбора пробы Place of sampling	скв.(н) well (ob)	скв.(н) well (ob)	скв.(э) well (op)	скв.(н) well (ob)	скв.(н) well (ob)	скв.(э) well (op)	скв.(э) well (op)	Родник Spring	скв.(э) well (op)	Родник Spring	скв.(э) well (op)	скв.(э) well (op)	Родник Spring	скв. 66 (э) well 66 (op)
Возраст отложений Age of deposits	aQ <sub>III</sub>	aQ <sub>E</sub>	D <sub>3</sub> -C <sub>1</sub>	saQ <sub>I-II</sub>	D <sub>3f</sub>	K <sub>1-2</sub>	Є <sub>2</sub> -O <sub>1</sub>	D <sub>1-2</sub> , Q-O <sub>1-2</sub>	D <sub>1-2</sub>	Q <sub>III</sub>	R <sub>3</sub> -V+Q	Q <sub>III</sub>	Є <sub>1</sub>	Р
Структура Structure	II	II	I	II	I	II	I	I	I	I	I	I	I	II
Дата отбора Date of sampling	23.04	23.04	23.04	23.04	06.05	09.05	24.05	27.05	27.05	30.05	31.05	22.05	01.06	02.03
Широта, ° Latitude	53,50	52,73	54,33	55,67	53,34	56,20	51,43	50,76	50,74	50,24	50,21	52,26	51,30	–
Долгота, ° Longitude	83,84	83,38	84,21	84,41	87,23	87,76	85,99	86,12	86,14	87,93	87,94	87,13	85,69	–
pH, ед. pH Unit pH	8,36	8,11	7,66	8,11	7,93	7,30	7,77	7,71	7,67	8,08	8,28	7,78	7,78	7,57
ПО, мг О/дм <sup>3</sup> PO, mg O/dm <sup>3</sup>	1,50	3,70	0,45	2,20	1,10	0,18	3,00	0,66	2,60	0,40	0,28	0,50	0,36	1,26
	мг/дм <sup>3</sup> /mg/dm <sup>3</sup>													
$\Sigma_{\text{гп}}$	500,1	656,8	482,1	177,6	271,4	249,7	464,3	324,8	1339,7	232,0	266,5	177,9	367,1	521,08
P	0,088	0,041	0,018	0,002	0,018	0,080	0,013	0,010	0,019	0,013	0,013	0,010	0,010	0,72
Si	2,09	0,87	5,92	0,30	1,67	7,18	4,82	5,42	5,68	3,73	4,11	3,79	6,19	10,39
Fe	5,796	2,317	0,790	0,643	2,039	1,480	0,115	0,066	0,315	0,040	0,059	0,056	0,088	2,47
	мкг/дм <sup>3</sup> /mkг/dm <sup>3</sup>													
Li	3,60	10,38	4,63	4,54	9,31	1,30	3,20	2,70	12,80	4,70	1,70	0,80	18,00	1,2
Be	0,009	0,008	0,002	0,006	0,005	0,002	0,005	0,014	0,007	0,005	0,005	0,007	0,005	0,035
B	63,5	136,3	63,7	40,7	32,3	16,0	159,0	27,0	287,0	19,0	24,0	11,0	30,0	75,0
Al	176,4	69,4	7,9	4,3	6,2	10,0	6,3	0,6	0,1	1,1	6,0	1,7	0,8	1,5

Показатель Indicator	Номер пункта пробоотбора на рисунке/Sampling point number in figure													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	21
Sc	8,19	0,18	0,76	0,11	0,33	0,88	0,78	0,73	0,76	0,45	0,50	0,48	0,77	0,66
Ti	8,19	3,17	0,84	0,14	0,43	0,70	0,50	0,49	0,82	0,35	1,14	0,46	0,54	0,68
V	0,57	0,45	0,13	0,04	0,02	0,04	0,60	0,52	1,23	0,29	0,58	0,59	0,38	0,032
Cr	3,05	8,17	2,91	0,97	2,00	2,10	2,87	1,29	3,17	2,60	3,62	1,02	1,68	1,6
Mn	323,0	405,7	27,5	80,6	272,7	40,0	0,6	0,4	2,7	0,1	1,2	0,1	0,1	280,0
Co	1,06	1,40	0,19	0,28	0,97	0,00	0,11	0,08	0,23	0,04	0,06	0,06	0,06	0,032
Ni	8,30	6,34	1,16	1,08	1,97	0,04	0,35	0,04	0,31	0,10	1,21	0,66	0,02	<0,05
Cu	6,01	10,89	0,47	1,69	5,83	0,03	1,80	0,58	3,09	0,04	0,24	5,83	0,02	<0,05
Zn	10,80	160,06	3,21	3,45	2,09	0,51	51,90	0,68	0,94	0,05	0,68	3,51	0,01	0,51
Ga	0,104	0,057	0,004	0,004	0,008	0,030	0,001	0,005	0,007	0,003	0,002	0,002	0,003	0,0084
Ge	0,087	0,158	0,005	0,008	0,009	0,018	0,013	0,001	0,001	0,005	0,001	0,001	0,005	<0,001
As	0,72	0,50	0,47	0,08	0,23	0,06	1,40	0,50	0,95	0,64	0,62	0,50	0,32	0,054
Se	0,17	1,85	2,36	0,47	0,14	0,21	0,53	0,34	7,39	0,17	0,45	0,50	0,17	1,1
Br	25,7	525,7	15,8	57,5	17,4	19,0	50,0	24,5	369,7	9,1	10,7	6,5	17,3	34,0
Rb	1,09	5,32	0,51	0,42	1,13	4,70	1,10	0,30	1,20	0,60	0,40	0,50	0,40	2,1
Sr	227,6	498,3	454,5	75,5	289,2	150,0	630,0	173,0	1147,0	187,0	200,0	75,0	206,0	510,0
Y	0,3783	0,1834	0,0588	0,0083	0,0178	0,0110	0,0270	0,0480	0,0680	0,0080	0,0056	0,0106	0,0479	0,03
Zr	0,1579	0,1476	0,0392	0,0141	0,0156	0,0060	0,0140	0,0060	0,0090	0,0025	0,0010	0,0047	0,0099	0,022
Nb	0,0203	0,0059	0,0025	0,0003	0,0025	0,0025	0,0130	0,0080	0,0040	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	<0,005
Mo	0,496	0,219	0,798	0,794	1,435	0,207	1,000	1,934	1,294	0,816	0,870	0,100	2,720	0,025
Ru	0,0025	0,0025	0,0012	0,0009	0,0006	0,0025	0,0030	0,0026	0,0003	0,0010	0,0007	0,0025	0,0025	<0,005
Rh	0,0032	0,0135	0,0105	0,0017	0,0069	0,0033	0,0160	0,0032	0,0229	0,0038	0,0050	0,0030	0,0030	0,0047
Pd	0,0028	0,0065	0,0030	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0058	0,0035	0,0033	0,0012	0,0006	<0,005
Ag	0,0056	0,0006	0,4279	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	<0,005
Cd	0,0189	0,1841	0,0111	0,0081	0,2237	0,0019	0,0197	0,0080	0,0010	0,0005	0,0040	0,0110	0,0005	<1,0
In	0,0018	0,0010	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	<0,001
Sn	0,0535	0,8603	0,0781	0,0376	0,0175	0,0019	0,0266	0,0277	0,0025	0,0023	0,0057	0,0036	0,0010	0,0065
Sb	0,0434	0,3251	0,0385	0,0301	0,0131	0,0005	0,0800	0,0520	0,0500	0,0810	0,0880	0,0120	0,5210	0,0029
Te	0,0033	0,0117	0,0037	0,0172	0,0070	0,0000	0,0025	0,0012	0,0248	0,0067	0,0025	0,0025	0,0025	0,016
I	4,4	22,9	20,1	2,9	22,6	50,0	7,2	6,8	62,7	2,3	2,0	1,2	6,5	0,74
Cs	0,0330	0,0166	0,0443	0,0010	0,1379	0,0060	0,0800	0,2940	0,8050	0,0460	0,0010	0,0010	0,0240	0,011
Ba	27,4	31,3	23,1	6,7	70,7	63,0	47,0	4,9	4,2	21,3	12,6	24,1	25,9	18,0
Lu	0,0056	0,0018	0,0001	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0007	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	<0,0005
Hf	0,0137	0,0098	0,0056	0,0049	0,0018	0,0021	0,0040	0,0008	0,0012	0,0021	0,0030	0,0009	0,0043	<0,0005
Ta	0,0129	0,0059	0,0136	0,0117	0,0153	0,0050	0,0080	0,0040	0,0052	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	<0,01
W	0,0756	0,2178	0,0103	0,0233	0,0229	0,0050	0,0100	0,0043	0,0076	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	<0,01
Re	0,0021	0,0032	0,0059	0,0032	0,0039	0,0005	0,0230	0,0023	0,0191	0,0007	0,0016	0,0005	0,0005	<0,001
Os	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0020	0,0015	0,0012	0,0004	0,0005	0,0005	0,0020	<0,0005
Ir	0,0001	0,0008	0,0002	0,0001	0,0002	0,0025	0,0001	0,0001	0,0025	0,0012	0,0012	0,0003	0,0007	<0,005
Pt	0,0025	0,0007	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0007	<0,005
Au	0,0025	0,0044	0,0002	0,0011	0,0025	0,0028	0,0038	0,0025	0,0105	0,0020	0,0025	0,0033	0,0011	<0,005
Hg	0,0132	0,0140	0,0250	0,0250	0,0397	0,0280	0,0345	0,0126	0,0090	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,008
Tl	0,0018	0,0091	0,0033	0,0043	0,0014	0,0018	0,0070	0,0040	0,0050	0,0040	0,0010	0,0020	0,0005	<0,001
Pb	1,37	16,45	0,13	0,16	0,27	0,01	1,49	0,01	0,02	0,01	0,15	1,92	0,01	<0,02
Bi	0,0035	0,0060	0,0015	0,0012	0,0015	0,0015	0,0015	0,0010	0,0010	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	<0,003
La	0,4883	0,2162	0,0272	0,0087	0,0145	0,0122	0,0043	0,0062	0,0059	0,0003	0,0024	0,0003	0,0029	0,0029
Ce	0,8585	0,4647	0,0479	0,0088	0,0290	0,0293	0,0031	0,0041	0,0003	0,0003	0,0073	0,0003	0,0003	0,0017
Pr	0,1272	0,0507	0,0072	0,0020	0,0030	0,0036	0,0017	0,0004	0,0013	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	<0,0005
Nd	0,5210	0,2083	0,0293	0,0095	0,0164	0,0084	0,0076	0,0072	0,0059	0,0003	0,0040	0,0011	0,0051	<0,0005
Sm	0,1078	0,0413	0,0127	0,0040	0,0039	0,0010	0,0009	0,0028	0,0017	0,0003	0,0003	0,0003	0,0001	<0,0005
Eu	0,0316	0,0158	0,0064	0,0017	0,0140	0,0122	0,0100	0,0014	0,0019	0,0013	0,0003	0,0003	0,0046	0,016
Gd	0,1118	0,0158	0,0059	0,0008	0,0026	0,0016	0,0027	0,0015	0,0033	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0011
Tb	0,0169	0,0049	0,0007	0,0003	0,0001	0,0002	0,0005	0,0002	0,0008	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	<0,0005
Dy	0,0814	0,0316	0,0037	0,0012	0,0023	0,0005	0,0026	0,0020	0,0059	0,0003	0,0003	0,0010	0,0030	0,0013
Ho	0,0155	0,0064	0,0014	0,0003	0,0006	0,0003	0,0010	0,0007	0,0017	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	<0,0005
Er	0,0385	0,0138	0,0035	0,0003	0,0008	0,0004	0,0010	0,0003	0,0032	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0019
Tm	0,0051	0,0022	0,0006	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0010	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	<0,0005
Yb	0,0252	0,0125	0,0012	0,0003	0,0009	0,0003	0,0010	0,0024	0,0021	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0021
Th	0,0795	0,0063	0,0025	0,0003	0,0037	0,0021	0,0100	0,0080	0,0088	0,0025	0,0025	0,0025	0,0020	<0,005
U	0,0853	0,0186	2,8755	0,0056	0,0585	0,0004	5,549	2,018	20,159	0,3150	0,3150	0,0610	1,5240	<0,001
ΣC <sub>1-2</sub> /ПДК ΣC <sub>1-2</sub> /МРС	1,75	6,73	1,77	0,93	1,53	1,81	2,12	1,23	5,98	0,95	0,97	0,99	1,81	1,99

Примечание: скв. (н) и скв. (э) – скважины наблюдательная и эксплуатационная; I – Алтай-Саянская гидрогеологическая складчатая область; II – Западно-Сибирский артезианский бассейн; ПО – перманганатная окисляемость; Σ<sub>су</sub> – сумма главных ионов; ΣC<sub>1-2</sub>/ПДК – сумма соотношений фактических и предельно допустимых концентраций веществ первого и второго класса опасности; прочерк («-») – отсутствие данных.

Note: well (ob) and well (op) – wells observational and operational; I – Altai-Sayansk hydrogeological folded region; II – West Siberian artesian basin; PO – permanganate oxidizability; Σ<sub>su</sub> – sum of the main ions; ΣC<sub>1-2</sub>/MPC – sum of ratios actual and maximum permitted concentration of substances of the first and second hazard class; the crossed out section («-») – lack of data.

**Таблица 2.** Химический состав подземных вод в бассейне Верхней Оби по результатам отбора проб в 1998 г.

**Table 2.** Chemical composition of groundwater in the Upper Ob basin according to the results of sampling in 1998

Показатель Indicator	Номер пункта пробоотбора на рисунке/Sampling point number in figure									
	11	14	15	16	12	17	18	19	20	21
Пункт Point	Курай Kuray	Чибит Chibit	Онгудай Ongudai	Муны Muny	Турочак Turochak	Тальменка Talmenka	Баюновские Ключи Bayunovskie Klyuchi	Эстонка Estonka	Томск Tomsk	Томский водозабор Tomsk water intake
Место отбора пробы Place of sampling	скв. (э) well (op)	родник spring	скв. (э) well (op)	скв. (э) well (op)	родник spring	скв. 56 (э) well (op)				
Возраст отложений Age of deposits	R <sub>3</sub> -V+Q	C <sub>2</sub> -O	Q+D <sub>1-2</sub>	Q	Q <sub>III</sub>	Q	aQ <sub>III</sub>	Q+P	C	P
Структура Structure	I	I	I	I	I	II	II	II	I	II
Широта/Latitude, °	50,21	50,30	50,73	50,73	52,26	51,82	53,15	55,54	56,47	–
Долгота/Longitude, °	87,94	87,52	86,12	85,75	87,13	83,57	83,50	83,80	85,04	–
Дата отбора Date of sampling	14.08	14.08	15.08	15.08	17.08	17.08	17.08	10.08	31.03	24.03
pH, ед. pH/Unit pH	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	6,80	7,40	6,80	7,00	7,20
ПО, мг О/дм <sup>3</sup> PO, mg O/dm <sup>3</sup>	0,60	1,80	2,20	0,20	0,62	2,27	0,72	9,58	0,21	0,82
мг/дм <sup>3</sup> /mg/dm <sup>3</sup>										
Σ <sub>гн</sub>	223,1	215,7	303,5	161,2	105,7	1206,0	371,3	535,4	309,6	572,5
Si	5,160	3,600	6,700	3,480	4,200	–	6,700	6,180	–	–
Fe	0,080	0,060	0,300	0,050	0,100	0,200	6,000	0,960	0,300	2,700
мкг/дм <sup>3</sup> /mkг/dm <sup>3</sup>										
Li	6,0	6,0	12,0	4,5	4,0	49,0	14,0	20,0	10,0	12,0
Cr	5,9	4,8	5,1	5,0	4,4	4,5	4,8	5,6	5,1	11,7
Co	0,22	0,25	0,28	0,27	0,18	0,47	0,19	0,24	0,22	0,36
Cu	0,8	0,4	1,2	1,0	1,5	2,0	<0,1	2,0	1,0	1,2
Zn	2,500	5,300	1,700	3,200	3,500	1,100	3,000	28,000	2,800	5,000
As	0,17	<0,10	0,14	0,46	1,69	<0,10	6,36	4,76	–	–
Br	0,1	3,9	1,2	2,7	1,1	59,8	8,7	14,6	10,3	28,2
Rb	<0,4	<0,4	3,0	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	6,0	<0,4	8,0
Sr	200	400	600	100	114	2500	500	1100	544	896
Ag	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,24	0,34	0,26	0,91	<0,01	0,26
Cd	<0,05	0,08	<0,05	0,100	0,100	0,060	0,080	0,100	0,070	0,100
Sb	0,21	0,23	<0,03	0,15	<0,03	0,19	<0,03	0,15	0,15	0,26
Cs	0,10	0,09	0,09	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ba	51,0	100,0	34,0	36,0	27,0	1941,0	79,0	489,0	48,0	–
Lu	<0,01	0,020	<0,01	0,020	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	–
Au	0,008	0,006	0,010	0,009	0,004	<0,002	0,008	0,017	0,067	0,067
Hg	0,033	0,060	0,090	0,070	0,030	0,150	0,040	<0,010	<0,010	<0,010
Pb	0,1	0,7	0,3	0,2	1,2	0,5	<0,1	1,0	0,1	0,7
Bi	–	0,003	0,001	0,002	0,004	0,013	0,003	0,007	–	0,500
La	0,150	0,190	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,150	0,290	<0,01
Ce	0,68	1,10	2,40	0,41	0,44	<0,06	0,36	0,94	<0,06	<0,06
Sm	0,10	0,15	0,19	0,06	0,03	0,24	0,070	0,090	0,12	0,18
U	0,17	0,82	1,20	0,29	0,14	0,49	<0,10	0,82	0,86	<0,10
ΣC <sub>1-2</sub> /ПДК ΣC <sub>1-2</sub> /MPC	1,01	1,13	1,58	0,94	1,09	5,92	2,21	3,09	0,71	1,05

Примечание: условные обозначения к табл. 1; в таблице не приведены данные о Se, Hf, Ta, Eu, Tb, Yb, Th, концентрации которых были меньше предела обнаружения.

Note: legends to table 1; data on Se, Hf, Ta, Eu, Tb, Yb, Th which concentration were less than limit of detection are not provided in the table.

### Заключение

Пресные подземные воды, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения в бассейне Верхней Оби, как правило, содержат значительное количество железа. Уровень содержания большинства изученных микроэлементов в подавляющем числе случаев меньше установленных в Российской Федерации нормативов качества. Однако, судя по показателю ΣC<sub>1-2</sub>/ПДК (табл. 1, 2), возможно их аддитивное токсичное воздействие на организм человека при

употреблении подземных вод без соответствующей водоподготовки на большей части рассматриваемой территории как по состоянию на 1998 г., так и в 2019 г. (табл. 1, 2).

Наиболее высокие значения ΣC<sub>1-2</sub>/ПДК (более 5; табл. 1, 2) отмечены для подземных вод в селах Хабазино (2), Онгудай (9) и Тальменка (17) на территориях Алтайского края и Республики Алтай. С учетом установленных рудопроявлений [9, 10, 24, 25] и характера концентрирования в подземных водах регио-

на парагенетических ассоциаций химических элементов можно предположить существенный вклад природных факторов в формирование наблюдаемого

уровня содержания многих микроэлементов, в частности повышенные концентрации U и Hg в бассейне Катуня.

**Таблица 3.** Средние арифметические значения (A) концентраций главных ионов и погрешности их определения ( $\delta_A$ ) в подземных водах отложений разного возраста в бассейне Верхней Оби

**Table 3.** Arithmetic mean values (A) of the concentrations of the main ions and the errors of their determination ( $\delta_A$ ) in groundwater of sediments of different ages in the Upper Ob basin

Возраст Age	Показатель Indicator	$\Sigma_{гн}$	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Fe	Cu	Zn	Pb	Hg
		мг/дм <sup>3</sup> /mg/dm <sup>3</sup>								мкг/дм <sup>3</sup> /mkg/dm <sup>3</sup>			
Q	A	371,3	59,1	19,4	22,3	247,4	13,7	20,9	1,666	2,4	20,6	1,9	0,167
	$\delta_A$	37,7	6,7	4,9	5,0	23,0	3,5	7,0	0,384	0,5	6,9	0,6	0,049
N	A	622,0	67,1	27,0	55,8	327,0	17,3	97,0	–	–	–	–	–
	$\delta_A$	131,3	14,3	7,8	28,1	43,4	7,0	53,6	–	–	–	–	–
P	A	555,4	79,4	20,8	32,8	365,9	19,5	38,3	0,830	1,0	7,8	0,7	0,059
	$\delta_A$	46,4	9,6	2,9	11,0	25,1	5,2	16,9	0,297	0,1	2,7	0,2	0,029
K	A	410,7	58,0	8,1	42,0	301,3	5,7	7,2	–	–	–	–	–
	$\delta_A$	49,8	13,1	1,6	5,9	31,4	1,7	2,2	–	–	–	–	–
J	A	494,1	65,6	19,6	28,9	350,9	4,6	9,1	–	–	–	–	–
	$\delta_A$	28,0	10,0	2,9	12,6	28,1	1,1	6,4	–	–	–	–	–
C+P	A	383,3	47,9	9,9	25,0	287,1	5,6	7,7	1,084	3,0	13,5	1,3	0,111
	$\delta_A$	32,9	6,4	1,0	4,7	25,2	1,0	1,8	0,300	0,7	2,8	0,2	0,051
C	A	477,7	77,7	20,2	11,0	350,8	3,7	10,2	0,293	0,7	2,4	0,2	0,248
	$\delta_A$	38,9	5,4	4,4	2,4	26,5	0,7	2,6	0,108	0,1	0,3	0,1	0,132
D	A	398,0	64,9	15,7	28,0	242,1	15,1	64,4	0,588	2,1	1,1	0,1	0,035
	$\delta_A$	94,4	12,5	4,1	10,8	38,9	7,6	37,9	0,230	1,1	0,4	0,1	0,015
E	A	330,8	52,1	13,1	8,5	235,6	2,5	18,8	0,114	2,7	11,2	0,7	0,095
	$\delta_A$	9,6	2,0	0,7	0,8	5,2	0,6	2,6	0,049	1,2	2,6	0,1	0,031
PR	A	341,1	54,4	13,5	10,5	243,9	7,1	11,5	0,064	–	–	–	0,024
	$\delta_A$	17,4	4,7	1,2	1,4	14,7	2,2	2,3	0,014	–	–	–	0,006
в целом the whole	A	386,9	58,1	15,4	19,2	269,0	7,8	22,3	0,655	2,4	12,7	1,2	0,103
	$\delta_A$	12,5	2,1	1,1	1,9	7,2	1,0	3,4	0,099	0,4	2,1	0,2	0,020

С учетом статистически значимой (прямой) корреляционной связи между концентрациями Fe и микроэлементами целесообразно на всех водозаборах, независимо от содержания железа по результатам изысканий и мониторинга, осуществлять комплекс мероприятий по их снижению, что

с большой вероятностью приведет и к уменьшению значений аддитивного показателя  $\Sigma C_{1-2}$ /ПДК.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-55-80015.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрогеология СССР. Т. 16. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области) / под ред. В.А. Нуднера. – М.: Недра, 1970. – 368 с.
2. Гидрогеология СССР. Т. 17. Кемеровская область и Алтайский край. – М.: Недра, 1972. – 398 с.
3. Hydrogeological Conditions Changes of Tomsk / V.D. Pokrovsky, E.M. Dutova, K.I. Kuzevanov, D.S. Pokrovsky, N.G. Nalivaiko // Russia IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2015. – V. 27 (1). – Number of paper 012031.
4. Химический и микробиологический состав подземных вод децентрализованного водоснабжения южных и центральных районов Томской области / О.Е. Лепокурова, И.С. Иванова, С.Л. Шварцев, Ю.В. Колубаева, Н.Г. Наливайко // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 5. – С. 29–41.
5. Shvartsev S.L. Geochemistry of fresh Groundwater in the Main Landscape Zones of the Earth // Geochemistry International. – 2008. – V. 46. – № 13. – P. 1285–1398.
6. Редкоземельные элементы в подземных водах Томского водозабора / В.К. Попов, Е.Ю. Пасечник, П.И. Проценко, О.Ю. Гончаров // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 6. – С. 97–105.
7. Состояние геологической среды (недр) на территории Сибирского федерального округа в 2017 г. Информационный бюллетень. – Томск: Филиал «Сибирский региональный центр ГМОН», ФГБУ «Гидроспецгеология», 2018. – Вып. 14. – 178 с.
8. Geochemical groundwater peculiarities of paleogene sediments in the Western Siberia artesian basin / A.A. Balobanenko, V. Lgotin,

- E.M. Dutova, A.N. Nikitenkov, I.V. Raduk, D.S. Pokrovsky // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016.
9. Катунь: экогеохимия ртуть / под ред. Н.А. Рослякова, А.Н. Дмитриева. – Новосибирск: СО РАН, 1992. – 180 с.
10. Экогеохимия Западной Сибири. Тяжелые металлы и радионуклиды / под ред. Г.В. Полякова. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГиМ, 1996. – 248 с.
11. Appelo C.A.J., Postma D. Geochemistry, groundwater and pollution, 2nd edition. – London: CRC press, Balkema, 2004. – 683 p.
12. Loucks D.P., Van Beek E. Water resources systems planning and management. An Introduction to Methods, Models and Applications. – Turin: UNESCO Publ., 2005. – 679 p.
13. Подземные воды мира: ресурсы, использование, прогнозы / под ред. И.С. Зекцера. – М.: Наука, 2007. – 438 с.
14. Weight W.D. Hydrogeology field manual. 2<sup>nd</sup> ed. – USA: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2008. – 751 p.
15. Knox R.C., Sabatini D.A., Canter L.W. Subsurface transport and fate processes. – USA, Boca Raton, FL: Lewis Publ., 2018. – 430 p.
16. Surface and groundwater, weathering, and soils, treatise on geochemistry / Ed. by J.I. Drever. – Pergamon: Elsevier, 2005. – V. 5. – 644 p.
17. Identification of indicators of groundwater quality formation process using a zoning model / X. Jing, H. Yang, Y. Cao, W. Wang // Journal of Hydrology. – 2014. – V. 514. – P. 30–40.
18. Data for factor analysis of hydro-geochemical characteristics of groundwater resources in Iranshahr / H. Biglari, M. Saeidi, K. Karimyan, M.R. Narooie, H. Sharafi // Data in Brief. – 2018. – V. 19 – P. 548–563.

19. Шварцев С.Л., Колмаков Ю.С., Савичев О.Г. Базовые пункты гидрогеохимических наблюдений в бассейне Верхней Оби в 1998 году // Обской вестник. – 2001. – № 1. – С. 2–5.
20. Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга подземных вод на мелких групповых водозаборах и одиночных эксплуатационных скважинах. – М.: Госцентр «Геомониторинг», 2000. – 31 с.
21. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1:200 000 / отв. ред. Э.К. Буренков. – М.: ИМГРЭ, 2002. – 92 с.
22. Manual on stream gauging. V. I. Fieldwork. WMO. No. 1044. – Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2010. – 252 p.
23. ГОСТ Р 56060-2014. Производственный экологический мониторинг. Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов. – М.: Стандартинформ, 2015. – 5 с.
24. Недра России. Т. 1. Полезные ископаемые / под ред. Н.В. Межеловского, А.А. Смылова. – СПб.; М.: Горн. ин-т, Межрегион. центр по геол. картографии, 2001. – 547 с.
25. Циркон-ильменитовые россыпные месторождения как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона / под ред. Е.Н. Трибунского, М.С. Паровинчака. – Кемерово: ООО «Сарс», 2001. – 214 с.
26. Железосодержащие подземные воды верхней гидрогеодинамической зоны центральной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / И.С. Иванова, О.Е. Лепокурова, О.С. Покровский, С.Л. Шварцев // Водные ресурсы. – 2014. – Т. 41. – № 2. – Р. 164–179.
27. Савенко В.С. Полуэмпирическая математическая модель вторичного загрязнения водоемов растворенными формами железа и марганца // Водные ресурсы. – 2016. – Т. 43. – № 6. – С. 608–619.
28. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / отв. ред. Н.П. Лавёров. – М.: Наука, 2004. – 677 с.
29. Савенко А.В. Комплексообразовательно-осадительные геохимические барьеры // Доклады Академии наук. – 2017. – Т. 472. – № 5. – С. 572–575.
30. Lepokurova O. Chemical elements migration in water-travertin system (Tomsk region, Russia) // E3S Web of Conferences. XVI International Symposium on Water-Rock Interaction (WRI-16) and XIII International Symposium on Applied Isotope Geochemistry (1st IAGC International Conference). – Tomsk, 2019. – V. 98. – Article number 07014.
31. Geochemistry of the rare earth elements in the sparkling groundwaters of the Caucasus ridge, Russia / E. Chirkova, E. Baranovskaya, N. Kharitonova, V. Lavrushin, G. Chelnokov, I. Bragin // E3S Web of Conferences. XVI International Symposium on Water-Rock Interaction (WRI-16) and XIII International Symposium on Applied Isotope Geochemistry (1st IAGC International Conference). – Tomsk, 2019. – V. 98. – Article number 01009.

Поступила 14.11.2019 г.

#### Информация об авторах

**Пасечник Е.Ю.**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Гусева Н.В.**, доктор геолого-минералогических наук, заведующая кафедрой – руководитель отделения геологии на правах кафедры Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Савичев О.Г.**, доктор географических наук, профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Льготин В.А.**, кандидат геолого-минералогических наук, директор филиала «Сибирский региональный центр Государственного мониторинга состояния недр» Федерального государственного бюджетного учреждения «Гидроспецгеология».

**Балобаненко А.А.**, кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела государственного мониторинга за участками загрязнения подземных вод филиала «Сибирский региональный центр Государственного мониторинга состояния недр» Федерального государственного бюджетного учреждения «Гидроспецгеология».

**Домаренко В.А.**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Владимирова О.Н.**, аспирант отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 556.314.6(282.256.1)

## TRACE ELEMENTS COMPOSITION OF UNDERGROUND WATERS OF THE UPPER HYDROGEOLOGICAL ZONE IN THE BASIN OF UPPER OB AS A FACTOR OF FORMATION OF THEIR ECOLOGICAL-GEOCHEMICAL CONDITION

**Elena Yu. Pasechnik<sup>1</sup>,**  
paseyu@yandex.ru

**Natalya V. Guseva<sup>1</sup>,**  
guseva24@yandex.ru

**Oleg G. Savichev<sup>1</sup>,**  
OSavichev@mail.ru

**Victor A. Lgotin<sup>2</sup>,**  
tgm@tgm.ru

**Andrey A. Balobanenko<sup>2</sup>,**  
baa@sfo.geomonitoring.ru

**Victor A. Domarenko<sup>1</sup>,**  
domarenkova@tpu.ru

**Olga N. Vladimirova<sup>1</sup>,**  
olechka-555-94@mail.ru

<sup>1</sup> National Research Tomsk Polytechnic University,  
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

<sup>2</sup> Hydrospeitsgeologiya, branch of the Siberian Regional Center of the GMNS,  
99, Nikitin street, Tomsk, 634061, Russia.

**The relevance** of the research is defined by the need of accounting the fullest information on chemical composition of underground waters by their preparation for economic and drinking use. Earlier there were the data for the basin of Upper Ob mainly on macrocomponent structure, permanganate oxidizability, biogenic elements and content of limited quantity of minerals. This did not allow estimating the objective potential impact of regional factors with the toxicological and sanitary and toxicological limiting signs of influence.

**The main aim** of the research consists in assessment of microelement composition of underground waters of the operated horizons of the top hydrogeological zone in the basin of Upper Ob (in the territory of the Altai-Sayansk hydrogeological folded region and areas of the West Siberian artesian basin adjoining it).

**Objects:** the underground waters used for drinking water supply in the basin of Upper Ob (the territory of Altai Republic, Altai Krai, the Novosibirsk, Kemerovo and Tomsk regions).

**Methods:** the modern methods of definition of chemical composition of underground waters, including: in 2019 – mass and spectrometer method with inductively bound plasma (ICP MS); in 1998 – neutron activation analysis; statistical methods.

**Results.** The authors have carried out the analysis of chemical composition of the underground waters used for economic and drinking water supply in the basin of Upper Ob. The received results allow expanding significantly the idea of microelement composition of underground waters of the considered territory. It is shown that the level of content of the majority of the studied minerals is less than standards of quality established in the Russian Federation. However the index of the additive influence (the sum of the relations of the actual and maximum-permissible concentration of substances of 1–2 hazard classes of  $\Sigma C_{1-2}/MPC$ ) is frequently more than a unit that indicates potential toxic impact on health when using underground waters without the corresponding water treatment. The highest  $\Sigma C_{1-2}/MPC$  values (more than 5) are noted for underground waters in Altai Krai and Altai Republic, in the villages of Habazino, Onguday and Talmenka (reservoirs of inflows of Ob – the rivers Aley, Katun and Chumysh, respectively). Taking into account the established ore occurrences and the nature of concentrating of paragenetic associations of chemical elements in underground waters of the region, the authors made the assumption of substantial contribution of natural factors in formation of observed level of maintenance of many minerals.

### Key words:

Trace element composition, groundwater, Upper Ob, the Altai-Sayan hydrogeological fold region, the West Siberian artesian basin.

The research was financially supported by the RFBR within the scientific project no. 18-55-80015.

### REFERENCES

1. *Gidrogeologiya SSSR* [Hydrogeology of the USSR]. T. 16. Zapadno-Sibirskaya ravnina (Tyumenskaya, Omskaya, Novosibirskaya i Tomskaya oblasti) [Vol. 16. The West Siberian Plain (Tyumen, Omsk, Novosibirsk and Tomsk regions)]. Ed. by V.A. Nudner. Moscow, Nedra Publ., 1970. 368 p.
2. *Gidrogeologiya SSSR* [Hydrogeology of the USSR]. T. 17. Kemerovskaya oblast i Altaysky kray. Vol. 17. Kemerovo region and Altai Territory. Moscow, Nedra Publ., 1972. 398 p.
3. Pokrovsky V.D., Dutova E.M., Kuzevanov K.I., Pokrovsky D.S., Nalivaiko N.G. Hydrogeological conditions changes of Tomsk. *Russia IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2015, vol. 27 (1), Number of paper 012031.
4. Lepokurova O.E., Ivanova I.S., Shvartsev S.L., Kolubaeva Y.V., Nalivaiko N.G. Chemical and microbiological composition of groundwaters of decentralized water supply of southern and central districts of Tomsk region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 5, pp. 29–41. In Rus.
5. Shvartsev S.L. Geochemistry of fresh groundwater in the main landscape zones of the Earth. *Geochemistry International*, 2008, vol. 46, Iss. 13, pp. 1285–1398.
6. Popov V.K., Pasechnik E.Yu., Protsenko P.I., Goncharov O.Yu. Rare earth element content in groundwater of Tomsk water intake. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2018, vol. 329, no. 6, pp. 97–105. In Rus.
7. *Sostoyaniye geologicheskoy sredy (nedr) na territorii Sibirskogo federalnogo okruga v 2017 g. Informatsionny byulleten* [Condition of geological environment (subsoil) in the territory of Siberian Federal District in 2017. News bulletin]. Tomsk, Filial «Sibirskiy regionalny tsentr GMSN», FGBU «Gidrospeitsgeologiya», 2018. Vol. 14, 178 p.

8. Balobanenko A.A., Lgotin V., Dutova E.M., Nikitenkov A.N., Raduk I.V., Pokrovsky D.S. Geochemical groundwater peculiarities of paleogene sediments in the Western Siberia artesian basin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016.
9. *Katun: ekogeokhimiya rtuti* [Katun: Hydrargyrum ecogeochemistry]. Ed. by N.A. Roslyakov, A.N. Dmitriyev. Novosibirsk, SO RAN Publ., 1992. 180 p.
10. *Ekogeokhimiya Zapadnoy Sibiri. Tyazhelye metally i radionuklidy* [Ecogeochemistry of Western Siberia. Heavy metals and radionuclides]. Ed. by G.V. Polyakov. Novosibirsk, SO RAN Publ., NITS OIGGiM Publ., 1996. 248 p.
11. Appelo C.A.J., Postma D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. 2<sup>nd</sup> ed. London, CRC Press, Balkema, 2004. 683 p.
12. Loucks D.P., Van Beek E. *Water resources systems planning and management. An Introduction to Methods, Models and Applications*. Turin, UNESCO Publ., 2005. 679 p.
13. *Podzemnye vody mira: resursy, ispolzovanie, prognozy* [Groundwater of the world: resources, use, forecasts]. under the editorship I.S. Zektser. Moscow, Nauka Publ., 2007. 438 p.
14. Weight W.D. *Hydrogeology Field Manual*. 2<sup>nd</sup> ed. USA, The McGraw-Hill Companies, Inc., 2008. 751 p.
15. Knox R.C., Sabatini D.A., Canter L.W. *Subsurface transport and fate processes*. USA, Boca Raton, FL, Lewis Publ., 2018. 430 p.
16. *Surface and groundwater, weathering, and soils, treatise on geochemistry*. Ed. by J.I. Drever. Pergamon, Elsevier, 2005. Vol. 5, 644 p.
17. Jing X., Yang H., Cao Y., Wang W. Identification of indicators of groundwater quality formation process using a zoning model. *Journal of Hydrology*, 2014, vol. 514, pp. 30–40.
18. Biglari H., Saeidi M., Karimyan K., Narooie M.R., Sharafi H. Data for factor analysis of hydro-geochemical characteristics of groundwater resources in Iranshahr. *Data in Brief*, 2018, vol. 19, pp. 548–563.
19. Shvartsev S.L., Kolmakov Yu.S., Savichev O.G. Basic points of hydrogeochemical observations in the basin of Upper Ob in 1998. *Obsskoy vestnik*, 2001, no. 1, pp. 2–5. In Rus.
20. *Metodicheskie rekomendatsii po organizatsii i vedeniyu monitoringa podzemnykh vod na melkikh gruppovykh vodozaborakh i odinochnykh ekspluatatsionnykh skvazhinakh* [Methodical recommendations on organization and conducting monitoring of underground waters on shallow group water intakes and single operational wells]. Moscow, Gostsentr «Geomonitring», 2000. 31 p.
21. *Trebovaniya k proizvodstvu i rezultatam mnogotselovogo geokhimicheskogo kartirovaniya masshtaba 1:200000* [Requirements to production and results of multi-purpose geochemical mapping of scale 1:200000]. Ed. by E.K. Burenkov. Moscow, IMGRE Publ., 2002. 92 p.
22. *Manual on Stream Gauging*. Vol. I. Fieldwork. WMO. No. 1044. Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization, 2010. 252 p.
23. GOST R 56060-2014. *Proizvodstvennyy ekologicheskiy monitoring. Monitoring sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy na territoriyakh obektov razmeshcheniya otkhodo*. [State Standard R 56060-2014. Industrial environmental monitoring. Monitoring of the state and pollution of the environment on the territories of waste disposal facilities]. Moscow, StandardInform Publ., 2015. 5 p.
24. *Nedra Rossii* [Bowels of Russia] Vol. 1. Minerals. Ed. by N.V. Mezhelovsky, A.A. Smyslov. St. Petersburg; Moscow, Mount. institute, Mezhtregion. center for geol. cartography, 2001. 547 p.
25. *Tsirkon-ilmenitovye rossypnye mestorozhdeniya kak potentsialnyy istochnik razvitiya Zapadno-Sibirskogo regiona* [Zircon-ilmenite loose fields as potential source of development of the West Siberian region]. Ed. by E.N. Tribunsky, M.S. Parovinchak. Kemerovo, OOO «Sars», 2001. 214 p.
26. Ivanova I.S., Lepokurova O.E., Pokrovskii O.S., Shvartsev S.L. Iron-containing groundwater in the upper hydrodynamic zone in the central part of West-Siberian artesian basin. *Water Resources*, 2014, vol. 41, Iss. 2, pp. 163–177.
27. Savenko V.S. A semiempirical mathematical model of the secondary pollution of water bodies by soluble iron and manganese forms. *Water Resources*, 2016, vol. 43, Iss. 6, pp. 862–872.
28. Kraynov S.R., Ryzhenko B.N., Shvets V.M. *Geokhimiya podzemnykh vod. Teoreticheskie, prikladnye i ekologicheskie aspekty* [Geochemistry of underground waters. Theoretical, applied and ecological aspects]. Ed. by N.P. Lavorov. Moscow, Nauka Publ., 2004. 677 p.
29. Savenko A.V. Complexing–precipitating geochemical barriers. *Doklady Earth Sciences*, 2017, vol. 472, Iss. 2, pp. 205–207.
30. Lepokurova O. Chemical elements migration in water-travertin system (Tomsk region, Russia). *E3S Web of Conferences. XVI International Symposium on Water-Rock Interaction (WRI-16) and XIII International Symposium on Applied Isotope Geochemistry (1<sup>st</sup> IAGC International Conference)*. Tomsk, 2019. Vol. 98, article number 07014.
31. Chirkova E., Baranovskaya E., Kharitonova N., Lavrushin V., Chelnokov G., Bragin I. Geochemistry of the rare earth elements in the sparkling groundwaters of the Caucasus ridge, Russia. *E3S Web of Conferences. XVI International Symposium on Water-Rock Interaction (WRI-16) and XIII International Symposium on Applied Isotope Geochemistry (1<sup>st</sup> IAGC International Conference)*. Tomsk, 2019. Vol. 98, article number 01009.

Received: 14 November 2019.

#### Information about the authors

**Elena Yu. Pasechnik**, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Natalya V. Guseva**, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Oleg G. Savichev**, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Victor A. Lgotin**, Cand. Sc., associate professor, Hydrospetsgeologiya, branch of the Siberian Regional Center of the State monitoring of the state of the subsoil.

**Andrei A. Balobanenko**, Cand. Sc., head of the Department of groundwater quality state monitoring, Hydrospetsgeologiya, branch of the Siberian Regional Center of the State monitoring of the state of the subsoil.

**Victor A. Domarenko**, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Olga N. Vladimirova**, graduate student, National Research Tomsk Polytechnic University.