

## Мониторинг грунтовых вод в районе сульфидных медно-никелевых месторождений Новохоперского рудного района (Еланский участок)

©2023 Ю. М. Зинюков<sup>✉</sup>, В. Л. Бочаров, Д. С. Трубицын, Д. А. Шалякина

*Воронежский государственный университет,  
Университетская пл., 1, 394018, Воронеж, Российская Федерация*

### Аннотация

*Введение:* Хозяйственно-питьевое водоснабжение населения Новохоперского района Воронежской области полностью основано на использовании подземных вод. Водоснабжение населения в районе расположения сульфидных медно-никелевых месторождений (населенных пунктов, расположенных по периметру лицензионных участков) осуществляется, главным образом, с помощью колодцев для добычи подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. Основной целью мониторинга грунтовых вод являлась оценка их состояния и возможное изменение качества под влиянием проведенных геологоразведочных работ.

*Методика и обсуждение результатов:* Для оценки возможного влияния последствий геологоразведочных работ на участках месторождения проводился гидрогеологический мониторинг неоген-четвертичного водоносного комплекса, являющегося основным в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения населения. Результаты мониторинга в современный период (2021–2022 гг.) свидетельствуют о том, что грунтовые воды имеют повышенные значения сухого остатка и жесткости, иногда – сульфатов, хлоридов и натрия. Данные значения превышают ПДК нормативных документов. Показательным являются повышенные, а нередко – высокие содержания нитратов (54–350 мг/дм<sup>3</sup>). Источниками различных форм соединений азота (аммония, нитритов и нитратов) являются выгребные ямы, удобрения, неканализованные туалеты, мусор. В окислительной обстановке зоны аэрации и зоны водонасыщения грунтовой толщи аммонийная и нитритная форма азота достаточно быстро окисляется до устойчивой формы – нитратов. Повышенные концентрации нитратов ведут к метаморфизации химических типов подземных вод в пределах территории населенных пунктов, вплоть – до формирования нитрат-содержащих гидрогеохимических типов.

*Выводы и рекомендации:* Выполненные мониторинговые исследования показали отсутствие влияния геологоразведочных работ на качество подземных вод, используемых для водоснабжения населения. Основными факторами техногенной нагрузки на подземные воды являются сельскохозяйственный и бытовой, которые находят свое проявление в возрастании ряда показателей и имеют локальный характер.

**Ключевые слова:** мониторинг грунтовых вод, неоген-четвертичный водоносный комплекс, качество подземных вод, источники загрязнений подземных вод.

*Для цитирования:* Зинюков Ю. М., Бочаров В. Л., Трубицын Д. С., Шалякина Д. А. Мониторинг грунтовых вод в районе сульфидных медно-никелевых месторождений Новохоперского рудного района (Еланский участок)//*Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2023. № 1. С. 106–119. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/1/106-119>



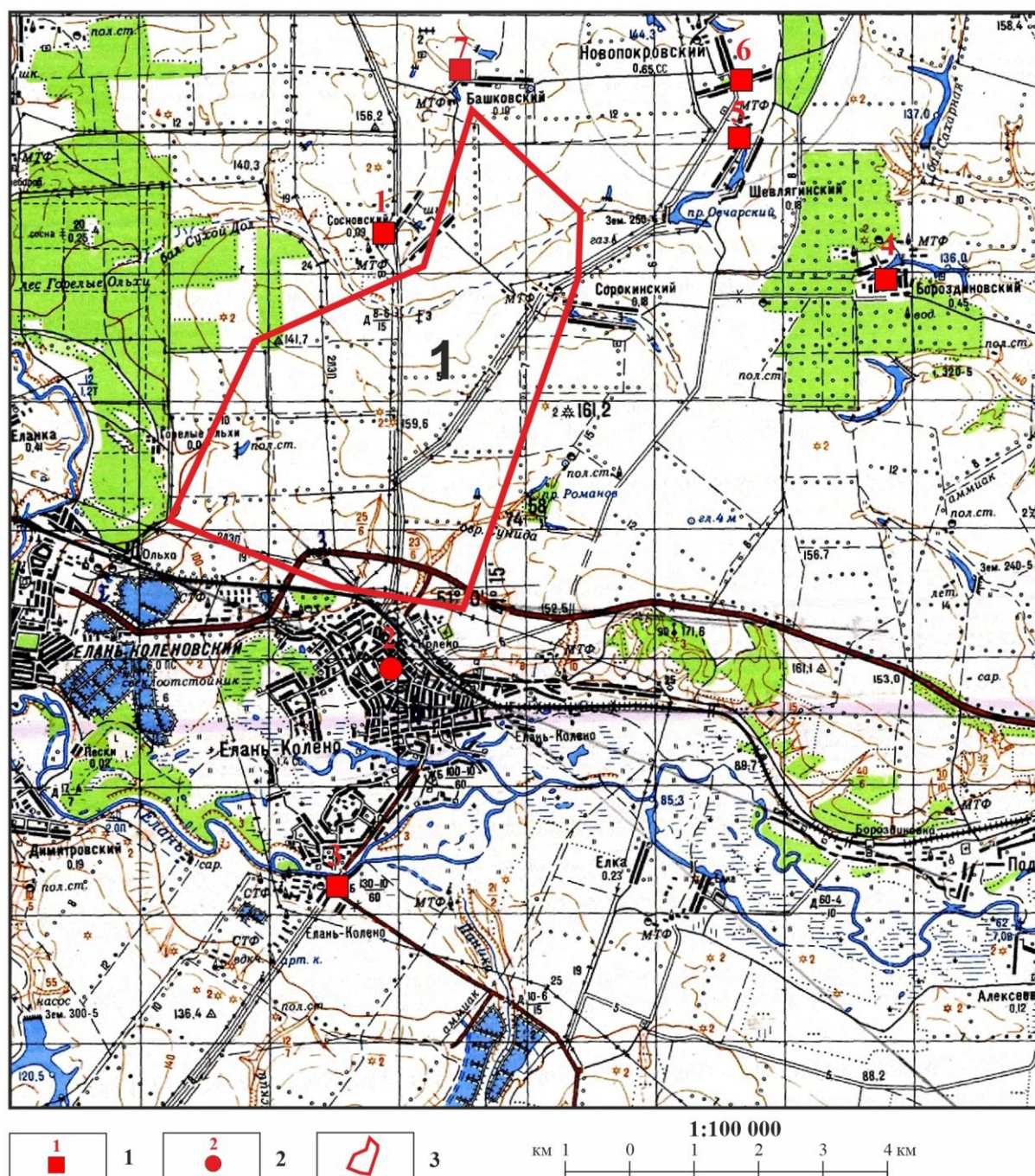
Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Зинюков Юрий Михайлович, e-mail: gidrogeol@mail.ru

### Введение

Мониторинговые исследования грунтовых вод района сульфидных медно-никелевых месторождений территории Воронежской области (Еланский участок (Рис. 1)) начались в 2016 году и имели своей целью оценить возможный характер и степень загрязнения подземной гидросферы в процессе проведения геологоразведочных работ. Ранее мониторинговые работы на данной территории не проводились.

Основными целями мониторинга является контроль и оценка состояния геологической среды [1–3]. Целью настоящих исследований являлась оценка состояния химического состава подземных вод, используемых населением близлежащих к участку месторождения населенных пунктов в качестве основного источника хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также контроль качества питьевых вод на участке вахтового поселка геологоразведчиков.



**Рис. 1.** Участок мониторинга внешнего контура «Еланский». Условные обозначения: 1 – колодец, сверху номер точки наблюдения; 2 – скважина, сверху номер точки наблюдения; 3 – контур Еланского участка месторождения сульфидных медно-никелевых руд.

[Fig. 1. Monitoring site of Elan external contour. Legend: (1) – well, observation point number is at the top; (2) – well, observation point number is at the top; (3) – the contour of the Elan site of the deposit of sulphide copper-nickel ores.]

Подземные воды Новохопёрского рудного района принадлежат к четырем водоносным комплексам: неоген-четвертичному, меловому, девонскому и архейско-протерозойскому [4,5]. Водоносные комплексы отделены друг от друга региональными водоупорами. Более 80% водоотбора приходится на неоген-четвертичный водоносный комплекс, залегающим первым от земной поверхности. В настоящей работе приведена оценка состояния грунтовых вод неоген-четвертичного водоносного комплекса.

Воды зоны активного водообмена преимущественно безнапорные, реже слабонапорные. В пределах зоны развиты четвертичные и мезо-кайнозойские отложения. Кроме процессов выветривания и растворения здесь развиты засоление и выщелачивание. Воды преимущественно пресные с минерализацией до 1 г/дм<sup>3</sup>, реже солоноватые с минерализацией до 2–3 г/дм<sup>3</sup>, что является, зачастую, следствием поверхностного загрязнения.

Основной объем питания обеспечивается инфильтрацией атмосферных осадков. Интенсивность питания неравномерна по площади и определяется,

главным образом, проницаемостью вышележащих и нижележащих отложений, при перетоках подземных вод.

### Результаты мониторинга грунтовых вод

Мониторинг подземных вод на исследуемой территории включал контроль за динамикой уровня и химического состава подземных вод. Контролю подлежали колодцы в населенных пунктах, находящихся в зоне потенциального влияния будущей горнопромышленной площадки и расположенных по периферии Еланского участка месторождения (населенные пункты Сосновский, Башковский, Новопокровский, Бороздиновский, Елань-Колено, Шевлягинский). Дополнительно контролировалась водозаборная скважина питьевого водоснабжения на участке вахтового поселка «Строитель».

В данной статье приводятся данные мониторинга за период 2021–2022 гг. Контролю подлежали воды неоген-четвертичного водоносного комплекса. Результаты наблюдений приведены в таблице 1–4.

**Табл. 1.** Результаты химических анализов проб воды (1-ое полугодие 2021 года)  
**[Table 1.** Results of chemical analyses of water samples (1-st half of 2021)]

№№ п/п [Number]	Место отбора [Place of selection]	Дата отбора [Selection date]	Единица измерения [Units]	КАТИОНЫ [CATIONS]					АНИОНЫ [ANIONS]					Жесткость [Hardness]	pH [pH]	Окисляемость [Oxidizability]	Сухой остаток [Dry residue]
				Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Feобщ	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>				
							2	0.3	350	500		45	3,0				
1	Колодец, п. Сосновский [well, settlement Sosnovsky]	05. 2021	мг/дм <sup>3</sup>	131	79	53	0.1	0.055	49	112	564	59	0.029	8.32	7.2	2.47	824
2	Колодец, с. Елань-Колено [well, village Elan-Koleno]	05. 2021	мг/дм <sup>3</sup>	405	198	132	0.75	0.07	367	704	651	147	0.059	20.8	7.55	2.8	2295
3	Колодец, п. Бороздиновский [well, settlement Borozdinovsky]	05. 2021	мг/дм <sup>3</sup>	136	115	79	0.12	0.087	61	282	436	204	0.134	12.3	7.32	1.65	1118
4	Колодец, п. Шевлягинский [well, settlement Shevlyaginsky]	05. 2021	мг/дм <sup>3</sup>	370	51	33	0.27	0.098	63	279	629	191	0.024	5.35	7.7	3.05	1314
5	Колодец, п. Новопокровский [well, settlement-Novopokrovsky]	05. 2021	мг/дм <sup>3</sup>	336	248	48	0.43	0.24	176	338	793	350	0.02	16.3	7.15	2.31	1926
6	Колодец, п. Башковский [well, settlement, Bashkovsky]	05. 2021	мг/дм <sup>3</sup>	71	170	36	0.12	0.07	78	183	275	244	0.015	11.5	7.8	2.55	930
7	Скважина, с. Елань-Колено [well, village Elan-Koleno]	05. 2021	мг/дм <sup>3</sup>	76	111	24	0.1	0.16	78	120	314	54	0.015	7.52	7.18	0.99	644

**Табл. 2.** Результаты химических анализов проб воды (2-ое полугодие 2021 года)  
**[Table 2.** Results of chemical analyses of water samples (2-nd half of 2021)]

№№ п/п [Number]	Место отбора [Place of selection]	Дата отбора [Selection date]	Единица измерения [Units]	КАТИОНЫ [CATIONS]					АНИОНЫ [ANIONS]					Жесткость [Hardness]	pH [pH]	Окисляемость [Oxidizability]	Сухой остаток [Dry residue]
				Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Fe общ	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>				
				ПДК													
				2	0.3	350	500	45	3.0	7	6-9	5	1000				
1	Колодец, п. Сосновский [well, settlement Sosnovsky]	08. 2021	мг/дм <sup>3</sup>	130	87	55	0.51	0.12	60	127	541	76	0.039	8.91	7.34	2.72	835
2	Колодец, с. Елань-Колено [well, village Elan-Koleno]	08. 2021	мг/дм <sup>3</sup>	435	214	134	0.99	0.14	392	746	668	173	0.049	21.8	7.3	3.05	2279
3	Колодец, п. Бороздиновский [well, settlement Borozdinovsky]	08. 2021	мг/дм <sup>3</sup>	114	119	91	0.43	0.11	67	261	449	217	0.144	13.5	7.44	1.9	1122
4	Колодец, п. Шевлягинский [well, settlement Shevlyaginsky]	08. 2021	мг/дм <sup>3</sup>	393	43	38	0.51	0.098	72	303	658	173	0.034	5.35	7.9	3.21	1367
5	Колодец, п. Новопокров- well, settlement Novopokrovsky]	08. 2021	мг/дм <sup>3</sup>	357	218	60	0.67	0.35	191	366	766	341	0.008	15.8	7.25	2.64	1954
6	Колодец, п. Башковский [well, settlement. Bashkovsky]	08. 2021	мг/дм <sup>3</sup>	78	178	41	0.35	0.087	93	193	288	261	0.007	12.3	7.96	3.13	1012
7	Скважина, с. Елань-Колено [well, village Elan-Koleno]	08. 2021	мг/дм <sup>3</sup>	74	107	36	0.27	0.13	84	130	331	59	0.007	8.32	7.27	0.91	684

**Наблюдательный пункт № 1 – колодец п. Сосновский.** Величина сухого остатка – 864 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация нитратов – 98 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация сульфатов – 129 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация хлоридов – 45 мг/дм<sup>3</sup>. Величина окисляемости – 2,72 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Жесткость – 7,92 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

**Наблюдательный пункт № 2 – колодец п. Елань-Колено.** Величина сухого остатка – 2133 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация нитратов – 182 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация сульфатов – 592 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация хлоридов – 343 мг/дм<sup>3</sup>. Величина окисляемости – 2,97 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Жесткость – 19,8 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

**Наблюдательный пункт № 3 – колодец п. Бороздиновский.** Величина сухого остатка – 1197 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация нитратов – 218 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация сульфатов – 331 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация хлоридов – 55 мг/дм<sup>3</sup>. Величина окисляемости – 1,81 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Жесткость – 13,1 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

**Наблюдательный пункт № 4 – колодец п. Шевлягинский.** Величина сухого остатка – 1254 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация нитратов – 164 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация

сульфатов – 247 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация хлоридов – 58 мг/дм<sup>3</sup>. Величина окисляемости – 3,21 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Жесткость – 5,74 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

**Наблюдательный пункт № 5 – колодец п. Новопокровский.** Величина сухого остатка – 1925 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация нитратов – 368 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация сульфатов – 317 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация хлоридов – 161 мг/дм<sup>3</sup>. Величина окисляемости – 2,55 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Жесткость – 17,8 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

**Наблюдательный пункт № 6 – колодец п. Башковский.** Величина сухого остатка – 972 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация нитратов – 226 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация сульфатов – 200 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация хлоридов – 88 мг/дм<sup>3</sup>. Величина окисляемости – 2,72 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Жесткость – 10,9 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

**Наблюдательный пункт № 7 – скважина п. Елань-Колено.** Величина сухого остатка – 673 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация нитратов – 57 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация сульфатов – 127 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация хлоридов – 76 мг/дм<sup>3</sup>. Величина окисляемости – 1,32 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Жесткость – 7,72 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

**Табл. 3.** Результаты химических анализов проб воды (1-ое полугодие 2022 года)  
**[Table 3.** Results of chemical analyses of water samples (1-st half of 2022)]

№№ п/п [Number]	Местоотбора [Place of selection]	Дата отбора [Selection date]	Единица измерения [Units]	КАТИОНЫ [CATIONS]					АНИОНЫ [ANIONS]					Жесткость [Hardness]	pH [pH]	Окисляемость [Oxidizability]	Сухой остаток [dry residue]
				Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Feобщ	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>				
				ПДК													
			2	0.3	350	500		45	3.0	7	6-9	5	1000				
1	Колодец, п. Сосновский [well, settlement Sosnovsky]	05. 2022	мг/дм <sup>3</sup>	157	79	58	0.12	0.077	57	141	571	92	0.03	<b>8.71</b>	7.35	1.9	855
2	Колодец, с. Елань-Колено [well, village Elan-Koleno]	05. 2022	мг/дм <sup>3</sup>	345	222	144	0.83	0.12	358	<b>663</b>	683	<b>156</b>	0.05	<b>22.9</b>	7.51	2.72	2214
3	Колодец, п. Бороздиновский [well, settlement Borozdinovsky]	05. 2022	мг/дм <sup>3</sup>	155	129	81	0.21	0.077	69	296	469	<b>231</b>	0.124	<b>13.1</b>	7.25	1.65	1162
4	Колодец, п. Шевлягинский [well, settlement Shevlyaginsky]	05. 2022	мг/дм <sup>3</sup>	415	52	36	0.27	0.014	73	338	661	<b>196</b>	0.027	5.54	7.63	3.13	1339
5	Колодец, п. Новопокровский [well, settlement Novopokrovsky]	05. 2022	мг/дм <sup>3</sup>	330	248	69	0.41	0.25	206	380	778	<b>350</b>	0.016	<b>18.1</b>	7.34	2.47	2216
6	Колодец, п. Башковский [well, settlement. Bashkovsky]	05. 2022	мг/дм <sup>3</sup>	90	171	39	0.25	0.11	98	176	312	<b>244</b>	0.01	<b>11.7</b>	7.72	2.97	985
7	Скважина, с. Елань-Колено [well, village Elan-Koleno]	05. 2022	мг/дм <sup>3</sup>	79	111	29	0.1	0.15	79	120	342	<b>56</b>	0.005	<b>7.92</b>	7.42	1.07	645

**Табл. 4.** Результаты химических анализов проб воды (2-ое полугодие 2022 года)  
**[Table 4.** Results of chemical analyses of water samples (2-nd half of 2022)]

№№ п/п [Number]	Место отбора [Place of selection]	Дата отбора [Selection date]	Единица измерения [Units]	КАТИОНЫ [CATIONS]					АНИОНЫ [ANIONS]					Жесткость [Hardness]	pH [pH]	Окисляемость [Oxidizability]	Сухой остаток [Dry residue]
				Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Feобщ	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>				
				ПДК [MPC]													
				2	0.3	350	500		45	3.0	7	6-9	5	1000			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Колодец, п. Сосновский [well, settlement Sosnovsky]	08. 2022	мг/дм <sup>3</sup>	155	99	36	0.27	0.077	45	129	547	<b>98</b>	0.024	<b>7.92</b>	7.44	2.72	864
2	Колодец, с. Елань-Колено [well, village Elan-Koleno]	08. 2022	мг/дм <sup>3</sup>	365	222	106	0.75	0.16	<b>343</b>	<b>593</b>	634	<b>182</b>	0.05	<b>19.8</b>	7.68	2.97	2133
3	Колодец, п. Бороздиновский [well, settlement Borozdinovsky]	08. 2022	мг/дм <sup>3</sup>	152	107	94	0.27	0.12	55	331	454	<b>218</b>	0.12	<b>13.1</b>	7.18	1.8	1197

Продолжение Табл. 4  
[Continued Table 4]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4	Колодец, п. Шевлягинский [well, settlement Shevlyaginsky]	08. 2022	мг/дм <sup>3</sup>	341	48	41	0.51	0.16	59	248	649	<b>165</b>	0.02	5.74	7.41	3.21	1254
5	Колодец, п. Новопокровский [well, settlement Novopokrovsky]	08. 2022	мг/дм <sup>3</sup>	297	258	60	0.67	<b>0.29</b>	162	317	815	<b>368</b>	0.014	<b>17.8</b>	7.22	2.55	1925
6	Колодец, п. Башковский [well, settlement. Bashkovsky]	08. 2022	мг/дм <sup>3</sup>	97	179	24	0.27	0.12	88	201	288	<b>227</b>	0.007	<b>10.9</b>	7.86	2.72	972
7	Скважина, с. Елань-Колено [well, village Elan-Koleno]	08. 2022	мг/дм <sup>3</sup>	79	119	22	0.2	0.23	76	127	327	<b>58</b>	0.007	<b>7.72</b>	7.35	1.32	673

Соотношения катионного и анионного состава подземных вод представлены на диаграммах (Рис. 2).

Результаты мониторинга подземных вод за период 2021–2022 годов позволяют сделать следующие выводы. Обобщая ситуацию предшествующих лет, можно констатировать, что подземные воды неоген-четвертичного водоносного комплекса, эксплуатируемые в сельских поселениях с помощью неглубоких колодцев, зачастую имеют повышенные значения сухого остатка – 1118–2295 мг/дм<sup>3</sup> (минерализации) и жесткости (до 22.9 мг-экв/дм<sup>3</sup>), иногда – сульфатов (704–746 мг/дм<sup>3</sup>), хлоридов (до 392 мг/дм<sup>3</sup>) и натрия (330–435 мг/дм<sup>3</sup>). Данные значения превышают ПДК

нормативных документов (СанПиН 2.1.3684-21). Показательным являются повышенные значения, а нередко – высокие содержания нитратов, значительно превышающие нормативы ПДК. Высокие концентрации нитратов в подземных водах первых от поверхности водоносных подразделений – это типичное явление для территорий сельских населенных пунктов. Близкое от земной поверхности залегание уровня грунтовых вод способствует достаточно быстрому проникновению соединений азота (и других компонентов) в грунтовую толщу и затем – в водоносный горизонт. Источниками различных форм соединений азота (аммония, нитритов и нитратов) являются

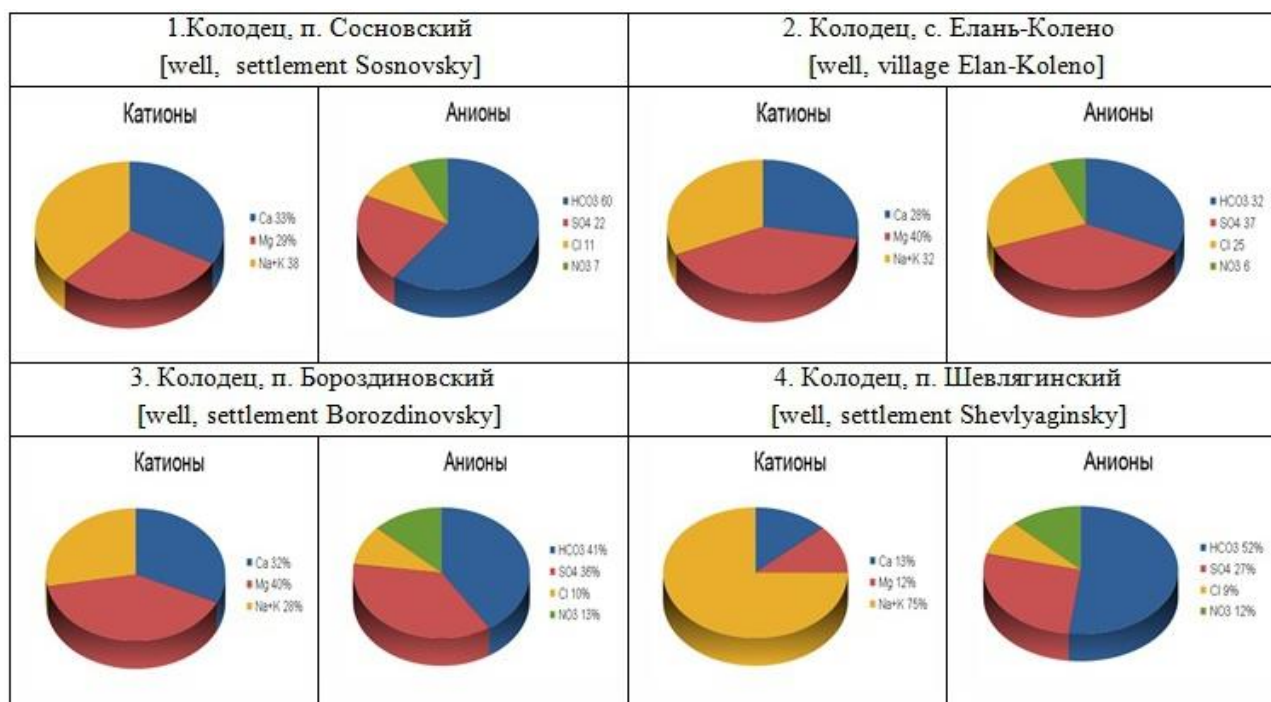
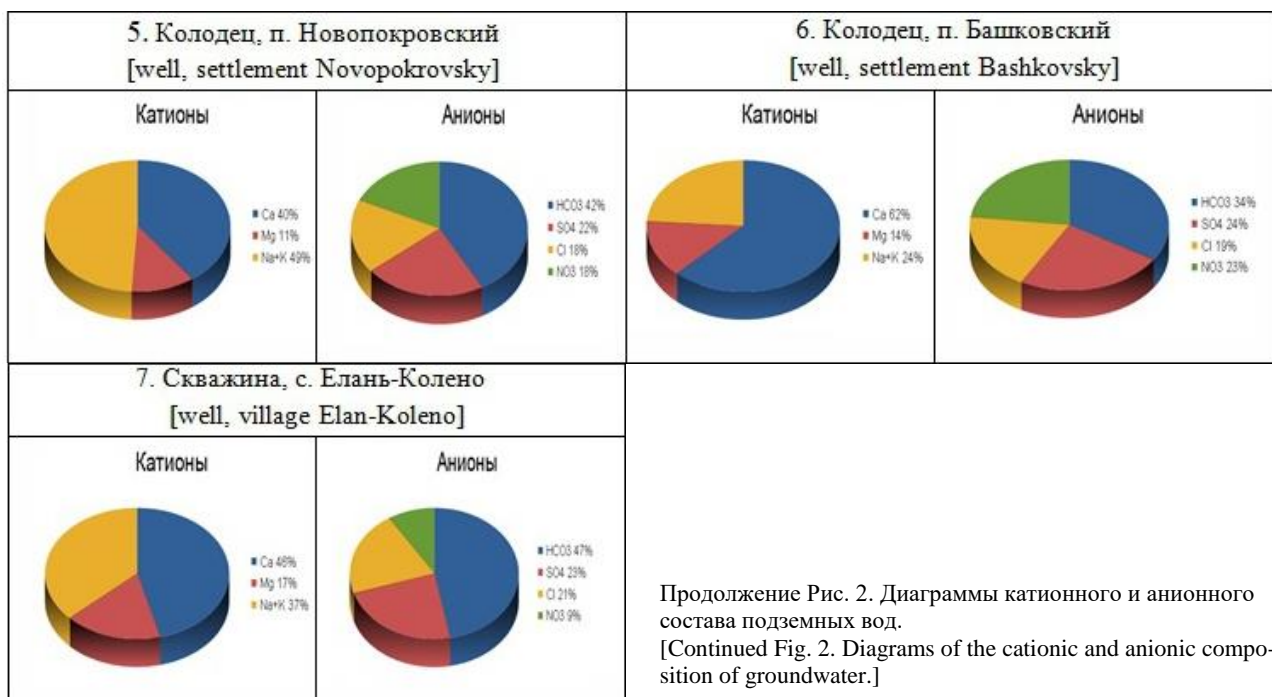


Рис. 2. Диаграммы катионного и анионного состава подземных вод.  
[Fig. 2. Diagrams of the cationic and anionic composition of groundwater.]



Продолжение Рис. 2. Диаграммы катионного и анионного состава подземных вод.  
[Continued Fig. 2. Diagrams of the cationic and anionic composition of groundwater.]

выгребные ямы, удобрения, неканализованные туалеты, мусор. В окислительной обстановке зоны аэрации и зоны водонасыщения грунтовой толщи аммонийная и нитритная форма азота достаточно быстро окисляется до устойчивой формы – нитратов. Нитраты хорошо аккумулируются и мигрируют в силу своей химической инертности по отношению к водовмещающим горным породам в подземных водах. В связи с этим, мы отмечаем низкие содержания аммонийной и нитритной форм азота в подземных водах исследуемой территории.

Таким образом, загрязнение подземных вод нитратами носит локальный характер, а очаги и источники загрязнения сформировались в результате хозяйственно-бытовой деятельности сельских населенных пунктов.

По своему гидрогеохимическому типу подземные воды в основном относятся к сульфатно-гидрокарбонатным и водам смешанного типа (Рис. 3). Повышенные концентрации нитратов ведут к метаморфизации химических типов подземных вод в пределах территории населенных пунктов, вплоть до формирования нитрат-содержащих гидрогеохимических типов. Такого рода гидрогеохимические типы свидетельствуют об устойчивой антропогенной нагрузке.

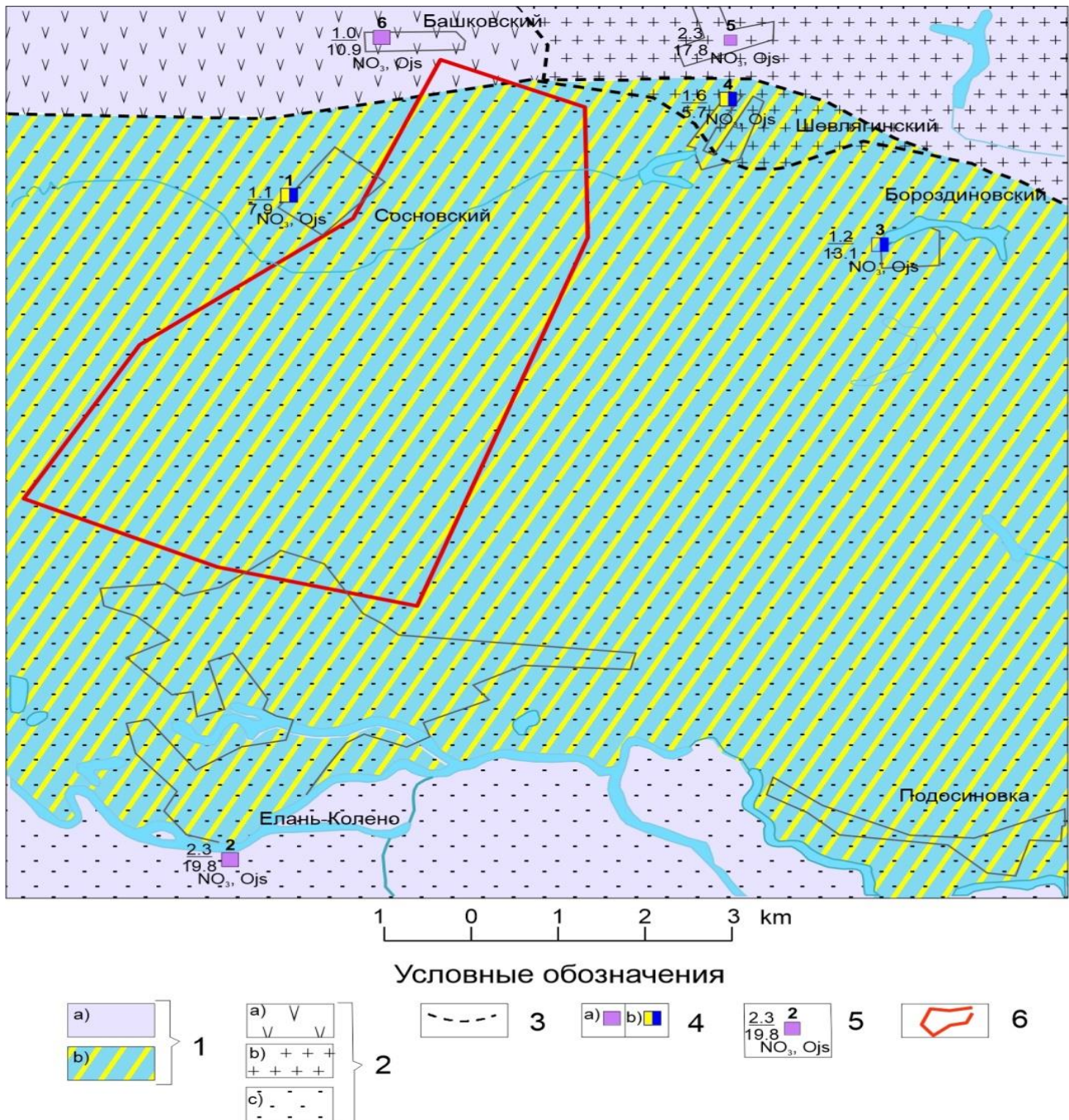
Все остальные показатели химического состава отвечают требованиям нормативов [6].

Что касается гидродинамических условий, можно констатировать, что замеры уровней подземных вод (табл. 5) свидетельствуют об их понижении в наблюдательных пунктах мониторинга в период 2019–2021 гг. и об их некотором подъеме в 2022 году (в среднем на 20–30 см в аналогичные периоды года (весенний и летний)). Такая ситуация носит региональный харак-

тер. Устойчивое понижение уровней подземных вод было связано с продолжительным засушливым периодом без выпадения атмосферных осадков (малоснежная зима, малое количество дождей в летний и осенний периоды года). Такая ситуация на территории Воронежской области сложилась в 2019–2021 гг. В 2022 году количество атмосферных осадков несколько увеличилось, что привело к определенному повышению уровней грунтовых вод. Тем не менее, в целом, еще отмечается пониженное положение уровней грунтовых вод в многолетнем временном интервале. Уровненный режим подземных вод на исследуемой территории, главным образом, определяется природно-климатическими факторами.

Колебания температуры подземных вод незначительные, что типично для температурного режима подземной гидросферы: средние температуры в теплый период составляют 8–10°C, в холодный период – 7–8°C. Температурный режим подземных вод выглядит значительно стабильнее температурного режима поверхностных вод, который напрямую связан с температурой воздушной среды. В целом, для всего периода контроля температурного режима подземных вод верхних горизонтов можно говорить о его стабильности.

Таким образом, можно констатировать, что проведение геологоразведочных работ не оказало техногенного влияния на химический состав и качество подземных вод первых от поверхности водоносных подразделений территории окрестных населенных пунктов. Выявленное загрязнение нитратами, натрием и другими элементами, имеет хозяйственно-бытовую природу, связанную с жизнедеятельностью сельских населенных пунктов и отличается локализованным характером.



**Рис. 3.** Карта химического состава подземных вод территории Еланского участка. Условные обозначения: 1 – преобладающий тип химического состава подземных вод по анионам: а – смешанный; б – сульфатно-гидрокарбонатный; 2 – преобладающий тип химического состава подземных вод по катионам: а – кальциево-натриевый; б – магниевый-кальциевый; кальциево-магниевый; 3 – границы различных типов вод; 4 – типы химического состава подземных вод по анионам в колодцах: а – смешанный тип; б – сульфатно-гидрокарбонатный тип; 5 – колодцы.

Цифры сверху – номер колодца; внизу – нормируемый компонент с превышением относительно ПДК ( $NO_3$  – нитраты,  $Ojs$  – жесткость); цифры слева: в числителе – минерализация, г/дм<sup>3</sup>; в знаменателе – жесткость воды, мг-экв/дм<sup>3</sup>; 6 – контур Еланского участка месторождения сульфидных медно-никелевых руд.

**[Fig. 3.** Map of the chemical composition of groundwater in the Elan site. Legend: (1) – the predominant type of chemical composition of groundwater according to anions: (a) – mixed; (b) – sulfate-hydrocarbonate; (2) – predominant type of chemical composition of groundwater according to cations: (a) – calcium-sodium; (b) – magnesium-calcium; calcium-magnesium; (3) – boundaries of different types of waters; (4) – types of chemical composition of groundwater by anions in wells: (a) – mixed type; (b) – sulfate-bicarbonate type; (5) – wells.

The numbers at the top are the number of the well; below – normalized component in excess relative to MPC ( $NO_3$  – nitrates,  $Ojs$  – hardness); numbers on the left: in the numerator – mineralization, g/dm<sup>3</sup>; in the denominator – water hardness, mg-eq/dm<sup>3</sup>; (6) – contour of the Elan site of the deposit of sulphide-copper-nickel ores.]



**Табл. 5.** Результаты замеров уровней грунтовых вод  
**[Table 5.** Results of measurements of groundwater levels]

№ пункта наблюдения [Observation point No.]	Место-положение [Location]	Индекс водоносного горизонта [aquiferindex]	Глубина колодца, м [Well depth, m]	Абсолютная отметка устья, м [Absolute mark of the mouth, m]	Глубина уровня грунтовых вод, м [Depth of the groundwater level, m]	Дата замера [Measurement date]
1	п. Сосновский [settlement Sosnovsky]	N-Q	5.95	140	3.18	05.2019
					3.28	08.2019
					3.14	05.2020
					3.25	08.2020
					3.12	05.2021
					3.2	08.2021
					3.02	05.2022
2	с. Елань-Колено [village Elan-Koleno]	N-Q	5.8	88	3.1	08.2022
					2.05	05.2019
					2.16	08.2019
					2.1	05.2020
					2.19	08.2020
					1.84	05.2021
					1.95	08.2021
3	Бороздиновский [settlement Borozdinovsky]	N-Q	6.4	130	1.82	05.2022
					1.9	08.2022
					2.08	05.2019
					2.2	08.2019
					2.1	05.2020
					2.14	08.2020
					1.96	05.2021
4	п. Шевлягинский [settlement Shevlyaginsky]	N-Q	4.85	156	2.05	08.2021
					1.8	05.2022
					1.87	08.2022
					2.28	05.2019
					2.4	08.2019
					2.22	05.2020
					2.3	08.2020
5	Новопокровский [settlement Novopokrovsky]	N-Q	15.4	153	2.1	05.2021
					2.18	08.2021
					2.05	05.2022
					2.16	08.2022
					11.28	05.2019
					11.38	08.2019
					11.25	05.2020
6	Башковский [settlement Bashkovsky]	N-Q	5.1	127	11.34	08.2020
					11.14	05.2021
					11.27	08.2021
					11.1	05.2022
					11.2	08.2022
					3.95	05.2019
					4.12	08.2019
7	с. Елань-Колено, [village Elan-Koleno]	N-Q	51	104	3.85	05.2020
					4.08	08.2020
					3.78	05.2021
					3.92	08.2021
					3.74	05.2022
					3.88	08.2022
					16.75	05.2020
7	с. Елань-Колено, [village Elan-Koleno]	N-Q	51	104	16.85	08.2020
					16.66	05.2021
					16.74	08.2021
					16.58	05.2022
					16.7	08.2022

### Мониторинг химического состава и качества воды на участке вахтового поселка «Строитель»

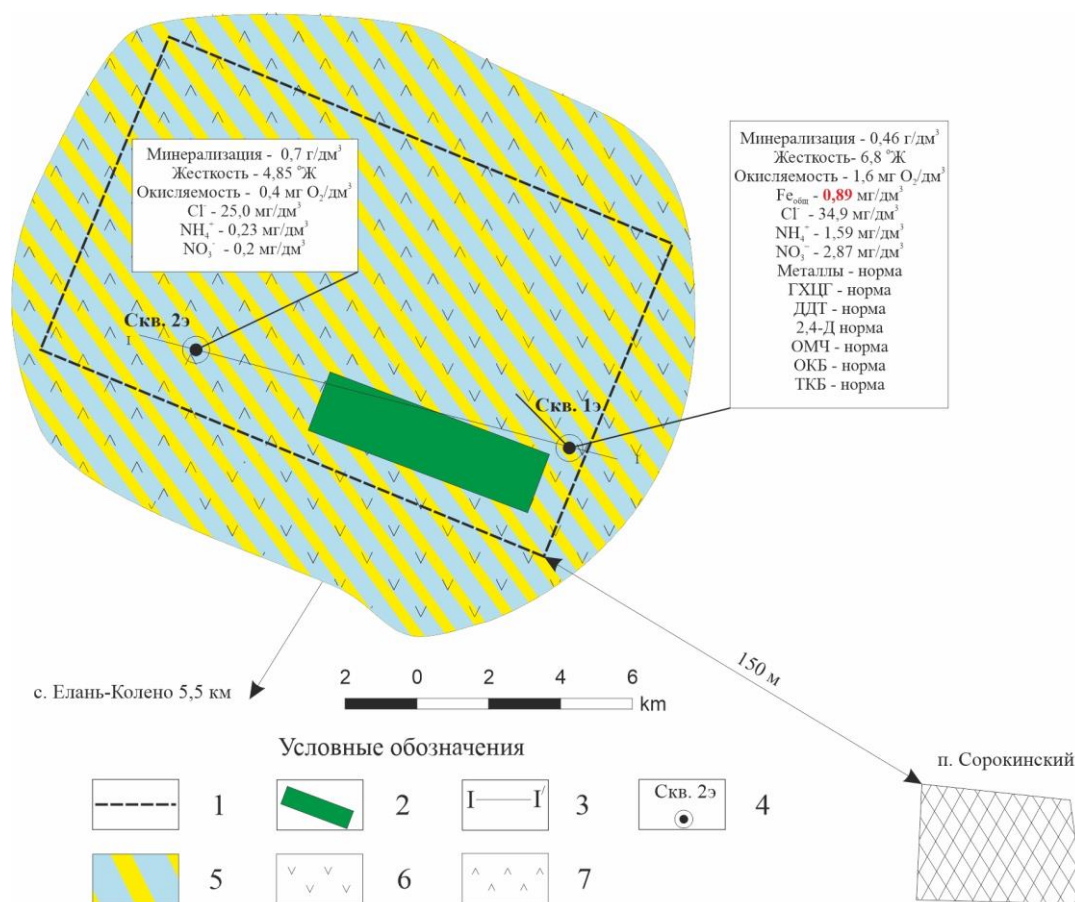
При проведении геологоразведочных работ для осуществления водоснабжения вахтового поселка «Строитель» была пробурена разведочно-эксплуатационная скважина 1э, расположенная в 150 м северо-западнее населенного пункта Сорокинский (а. о. 140.6 м).

В рассматриваемый период вахтовый поселок «Строитель», как и в предшествующие годы, не функционировал, так как прекратил свое существование в связи с завершением геологоразведочных работ и прекращением деятельности на территории объекта. Водоснабжение на участке не осуществляется, скважина не работает. Бывшая скважина водоснабжения в настоящий период рассматривалась как наблюдательная скважина №1э, контролирующая воды неогенового водоносного горизонта.

По результатам мониторинга можно сделать вывод о том, что все индикаторные показатели химического состава и качества воды в скважине 1э соответствуют

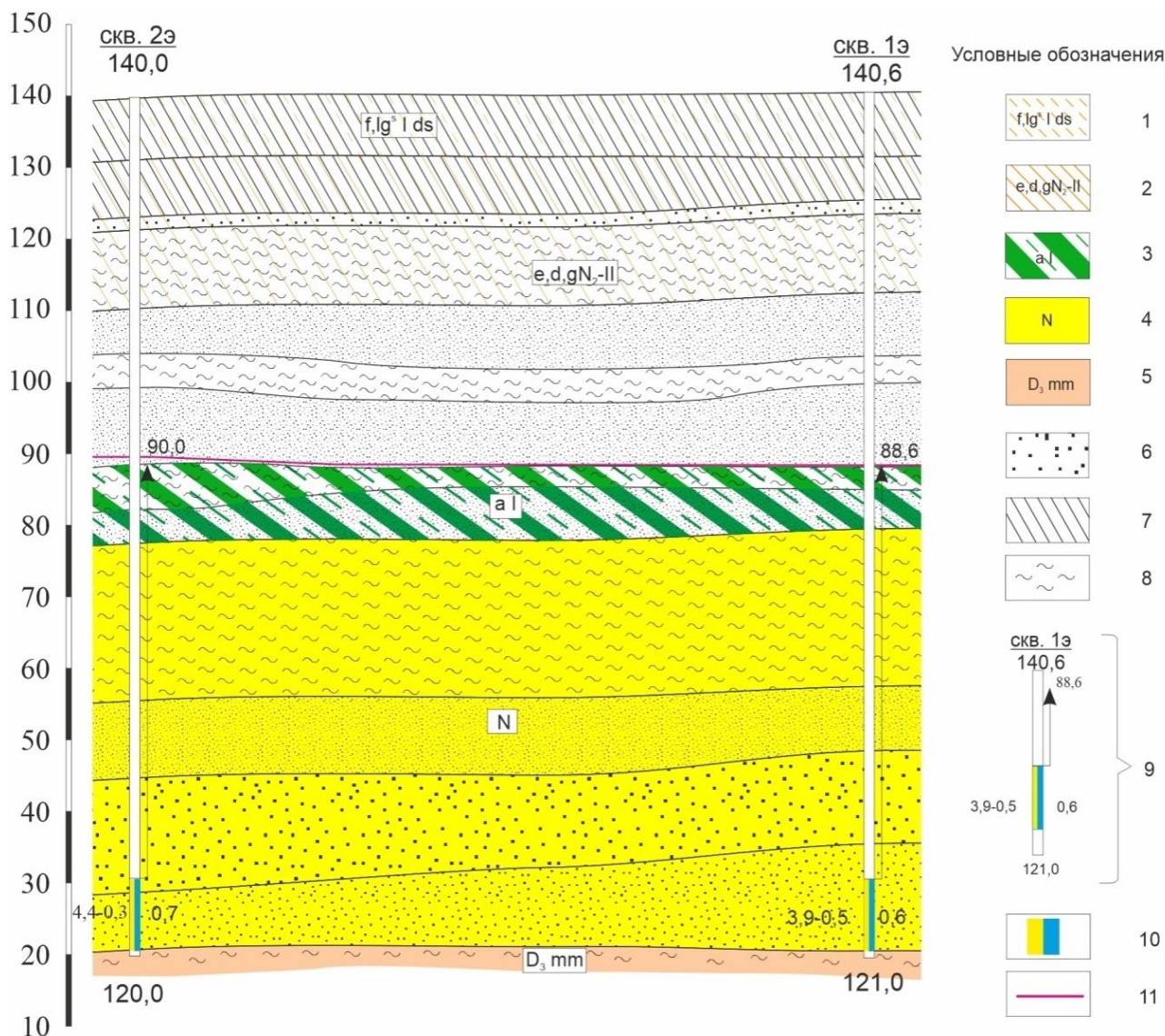
установленным нормативам. Исключение, как и в 2020–2021 годах установлено по показателю железа общего, концентрация которого составила 0.94 мг/дм<sup>3</sup> (при ПДК – 0.3 мг/дм<sup>3</sup>). Повышенные содержания железа можно объяснить подтягиванием подземных вод из слоев неогеновых отложений, обогащенных железосодержащими минералами. Повышенные концентрации железа в подземных водах неогенового комплекса весьма типичны для территории Воронежской области. Мощность водоносных отложений неогена в пределах исследуемого участка около 60 м.

Гидрогеохимический тип подземных вод исследуемого участка – сульфатно-гидрокарбонатный. Из катионов доминирует кальций-ион Ca<sup>2+</sup>. Катионы магния и натрия имеют подчиненное значение. Гидрогеохимический тип подземных вод и показатели качества отражены на карте химического состава подземных вод (Рис. 4). Гидрогеологическое строение территории представлено на гидрогеологическом разрезе (Рис. 5). Результаты наблюдений приведены в таблице 6.



**Рис. 4.** Карта химического состава и качества воды (участок Строитель»). Условные обозначения: 1 – граница территории вахтового поселка; 2 – бытовой модуль вахтового поселка «Строитель»; 3 – линия гидрогеологического разреза; 4 – эксплуатационная скважина и ее номер; 5 – тип воды по анионам: сульфатно-гидрокарбонатный; 6 – тип воды по катионам: магниевый-кальциевый; 7 – тип воды по катионам: кальциево-натриевый. *Примечания:* ОМЧ – общее микробное число; ОКБ – общие колиформные бактерии; ТКБ – термотолерантные колиформные бактерии; красный цвет – превышение содержания относительно ПДК.

**[Fig. 4.** Map of the chemical composition and quality of water (Stroitel section). Legend: (1) – the border of the construction camp; (2) – household module of the construction camp Stroitel; (3) – line of hydrogeological section; (4) – production well and its number; (5) – type of water according to anions: sulphate-hydrocarbonate; (6) – type of water according to cations: magnesium-calcium; (7) – type of water according to cations: calcium-sodium. *Note:* TMC – total microbial count; TCB – total coliform bacteria; *e* – thermotolerant coliform bacteria; red colour – excess of the content relative to the MPC.]



**Рис. 5.** Гидрогеологический разрез. Масштаб: горизонтальный 1:1000, вертикальный 1:1000. Условные обозначения: 1 – слабоводоносный, локально-водоносный, донской водно-ледниковый горизонт; 2 – водоупорный локально слабоводоносный плиоцен-среднечетвертичный элювиальный, делювиальный и ледниковый комплекс; 3 – водоносный локально слабоводоносный нижнечетвертичный аллювиальный горизонт; 4 – водоносный неогеновый аллювиальный горизонт; 5 – водоносная мамонская терригенно-карбонатная свита (в верхней части свиты – глины); 6 – пески; 7 – суглинки; 8 – глины; 9 – скважина эксплуатационная.

Цифры вверху: в числителе номер по первоисточнику, внизу абсолютная отметка устья скважины, м. Закраска соответствует химическому типу воды в опробованном интервале глубины. Цифра у стрелки – абсолютная отметка уровня воды, м. Цифры слева от интервала опробования: первая – дебит, л/сек, вторая – понижение, м; справа: минерализация воды, г/дм<sup>3</sup>. Цифра внизу – глубина скважины, м; 10 – сульфатно-гидрокарбонатный тип воды в скважине; 11 – уровень подземных вод.

[**Fig. 5.** Hydrogeological section. Scale: horizontal 1:1000, vertical 1:1000. Legend: (1) – weakly aquifer, locally aquifer, Don water-glacial horizon; (2) – impermeable locally weakly aquifer Pliocene-Middle Quaternary eluvial, deluvial and glacial complex; (3) – aquifer context low-water-bearing lower Quaternary alluvial horizon; (4) – aquifer locally low aquifer Lower Quaternary alluvial horizon; (5) – aquifer Mamon terrigenous-carbonate formation (clays in the upper part of the formation); (6) – sands; (7) – loams; (8) – clay; (9) – production well.

Numbers at the top: the number according to the source is in the numerator, at the bottom is the absolute mark of the well-head, m. Shading corresponds to the chemical type of water in the tested depth interval. The number near the arrow is the absolute mark of the water level, m. The numbers to the left of the sampling interval: first number - the flow rate, l/sec, second number - the draw-down, m; right: mineralization of water, g/dm<sup>3</sup>. The number below is the depth of the well, m; (10) – sulfate-hydrocarbonate type of water in the well; (11) – groundwater level]

**Табл. 6.** Показатели состава подземных вод в скважине 1э  
**[Table 6.** Indicators of the composition of groundwater in well 1e]

№ п/п [Number]	Показатель единицы измерения [Index]	Единица измерения [Units]	Значение показателя [Value]	ПДК (СанПиН 2.1.3684-21) [MPC (SanPiN 2.1.3684-21)]
<b>I. Обобщенные показатели [Generalized indicators]</b>				
1	Водородный показатель (рН) [pHvalue]		7.42±0.17	6.0 – 9.0
2	Сухой остаток [dry residue]	мг/дм <sup>3</sup>	363.5±36.6	1 000
3	Жесткость общая [Total Hardness]	°Ж	6.60±0.83	7.0
4	Перманганатная окисляемость [Permanganate oxidizability]	мг/дм <sup>3</sup>	1.24±0.21	5.0
<b>II. Неорганические вещества [Inorganic substances]</b>				
5	Гидрокарбонаты (НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) [Bicarbonates (НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> )]	мг/дм <sup>3</sup>	351.4±29.8	не норм.
6	Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) [Sulphates(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )]	мг/дм <sup>3</sup>	26.1±2.4	500.0
7	Хлориды(Cl <sup>-</sup> ) [Chlorides(Cl <sup>-</sup> )]	мг/дм <sup>3</sup>	30.1±5.8	350.0
8	Натрий (Na <sup>+</sup> ) + Калий (K <sup>+</sup> ) [Sodium (Na <sup>+</sup> ) + Potassium (K <sup>+</sup> )]	мг/дм <sup>3</sup>	12.67	200.0
9	Кальций(Ca <sup>2+</sup> ) [Calcium (Ca <sup>2+</sup> )]	мг/дм <sup>3</sup>	76.2±4.2	не норм.
10	Магний (Mg <sup>2+</sup> ) [Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )]	мг/дм <sup>3</sup>	34.0	50.0
11	Железо общее (ΣFe <sub>общ</sub> ) [Iron (ΣFe)]	мг/дм <sup>3</sup>	0.94	0.3
12	Нитраты (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) [Nitrates(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )]	мг/дм <sup>3</sup>	2.17±0.27	45.0
13	Нитрит-ион (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) [Nitrite ion (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )]	мг/дм <sup>3</sup>	0.019±0.008	3.0
14	Фториды(F <sup>-</sup> ) [Fluorides (F <sup>-</sup> )]	мг/дм <sup>3</sup>	0.60±0.12	1.5
15	Кремнекислота (H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ) [Silicic acid (H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> )]	мг/дм <sup>3</sup>	6.31±0.52	0.05
16	Аммиак (по азоту)(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) [Ammonia (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )]	мг/дм <sup>3</sup>	0.83±0.14	2.0
17	Бор (В) [Boron (В)]	мг/дм <sup>3</sup>	<0.1	0.5

### Заключение

1. Результаты мониторинга подземных вод в период 2021–2022 годов и их сравнение с предшествующими годами свидетельствуют о том, что подземные воды неоген-четвертичного водоносного комплекса, эксплуатируемые в сельских поселениях с помощью неглубоких колодцев, зачастую имеют повышенные значения сухого остатка и жесткости, иногда – сульфатов, хлоридов и натрия. Показательным являются повышенные, а нередко – высокие содержания нитратов. Загрязнение подземных вод нитратами носит локальный характер, а очаги и источники загрязнения сформировались в результате хозяйственно-бытовой деятельности сельских населенных пунктов.

Что касается гидродинамических условий, можно отметить, что, в целом, отмечается пониженное положение уровней грунтовых вод. Уровненный режим подземных вод исследуемой территории, главным образом, определяется природно-климатическими

факторами.

2. По результатам мониторинга водозаборной скважины на участке бывшего поселка геологоразведчиков можно сделать вывод о том, что все индикаторные показатели химического состава и качества воды в скважине 1э соответствуют установленным нормативам. Исключение установлено по показателю железа общего, концентрация которого составила 0.94 мг/дм<sup>3</sup>.

3. Проведение геологоразведочных работ не оказало техногенного влияния на химический состав и качество подземных вод первых от поверхности водоносных подразделений территории окрестных населенных пунктов. Выявленное загрязнение рядом химических соединений связывается с сельскохозяйственной и бытовой деятельностью и отличается локализованным характером.

*Конфликт интересов:* Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров В. Л., Зинюков Ю. М., Смоляницкий Л.А. Мониторинг природно-технических экосистем. Воронеж: Изд-во «Истоки», 2000. 226 с.
2. Зинюков Ю.М. Теоретико-методологические основы организации мониторинга природно-технических экосистем на основе их структурно-иерархических моделей. Труды научно-исследовательского института геологии: Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып.28. 2005. 164 с.
3. Королев В.А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем. М.: КДУ, 2007. 416 с.
4. Бочаров В. Л., Бабкина О. А., Дешевых Г. Ю., Строгонова Л. Н., Устименко Ю. А. Гидрогеологические условия Новохопёрского никеленосного района. Статья 2. Мезозой и кайнозой // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2017. № 1. С. 135–145.
5. Смольянинов В. М. Подземные воды Центрально-Черноземного региона: их формирование, использование. Воронеж: Изд-во «Истоки», 2003. 250 с.
6. 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". М.: Роспотребнадзор, 2021.

---

---

## HYDROGEOLOGY, GEOECOLOGY

---

---

UDC 556.3.04

ISSN 1609-0691

DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/1/106-119>

Received: 10.01.2023

Accepted: 02.03.2023

Published online: 31.03.2023

### Groundwater monitoring in the area of sulphide copper-nickel deposits of Novokhopersk ore district (Elan site)

©2023 Yu. M. Zinyukov<sup>✉</sup>, V. L. Bocharov, D. S. Trubitsyn, D. A. Shalyakina

*Voronezh State University, 1 Universitetskaya pl., Voronezh, 394018, Russian Federation*

#### Abstract

*Introduction:* Domestic and drinking water supply of the population of the Novokhopersk district of the Voronezh region is completely based on the use of groundwater. Water supply to the population in the area of location of sulphide copper-nickel deposits (settlements located along the perimeter of licensed areas) is carried out mainly by using wells for the extraction of underground water for household and drinking purposes. The main purpose of groundwater monitoring was to assess their condition and possible change in quality under the influence of geological exploration.

*Methods and discussion of results:* To assess the possible impact of the consequences of exploration work in the areas of the deposit, hydrogeological monitoring was carried out of the Neogene-Quaternary aquifer, which is the main one in the system of domestic drinking water supply of the population. The results of monitoring in the modern period (2021–2022) indicate that groundwater has increased values of dry residue and hardness, sometimes sulphates, chlorides, and sodium. These values exceed the MPC of regulatory documents. Increased and often high levels of nitrates (54–350 mg/dm<sup>3</sup>) are indicative. Sources of various forms of nitrogen compounds (ammonium, nitrites and nitrates) are latrines, fertilizers, unsewered toilets, garbage. In the oxidizing environment of the aeration zone and the zone of water saturation of the soil stratum, the ammonium and nitrite form of nitrogen is quickly oxidized into a stable nitrate form. Elevated concentrations of nitrates lead to the metamorphization of chemical types of groundwater within the territory of settlements, up to the formation of nitrate-containing hydrogeochemical types.

*Conclusions and recommendations:* The performed monitoring studies demonstrated the absence of the impact of exploration work on the quality of groundwater used for water supply to the population. The main factors of technogenic pressure on groundwater are agricultural and domestic factors, reflected as the increase in a number of indicators and these factors are of a local nature.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Yuri M. Zinyukov, e-mail: gidrogeol@mail.ru

**Keywords:** groundwater monitoring, Neogene-Quaternary aquifer, groundwater quality, sources of groundwater pollution.

*For citation:* Zinyukov Yu. M., Bocharov V. L., Trubitsyn D. S., Shalyakina D. A. Groundwater monitoring in the area of sulphide copper-nickel deposits of Novokhopersk ore district (Elan site) // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2023, no. 1, pp. 106-119. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/1/106-119>

*Conflict of interests:* The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

## REFERENCES

1. Bocharov V. L., Zinjukov Ju. M., Smoljanickij L.A. *Monitoring prirodno-tehnicheskikh jekosistem* [Monitoring of natural and technical ecosystems]. Voronezh: «Istoki» publ., 2000, 226 p. (In Russ.)
  2. Zinjukov Ju.M. Teoretiko-metodologicheskie osnovy organizacii monitoringa prirodno-tehnicheskikh jekosistem na osnove ih strukturno-ierarhicheskikh modelej [Theoretical and methodological foundations of the organization of monitoring of natural and technical ecosystems on the basis of their structural and hierarchical models]. *Trudy nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU publ., vol. 28, 2005, 164 p. (In Russ.)
  3. Korolev V.A. *Monitoring geologicheskikh, litotekhnicheskikh i jekologo-geologicheskikh sistem* [Monitoring of geological, lithotechnical and ecological-geological systems]. Moscow, KDU publ., 2007, 416 p. (In Russ.)
  4. Bocharov V. L., Babkina O. A., Deshevyy G. Ju., Strogonova L. N., Ustimenko Ju. A. *Gidrogeologicheskie uslovija Novohopjorskogonikelenosnogo rajona. Stat'ja 2. Mezozoj i kajnozoy* [Gidrogeological conditions of novochoopersk nickel district. Article 2. Mesozoic and Cenozoic]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologija – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2017, no. 1, pp. 135–145. (In Russ.)
  5. Smol'janinov V. M. *Podzemnye vody Central'no-Chernozemnogo regiona: ih formirovanie, ispol'zovanie* [Underground waters of the Central Chernozem region: their formation, use]. Voronezh: «Istoki» publ., 2003, 250 p. (In Russ.)
  6. SanPiN 2.1.3684-21 "Sanitarno-jepidemiologicheskie trebovanija k sodержaniju territorij gorodskih i sel'skih poselenij, k vodnym ob'ektam, pit'evoj vode i pit'evomu vodosnabzheniju, atmosfernomu vozduhu, pochvam, zhilym pomeshhenijam, jek-spluatacii proizvodstvennyh, obshhestvennyh pomeshhenij, organizacii i provedeniju sanitarno-protivojepidemiicheskikh (profilakticheskikh) meroprijatij" [Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking watersupply, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial, public premises, organization and conduct of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures]. Moscow, Rospotrebnadzorpubl., 2021.
- 
- Зинюков Юрий Михайлович* – к.т.н., заведующий кафедрой гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: [gidrogeol@mail.ru](mailto:gidrogeol@mail.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8465-0139>
- Бочаров Виктор Львович* – д.г.-м.н., профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: [gidrogeol@mail.ru](mailto:gidrogeol@mail.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9522-5063>
- Трубицын Дмитрий Сергеевич* – ведущий инженер НИИ геологии ВГУ, ассистент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: [di\\_trubitsyn@mail.ru](mailto:di_trubitsyn@mail.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7361-1959>
- Шалыкина Дарья Алексеевна* – аспирант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: [dasha.colesova@mail.ru](mailto:dasha.colesova@mail.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1808-9715>
- Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*
- Yuri M. Zinyukov* – PhD in Technology, Head of the Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: [gidrogeol@mail.ru](mailto:gidrogeol@mail.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8465-0139>
- Viktor L. Bocharov* – Dr. habil. in Geology and Mineralogy, Professor, Head of the Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: [hydrogeol@mail.ru](mailto:hydrogeol@mail.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9522-5063>
- Dmitriy S. Trubitsyn* – Lead engineer in scientific research Institute of Geology, Assistant of the Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: [di\\_trubitsyn@mail.ru](mailto:di_trubitsyn@mail.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7361-1959>
- Daria A. Shaliakina* – Postgraduate student of the Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: [dasha.colesova@mail.ru](mailto:dasha.colesova@mail.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1808-9715>
- Authors have read and approved the final manuscript.*