

## Гидрохимическая характеристика и качество подземных вод Сосновского района Челябинской области для целей орошения

Д. Ю. Нохрин<sup>1</sup>✉, Н. А. Давыдова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

✉E-mail: nokhrin8@mail.ru

**Аннотация.** Цель исследования заключалась в оценке качества подземных вод, используемых для орошения индивидуальных участков жителей Сосновского района Челябинской области. **Материал:** 73 пробы, отобранные в колодцах и скважинах на территории частных земельных участков сел, коттеджных поселков и садовых некоммерческих товариществ. **Методы:** определены 30 показателей состава воды (общие показатели – 6, главные ионы и карбонат-ион – 8, соединения азота, фосфора и органическое вещество – 5, тяжелые металлы и кремний – 11) с использованием капиллярного электрофореза, атомной абсорбции, потенциометрии, спектрофотометрии и кондуктометрии. Статистический анализ включал расчет средних значений с 95-процентными доверительными интервалами (95 % ДИ), вычисленными бутстрепом (для цензурированных наблюдений использовался метод Каплана – Мейера), относительные частоты (в %) с 95 % ДИ (метод Джеффриса и одновременные ДИ по Уилсону). Данные визуализировали с использованием диаграмм Пайпера и Гиббса. Используемые программы: PAST, Scout 2008, R, DescTool, GW\_Chart, KPlot, QGIS. **Результаты.** На территории Сосновского района Челябинской области преобладают гидрокарбонатные магниевые-кальциевые подземные воды с рН 7,39 (95 % ДИ: от 7,30 до 7,48) и минерализацией 651 мг/дм<sup>3</sup> (95 % ДИ: от 598 до 720). С использованием диаграмм Пайпера и Гиббса установлено, что ведущими процессами формирования химического состава вод являются: 1) растворение минералов кальцит-доломитового ряда осадочных пород, 2) растворение и ионный обмен полевых шпатов в составе гранитов с кальцитом. По величине минерализации и рискам хлоридного засоления, натриевого осолонцевания, магниевое осолонцевания и содообразования доля проб воды I и II категории качества для целей орошения составляет 65,7 %. Имеются превышения нормативов по концентрации NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (24,7 % проб), Ва (68,3 %), Cd (30,4 %), Fe (15,3 %), Mn (12,9 %), Рь (6,3 %).

**Ключевые слова:** подземные воды, химический состав, диаграмма Пайпера, диаграмма Гиббса, гидрогеохимические процессы, орошение, качество.

**Для цитирования:** Нохрин Д. Ю., Давыдова Н. А. Гидрохимическая характеристика и качество подземных вод Сосновского района Челябинской области для целей орошения // Аграрный вестник Урала. 2020. Специальный выпуск «Биология и биотехнологии». С. 56–69. DOI: ...

**Дата поступления статьи:** 12.11.2020.

### Постановка проблемы (Introduction)

В настоящее время в Российской Федерации темпы роста населения пригородных территорий опережают темпы роста городов-центров [1, с. 636], т. е. на фоне продолжающейся урбанизации с концентрированием населения в крупных городах и их пригородах наблюдается также и активный обратный процесс – субурбанизация (СУ). Она проявляется в оттоке населения из крупных городов в пригороды и имеет несколько видов. Сезонная дачная СУ является во многом наследием советского периода массового развития садоводства и огородничества, а также последующих кризисных периодов, когда широко доступные населению земельные участки выделялись под индивидуальные огороды для решения продовольственной проблемы [2, с. 103]. На текущий момент дачи остаются одним из главных сегментов пригородных

зон крупных городов, а переобустройство дач под круглогодичное проживание – значимым явлением в трансформации российских пригородов [1, с. 636]. В отличие от дачной, классическая СУ – это этап социально-экономического развития, характеризующийся ростом жизненного уровня, позволяющим населению иметь дом с участком на расстоянии от города, в экологически более привлекательном месте, но продолжать работать в городе [2, с. 103]. Она проявляется строительством загородных усадеб в прилегающих к городу селениях, а также пригородных коттеджных поселков.

В пригороде г. Челябинска СУ наиболее активно протекает в Сосновском районе Челябинской области, который лидирует по миграционному приросту населения [3, с. 273]. Это обусловлено особым положением района, который охватывает город сразу с трех сторон (рис. 1).

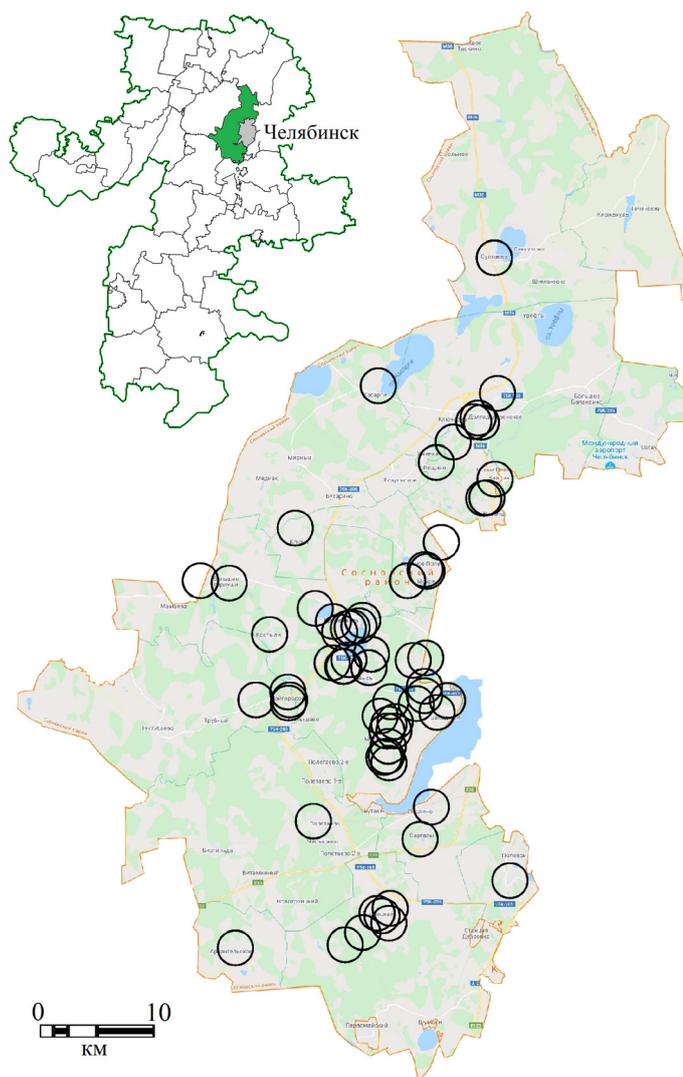


Рис. 1. Карта расположения точек отбора проб подземных вод в Сосновском районе Челябинской области

Протяженность территории района в направлении с севера на юг составляет 90 км, с запада на восток – 30 км. Общая земельная площадь района – 207 138 га, из которых 6,4 % – это земли промышленности, энергетики, транспорта и связи, 7,2 % – земли сельских поселений (16 шт.) и населенных пунктов (80 шт.), 27,2 % – земли лесного и водного фондов, а 58,7 % – земли сельскохозяйственного назначения [4]. При этом независимо от типа СУ новые жители пригорода сталкиваются с проблемой водоснабжения, которая зачастую решается бурением индивидуальных скважин. Качество подземной воды из них нуждается в исследовании, особенно с точки зрения возможности использования для полива участков, поскольку источниками питьевой воды могут быть бутилированная вода и подземная вода, прошедшая через системы комплексной очистки. Цель данной работы заключалась в оценке качества подземных вод, используемых для орошения индивидуальных участков жителей Сосновского района Челябинской области.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Работа выполнена в ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в рамках государственного задания Минобрнауки России и Программы ПФНИ государственных академий наук

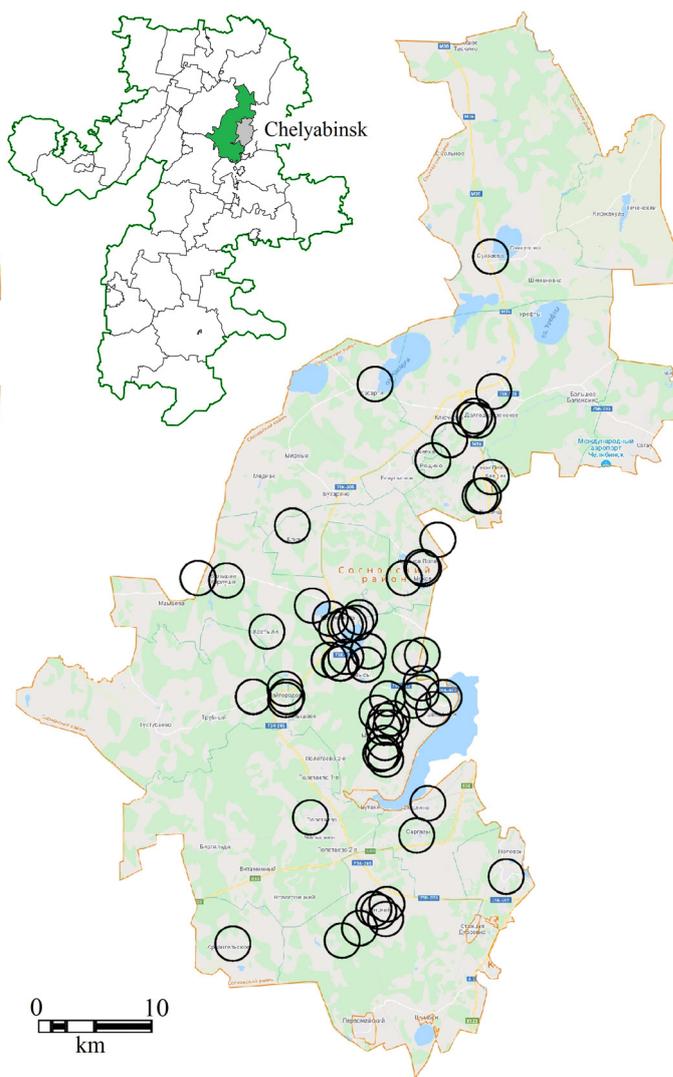


Fig. 1. Location map of groundwater sampling points in the Sosnovskiy district of the Chelyabinsk region

по направлению 151 «Теория и принципы разработки и формирования технологий возделывания экономически значимых сельскохозяйственных культур в целях конструирования высокопродуктивных агрофитоценозов и агроэкосистем». Отбор проб воды проводился ООО «Экспертный центр санитарно-экологического соответствия» в период с 23.04.2014 по 03.04.2018 г. в колодцах и скважинах на территории частных земельных участков сел, коттеджных поселков и садовых некоммерческих товариществ (рис. 1). Координаты объектов отслеживались по GPS-навигатору во время отбора проб или находились по предоставленным заказчиками адресам с помощью приложения «Карты Google». Пробы отбирались в пластиковую тару (1,5–2,0 л) и доставлялись в лабораторию.

Всего было изучено 73 пробы. Концентрацию главных ионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ), соединений азота и фосфора ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ), а также ионов  $\text{Vr}^{2+}$  и  $\text{Sr}^{2+}$  определяли методом капиллярного электрофореза («Капель 103-Р», ГК «Люмэкс», Россия). Сбор данных, анализ полученных электрофореграмм и расчеты по калибровочным кривым выполнены в пакете «МультиХром для Windows» (версия 1.52u, ЗАО «Амперсенд»). Общую щелочность, содержание гидрокарбонат- и карбонат-ио-

нов рассчитывали по точке перегиба кривой титрования 30 мл пробы 0,02 н раствором HCl. Расчеты проведены в программе Alkalinity Calculator (version 2.22, [5]). Фотометрические измерения (окисляемость, Si) выполнены на концентрационном фотоэлектрическом колориметре КФК 2 (АО «Загорский оптико-механический завод», Россия), потенциометрические – на иономере И-160МИ (ЗАО «Измерительная техника», Россия), кондуктометрические – на кондуктометре EZ-1 (Meterics®, Китай). Анализ на содержание в воде металлов проводился согласно [6, с. 1] на атомно-абсорбционном спектрофотометрах AAS-1 (Carl Zeiss, Германия) и МГА 915 (ГК «Люмэкс», Россия). Во всех анализах в качестве градуировочных растворов использовали смеси ГСО отдельных ионов.

В ходе анализа полученных данных использовали методы описательной статистики, поиска связей и визуализации данных. Для всех гидрохимических показателей рассчитывали минимальные, максимальные и средние значения; последние снабжали 95-процентными доверительными интервалами (95 % ДИ), вычисленными техникой непараметрического бутстрепа (метод процентилей,  $n = 99999$ ). Расчеты выполнены в пакете PAST (version 3.24 [7, p. 1]); в нем же считали корреляцию по Спирмену. Описательную статистику для показателей с цензурированными наблюдениями (ЦН) типа «менее чем» рассчитывали непараметрическими методами в пакете Scout 2008 (version 1.00.01 [8]). При этом средние значения находили методом Каплана – Мейера, а 95 % ДИ – бутстрепом (метод процентилей,  $n = 9999$ ) для метода Каплана – Мейера [9, p. 1]. Для оценки пригодности вод для целей орошения руководствовались классификацией [10, с. 1], согласно которой выделяли 4 класса качества, а также определяли превышения содержания ряда неорганических соединений. Для классов качества вод рассчитывали относительные частоты (в процентах) с одновременными 95 % ДИ, вычисленными методом Уилсона, а для долей проб с превышениями нормативов по отдельным показателям – частоты с 95 % ДИ, вычисленными методом Джеффриса. Расчеты выполнены в пакете DescTool (version 0.99.34 [11]) для программно-статистической среды R (version 3.6.2, [12]). Для визуализации особенностей химического состава использовали диаграммы Пайпера и Гиббса, построенные в пакетах GW\_Chart (version 1.29 [13, p. 1]) и KyPlot (version 5.0, [14, p. 425]). Карта отбора проб выполнена средствами пакета QGIS (версия 3.10).

### Результаты (Results)

Глубины изученных источников воды варьировали в широких пределах: от 12 м (колодец) до 135 м (артезианская скважина); но в 50 % случаев глубина находилась между 25 и 50 м при медиане 38 м. Результаты их химического анализа представлены в таблице 1.

**Краткая характеристика.** Подземные воды Сосновского района характеризовались чаще нейтральной, реже – слабощелочной реакцией среды. По величине минерализации (0,651 г/л по сумме ионов) по классификации И. К. Зайцева (1972) воды относятся к группе пресных, подгруппе жесткопресных вод (минерализация 0,5–1,0 г/л). Они имели преимущественно среднюю жесткость: в пределах 4–8 °Ж. Из катионов чаще преобладал кальций, из анионов – ги-

дрокарбонат-ион. Содержание органического вещества (окисляемость) – низкое. Из продуктов разложения органического вещества в заметном количестве имелись пробы с ЦН, когда концентрация показателя была ниже границы чувствительности методики. Так, для показателя «свежего» органического вещества – катиона  $\text{NH}_4^+$  – доля таких проб составила 15,1 %, для  $\text{NO}_2^-$  – 29,2 %. Напротив, для конечных форм разложения органического вещества доля проб с ЦН была низка: для  $\text{NO}_3^-$  – 2,7 %, для ортофосфатов – 3,7 %. Это указывает на то, что процессы окисления органического вещества на момент взятия проб преимущественно завершились. Обнаружена слабая, но статистически значимая отрицательная связь между концентрацией нитратов и глубиной скважины: коэффициент корреляции Спирмена  $r_s = -0,30$ ;  $P = 0,037$ . Содержание микроэлементов и тяжелых металлов может быть оценено только в сравнении с другими локалитетами или нормативными значениями (см. ниже), однако следует отметить высокие верхние границы содержания Fe, Mn и Sr.

**Главные ионы и классификация вод.** Несмотря на то что ведущие факторы, процессы и обстановки формирования состава подземных вод достаточно хорошо изучены [15, с. 1–288], в отечественной гидрогеохимии не существует единой классификации подземных вод по химическому составу. При рассмотрении различных аспектов их происхождения и состава могут использоваться разные классификации, авторами которых являются такие крупные ученые, как О. А. Алекин, М. Г. Валяшко, В. И. Вернадский, М. С. Гуревич, В. В. Иванов, Г. А. Максимова, А. М. Овчинников, К. Е. Питьева, В. С. Самарина, В. А. Сулин, Н. И. Толстихин, и др. Напротив, в зарубежных исследованиях обычно используются более формальные, но менее разнообразные классификации, в основе которых лежат графические отображения главных ионов в процентах эквивалентных концентраций (%-экв.). Наиболее часто используются классификации на основе диаграмм Артура Пайпера [16, p. 914] и Святослава Алексеевича Дурова [17, с. 87], предложенных еще в 40-х годах прошлого века, но сравнение информативности которых продолжается и в настоящее время, особенно в странах с засушливым климатом [18, p. 31073], [19, p. 121], [20, p. 9], [21, p. 1]. В основе обоих графиков лежит одинаковый принцип – изображение пробы двумя точками на двух треугольниках Ферре: в пространствах трех главных катионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ) и трех главных анионов ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ), которые проецируются одной точкой на общее результирующее поле. При этом треугольники используются для выявления доминирующих катионов и анионов, а поле – для классификации пробы. Различия двух диаграмм касаются лишь взаимного расположения треугольников и формы результирующего поля. При наличии географических или временных серий проб такие диаграммы позволяют обнаруживать тренды изменения химического состава вод и давать им геохимическую интерпретацию (см. ниже). Руководствуясь соображениями унификации с хорошо разработанными западными классификациями вод и доступности программного обеспечения для построения графиков, мы выбрали классификацию на основе диаграммы Пайпера.

Как видно из рис. 2, по катионному составу большинство проб попало в зону кальциевых вод и вод смешанного состава и только 8 проб (11 %) – в зону натриевых вод. В анионном составе заметно преобладал гидрокарбонат-ион; только 2 пробы находились в зоне смешанного состава и по одной пробе – в зонах хлоридного и сульфатного типов. В целом 60 из 73 проб, или 82,2 % (95% ДИ: от 72,3 до 89,6 %), спроецировались в зону геохимической фации IV ( $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ ) результирующего поля, которая совпадает с V типом воды ( $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{CO}_3^{2-}$ ). Важно отметить, что ни одна проба не попала в зону фации II и VII типа вод – хлоридных или сульфатных калиево-натриевых соленых вод. Таким образом, в подземных водах Сосновского района преобладали гидрокарбонатные магниевые-кальциевые воды.

**Процессы, участвующие в формировании состава подземных вод.** Как видно из рис. 2, облака точек проб на треугольниках анионного и катионного состава не являются однородными, причем для катионов выделяются два тренда. В монографии Хаунслоу [22, р. 71–128] приведены графические примеры для наиболее важных в гидрогеологии процессов растворения, осаждения и ионного обмена при взаимодействии воды с минералами. Из них для нашего случая наиболее правдоподобными процессами, объясняющими отмеченную картину, являются два. Во-первых, это растворение минералов кальцит-доломитового ряда, приводящее к осаждению кальцита и увеличению доли ионов  $\text{Mg}^{2+}$  в воде (рис. 3, а).

Таблица 1

## Химический состав подземных вод Сосновского района Челябинской области

№ п/п	Показатели	Единица измерения	Количество $n_{\text{цел.}}/n_{\text{общ.}}$	Минимум* – максимум	Среднее [95 % ДИ]
1	Глубина скважины	м	48	12–135	41,6 [35,9; 48,1]
<b>Общие</b>					
2	Водородный показатель	ед. рН	0/73	6,50–8,52	7,39 [7,30; 7,48]
3	Жесткость общая	°Ж	–/–	0,07–18,47	6,75 [5,90; 7,64]
4	Минерализация: сухой остаток	мг/дм <sup>3</sup>	–/–	37–1621	457 [397; 524]
5	сумма ионов	мг/дм <sup>3</sup>	–/–	54–1883	651 [598; 720]
6	Щелочность общая	ммоль/дм <sup>3</sup>	–/–	0,55–11,07	5,71 [5,24; 6,18]
7	Электропроводимость удельная	мкСм/см	–/–	52–2098	725 [651; 806]
<b>Главные ионы и карбонатная система</b>					
8	Гидрокарбонаты ( $\text{HCO}_3^-$ )	мг/дм <sup>3</sup>	–/–	33,6–674,7	347,2 [318,5; 375,8]
9	Калий ( $\text{K}^+$ )	мг/дм <sup>3</sup>	–/–	0,0–88,3	3,1 [1,6; 5,7]
10	Кальций ( $\text{Ca}^{2+}$ )	мг/дм <sup>3</sup>	–/–	1,1–239,2	79,6 [70,0; 89,8]
11	Карбонаты ( $\text{CO}_3^{2-}$ )	мг/дм <sup>3</sup>	–/–	0,02–4,2	0,77 [0,59; 0,99]
12	Магний ( $\text{Mg}^{2+}$ )	мг/дм <sup>3</sup>	–/–	0,2–100,5	33,8 [28,9; 39,1]
13	Натрий ( $\text{Na}^+$ )	мг/дм <sup>3</sup>	–/–	2,9–172,0	49,3 [40,8; 58,4]
14	Сульфаты ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	мг/дм <sup>3</sup>	–/–	1,8–312,0	58,0 [45,9; 71,5]
15	Хлориды ( $\text{Cl}^-$ )	мг/дм <sup>3</sup>	–/–	0,3–216,9	28,1 [19,6; 37,9]
<b>Биогенное и органическое вещество</b>					
16	Аммония ион ( $\text{NH}_4^+$ )	мг/дм <sup>3</sup>	11/73	(0,2)–6,47	0,27 [0,14; 0,48]
17	Нитраты ( $\text{NO}_3^-$ )	мг/дм <sup>3</sup>	2/73	(0,2)–543,2	41,3 [26,4; 60,6]
18	Нитриты ( $\text{NO}_2^-$ )	мг/дм <sup>3</sup>	19/65	(0,2)–2,09	0,22 [0,13; 0,32]
19	Фосфаты ( $\text{HPO}_4^{2-}$ )	мг/дм <sup>3</sup>	1/27	(0,25)–12,0	1,3 [0,6; 2,4]
20	Окисляемость перманганатная	мгО/дм <sup>3</sup>	3/72	(0, 25)–15,97	1,38 [0,96; 1,93]
<b>Микроэлементы и тяжелые металлы</b>					
21	Барий ( $\text{Ba}^{2+}$ )	мг/дм <sup>3</sup>	7/63	(0,05)–4,75	0,71 [0,49; 0,94]
22	Железо (Fe)	мг/дм <sup>3</sup>	3/72	(0,003)–38,6	0,906 [0,202; 2,13]
23	Кадмий (Cd)	мг/дм <sup>3</sup>	15/23	(0,0001)–0,048	0,0041 [0,0012; 0,0102]
24	Кобальт (Co)	мг/дм <sup>3</sup>	16/24	(0,002)–0,090	0,0093 [0,0034; 0,0203]
25	Кремний (Si)	мг/дм <sup>3</sup>	1/71	(0,004)–20,2	9,30 [8,34; 10,29]
26	Марганец (Mn)	мг/дм <sup>3</sup>	6/70	(0,0007)–3,18	0,143 [0,045; 0,277]
27	Медь (Cu)	мг/дм <sup>3</sup>	7/42	(0,0007)–0,034	0,0084 [0,0056; 0,0116]
28	Никель (Ni)	мг/дм <sup>3</sup>	17/28	(0,0011)–0,032	0,0096 [0,0072; 0,0151]
29	Свинец (Pb)	мг/дм <sup>3</sup>	12/16	(0,0012)–0,071	0,014 [0,009; 0,071]
30	Стронций ( $\text{Sr}^{2+}$ )	мг/дм <sup>3</sup>	0/72	0,026–6,00	0,75 [0,60; 0,95]
31	Цинк (Zn)	мг/дм <sup>3</sup>	0/36	0,003–0,410	0,045 [0,027; 0,071]

\* В круглых скобках приведена минимальная нижняя граница чувствительности методики.

Table 1  
Chemical composition of groundwater in the Sosnovskiy district of the Chelyabinsk region

No.	Parameter	Units	$\frac{n_{\text{non-detects}}}{n_{\text{total}}}$	Minimum* – maximum	Mean [95 % CI]
1	Well depth	m	48	12–135	41.6 [35.9, 48.1]
<b>General indicators</b>					
2	pH	scale	0/73	6.50–8.52	7.39 [7.30, 7.48]
3	Total hardness	meq/L	-/-	0.07–18.47	6.75 [5.90, 7.64]
4	Mineralization, mg/l: residue at 180 °C	mg/L	-/-	37–1621	457 [397, 524]
5	total dissolved solids	-/-	-/-	54–1883	651 [598, 720]
6	Alcalinity	meq/L	-/-	0.55–11.07	5.71 [5.24, 6.18]
7	Conductivity	$\mu\text{S/cm}$	-/-	52–2098	725 [651, 806]
<b>Major ions and carbonate system</b>					
8	Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ )	mg/L	-/-	33.6–674.7	347.2 [318.5, 375.8]
9	Potassium ( $\text{K}^+$ )	-/-	-/-	0.0–88.3	3.1 [1.6, 5.7]
10	Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	-/-	-/-	1.1–239.2	79.6 [70.0, 89.8]
11	Carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ )	-/-	-/-	0.02–4.2	0.77 [0.59, 0.99]
12	Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	-/-	-/-	0.2–100.5	33.8 [28.9, 39.1]
13	Sodium ( $\text{Na}^+$ )	-/-	-/-	2.9–172.0	49.3 [40.8, 58.4]
14	Sulphate ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	-/-	-/-	1.8–312.0	58.0 [45.9, 71.5]
15	Chloride ( $\text{Cl}^-$ )	-/-	-/-	0.3–216.9	28.1 [19.6, 37.9]
<b>Biogenic compounds and organic matter</b>					
16	Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )	-/-	11/73	(0.2)–6.47	0.27 [0.14, 0.48]
17	Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ )	-/-	2/73	(0.2)–543.2	41.3 [26.4, 60.6]
18	Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ )	-/-	19/65	(0.2)–2.09	0.22 [0.13, 0.32]
19	Phosphate ( $\text{HPO}_4^{2-}$ )	-/-	1/27	(0.25)–12.0	1.3 [0.6, 2.4]
20	Permanganate oxidability	mgO/L	3/72	(0.25)–15.97	1.38 [0.96, 1.93]
<b>Heavy metals and trace elements</b>					
21	Barium ( $\text{Ba}^{2+}$ )	mg/L	7/63	(0.05)–4.75	0.71 [0.49, 0.94]
22	Iron (Fe)	-/-	3/72	(0.003)–38.6	0.906 [0.202, 2.13]
23	Cadmium (Cd)	-/-	15/23	(0.0001)–0.048	0.0041 [0.0012, 0.0102]
24	Cobalt (Co)	-/-	16/24	(0.002)–0.090	0.0093 [0.0034, 0.0203]
25	Silicon (Si)	-/-	1/71	(0.004)–20.2	9.30 [8.34, 10.29]
26	Manganese (Mn)	-/-	6/70	(0.0007)–3.18	0.143 [0.045, 0.277]
27	Copper (Cu)	-/-	7/42	(0.0007)–0.034	0.0084 [0.0056, 0.0116]
28	Nickel (Ni)	-/-	17/28	(0.0011)–0.032	0.0096 [0.0072, 0.0151]
29	Lead (Pb)	-/-	12/16	(0.0012)–0.071	0.014 [0.009, 0.071]
30	Strontium ( $\text{Sr}^{2+}$ )	-/-	0/72	0.026–6.00	0.75 [0.60, 0.95]
31	Zinc (Zn)	-/-	0/36	0.003–0.410	0.045 [0.027, 0.071]

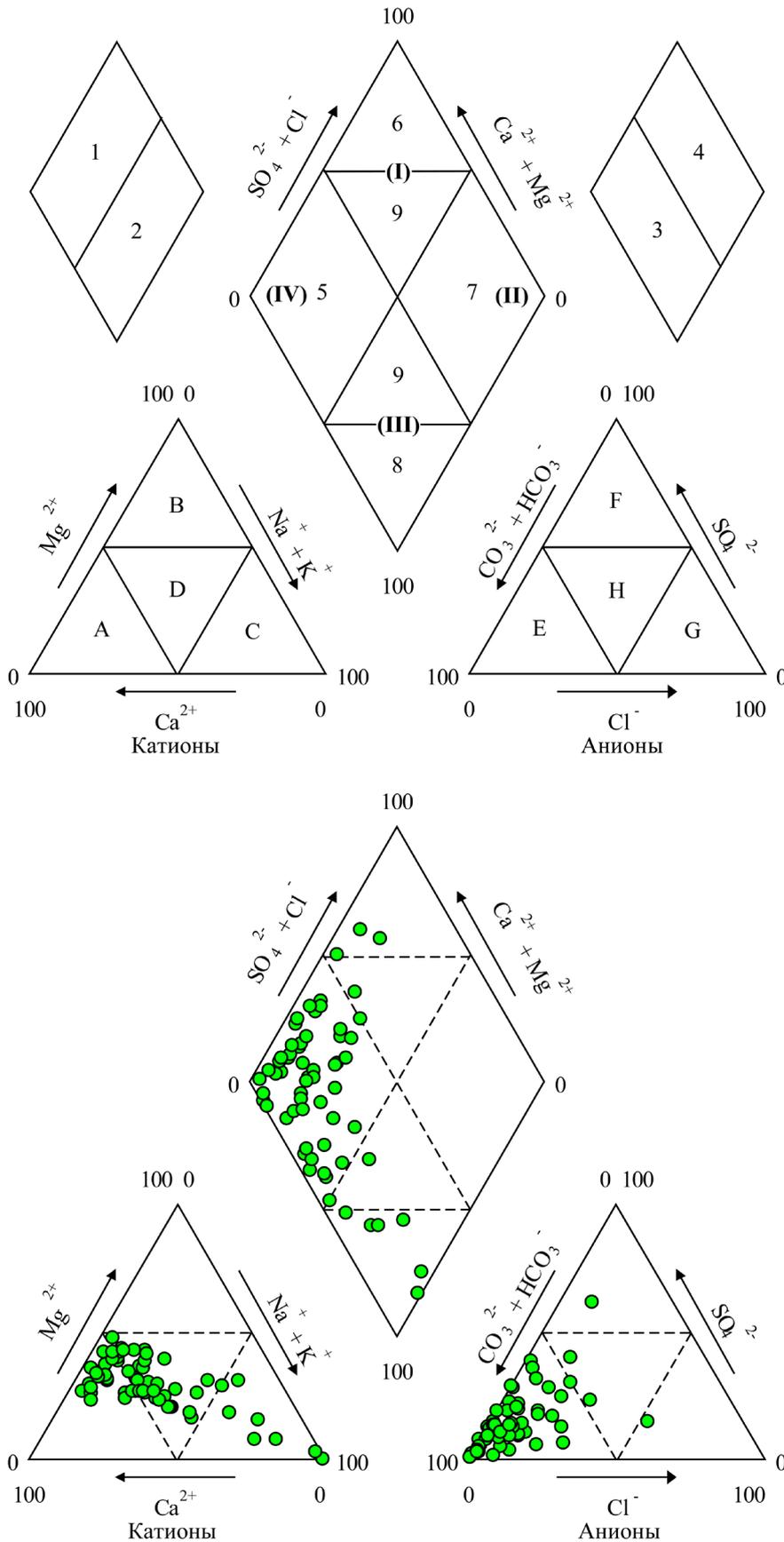
\* The minimum detection limit given in parentheses.

Во-вторых, это процессы растворения альбита или ионного обмена с кальцитом, в результате которых в растворе увеличивается доля ионов  $\text{Na}^+$ , проявляющаяся на диаграмме отчетливым трендом в направлении натриевого типа вод (рис. 3, б).

Другим распространенным типом графического изображения состава вод является диаграмма Гиббса (рис. 4), которая позволяет выделять такие ведущие факторы их формирования, как атмосферные осадки, процессы выветривания и испарения [23, p. 1088].

Несмотря на то что в исходной работе Рональд Гиббс применил данный тип графика для классификации поверхностных вод, к настоящему времени примерно половина всех публикаций, использующих диаграмму Гиббса, со-

держат ключевое слово «подземные воды», а в 2017 г. доля таких публикаций в базе данных Web of Science составила 72 % [24, p. 209]. Как видно из рис. 4, применительно к подземным водам Sosnovskiy района собственно диаграмма Гиббса позволяет сделать лишь тривиальный вывод о преобладающем вкладе процессов выветривания горных пород в формирование гидрохимического состава. Однако наложение на нее плотности распределения проб [25, p. 401] позволило выявить неоднородность распределения соотношения катионов в воде, по которому пробы образовали два отчетливых кластера: с относительно высокой и относительно низкой долями щелочных металлов в катионном составе. Это также указывает на наличие не менее чем двух различных процессов формирования состава рассматриваемых вод.



**Гидрохимические фации:**

- (I)  $Ca^{2+}-Mg^{2+}-Cl^{-}-SO_4^{2-}$
- (II)  $Na^{+}-K^{+}-Cl^{-}-SO_4^{2-}$
- (III)  $Na^{+}-K^{+}-HCO_3^{-}$
- (IV)  $Ca^{2+}-Mg^{2+}-HCO_3^{-}$

**Типы воды:**

- 1  $(Ca^{2+}+Mg^{2+}) > (Na^{+}+K^{+})$
- 2  $(Na^{+}+K^{+}) > (Ca^{2+}+Mg^{2+})$
- 3  $(HCO_3^{-}+CO_3^{2-}) > (Cl^{-}+SO_4^{2-})$
- 4  $(Cl^{-}+SO_4^{2-}) > (HCO_3^{-}+CO_3^{2-})$
- 5  $Ca^{2+}-Mg^{2+}$  и  $HCO_3^{-}-CO_3^{2-}$   
(Временная жёсткость)
- 6  $Ca^{2+}-Mg^{2+}$  и  $Cl^{-}-SO_4^{2-}$   
(Постоянная жёсткость)
- 7  $Na^{+}-K^{+}$  и  $Cl^{-}-SO_4^{2-}$  (Солёные)
- 8  $Na^{+}-K^{+}$  и  $HCO_3^{-}-CO_3^{2-}$   
(Карбонаты щелочных металлов)
- 9 Зона смешанных типов

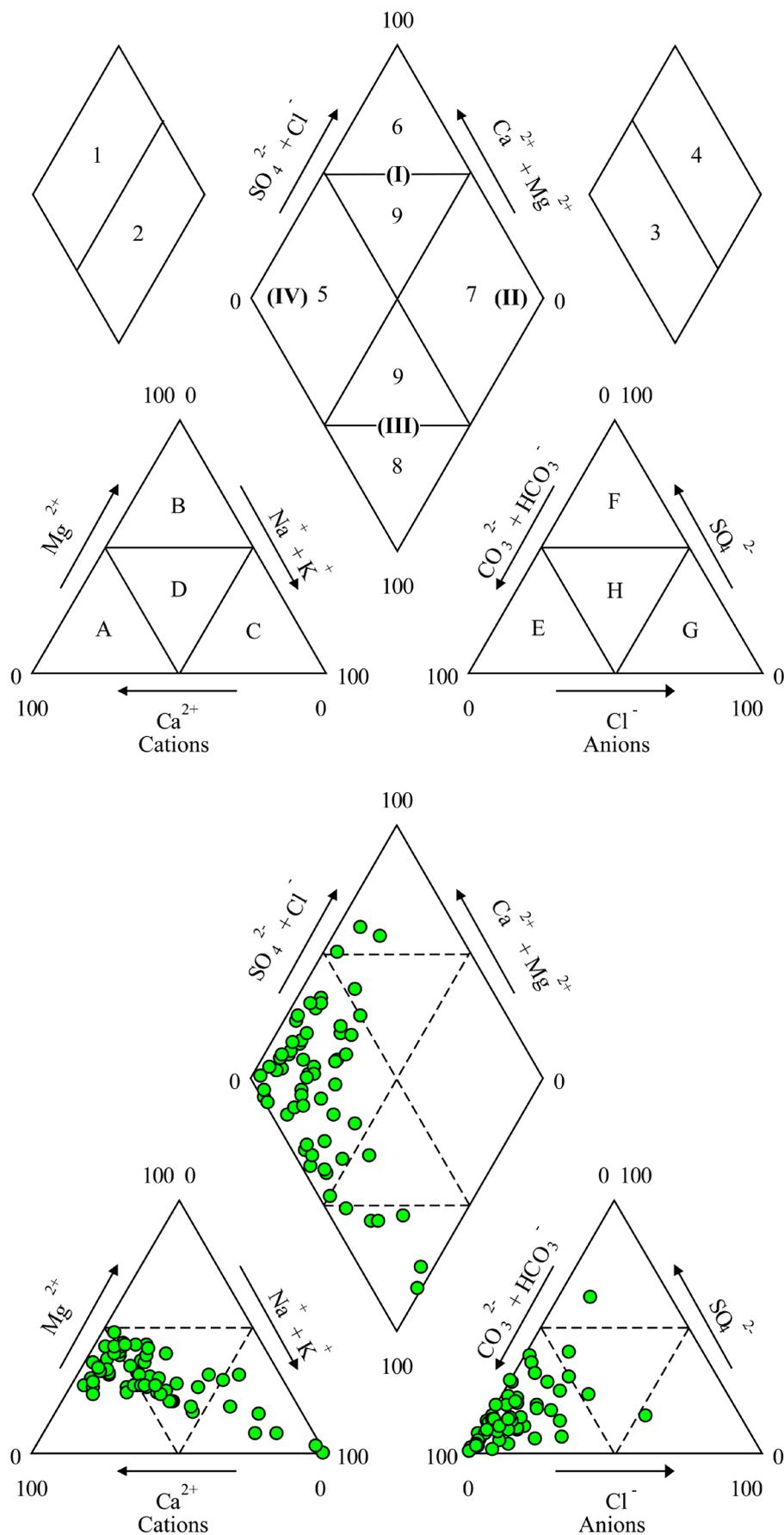
**Тип воды по катионному составу:**

- A) Кальциевая
- B) Магниева
- C) Натриевая
- D) Смешанный тип

**Тип воды по анионному составу:**

- E) Гидрокарбонатная
- F) Сульфатная
- G) Хлоридная
- H) Смешанный тип

Рис. 2. Подземные воды Сосновского района на диаграмме Пайпера



**Hydrochemical facies:**

- (I)  $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-Cl}^{\text{-}}\text{-SO}_4^{2\text{-}}$
- (II)  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-Cl}^{\text{-}}\text{-SO}_4^{2\text{-}}$
- (III)  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-HCO}_3^{\text{-}}$
- (IV)  $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^{\text{-}}$

**Water type:**

- 1  $(\text{Ca}^{2+}\text{+Mg}^{2+}) > (\text{Na}^+\text{+K}^+)$
- 2  $(\text{Na}^+\text{+K}^+) > (\text{Ca}^{2+}\text{+Mg}^{2+})$
- 3  $(\text{HCO}_3^{\text{-}}\text{+CO}_3^{2\text{-}}) > (\text{Cl}^{\text{-}}\text{+SO}_4^{2\text{-}})$
- 4  $(\text{Cl}^{\text{-}}\text{+SO}_4^{2\text{-}}) > (\text{HCO}_3^{\text{-}}\text{+CO}_3^{2\text{-}})$
- 5  $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^{\text{-}}\text{-CO}_3^{2\text{-}}$   
(Temporary hardness)
- 6  $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}$  и  $\text{Cl}^{\text{-}}\text{-SO}_4^{2\text{-}}$   
(Permanent hardness)
- 7  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  и  $\text{Cl}^{\text{-}}\text{-SO}_4^{2\text{-}}$  (Saline)
- 8  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  и  $\text{HCO}_3^{\text{-}}\text{-CO}_3^{2\text{-}}$   
(Alkali carbonate)
- 9 Mixing zone

**Water type for cations:**

- A) Calcium type
- B) Magnesium type
- C) Sodium and Potassium type
- D) No dominant type

**Water type for anions:**

- E) Bicarbonate type
- F) Sulphate type
- G) Chloride type
- H) No dominant type

Fig. 2. Sosnovskiy district's groundwaters on the Piper diagram

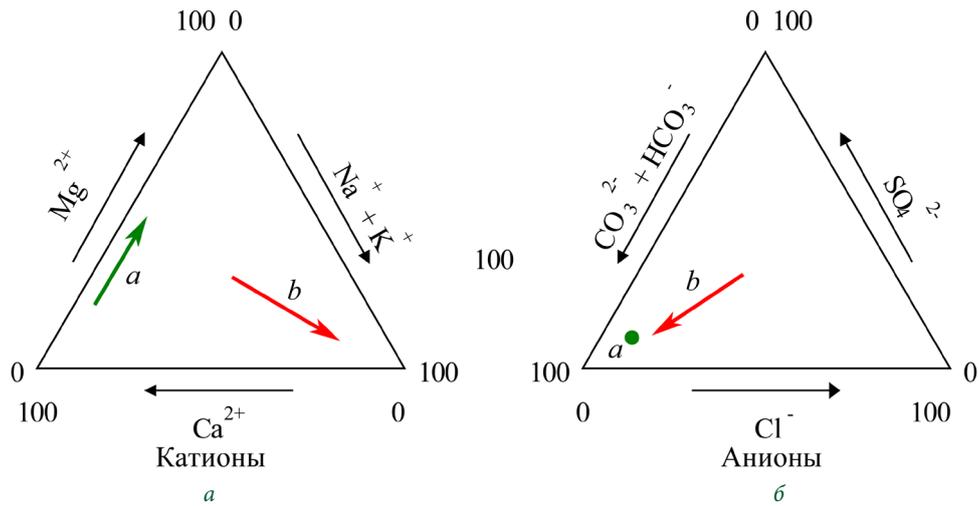


Рис. 3. Интерпретация трендов согласно Хаунслоу [22]: а – осаждение кальцита после растворения Mg-кальцита или доломита, б – растворение альбита или ионный обмен с кальцитом

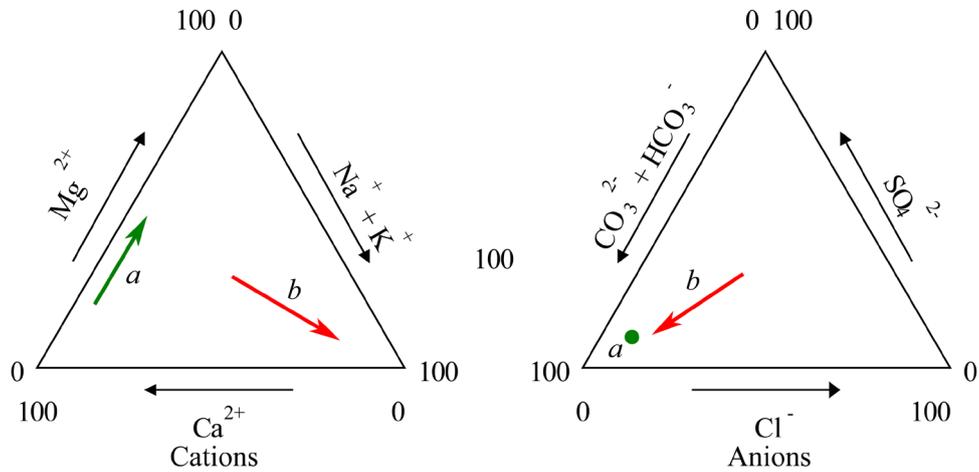


Fig. 3. Trend's interpretation according to Hownsow [22]: а – calcite precipitation after Mg calcite or dolomite solution, б – albite solution or calcite or ion exchange

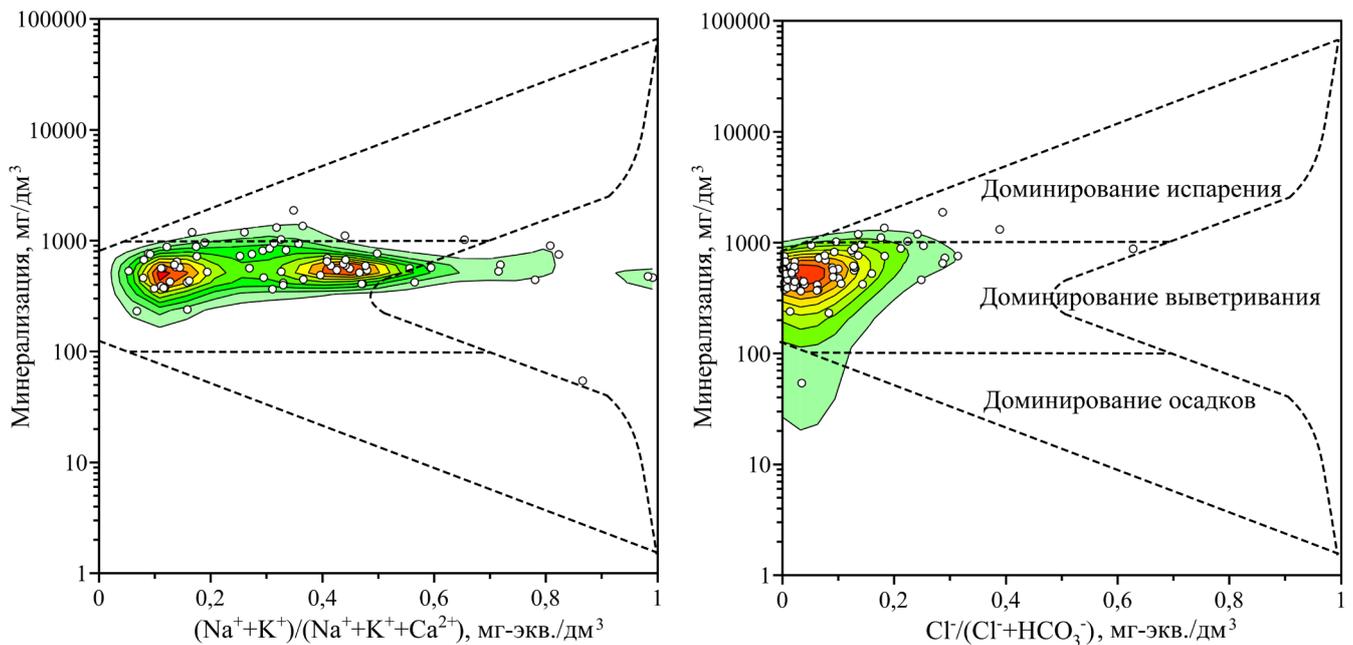


Рис. 4. Подземные воды Сосновского района Челябинской области на диаграмме Гиббса

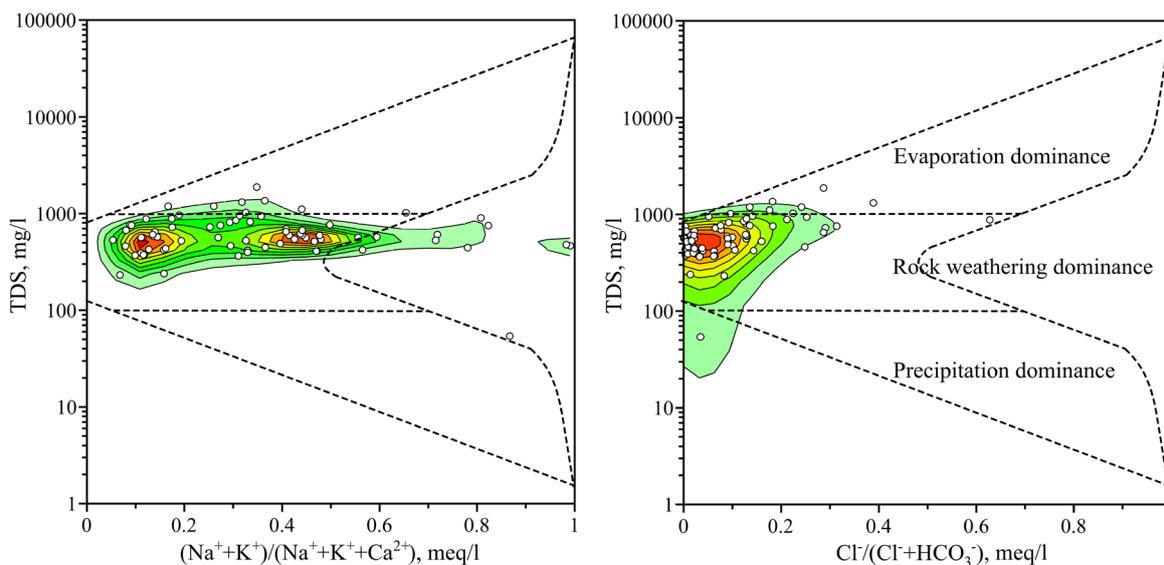


Fig. 4. Sosnovskiy district's groundwaters on the Gibbs diagram

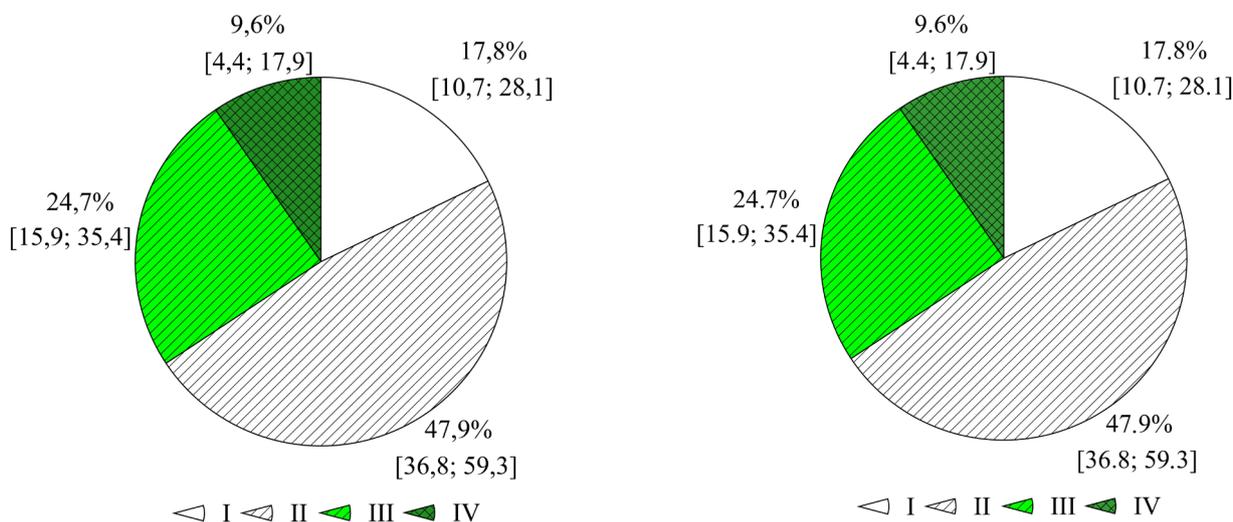


Рис. 5. Распределение подземных вод Sosnovского района Челябинской области по категориям качества

Fig. 5. Distribution of groundwater in the Sosnovskiy district of the Chelyabinsk region by quality category

**Качество вод для целей орошения.** Согласно почвенно-мелиоративной классификации [10, с. 1–141], вода для орошения подразделяется на 4 класса. Оросительная вода I и II классов не оказывает неблагоприятного влияния на плодородие почв и качество сельскохозяйственной продукции и считается пригодной для полива. При недостаточной дренированности территории для полива водой II класса необходим комплекс мелиоративных мероприятий. Вода III и IV классов непригодна для орошения без предварительной подготовки и проведения специального комплекса мелиоративных мероприятий. Распределение вод по классам качества представлено в таблице 2 и на рис. 5.

Полученные данные указывают на факт удовлетворительного качества примерно 2/3 изученных проб, поскольку доля проб I и II класса качества по пяти основным показателям составляет 65,7 %. Самая низкая вероятность получить на индивидуальном участке некачественную (III и IV классы) воду относится к хлоридному засолению (2,7 %), больше – к высокой минерализации (11 %), магниевому осолонцеванию (16,5 %) и содообразованию (20,6 %).

Помимо минерализации и соотношений главных ионов, на качество воды для полива влияет содержание в ней макро- и микроэлементов, а также токсичных элементов. Поскольку их концентрация измерялась не во всех пробах, точность полученных данных является различной, но сами данные дают представление о наличии или отсутствии проблемы и ее масштабах. Так, по минеральным формам азота ситуация представляется достаточно благополучной, поскольку превышений концентраций  $\text{NO}_2^-$  ( $> 3,8 \text{ мг/дм}^3$ ) обнаружено не было (доля [95 % ДИ] – 0,0 % [0,0; 3,8]), а превышения по  $\text{NO}_3^-$  ( $> 45 \text{ мг/дм}^3$ ) наблюдались в четверти случаев (24,7 % [15,9; 35,4]). По микроэлементам и тяжелым металлам превышения отмечены для: Ва ( $> 0,1 \text{ мг/дм}^3$ ; 68,3 % [56,1; 78,7]), Cd ( $> 0,001 \text{ мг/дм}^3$ ; 30,4 % [14,8; 50,7]), Fe ( $> 0,3 \text{ мг/дм}^3$ ; 15,3 % [8,4; 24,9]), Mn ( $> 0,2 \text{ мг/дм}^3$ ; 12,9 % [6,6; 22,1]) и Pb ( $> 0,03 \text{ мг/дм}^3$ ; 6,3 % [0,7; 25,7]). Не обнаружено превышений по Cu ( $> 1,0 \text{ мг/дм}^3$ ; 0,0 % [0,0; 5,8]), Ni ( $> 0,1 \text{ мг/дм}^3$ ; 0,0 % [0,0; 8,5]), Sr ( $> 7,0 \text{ мг/дм}^3$ ; 0,0 % [0,0; 3,4]) и Zn ( $> 1,0 \text{ мг/дм}^3$ ; 0,0 % [0,0; 6,7]).

Таблица 2

Распределение подземных вод Сосновского района ( $n = 73$ ) по классам качества для оросительных целей, % [95 % ДИ]

Показатель риска	Класс качества			
	I	II	III	IV
Минерализация	31,5 [21,7; 42,7]	57,5 [46,1; 68,4]	9,6 [4,4; 17,9]	1,4 [0,1; 6,2]
Хлоридное засоление	87,7 [78,7; 93,7]	9,6 [4,4; 17,9]	2,7 [0,6; 8,5]	0,0 [0,0; 3,4]
Натриевое осолонцевание	57,5 [41,6; 68,4]	26,0 [17,0; 36,9]	5,5 [1,9; 12,5]	11,0 [5,3; 19,6]
Магниевое осолонцевание	87,7 [78,7; 93,7]	9,6 [4,4; 17,9]	2,7 [0,6; 8,5]	0,0 [0,0; 3,4]
Содообразование	76,7 [66,1; 85,2]	2,7 [0,6; 8,5]	13,7 [7,3; 22,9]	6,8 [2,7; 14,4]

Table 2

Groundwater distribution of Sosnovskiy district ( $n = 73$ ) by quality classes for irrigation purposes, % [95 % CI]

Risk indicator	Quality class			
	I	II	III	IV
Mineralization	31.5 [21.7, 42.7]	57.5 [46.1, 68.4]	9.6 [4.4, 17.9]	1.4 [0.1, 6.2]
Chloride salinization	87.7 [78.7, 93.7]	9.6 [4.4, 17.9]	2.7 [0.6, 8.5]	0.0 [0.0, 3.4]
Sodium salinization	57.5 [41.6, 68.4]	26.0 [17.0, 36.9]	5.5 [1.9, 12.5]	11.0 [5.3, 19.6]
Magnesium salinization	87.7 [78.7, 93.7]	9.6 [4.4, 17.9]	2.7 [0.6, 8.5]	0.0 [0.0, 3.4]
Soda formation	76.7 [66.1, 85.2]	2.7 [0.6, 8.5]	13.7 [7.3, 22.9]	6.8 [2.7, 14.4]

### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В нашем исследовании преобладающим типом подземных вод Сосновского района был установлен гидрокарбонатный магниевый-кальциевый тип, а ведущими процессами их формирования предположены растворение минералов кальцит-доломитового ряда и растворение альбита или его ионный обмен с кальцитом. Такие процессы являются обычными и хорошо изученными, поскольку затрагивают самые распространенные горные породы: карбонатные породы осадочного происхождения и полевые шпаты класса силикатов магматического происхождения.

Известно, что в геологическом строении Сосновского района Челябинской области принимают участие метаморфические, вулканогенные и осадочные отложения палеозоя (известняки, песчаники, мрамор, порфириды, диабазы и т. д.), а также весьма широко распространены интрузивные породы (граниты, диориты, габбро) [26, с. 1–106]. Город Челябинск расположен в переходной геологической зоне между Уральской горной страной и Западно-Сибирской платформой [27]. Западная часть города и примыкающая к нему центральная часть Сосновского района расположены на древних докембрийских кристаллических породах, прорванных гранитными интрузиями палеозойского возраста и перекрытых продуктами выветривания. Подземные воды, развитые в зонах трещиноватости на глубинах от 10 до 40–70 м, а в зонах тектонического дробления – до 100 м и более, представляют собой безнапорные воды, пресные, умеренно жесткие, гидрокарбонатного класса с общей минерализацией 0,3–0,65 г/л, с высокой концентрацией радона [27]. Непосредственно в

самом Сосновском районе имеются достаточно крупные месторождения полевитового сырья. Во-первых, это Шершнево-Сосновское месторождение розовых гранитов. Их состав представлен преимущественно калиевым полевым шпатом (35–40 %), плагиоклазом (от альбит-олигоклаза до олигоклаза-андезина – 25–30 %) и кварцем (до 35–40 %). Во-вторых, это Кременкульское месторождение гранита и каолинизированной дресвы. Наиболее широко здесь развиты крупно- и среднезернистые граниты, сложенные в основном розовым калишпатом (49 %), серовато-белым плагиоклазом (23 %) и кварцем (25 %). Геологические запасы выветрелых гранитов месторождения оцениваются в 52 млн тонн, а полевошпатного концентрата, отвечающего требованиям ГОСТ 7030-75, – в 13 млн тонн [28, с. 179]. Восточная часть Челябинска и примыкающие к ней с севера и юга участки Сосновского района расположены на палеозойских эффузивных породах и отчасти на известняках. Здесь отложения палеозоя погружаются под толщу осадочно-терригенных пород мезокайнозойского возраста (песчаники, конгломераты, опоки, диатомиты, глины), мощность которых не превышает 5–25 м. Коренные породы почти повсеместно перекрываются четвертичными отложениями, мощность которых редко превышает 10–15 м [4]. Воды здесь гидрокарбонатно-кальциево-магниевые с минерализацией до 1 г/л [27].

Таким образом, полученные нами на основе анализа диаграмм Пайпера и Гиббса выводы согласуются с имеющейся гидрогеологической информацией.

Приблизительно треть (34,3 %) проб воды оказалась III и IV категорий, т. е. оказывающей неблагоприятное воз-

действие на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственных культур [10, с. 1–141]. В целом это достаточно большая доля, а потому аграрным предприятиям можно рекомендовать включить оценку качества поливной воды в систему экологического мониторинга по аналогии с работой И. А. Шкуратовой с соавторами [29, с. 60]. Организациям и частным лицам, являющимися водопользователями индивидуальных скважин, можно рекомендовать проведение более полных исследований подземных вод для возможности выбора мероприятий по снижению их отрицательного воздействия на почву и растения. Лицам, планирующим приобрести недвижимость в Сосновском районе Челябинской области, следует более внимательно отнестись к рассмотрению источников водоснабжения и их качеству.

Выводы:

1. На территории Сосновского района Челябинской области преобладают гидрокарбонатные магниевые-кальциевые подземные воды с рН 7,39 (95 % ДИ: от 7,30 до 7,48) и минерализацией 651 мг/дм<sup>3</sup> (95 % ДИ: от 598 до 720).

2. С использованием диаграмм Пайпера и Гиббса установлено, что ведущими процессами формирования химического состава вод являются растворение минералов кальцит-доломитового ряда осадочных пород и растворение и ионный обмен полевых шпатов в составе гранитов с кальцитом.

3. По величине минерализации и рискам хлоридного засоления, натриевого осолонцевания, магниевое осолонцевания и содообразования доля проб I и II класса качества для целей орошения составляет 65,7 %. Имеются превышения по концентрации NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (24,7 % проб), Ва (68,3 %), Cd (30,4 %), Fe (15,3 %), Mn (12,9 %), Pb (6,3 %).

#### Благодарности (Acknowledgements)

Авторы благодарят директора ООО «Экспертный центр санитарно-экологического соответствия» М. Ю. Балашова за организацию сбора материала и доктора ветеринарных наук Ю. Г. Грибовского за аналитические работы по определению содержания тяжелых металлов.

#### Библиографический список

1. Бреславский А. С. Время изучать пригороды // Вестник РУДН. Серия: Социология. 2017. Т. 17. № 2. С. 636–644. DOI: 10.22363/2313-2272-2017-17-4-636-644.
2. Русанов А. В. Субурбанизация и жилищное строительство в Московской области // Народонаселение. 2017. № 2. С. 103–111.
3. Никитина Т. И. Влияние демографической ситуации на уровень устойчивого развития сельских территорий Челябинской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 8. С. 273–278.
4. Инвестиционный паспорт района 2018 год [Электронный ресурс] // Официальный сайт Сосновского муниципального района Челябинской области. URL: <http://www.chelsosna.ru> (дата обращения: 10.04.2020).
5. Rounds S. Alkalinity Calculator [e-resource] // USGS Oregon Water Science Center. 2013. URL: <http://or.water.usgs.gov/alk/alk.html> (appeal date: 05.03.2020).
6. ГОСТ Р 51309-99 Вода питьевая. Определения содержания элементов методами атомной спектроскопии. Москва: Стандартинформ, 2010. 42 с.
7. Hammer O., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. No. 1. Pp. 1–9.
8. Zimmerman J.Y. Abstract Scout [e-resource] / EPA: National Exposure Research Laboratory Environmental Sciences. URL: <https://archive.epa.gov/esd/archive-scout/web/html> (appeal date: 02.04.2020).
9. Nocerino J., Singh A., Maichle R., Armbya N., Singh A. K. Scout 2008 Version 1.0. User Guide Part I. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 2008. 244 p.
10. Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель / Под ред. В. Н. Щедрина. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. 141 с.
11. Signorell A., et al. DescTools: Tools for Descriptive Statistics. R package version 0.99.34 от 12.03.2020 [e-resource]. URL: <https://cran.r-project.org/package=DescTools> (appeal date: 10.04.2020).
12. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Austria, Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016 [e-resource]. URL: <https://www.R-project.org> (appeal date: 10.04.2020).
13. Winston R. B. Graphical User Interface for MODFLOW, Version 4: U. S. Geological Survey Open-File Report 00-315, 2000. 27 p.
14. Yoshioka K. KyPlot – A user-oriented tool for statistical data analysis and visualization. Computational Statistics. 2002. Vol. 17. No. 3. Pp. 425–437.
15. Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия / Под ред. С. Л. Шварцева. Новосибирск: Наука, 1982. 288 с.
16. Piper A. M. A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses // Transactions of the American Geophysical Union. 1944. Vol. 25. Pp. 914–923.
17. Дуров С. А. Классификация природных вод и графическое изображение их состава // Доклады АН СССР. 1948. Т. 59. № 1. С. 87–90.
18. Ravikumar P., Somashekar R. K., Prakash K. L. A comparative study on usage of Durov and Piper diagrams to interpret hydrochemical processes in groundwater from SRLIS river basin, Karnataka, India // Elixir international journal. Earth Science. 2015. Vol. 80. Pp. 31073–31077.

19. Obeidat A. M., Rimawi O. Characteristics and genesis of the groundwater resources associated with oil shale deposits in the Azraq and Harrana Basins, Jordan // *Journal of Water Resource and Protection*. 2017. Vol. 9. Pp. 121–138. DOI: 10.4236/jwarp.2017.92010.
20. Ziani D., Abderrahmane B., Boumazbeur A., Benaabidate L. Water quality assessment for drinking and irrigation using major ions chemistry in the semiarid region: case of Djacer Spring, Algeria // *Asian Journal of Earth Sciences*. 2017. Vol. 10. No. 1. Pp. 9–21. DOI: 10.3923/ajes.2017.9.21.
21. Nyika J., Onyari E. Hydrogeochemical analysis and spatial distribution of groundwater quality in Roundhill landfill vicinity of South Africa // *Air, Soil and Water Research*. 2019. Vol. 12. Pp. 1–8. DOI: 10.1177/1178622119872771.
22. Hounslow A. *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*. CRC Press, 1995. 416 p.
23. Gibbs R. J. *Mechanisms Controlling World Water Chemistry* // *Science, New Series*. 1970. Vol. 170. No. 3962. P. 1088–1090.
24. Marandi A., Shand P. Groundwater chemistry and the Gibbs Diagram // *Applied Geochemistry*. 2018. Vol. 97. Pp. 209–212. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.07.00.
25. Huizenga J. M. Characterisation of the inorganic chemistry of surface waters in South Africa // *Water SA*. 2011. Vol. 37. No. 3. Pp. 401–410. DOI: 10.4314/wsa.v37i3.68491.
26. Кукарин В. В., Буров А. Г., Серебровский А. А., Кожевников А. М., Аристов А. Н. Схема территориального планирования (корректировка) Сосновского муниципального района Челябинской области. Пояснительная записка // Материалы по обоснованию схемы территориального планирования. Челябинск: ПК «Головной проектный институт Челябинскгражданпроект», 2014. 106 с.
27. Афонин В. И., Коршунков И. Н. Энциклопедия Челябинск [Электронный ресурс] // Воды поверхностные и подземные. URL: <http://www.book-chel.ru/ind.php?what=card&id=4867> (дата обращения: 10.04.2020).
28. Солодкий Н. Ф., Шамриков А. С., Погребенков В. М. Минерально-сырьевая база Урала для керамической, огнеупорной и стекольной промышленности: справочное пособие / Под ред. проф. Г. Н. Масленниковой. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 332 с.
29. Шкуратова И. А., Донник И. М., Трапезников А. В., Исаева А. Г. Верещак Н. А., Кривоногова А. С., Баранова А. А. Методология экологического мониторинга аграрных предприятий в зоне Урала // *Аграрный вестник Урала*. 2012. Т. 94. № 2. С. 60–62.

#### Об авторах:

Денис Юрьевич Нохрин<sup>1</sup>, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0002-4920-2338, AuthorID 397913; +7 908 061-91-92, [nokhrin8@mail.ru](mailto:nokhrin8@mail.ru)

Наталья Алексеевна Давыдова<sup>1</sup>, научный сотрудник, ORCID 0000-0002-3922-6141, AuthorID 502430

<sup>1</sup> Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

## Hydrochemical characteristics and irrigation quality of groundwater in the Sosnovskiy district of the Chelyabinsk region

D. Yu. Nokhrin<sup>1</sup>✉, N. A. Davydova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ural Federal Agrarian Research Center – Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: [nokhrin8@mail.ru](mailto:nokhrin8@mail.ru)

**Abstract.** The purpose of the study was to assess the quality of groundwater used for irrigation of individual plots of land, belonging to the residents of the Sosnovskiy district of the Chelyabinsk region. **Material:** 73 samples taken in wells and boreholes on the territory of private land plots, villages, villa communities and garden non-profit partnerships. **Methods:** 30 indicators of water composition were determined (common indicators – 6, major ions and carbonate ion – 8, compounds of nitrogen, phosphorus and organic matter – 5, heavy metals and silicon – 11) using capillary electrophoresis, atomic absorption, potentiometry, spectrophotometry and conductometry. Statistical analysis included: estimation of means with 95 % confidence intervals (95 % CI) calculated by bootstrap (Kaplan – Meier method was used for censored observations), relative frequencies (in percent) with 95 % CI (Jeffreys method and simultaneous CI by Wilson). Data was visualized using Piper’s and Gibbs’ diagrams. Software: PAST, Scout 2008, R, DescTool, GW\_Chart, KyPlot, QGIS. **Results.** On the territory of the Sosnovsky district of the Chelyabinsk region, (Ca<sup>2+</sup>–Mg<sup>2+</sup> and HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>–CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) type groundwater prevails with a pH 7.39 (95 % CI: from 7.30 to 7.48) and a TDS 651 mg/dm<sup>3</sup> (95 % CI: from 598 to 720). Using Piper and Gibbs diagrams, it was established that the leading processes of the water chemical composition formation are: 1) the dissolution of the calcite-dolomite series’ minerals of sedimentary rocks, 2) the dissolution and the ion exchange of feldspars in the composition of granites with calcite. For mineralization and risks of

chloride salinization, sodium salinization, magnesium salinization and soda formation, the proportion of samples with quality for irrigation purposes I and II category is 65.7 %. There are excesses of standards in the concentration of  $\text{NO}_3^-$  (24.7 % of samples), Ba (68.3 %), Cd (30.4 %), Fe (15.3 %), Mn (12.9 %), Pb (6.3 %).

**Keywords:** groundwater, chemical composition, Piper diagram, Gibbs diagram, hydrogeochemical processes, irrigation, quality.

**For citation:** Nokhrin D. Yu., Davydova N. A. Gidrokhimicheskaya kharakteristika i kachestvo podzemnykh vod Sosnovskogo rayona Chelyabinskoy oblasti dlya tseley orosheniya [Hydrochemical characteristics and irrigation quality of groundwater in the Sosnovskiy district of the Chelyabinsk region] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. Special issue “Biology and biotechnologies”. Pp. 56–69. DOI: ... (In Russian.)

**Paper submitted:** 12.11.2020.

### References

1. Breslavskiy A. S. Vremya izuchat' prigorody [It's time for suburban studies] // RUDN Journal of Sociology. 2017. Vol. 17. No. 4. Pp. 636–644. DOI: 10.22363/2313-2272-2017-17-4-636–644. (In Russian.)
2. Rusanov A. V. Suburbanizatsiya i zhilishchnoe stroitel'tvo v Moskovskoy oblasti [Suburbanization and housing in the Moscow region] // Narodonaselenie. 2017. No. 2. Pp. 103–111. (In Russian.)
3. Nikitina T. I. Vliyaniye demograficheskoy situatsii na uroven' ustoychivogo razvitiya sel'skikh territoriy Chelyabinskoy oblasti [Influence of the demographic situation on the level of sustainable development of rural territories of the Chelyabinsk region] // Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2018. No. 8. Pp. 273–278. (In Russian.)
4. Investitsionnyy pasport rayona 2018 god // Ofitsial'nyy sayt Sosnovskogo munitsipal'nogo rayona Chelyabinskoy oblasti [District investment passport 2018. Official site of the Sosnovsky municipal district of the Chelyabinsk region] [e-resource]. URL: <http://www.chelsozna.ru> (appeal date: 10.04.2020). (In Russian.)
5. Rounds S. Alkalinity Calculator [e-resource]. USGS Oregon Water Science Center. 2013. URL: <http://or.water.usgs.gov/alk/alk.html> (appeal date: 05.03.2020).
6. GOST R 51309-99. Voda pit'yevaya. Opredeleniya sodержaniya elementov metodami atomnoy spektrometrii [GOST R 51309-99. Drinking water. Determination of the content of elements by atomic spectrometry]. Moscow: Standartinform, 2010. 42 p. (In Russian.)
7. Hammer O., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. No. 1. Pp. 1–9.
8. Zimmerman J. Y. Abstract Scout [e-resource] / EPA: National Exposure Research Laboratory Environmental Sciences. URL: <https://archive.epa.gov/esd/archive-scout/web/html> (appeal date: 02.04.2020).
9. Nocerino J., Singh A., Maichle R., Armbya N., Singh A. K. Scout 2008 Version 1.0. User Guide Part I. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 2008. 244 p.
10. Rukovodstvo po kontrolyu i regulirovaniyu pochvennogo plodorodiya oroshayemykh zemel' [Guidance on the control and regulation of soil fertility of irrigated lands] / Ed. V. N. Shchedrina. Novocherkassk: RosNIIPM, 2017. 141 p. (In Russian.)
11. Signorell A., et al. DescTools: Tools for Descriptive Statistics. R package version 0.99.34 or 12.03.2020 [e-resource]. URL: <https://cran.r-project.org/package=DescTools> (appeal date: 10.04.2020).
12. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Austria, Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016 [e-resource]. URL: <https://www.R-project.org> (appeal date: 10.04.2020).
13. Winston R. B. Graphical User Interface for MODFLOW, Version 4: U. S. Geological Survey Open-File Report 00-315, 2000. 27 p.
14. Yoshioka K. KyPlot – A user-oriented tool for statistical data analysis and visualization. Computational Statistics. 2002. Vol. 17. No. 3. Pp. 425–437.
15. Osnovy gidrogeologii. Gidrogeokhimiya [Fundamentals of hydrogeology. Hydrogeochemistry] / Ed. S. L. Shvartseva. Novosibirsk: Nauka, 1982. 288 p. (In Russian.)
16. Piper A. M. A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses // Transactions of the American Geophysical Union. 1944. Vol. 25. Pp. 914–923.
17. Durov S. A. Klassifikatsiya prirodnykh vod i graficheskoye izobrazheniye ikh sostava [Classification of natural waters and a graphic representation of their composition] // Doklady AN SSSR. 1948. Vol. 59. No. 1. Pp. 87–90. (In Russian.)
18. Ravikumar P., Somashekar R. K., Prakash K. L. A comparative study on usage of Durov and Piper diagrams to interpret hydrochemical processes in groundwater from SRLIS river basin, Karnataka, India // Elixir international journal. Earth Science. 2015. Vol. 80. Pp. 31073–31077.
19. Obeidat A. M., Rimawi O. Characteristics and genesis of the groundwater resources associated with oil shale deposits in the Azraq and Harrana Basins, Jordan // Journal of Water Resource and Protection. 2017. Vol. 9. Pp. 121–138. DOI: 10.4236/jwarp.2017.92010.
20. Ziani D., Abderrahmane B., Boumazbeur A., Benaabidate L. Water quality assessment for drinking and irrigation using major ions chemistry in the semiarid region: case of Djacer Spring, Algeria // Asian Journal of Earth Sciences. 2017. Vol. 10. No. 1. Pp. 9–21. DOI: 10.3923/ajes.2017.9.21.

21. Nyika J., Onyari E. Hydrogeochemical analysis and spatial distribution of groundwater quality in Roundhill landfill vicinity of South Africa // *Air, Soil and Water Research*. 2019. Vol. 12. Pp. 1–8. DOI: 10.1177/1178622119872771.
22. Hounslow A. *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*. CRC Press, 1995. 416 p.
23. Gibbs R. J. *Mechanisms Controlling World Water Chemistry* // *Science, New Series*. 1970. Vol. 170. No. 3962. P. 1088–1090.
24. Marandi A., Shand P. Groundwater chemistry and the Gibbs Diagram // *Applied Geochemistry*. 2018. Vol. 97. Pp. 209–2012. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.07.00.
25. Huizenga J. M. Characterisation of the inorganic chemistry of surface waters in South Africa // *Water SA*. 2011. Vol. 37. No. 3. Pp. 401–410. DOI: 10.4314/wsa.v37i3.68491.
26. Kukarin V. V., Burov A. G., Serebrovskiy A. A., Kozhevnikov A. M., Aristov A. N. Skhema territorial'nogo planirovaniya (korrektirovka) Sosnovskogo munitsipal'nogo rayona Chelyabinskoy oblasti. Poyasnitel'naya zapiska [Spatial planning scheme (adjustment) of the Sosnovsky municipal district of the Chelyabinsk region. Explanatory note] // *Materialy po obosnovaniyu skhemy territorial'nogo planirovaniya*. Chelyabinsk: PK “Golovnoy proyektnyy institut Chelyabinskgrazhdanproyekt”, 2014. 106 p. (In Russian.)
27. Afonin V. I., Korshunkov I. N. Entsilopediya Chelyabinsk. Vody poverkhnostnyye i podzemnyye [Encyclopedia Chelyabinsk. Water surface and underground] [e-resource]. URL: <http://www.book-chel.ru/ind.php?what=card&id=4867> (appeal date: 10.04.2020). (In Russian.)
28. Solodkiy N. F., Shamrikov A. S., Pogrebenkov V. M. Mineral'no-syr'yevaya baza Urala dlya keramicheskoy, ognepurnoy i stekol'noy promyshlennosti: spravochnoye posobiye [Mineral and raw materials base of the Urals for the ceramic, refractory and glass industries. Reference manual] / Ed. prof. G. N. Maslennikova. Tomsk: Izd-vo TPU, 2009. 332 p. (In Russian.)
29. Shkuratova I. A., Donnik I. M., Trapeznikov A. V., Isaeva A. G., Verechak N. A., Krivinogova A. S., Baranova A. A. Metodologiya ekologicheskogo monitoringa agrarnykh predpriyatiy v zone Urala [Methodology of monitoring of agrarian enterprises in the Ural] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2012. Vol. 94. No. 2. Pp. 60–62. (In Russian.)

**Authors' information:**

Denis Yu. Nokhrin<sup>1</sup>, candidate of biological sciences, senior researcher, ORCID 0000-0002-4920-2338, AuthorID 397913; +7 908 061-91-92, [nokhrin8@mail.ru](mailto:nokhrin8@mail.ru)

Natalya A. Davydova<sup>1</sup>, researcher, ORCID 0000-0002-3922-6141, AuthorID 502430

<sup>1</sup>Ural Federal Agrarian Research Center – Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia