

УДК 628.1.033

DOI: 10.15372/ChUR2023490

EDN: ZJMTNV

Микрокомпоненты в природных водах Новосибирской городской агломерации: распределение, фон, аномалии

А. В. ЧЕРНЫХ^{1,2}, Д. А. НОВИКОВ^{1,2}, А. А. МАКСИМОВА^{1,2}, Ф. Ф. ДУЛЬЦЕВ^{1,2}, А. С. ДЕРКАЧЕВ^{1,2}¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск (Россия)²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
Новосибирск (Россия)

E-mail: ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

(Поступила 26.01.23; после доработки 17.03.23)

Аннотация

Исследовано распределение загрязняющих веществ 1 класса опасности и микрокомпонентов в природных водах Новосибирской городской агломерации, где немаловажную роль в загрязнении вод играет не только большое количество транспортных средств, но и промышленных предприятий. Показано, что природные воды в основном гидрокарбонатного кальциевого и кальциево-магниевого состава с величиной общей минерализации от 127 до 910 мг/дм³ и концентрацией кремния 0.14–11.61 мг/дм³. Геохимическая обстановка изменяется от восстановительной (Eh –164.3 мВ) до окислительной (Eh 442.1 мВ), pH 6.9–8.8 с содержанием O₂(раств.) 0.48–20.28 мг/дм³. В черте города Новосибирска выявлены превышения фоновых значений по 33 химическим элементам, содержания загрязняющих веществ 1 класса опасности составляют, мг/дм³: для Be (6.4 · 10⁻⁶)–(1.4 · 10⁻⁴), As 0.0003–0.26, Hg (8.33 · 10⁻⁷)–(2.3 · 10⁻⁴), Tl (6.2 · 10⁻⁷)–(8.2 · 10⁻⁵), U (1.3 · 10⁻⁵)–0.21. Активность радона, установленная в природных водах города Новосибирска, изменяется от 1 до 1570 Бк/дм³. Определено, что активному антропогенному воздействию подвержены в основном речные воды Ини, 2-й Ельцовки, Плющихи, Ельцовки, Камышенки и Оби. В подземных водах выявлены большие несоответствия действующим нормативным документам и превышения предельно допустимых концентраций в скважине пос. Кирова (Mn – в 14 раз, Fe – в 10 раз, As – в 5 раз) и в СНТ “Тополь” (Mn – в 59 раз, Fe – в 94 раза, As – в 27 раз).

Ключевые слова: высокотоксичные элементы, гидрогеохимический фон, природные воды, Новосибирская городская агломерация, Западная Сибирь

ВВЕДЕНИЕ

Отсутствие источников подземных вод для питьевого водоснабжения необходимого качества является актуальной проблемой третьего по численности города России – Новосибирска. Причина этого заключается в распространении почти на 70 % его площади гранитов, в состав которых входят природные радиоактивные минералы, содержащие U, Ra, Th и продукты их рас-

пада [1]. Их повышенные концентрации представляют потенциальную угрозу для здоровья населения Новосибирска. В конце XX века в границах Новосибирской области (НСО) был открыт ряд месторождений радоновых вод для использования в бальнеологических целях (самые известные: санаторий “Заельцовский Бор”, “Каменское”, профилакторий Новосибирского завода химконцентратов (НЗХК)) [2–10].

Эксплуатация природных вод при исследовании крайне малого набора анализируемых параметров (общий химический состав воды и распределение тяжелых металлов) несет в себе большую опасность. Изотопы ^{222}Rn , ^{220}Rn и их продукты распада попадают в организм человека в основном при дыхании, ^{238}U , ^{232}Th и ^{222}Rn – с питьевой водой и пищей. Радон – химически инертный бесцветный и очень подвижный газ, который в большинстве стран является главным источником воздействия ионизирующего излучения на население. Радиоактивное облучение за счет геологических факторов и техногенного загрязнения – неотъемлемая часть жизни человека. Природные радиоактивные вещества содержатся в воздухе, почве, воде. Ученые полагают, что около 50–75 % годовой дозы облучения, получаемой людьми от земных источников радиации, приходится на радон [11]. Поэтому для полноценного и безопасного использования природных вод необходимо иметь широкое и современное, основанное на актуальных и аккредитованных методах опробования и исследования, представление об их химическом и радиохимическом составе.

Возросшая в последние полвека антропогенная нагрузка существенно оказывает влияние на водные объекты естественного происхождения. Так, одна из проблем заключается в загрязнении природных вод тяжелыми металлами и веществами 1 класса опасности. К этой группе относятся бериллий, мышьяк, ртуть, таллий и уран, согласно постановлению Главного государственного санитарного врача Российской Федерации [12]. Эти элементы обладают канцерогенными, высокотоксичными и мутагенными свойствами по мнению многих российских и зарубежных ученых. Таллий является наименее изученным высокотоксичным элементом в связи с тем, что на данный момент все классические аналитические методы имеют к нему низкую чувствительность [13]. Важность его изучения обуславливается острой токсичностью для живых организмов, сопоставимой с таковой для ртути [14]. Помимо урана, свой вклад в природный фон облучения живых организмов привносит малотоксичный торий, чье присутствие увеличивает риск рака легких, поджелудочной железы и крови. Как писал великий естествоиспытатель В. И. Вернадский, “...торий стоит вне геохимии воды, торий не входит в водный режим Земли...”, потому что считалось, что Th и продукты его распада в воде присутствуют в столь ничтожно малых количествах, кото-

рые нельзя было зафиксировать [15]. Также установлено, что торий является индикаторным элементом, с помощью которого можно оценить вклад природного и техногенного факторов в эколого-геохимическое состояние окружающей среды.

В этой связи основная цель настоящего исследования – выявление характеристик гидрогеохимического фона для природных вод в пределах Новосибирской городской агломерации (НГА) и оценка распределения в них загрязняющих веществ 1 класса опасности.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Материалы и методы

Экспедиционные работы по отбору проб природных вод из различных геологическими и гидрогеологическими обстановок (гранитоидные массивы, осадочные комплексы разного возраста) представляли собой крупный блок исследований в ходе выполнения проекта. В течение полевого сезона (июнь–сентябрь 2021 г. и весна 2022 г.) были проведены экспедиционные работы на территории г. Новосибирска и сопредельных территорий (рис. 1).

В результате комплексной обработки имеющихся материалов по гидрогеохимии, а также данных, полученных в результате полевых и химико-аналитических работ, составлен актуальный гидрогеохимический банк данных, позволивший в дальнейшем рассчитать фоновые содержания химических элементов (от Li до U) природных вод. Исследовано около 200 проб поверхностных и подземных вод. Отбор проб производился в контрастных гидрогеологических обстановках (на территории распространения гранитных массивов, в зоне контакта с осадочными комплексами) и охватывал широкий стратиграфический диапазон от четвертичных отложений до кембрийских.

Непосредственно на месте опробования выполнено измерение нестабильных параметров (рН, Eh, температура, содержание растворенного O_2 ($\text{O}_2(\text{раств.})$), HCO_3^- , соединений азота – NH_4 , NO_2 , NO_3) с помощью полевой гидрогеохимической лаборатории и полевого оборудования (портативный мультипараметрический измеритель рН/ОВП/проводимости Hanna HI 98195 (Hanna Instruments, Германия), рН-метр Hanna HI 9125 (Hanna Instruments, Германия), кислородомер АКПМ-1-02Л (АО “Эксис”, Россия), кондуктометр S3-Field kit Seven2Go (Mettler Toledo, Швейцария)). Полевой (предваритель-

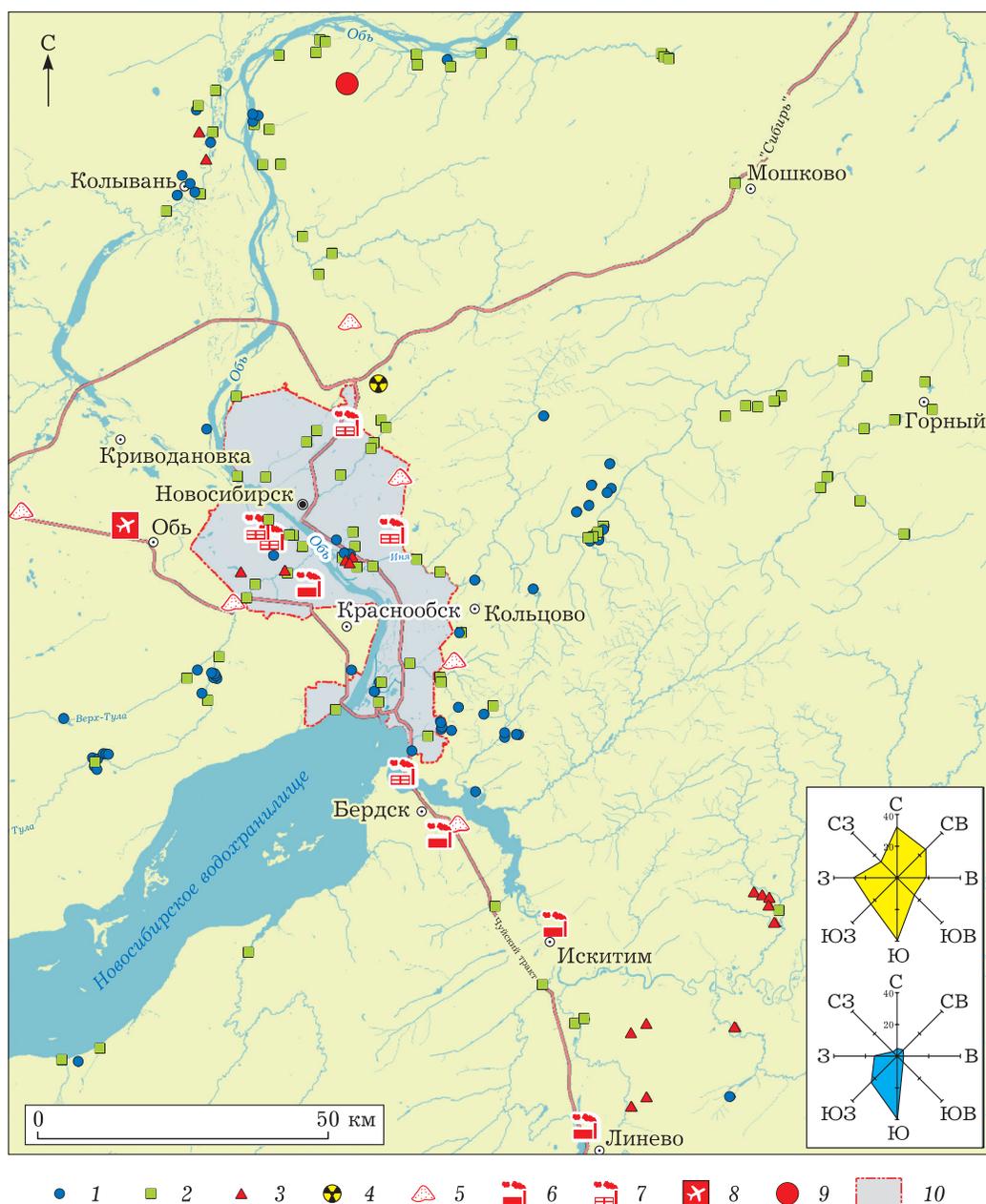


Рис. 1. Схема района экспедиционных работ (Новосибирская городская агломерация и ее окрестности). Усл. обозн. здесь и на рис. 5: Воды: 1 – подземные; 2 – поверхностные; 3 – дренажные (карьеры); 4 – хвостохранилище Новосибирского завода химконцентратов; 5 – полигоны твердых бытовых отходов; 6 – действующие заводы; 7 – ТЭЦ; 8 – Аэропорт Толмачево; 9 – месторождение урана Пригородное [16]; 10 – г. Новосибирск. Розы ветров по данным [17]: желтым цветом – в летнее время; синим – в зимнее время.

ный до передачи проб в лаборатории) химический анализ подземных вод выполнялся с помощью мини-лаборатории “Экотест-120-ИП” (Россия, 16 электродов).

Радиационная обстановка на месте отбора оценивалась с помощью дозиметра гамма-излучения ДКГ-07Д “Дрозд” (Россия). Измерение содержания радона в подземных водах проводилось в день отбора пробы с помощью ком-

плекса “Альфарад плюс” (Россия). Пробы для анализа катионов и анионов отфильтровывались через целлюлозный фильтр (0.45 мкм) на месте отбора для удаления взвеси с помощью системы вакуумной фильтрации и собирались в полиэтиленовые бутылки. Пробы доставлялись в лаборатории Национального исследовательского Томского политехнического университета для последующего анализа.

Для определения гидрокарбонат-ионов применяли титрование: 50 мл исследуемой пробы воды титровали раствором 0.1 М HCl до pH 4.3. Погрешность измерения не превышала 20 %. Определение концентраций катионов кальция, магния, натрия, калия, анионов сульфата, хлорида и нитрата проводили методом ионной хроматографии с использованием хроматографа Dionex ICS-5000 (Dionex, США). Погрешность измерения не превышала 15 % в диапазоне концентраций 0.05–1000 мг/л.

Содержание микрокомпонентов, в том числе редкоземельных элементов, определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) с использованием масс-спектрометра NexION 300D (Perkin Elmer, США). Диапазон измеряемых концентраций элементов составил 0.05–10 000 мкг/л. Предел обнаружения элемента составил не более 11 нг/л по бериллию (^9Be). Индий добавляли в качестве внутреннего стандарта для обеспечения контроля чувствительности масс-спектрометра. Содержание элементов в исследуемых пробах определялись с учетом пределов обнаружения и включали расчет истинных концентраций элементов на основании результатов, полученных при анализе калибровочных растворов. Точность анализа проверяли с помощью многоэлементных калибровочных стандартных растворов (Perkin Elmer, США).

Количество органического вещества оценивали по величине перманганатной и бихроматной окисляемости воды (ХПК). Методом инверсионной вольтамперометрии определяли содержание иодид-иона, спектрофотометрическим методом – биогенных элементов (кремний и фосфор). Исследования проводили на основе аттестованных методик измерений, включенных в Федеральный информационный фонд.

Оценка токсикологических особенностей вод выполнялась с использованием действующих нормативных документов (СанПиН 1.2.3685-21, ГОСТ Р 51232-98, СанПиН 2.1.3684-21) и рекомендаций Всемирной организации здравоохранения [11, 12, 18, 19].

На основе методов математической статистики установлены фоновые значения и аномалии. Гидрогеохимический фон (средняя из наиболее часто встречающихся концентраций того или иного компонента в подземных водах) рассчитан в программном комплексе Statistica 8.0 (StatSoft Inc.), используя функции Descriptive Statistics. Для выявления аномалий было произведено сравнение содержания элемента в воде с

фоном для каждой пробы. Если концентрации превышали фоновое значение, то загрязняющим веществам 1 класса опасности присваивался индекс равный 1, а 2 класса – 0.2, что обусловлено разными токсикологическими показателями для этих групп элементов. После суммирования индексов в выявленных элементах-загрязнителях воды классифицировались по степени загрязнения следующим образом: до 3 – низкая степень; 3–6 – средняя; больше 6 – высокая.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности геохимии природных вод

На территории г. Новосибирска отобрано 63 пробы природных вод, впоследствии разделенных на три группы: подземные (18 проб), поверхностные (25 проб) и дренажные/карьерные (20 проб).

В первой группе доминируют гидрокарбонатные кальциевые и кальциево-магниевые, нейтральные и слабощелочные (pH 7.4–8.0) воды с величиной общей минерализации, варьирующей в пределах от 127 до 910 мг/дм³. Геохимическим параметрам среды характерны как восстановительные, так и окислительные условия (Eh от –164.3 до 442.1 мВ), содержание кремния изменяется от 1.87 до 11.61 мг/дм³, O₂(раств.) – от 0.48 до 10.43 мг/дм³ (табл. 1, рис. 2, а).

Воды второй группы также обладают преимущественно гидрокарбонатным кальциевым и кальциево-магниевым составом, нейтральным и слабощелочным pH (6.9–8.5). Диапазон изменения величины общей минерализации меньше, чем у первой группы и составляет 214–712 мг/дм³. Здесь доминируют окислительные обстановки (Eh от 92.6 до 280.0 мВ), концентрация кремния изменяется от 0.14 до 6.38 мг/дм³, O₂(раств.) – от 1.11 до 20.28 мг/дм³ (см. рис. 2, а).

В третьей группе установлено преобладание собственно пресных (403–789 мг/дм³) нейтральных и слабощелочных (pH 7.6–8.8) гидрокарбонатных кальциевых, кальциево-магниевых и гидрокарбонатно-сульфатных кальциевых вод. Геохимические параметры среды также окислительные (Eh от 131.3 до 261.0 мВ), содержание кремния изменяется от 0.25 до 7.93 мг/дм³, O₂(раств.) – от 3.61 до 16.59 мг/дм³ (см. рис. 2, а).

Для сравнительного анализа с прилегающими территориями привлечен материал по HCO. Всего было изучено 133 пробы природных вод (71 – подземных; 44 – поверхностных; 18 – дренажных/карьерных) (табл. 2, см. рис. 1).

ТАБЛИЦА 1

Химический состав природных вод Новосибирской городской агломерации

Показатель	Ед. изм.	Подземные воды	Кол-во измерений	Поверхностные воды	Кол-во измерений	Дренажные воды карьеров	Кол-во измерений
МАЭД	мкР/ч	<u>11-36</u> 23.5	2	<u>6-22</u> 13	16	<u>7-50</u> 18	15
pH	д. е.	<u>7.36-7.95</u> 7.56	19	<u>7.5-9.3</u> 8.3	25	<u>7.6-8.8</u> 8.2	20
Eh	мВ	<u>(-165.3)-438.5</u> 191	19	<u>92.6-280</u> 202.5	25	<u>131.3-261</u> 219.1	20
G	мкСм/см	<u>170.6-1135</u> 1038	19	<u>248.6-1377</u> 651.3	25	<u>496.8-994.6</u> 818.7	20
O ₂ (раств.)	мг/дм ³	<u>0.48-10.43</u> 6.38	18	<u>1.26-20.28</u> 7.7	25	<u>3.61-16.59</u> 9.42	19
²²² Rn	Бк/дм ³	<u>11-276</u> 155.5	14	<u>0-42</u> 1	12	<u>0-89</u> 16.5	20
CO ₂	мг/дм ³	<u>1.7-21</u> 8.8	13	<u>0.03-3.52</u> 2.65	4	н. п.	0
CO ₃ ²⁻	мг/дм ³	<u>0.01-6</u> 0.01	4	<u>0.01-12</u> 1.2	19	<u>1.2-12</u> 5.7	17
HCO ₃ ⁻	мг/дм ³	<u>80-586</u> 491	18	<u>137-442</u> 278	25	<u>207-449</u> 347	20
SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	<u>3.1-96</u> 49.7	18	<u>7.6-154</u> 43.7	25	<u>40-118</u> 85.5	20
Cl ⁻	мг/дм ³	<u>2.06-36</u> 28.35	18	<u>3.2-90</u> 21.5	25	<u>5.1-44.9</u> 32.9	20
Ca ²⁺	мг/дм ³	<u>24-148</u> 113.5	18	<u>27.5-124</u> 56	25	<u>37-109</u> 95	20
Mg ²⁺	мг/дм ³	<u>2.8-45.8</u> 32.3	18	<u>6.4-32.7</u> 18.1	25	<u>18-40.9</u> 23.2	20
Na ⁺	мг/дм ³	<u>4.2-56.1</u> 31.3	18	<u>7.6-100</u> 25.3	25	<u>19.7-54.4</u> 41.5	20
K ⁺	мг/дм ³	<u>1.0-2.7</u> 2.1	18	<u>1.0-7.5</u> 2.3	25	<u>2-8.6</u> 3.9	20
M	мг/дм ³	<u>127-910</u> 723	18	<u>213-712</u> 476	25	<u>402-789</u> 624	20
NH ₄ ⁺	мг/дм ³	<u>0.01-72</u> 0.068	11	<u>0.05-19.5</u> 0.12	16	<u>0.05-0.53</u> 0.07	13
NO ₂	мг/дм ³	<u>0.0025-0.04</u> 0.006	4	<u>0.07-0.56</u> 0.27	7	<u>0.03-0.06</u> 0.04	8
NO ₃ ⁻	мг/дм ³	<u>0.017-59.3</u> 52	13	<u>0.09-3.54</u> 0.16	17	<u>0.44-17.2</u> 3.16	20
PO ₄ ³⁻	мг/дм ³	<u>0.017-0.589</u> 0.283	4	<u>0.06-0.2</u> 0.1	8	<u>0.02-0.25</u> 0.06	4
F ⁻	мг/дм ³	<u>0.17-0.6</u> 0.38	10	<u>0.23-0.31</u> 0.29	3	<u>0.09-0.88</u> 0.32	17
П. ок.	мг/дм ³	<u>0.12-5</u> 1.03	16	<u>1.12-12</u> 3	25	<u>0.8-4.4</u> 1.52	20
Be	мг/дм ³	<u>(1.22 · 10⁻⁵)-0.00014</u> 1.3 · 10 ⁻⁵	3	<u>6.45 · 10⁻⁶-0.0001</u> 3.19 · 10 ⁻⁵	6	<u>8.00 · 10⁻⁶-5.32 · 10⁻⁵</u> 3.15 · 10 ⁻⁵	8
As	мг/дм ³	<u>0.00027-0.26852</u> 0.00045	19	<u>0.00071-0.03316</u> 0.00331	25	<u>0.00034-0.00330</u> 0.00194	20
Hg	мг/дм ³	<u>(8.33 · 10⁻⁷)-0.00016</u> 1.43 · 10 ⁻⁵	12	<u>4.53 · 10⁻⁶-0.00020</u> 2.64 · 10 ⁻⁵	14	<u>2.45 · 10⁻⁶-0.00023</u> 0.00001	9
Tl	мг/дм ³	<u>(6.22 · 10⁻⁷)-0.00001</u> 2.49 · 10 ⁻⁶	15	<u>7.26 · 10⁻⁷-1.30 · 10⁻⁵</u> 3.94 · 10 ⁻⁶	19	<u>1.00 · 10⁻⁶-8.21 · 10⁻⁵</u> 0.00001	19

Таблица 1 (Окончание)

Показатель	Ед. изм.	Подземные воды	Кол-во измерений	Поверхностные воды	Кол-во измерений	Дренажные воды карьеров	Кол-во измерений
Th	мг/дм ³	$(8.30 \cdot 10^{-7})-(4.92 \cdot 10^{-5})$ $7.22 \cdot 10^{-6}$	12	$(5.00 \cdot 10^{-7})-(4.80 \cdot 10^{-5})$ $8.61 \cdot 10^{-6}$	21	$(1.00 \cdot 10^{-6})-(9.61 \cdot 10^{-5})$ $1.17 \cdot 10^{-5}$	18
U	мг/дм ³	$(1.37 \cdot 10^{-5})-0.0173$ 0.0151	19	$(3.66 \cdot 10^{-5})-0.0104$ 0.0024	25	0.0003–0.2132 0.0210	20
Th/U	–	0.00006–1.92	–	0.0001–0.15	–	0.0001–0.0015	–

Примечания. Здесь и в табл. 2: 1. МАЭД – мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения; G – электропроводность; М – минерализация; П. ок. – перманганатная окисляемость; н. п. – ниже предела обнаружения. 2. Содержания природных вод указаны в виде: минимальное–максимальное/фоновое значение.

Водам первой группы характерно преобладание гидрокарбонатных кальциевых и кальциево-магниевого химических типов и более высокие значения минерализации 339–1568 мг/дм³, чем в подземных водах г. Новосибирска, с концентрациями кремния 0.26–17.63 мг/дм³ (см. рис. 2, б). Воды нейтральные и слабощелочные (рН 7.1–8.4) как с восстановительной, так и окислительной геохимической обстановкой (Eh от –176.8 до 231.8 мВ), и содержанием O₂(раств.) 0.29–12.26 мг/дм³.

Во второй группе доминируют гидрокарбонатные кальциевые, кальциево-магниевого и магниевые кальциевые нейтральные и щелочные (рН 7.3–9.5) воды с более высокими значениями минерализации (151–1038 мг/дм³) и содержанием кремния (0.20–12.67 мг/дм³), чем в поверхностных водах г. Новосибирска (см. рис. 2, б). Геохимические параметры среды изменяются

от восстановительных до окислительных обстановок (Eh от –74.4 до 280.0 мВ), содержание O₂(раств.) составляет 1.68–20.78 мг/дм³. Данные воды отличаются от поверхностных вод г. Новосибирска пробами, в которых встречаются отрицательные значения Eh (р. Барлак, Мошковский район НСО), что может являться последствием разбавления подземными водами.

Дренажные/карьерные воды отличаются большим количеством сульфатов и более “пестрым” сульфатно-гидрокарбонатным натриево-магниевым составом с величиной общей минерализации от 330 до 1171 мг/дм³ и содержанием кремния 0.18–10.21 мг/дм³ (см. рис. 2, б). Геохимическая обстановка окислительная (Eh от 32.4 до 199.6 мВ), рН 6.9–8.5, содержание O₂(раств.) составляет 3.50–10.43 мг/дм³.

Характеристика гидрогеохимических фонов поверхностных и подземных вод НГА и НСО

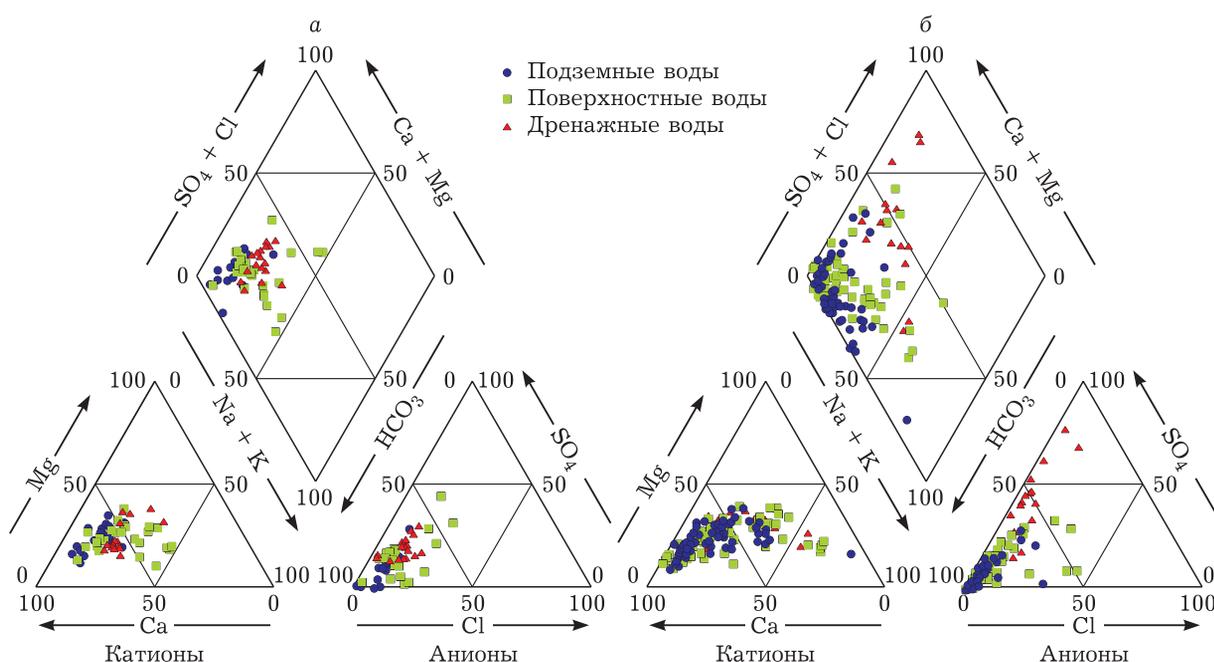


Рис. 2. Диаграмма Пайпера изученных природных вод Новосибирской городской агломерации (а) и ее окрестностей (б).

ТАБЛИЦА 2

Химический состав природных вод прилегающих районов Новосибирской области

Показатель	Ед. изм.	Подземные воды	Кол-во измерений	Поверхностные воды	Кол-во измерений	Дренажные воды карьеров	Кол-во измерений
МАЭД	мкР/ч	<u>4-21</u> 15	28	<u>1-31</u> 14	56	<u>9-37</u> 12	15
pH	д. е.	<u>7.1-8.3</u> 7.5	77	<u>7.25-9.51</u> 8.37	68	<u>6.88-8.66</u> 7.83	19
Eh	мВ	<u>(-181.5)-231.8</u> 42.4	77	<u>(-74.4)-280</u> 154.3	68	<u>(-116.2)-199.6</u> 167.0	19
G	мкСм/см	<u>311.3-2165.0</u> 659.2	77	<u>197.5-1123</u> 582.35	68	<u>407-1642</u> 1078	19
O ₂ (раств.)	мг/дм ³	<u>0.29-10.72</u> 3.74	77	<u>1.65-19.75</u> 7.84	68	<u>3.24-10.43</u> 7.89	19
²²² Rn	Бк/дм ³	<u>0-201</u> 30	49	<u>0-86</u> 1	41	<u>0-474</u> 62	7
CO ₂	мг/дм ³	<u>1.30-7.04</u> 3.52	23	<u>0.03-5.28</u> 2.64	9	<u>14.1-14.1</u> 14.1	1
CO ₃ ²⁻	мг/дм ³	<u>0.01-9.00</u> 0.91	46	<u>0.01-15.6</u> 6	59	<u>2.4-3.6</u> 2.4	4
HCO ₃ ⁻	мг/дм ³	<u>185-698</u> 397	72	<u>24-522</u> 320.5	68	<u>67-561</u> 344	19
SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	<u>1-174</u> 14	71	<u>2.56-140</u> 13.65	66	<u>2.7-502</u> 118	19
Cl ⁻	мг/дм ³	<u>0.33-128</u> 4.85	72	<u>0.49-133</u> 5.55	68	<u>1.95-64.7</u> 8.9	19
Ca ²⁺	мг/дм ³	<u>10-288</u> 92	72	<u>26-196</u> 62.25	68	<u>32-190</u> 88	19
Mg ²⁺	мг/дм ³	<u>9-58</u> 21	72	<u>3.7-48.8</u> 17.1	68	<u>18.9-72</u> 28.1	19
Na ⁺	мг/дм ³	<u>0-152</u> 20	72	<u>0.08-127.21</u> 13.63	68	<u>10-158</u> 36	19
K ⁺	мг/дм ³	<u>0.3-27.6</u> 1.0	72	<u>0.50-7.70</u> 1.48	68	<u>0.81-5.06</u> 3.15	19
M	мг/дм ³	<u>339-1568</u> 586	71	<u>151-1038</u> 458	44	<u>330-1171</u> 798	18
NH ₄ ⁺	мг/дм ³	<u>0.01-13.20</u> 0.06	33	<u>0.01-1.08</u> 0.07	49	<u>0.025-32.2</u> 0.053	10
NO ₂	мг/дм ³	<u>0.001-0.30</u> 0.04	10	<u>0.0001-0.067</u> 0.02	9	<u>0.043-5.3</u> 0.22	3
NO ₃ ⁻	мг/дм ³	<u>0.02-482.00</u> 2.98	66	<u>0.0014-94</u> 0.294	49	<u>0.05-330</u> 0.74	13
PO ₄ ³⁻	мг/дм ³	<u>0.01-1.42</u> 0.14	34	<u>0.0046-0.36</u> 0.085	27	н. п.	0
F ⁻	мг/дм ³	<u>0.11-1.07</u> 0.33	48	<u>0.09-1.65</u> 0.30	51	<u>5.06-5.06</u> 5.06	1
П. ок.	мг/дм ³	<u>0.11-5.10</u> 1.20	65	<u>0.75-28</u> 3.92	68	<u>0.28-4.56</u> 1.02	19
Be	мг/дм ³	<u>(6.9 · 10⁻⁵)-0.00029</u> 0.00002	17	<u>(6.58 · 10⁻⁵)-(4.59 · 10⁻⁵)</u> 2.55 · 10 ⁻⁵	14	<u>(1.53 · 10⁻⁵)-0.0075</u> 4.59 · 10 ⁻⁵	11
As	мг/дм ³	<u>(9.66 · 10⁻⁵)-0.045</u> 0.0005	73	<u>0.0004-0.0283</u> 0.0051	68	<u>0.0003-0.0301</u> 0.0021	19
Hg	мг/дм ³	<u>(9.82 · 10⁻⁷)-0.0001</u> 2.29 · 10 ⁻⁵	39	<u>(7.04 · 10⁻⁷)-0.0003</u> 1.97 · 10 ⁻⁵	24	<u>(4.04 · 10⁻⁶)-(3.68 · 10⁻⁵)</u> 6.62 · 10 ⁻⁶	6
Tl	мг/дм ³	<u>(2.49 · 10⁻⁷)-(4.16 · 10⁻⁵)</u> 2.27 · 10 ⁻⁶	43	<u>(2.96 · 10⁻⁷)-(1.30 · 10⁻⁵)</u> 3.80 · 10 ⁻⁶	50	<u>(1.55 · 10⁻⁶)-0.00023</u> 1.39 · 10 ⁻⁵	18
Th	мг/дм ³	<u>(2.19 · 10⁻⁷)-(2.50 · 10⁻⁵)</u> 5.71 · 10 ⁻⁶	53	<u>(8.23 · 10⁻⁷)-(6.95 · 10⁻⁵)</u> 9.63 · 10 ⁻⁶	53	<u>(1.89 · 10⁻⁶)-0.0005</u> 1.92 · 10 ⁻⁵	17
U	мг/дм ³	<u>(2.70 · 10⁻⁶)-0.0199</u> 0.0016	69	<u>0.0001-0.0548</u> 0.0019	68	<u>(2.68 · 10⁻⁵)-1.400</u> 0.009	19
Th/U		<u>(6.38 · 10⁻⁵)-2.96</u>	-	<u>0.0002-0.248</u>	-	<u>0.000042-0.048</u>	-

Примечание. Обозн. см. табл. 1.

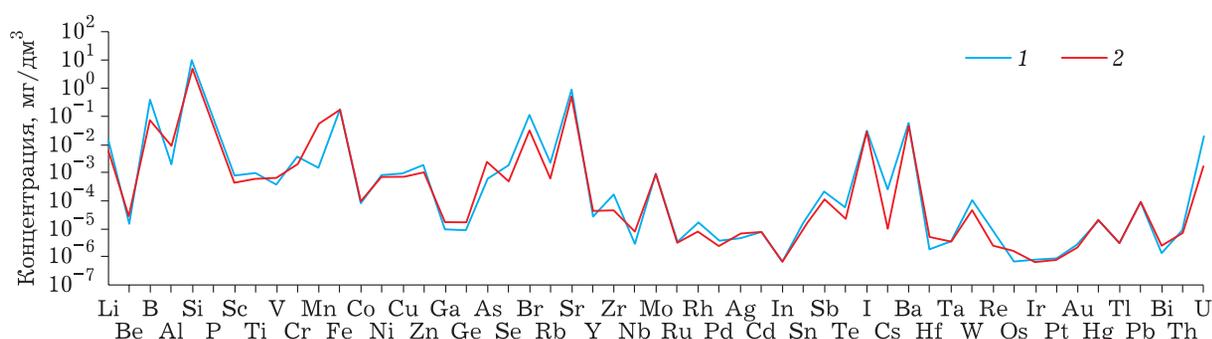


Рис. 3. Фоновые содержания микрокомпонентов в природных водах Новосибирской городской агломерации (1) и прилегающих районов Новосибирской области (2).

приведена на рис. 3. Установлено, что в пределах г. Новосибирска фоновые содержания снижаются от кремния до индия. Наибольшие концентрации имеют, мг/дм³: Si 10.6, Sr 1.1, B 0.4, Fe 0.2, Br 0.1, Ba 0.07, I 0.04, P 0.02, U 0.019 и Li 0.017, при этом значение фона для железа практически сопоставимо с предельно допустимой концентрацией (ПДК). Больше половины среди всех изученных микрокомпонентов в природных водах НГА имеют фоновые концентрации, превышающие таковые в НСО, что связано с антропогенной нагрузкой и влиянием объектов-загрязнителей НГА.

Содержание высокотоксичных элементов

В изученных природных водах концентрация бериллия изменяется от $6.9 \cdot 10^{-5}$ до $7.5 \cdot 10^{-3}$ мг/дм³, наибольшие значения установлены в дренажных водах карьеров, наименьшие — в поверхностных водах. Среди проб в черте города содержание бериллия варьирует в пределах от $6.4 \cdot 10^{-6}$ до $1.4 \cdot 10^{-4}$ мг/дм³. Высокие фоновые содержания установлены в поверхностных и дренажных/карьерных водах ($3.15 \cdot 10^{-5}$ и $3.19 \cdot 10^{-5}$ мг/дм³ соответственно).

Концентрация мышьяка в природных водах прилегающих районов НСО варьирует от $9.6 \cdot 10^{-5}$ до 0.45 мг/дм³, в городской черте — от $3.0 \cdot 10^{-4}$ до 0.26 мг/дм³. Наибольшие значения As выявлены в подземных водах в городской черте, фоновые содержания находятся приблизительно на одном и том же уровне для одинаковых групп изученных вод НГА и сопредельных территорий.

Содержание ртути в водах значительно ниже, чем мышьяка, и имеет схожие значения как для вод области, так и для вод в городской черте: от $7.04 \cdot 10^{-7}$ до $2.5 \cdot 10^{-4}$ и от $8.33 \cdot 10^{-7}$ до $2.3 \cdot 10^{-4}$ мг/дм³ соответственно. Эта же закономерность прослеживается и в фоновых значе-

ниях, которые для вод области равны $1.9 \cdot 10^{-5}$, для вод НГА — $2.0 \cdot 10^{-5}$ мг/дм³. Максимальное содержание ртути установлено в поверхностных водах, а также в дренажных водах карьеров в городской черте.

В составе природных вод НСО концентрация таллия варьирует в пределах от $2.4 \cdot 10^{-7}$ до $2.5 \cdot 10^{-4}$ мг/дм³, а г. Новосибирска — от $6.2 \cdot 10^{-7}$ до $8.2 \cdot 10^{-5}$ мг/дм³. Наибольшее его содержание выявлено в дренажных водах карьеров в пределах окрестностей г. Новосибирска. Значения фоновых концентраций для подземных и поверхностных вод всех объектов сопоставимы (подземные — $2.5 \cdot 10^{-6}$ и $2.3 \cdot 10^{-6}$; поверхностные — $3.9 \cdot 10^{-6}$ и $3.8 \cdot 10^{-6}$ мг/дм³ соответственно), значения общего фона составляют $3.8 \cdot 10^{-6}$ для области и $5.3 \cdot 10^{-6}$ мг/дм³ для города.

Среди всех загрязняющих веществ 1 класса опасности наибольшие концентрации установлены у урана — от $2.7 \cdot 10^{-6}$ до 1.4 мг/дм³ в природных водах области и от $1.3 \cdot 10^{-5}$ до 0.21 мг/дм³ в черте города, что обусловлено особенностями геологического строения и широким распространением интрузивных пород. В пределах города максимальные значения установлены в подземных водах и дренажных водах карьеров (до 0.017 и 0.21 мг/дм³ соответственно) (рис. 4, а). Фоновые значения урана в подземных водах НГА на порядок выше, чем в прилегающих районах НСО, и достигают 0.015 мг/дм³, а значения общего фона — в 4 раза выше (0.0087 мг/дм³). Несмотря на то, что максимальные концентрации урана установлены в дренажных водах карьеров, располагающихся за пределами г. Новосибирска, значения фона для них меньше, чем в дренажных водах карьеров в границах города (0.009 и 0.02 мг/дм³ соответственно). Следует отметить, что высокий фон радионуклидов, имеющих природное происхождение в пределах раз-

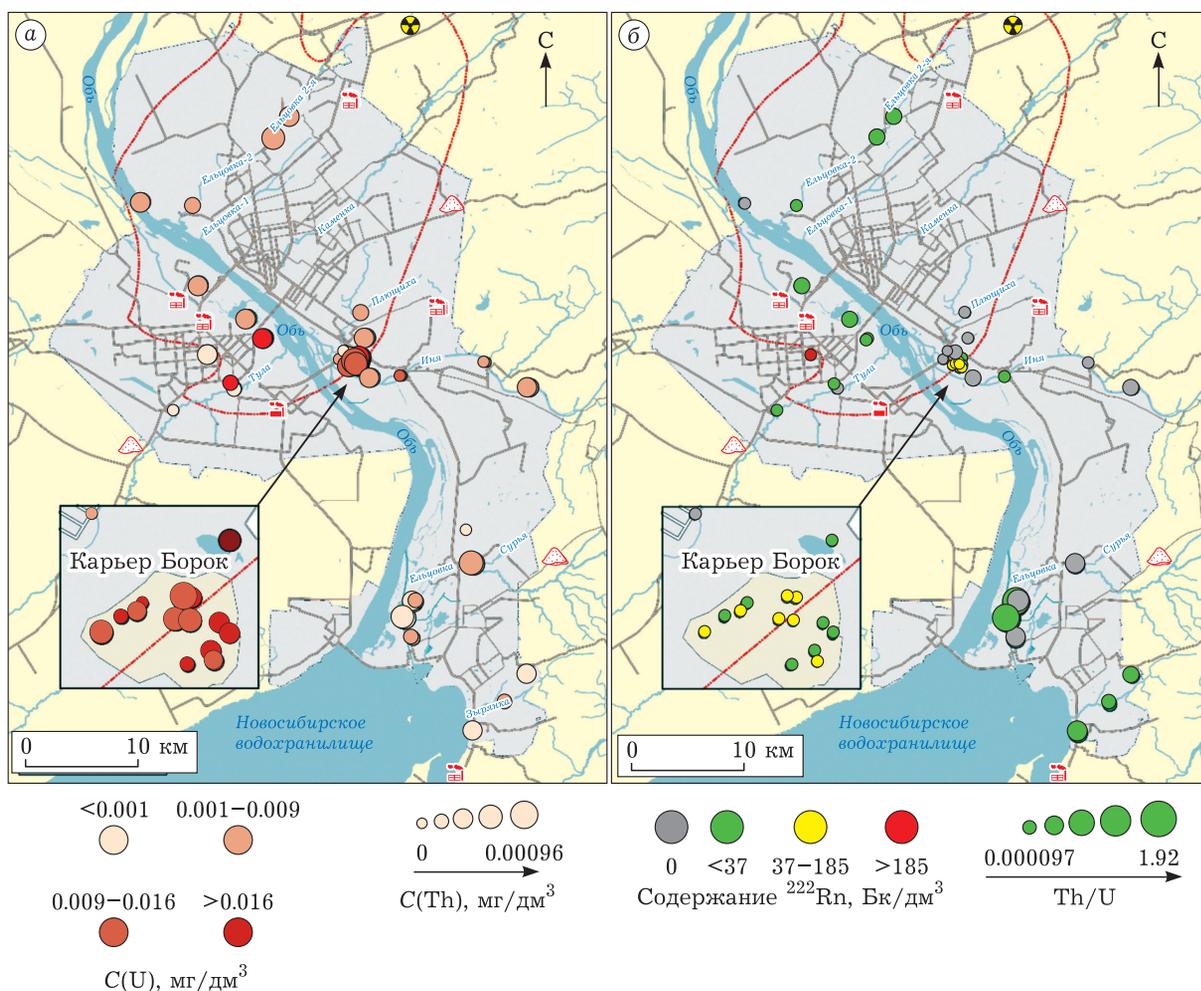


Рис. 4. Карта распределения урана и тория (а), активности радона и значений торий-уранового отношения (б) в природных водах Новосибирской городской агломерации. На картах не показаны объекты, в которых концентрация химического элемента ниже предела обнаружения методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

рабатываемых карьеров, в частности старейшего в России карьера “Борок”, не наносит никакого вреда окружающей среде [20].

Содержание тория в природных водах НСО незначительно выше (от $2.1 \cdot 10^{-7}$ до $5.5 \cdot 10^{-4}$ мг/дм 3), чем в водах города (от $5.0 \cdot 10^{-7}$ до $9.6 \cdot 10^{-5}$ мг/дм 3). Наибольшие значения определены в дренажных водах карьеров в окрестностях города. Среди подземных вод в пределах города установлено значение $4.9 \cdot 10^{-5}$ мг/дм 3 , превышающие значения концентраций тория этой группы вод в пределах области. Значение фоновых концентраций в природных водах города выше и составляет $1.0 \cdot 10^{-5}$ мг/дм 3 , в то время как в водах области – $8.0 \cdot 10^{-6}$ мг/дм 3 (см. рис. 4, а).

Радон обнаружен во многих объектах НГА и сопредельных территориях НСО. Его установленные активности в водах вне города варьируют в пределах от 1 до 43 763 Бк/дм 3 [9], в городской черте – от 1 до 1570 Бк/дм 3 [3, 5, 6]. Наиболь-

шая активность радона установлена в подземных водах и дренажных водах карьеров на всей изучаемой территории. Его фоновое содержание в пределах г. Новосибирска равно 40 Бк/дм 3 , что превышает фоновые значения для сопредельных территорий практически вдвое (23 Бк/дм 3) (см. рис. 4, б). Установлено, что большая часть природных вод безрадоновые и очень слабо-радоновые, воды карьера “Борок” относятся к очень слабо-радоновым, а скважины 2–45 Городской клинической больницы № 34 – к слабо-радоновым (по классификации Н. И. Толстихина).

Концентрация тория зависит от геохимических параметров среды, закономерно увеличиваясь в бескислородной резко восстановительной среде, где он обладает миграционной способностью. Уран же наоборот мигрирует в окислительной геохимической обстановке, что и отмечается во всех изученных объектах НГА и прилегающих районах НСО.

Степень загрязнения природных вод

Промышленные предприятия, транспортная сеть и другая деятельность человека оказывает значительное влияние на состав природных вод. На основе полученных значений гидрогеохимического фона по большинству химических элементов проведен анализ антропогенного влияния на природные воды г. Новосибирска и установлены превышения загрязняющих веществ

1 и 2 классов опасности (рис. 5). Среди поверхностных вод активному загрязнению подвержены воды рек в пределах городской черты (2-я Ельцовка, Плющиха, Камышенка), р. Иня (вблизи с. Новолуговое), а также р. Ельцовка в Советском районе. Стоит отметить, что концентрации опасных элементов в реках Камышенка, Плющиха и 2-я Ельцовка снижаются по направлению к их устьям. Наименее загрязненными оказались воды рек Тула (западная часть

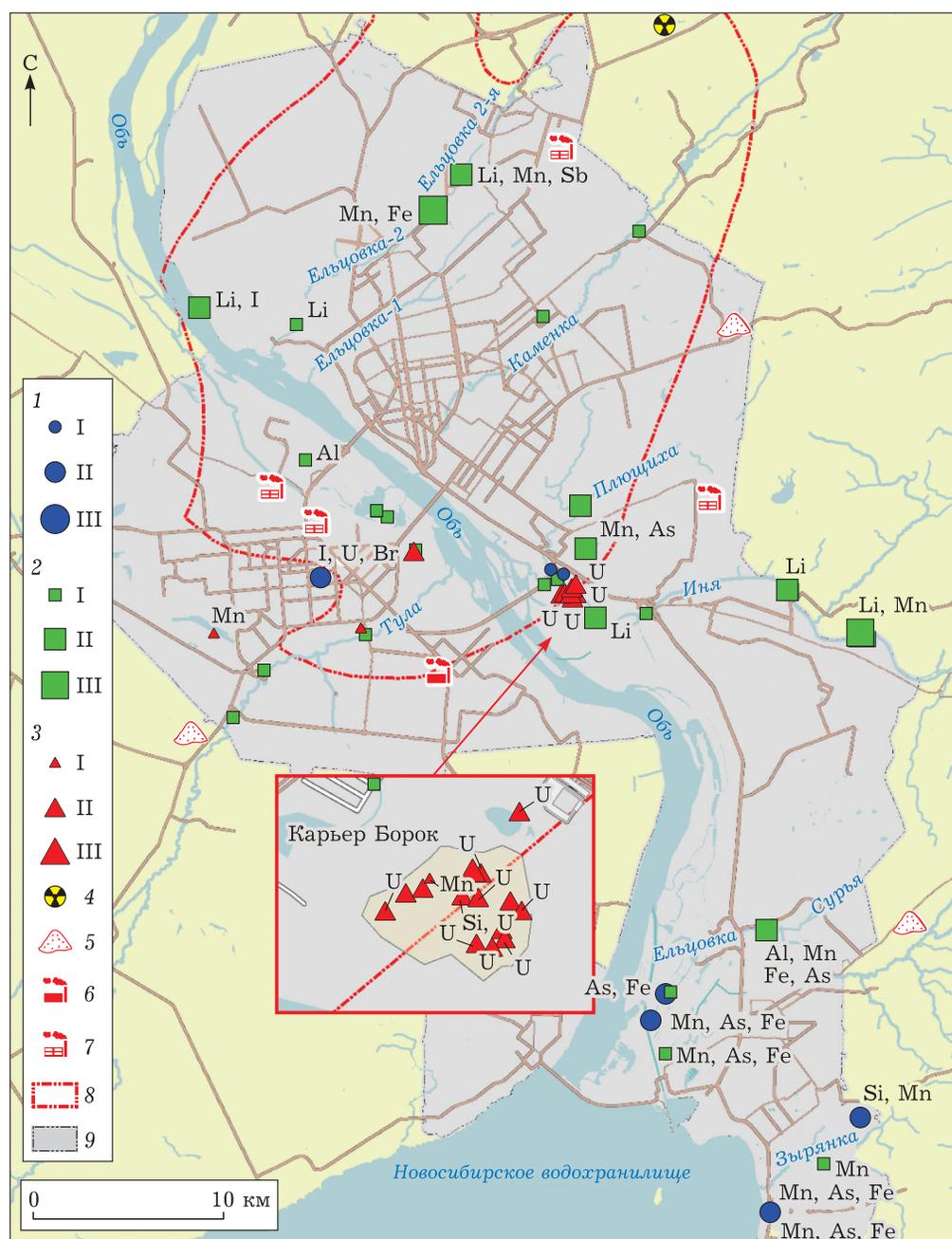


Рис. 5. Карта токсичности (степени загрязненности) природных вод г. Новосибирска (по состоянию на июнь 2022 г.). Степень загрязнения веществами 1 и 2 класса опасности: I – низкая; II – средняя; III – высокая. Усл. обозн. см. рис. 1.

Кировского района) и Каменка (северо-восток Дзержинского района), всех изученных заливов р. Обь, озер, Горского и Тулинского карьеров.

Выявлены превышения ПДК по мышьяку, урану, титану, литию, алюминию, кремнию, марганцу, железу, бромю, йоду и сурьме (см. рис. 5). Как отмечено ранее, As и U приурочены к загрязняющим веществам 1 класса опасности. Высокие концентрации этих элементов в природных водах оказывают негативное воздействие на организм живых существ, накапливаясь во внутренних органах (легкие, почки, печень и др.), приводя к нарушениям их работы.

В подземных водах установлены высокие содержания урана, мышьяка, железа и марганца. Так, в водах скважины в п. Кирова установлено превышение ПДК марганца в 14 раз (1.43 мг/дм^3), железа – в 10 раз (10.14 мг/дм^3), и мышьяка – в 5 раз (0.055 мг/дм^3). Севернее, в СНТ “Тополь” Советского района, концентрации железа превышают ПДК в 94 раза (93.94 мг/дм^3), марганца – в 59 раз (5.88 мг/дм^3), и мышьяка – в 27 раз (0.268 мг/дм^3). В скважине 2-45 Городской клинической больницы № 34, используемой в бальнеологических целях, выявлены повышенные концентрации брома, йода и урана, при этом вода соответствует всем действующим нормативам [10]. В водах, отобранных в водоразборных колонках Октябрьского района (ул. Бугурусланская, д. 17; ул. Бугурусланская, д. 2) не установлено превышений ПДК ни по одному исследуемому показателю.

В поверхностных водах выявлены высокие содержания лития, алюминия, марганца, железа, мышьяка, сурьмы и йода, в некоторых объектах значительно превышающие ПДК. В водах р. Оби в Заельцовском районе (возле парка культуры и отдыха “Заельцовский”) установлены превышения ПДК йода в 3 раза (0.417 мг/дм^3) и лития почти в 1.5 раза (0.041 мг/дм^3). Выше по течению, в пределах Яринского залива (Ленинский район), содержание алюминия превышает ПДК в 1.5 раза (0.309 мг/дм^3). В реках городской черты правого берега – Камышенка и 2-я Ельцовка – установлены превышения ПДК марганца в 1.2 и 3 раза соответственно. В р. Камышенке также установлены небольшие превышения ПДК мышьяка, в р. 2-я Ельцовка концентрация железа более чем в 3 раза (1.067 мг/дм^3) выше нормы. В нижнем притоке Оби – р. Ини (Октябрьский и Первомайский районы) – отмечаются превышения ПДК лития в 2 раза (0.069 мг/дм^3) и марганца – почти в 4 раза (0.371 мг/дм^3). В поверхностных водах в Советском районе выявлены превышения ПДК марганца (2–7 ПДК в

р. Ельцовке, руч. Зырянка, Утином озере в микрорайоне “Правые Чемы”), железа и мышьяка (2–3 ПДК в р. Ельцовке и руч. Зырянка) и небольшие превышения ПДК алюминия в р. Ельцовке.

В дренажных водах карьеров установлены высокие содержания урана (от практически первых сотых долей до 0.213 мг/дм^3), которые в 4 раза превышают значения ПДК. Концентрация марганца, в 1.5 раза превышающая ПДК, выявлена в Кировском карьере. Стоит отметить, что высокие концентрации железа и марганца характерны для НСО и имеют природное происхождение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлены доминирующие химические типы вод и рассчитаны фоновые концентрации микрокомпонентов для природных вод г. Новосибирска и его окрестностей. Установлено, что в пределах Новосибирска фоновые содержания снижаются от кремния до индия. Наибольшие концентрации имеют, мг/дм^3 : Si 10.6, Sr 1.1, B 0.4, Fe 0.2, Br 0.1, Ba 0.07, I 0.04, P 0.02, U 0.019 и Li 0.017; при этом значение фона для железа практически сопоставимо с ПДК.

Среди всех загрязняющих веществ 1 класса опасности наибольшие концентрации установлены у урана (от $1.3 \cdot 10^{-5}$ до 0.21 мг/дм^3), что обусловлено особенностями геологического строения и широким распространением интрузивных пород. В пределах города максимальные значения установлены в подземных водах и дренажных водах карьеров (до 0.017 и 0.21 мг/дм^3 соответственно). Концентрации мышьяка в природных водах варьируют от 0.0003 до 0.26 мг/дм^3 , наибольшие его значения установлены в подземных водах Советского района. Содержания ртути в водах значительно ниже, чем мышьяка, – от $8.33 \cdot 10^{-7}$ до $2.3 \cdot 10^{-4} \text{ мг/дм}^3$, максимальные содержания установлены в поверхностных водах, а также в дренажных водах карьеров. В составе природных вод концентрация таллия варьирует от $6.2 \cdot 10^{-7}$ до $8.2 \cdot 10^{-5} \text{ мг/дм}^3$. Значения фоновых концентраций для подземных и поверхностных вод составляют $2.3 \cdot 10^{-6}$ и $3.8 \cdot 10^{-6} \text{ мг/дм}^3$ соответственно, значения общего фона – $5.3 \cdot 10^{-6} \text{ мг/дм}^3$. Наиболее высокая активность радона в черте г. Новосибирска установлена в водах из скважины 2-45 Городской клинической больницы № 34 (276 Бк/дм^3), в НСО – в с. Скала (474 Бк/дм^3).

В природных водах выявлены превышения ПДК по мышьяку, урану, титану, литию, алюминию, кремнию, марганцу, железу, бром, йоду и сурьме. В подземных водах установлены высокие содержания урана, мышьяка, железа и марганца, в поверхностных водах выявлены высокие концентрации лития, алюминия, марганца, железа, мышьяка, сурьмы и йода. На основе всех имеющихся данных был проведен анализ влияния антропогенной нагрузки на природные воды, построены карты, показывающие степень загрязнения природных вод радиоактивными элементами и тяжелыми металлами в пределах г. Новосибирска. Среди изученных вод наибольшие концентрации загрязняющих веществ установлены в поверхностных водах, особенно стоит отметить речные воды Ини (рядом с с. Новолуговое), 2-ой Ельцовки (около НЗХК), Плющихи (на ул. Вилюйской), Ельцовки (в микрорайоне Нижняя Ельцовка), Камышенки (в Инюшенском бору), а также Оби (в Заельцовском бору). В реках Камышенка, Плющиха и 2-я Ельцовка количество загрязняющих веществ снижается по направлению к их устьям.

Полевые работы выполнены при финансовой поддержке проекта № FWZZ-2022-0014 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, аналитические работы по изучению химического состава подземных вод, обоснованию гидрогеохимического фона и аномалий – при поддержке проекта № 22-17-20029 Российского научного фонда и Правительства Новосибирской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Машковцев Г. А., Константинов А. К., Мигута А. К., Шумилин М. В., Щеточкин В. Н. Уран российских недр. М.: ВИМС, 2010. 850 с.
- 2 Вериге Е. К., Быкова В. В., Гусев В. К. Заельцовское месторождение радоновых вод (Новосибирское Приобье) // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Западной Сибири. 1979. № 14. С. 47–51.
- 3 Новиков Д. А., Сухорукова А. Ф., Корнеева Т. В. Гидрогеология и гидрогеохимия Заельцовско-Мочищенского проявления радоновых вод (юг Западной Сибири) // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9, № 4. С. 1255–1274.
- 4 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 слаборадоновых вод “Инские источники” (юг Западной Сибири) // Изв. Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 3. С. 135–145.
- 5 Новиков Д. А., Сухорукова А. Ф., Корнеева Т. В., Каменова-Тотцева Р., Максимова А. А., Деркачев А. С., Дульцев Ф. Ф., Черных А. В. Гидрогеология и гидрогеохимия месторождения радоновых вод “Каменское” (г. Новосибирск) // Изв. Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 4. С. 192–208.
- 6 Novikov D. A., Dultsev F. F., Kamenova-Totzeva R., Korneeva T. V. Hydrogeological conditions and hydrogeochemistry of radon waters in the Zaeltsovsky–Mochishche zone of Novosibirsk, Russia // Environ. Earth Sci. 2021. Vol. 80, No. 6. Art. 216.
- 7 Новиков Д. А., Дульцев Ф. Ф., Максимова А. А., Пыряев А. Н., Фаре А. Н., Хвощевская А. А., Деркачев А. С., Черных А. В. Первые результаты комплексных изотопно-геохимических исследований Новобибеевского проявления радоновых вод // Изв. Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 1. С. 57–72.
- 8 Новиков Д. А., Копылова Ю. Г., Сухорукова А. Ф., Вакуленко Л. Г., Пыряев А. Н., Максимова А. А., Деркачев А. С., Фаре А. Н., Хвощевская А. А., Дульцев Ф. Ф., Черных А. В., Мельгунов М. С., Калинин П. Н., Растигеев С. А. Об открытии слаборадоновых вод – Инские источники // Геология и геофизика. 2022. Т. 63, № 12. С. 1714–1732.
- 9 Novikov D. A., Dultsev F. F., Sukhorukova A. F., Maksimova A. A., Chernykh A. V., Derkachov A. S. Monitoring of radionuclides in the natural waters of Novosibirsk, Russia // Groundwater for Sustainable Dev. 2021. Vol. 15, No. 11. Art. 100674.
- 10 Novikov D. A., Kopylova Yu. G., Pyryaev A. N., Maksimova A. A., Derkachov A. S., Sukhorukova A. F., Dultsev F. F., Chernykh A. V., Khvashchevskaya A. A., Kalinkin P. N., Petrozhitsky A. V. Radon-rich waters of the Tulinka aquifers, Novosibirsk, Russia // Groundwater for Sustainable Dev. 2023. Vol. 20. Art. 100886.
- 11 Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum. Geneva: World Health Organization, 2007. 631 p.
- 12 СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М., 2021. 975 с.
- 13 Peter A. L. J., Viraraghavan T. Thallium: A review of public health and environmental concerns // Environ. Int. 2005. Vol. 31, No. 4. P. 493–501.
- 14 Kemper F. H., Bertram H. P. Thallium / Metals and Their Compounds in the Environment: Occurrence, Analysis, and Biological Relevance. New York: Weinheim, 1991. P. 1227–1241.
- 15 Вернадский В. И. Очерки геохимии. 4-е (2-е русское) изд. Москва, Ленинград, Грозный, Новосибирск: Гос. науч.-техн. горно-геолого-нефтяное изд-во, 1934. 378 с.
- 16 Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-44 – Новосибирск. 2015.
- 17 Лучицкая И. О., Белая Н. И., Арбузов С. А. Климат Новосибирска и его изменения. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. 224 с.
- 18 ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. М.: Стандартинформ, 2010. 18 с.
- 19 СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий (с изменениями на 26 июня 2021 года). М., 2021. 65 с.
- 20 Сухорукова А. Ф. Гидрогеологические условия разработки и гидрогеохимия дренажных вод гранитного карьера Борок // Изв. Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 5. С. 209–218.