

**ГИДРОГЕОХИМИЯ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И РАССОЛОВ
НОВОХОПЁРСКОГО НИКЕЛЕНОСНОГО РАЙОНА
(ВОРОНЕЖСКИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАССИВ)****В. Л. Бочаров, Д. А. Колесова***Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 7 августа 2017 г.

Аннотация: в зоне сочленения Приволжско-Хоперского и Московского артезианских бассейнов на юго-восточной периферии Воронежского кристаллического массива в гидрогеологическом разрезе установлены пресные, солоноватые, соленые воды и рассолы различных химических типов и уровней минерализации. Минерализация закономерно возрастает с глубиной и достигает максимальных значений в отложениях девонской системы. Наиболее минерализованные воды образуют соленосную гидрогеологическую формацию. По химическому составу являются хлоридными натриево-кальциевыми. Воды обогащены тяжелыми галоидами, литофильными редкими и редкоземельными элементами. Важнейшей особенностью региона является наличие никеленосных норит-диоритовых интрузий протерозойского возраста. Соленые воды и рассолы распространены на незначительных глубинах (350–400 м) и по тектоническим нарушениям проникают в докембрийский кристаллический фундамент.

Ключевые слова: артезианский бассейн, кристаллический массив, соленые воды, рассолы, минерализация, гидрогеологическая формация, никель, норит-диоритовые интрузии.

**HYDROGEOCHEMISTRY OF FRESH UNDERGROUND WATERS AND BRINES NICKEL
NOVOKHOPERSKOGO RAJJONA (VORONEZH CRYSTALLINE MASSIF)**

Abstract: at the junction of the Volga-Khoper river and the Moscow artesian basin in the South-Eastern periphery of the Voronezh crystalline massif in the hydrogeological section installed fresh, brackish, salt water and brines of different chemical types and levels of salinity. Salinity naturally increases with depth and reaches maximum values in the sediments of the Devonian system. The most mineralized water to form the salt of the hydrogeological formation. Chemical composition are sodium chloride and calcium and enriched in heavy Halogens, rare lithophile and rare earth elements. The most important feature of the region is the presence of Nickel in the norite-diorite intrusions of Proterozoic age. Salt water and brines circulated at shallow depth (350–400 m) and tectonic faults penetrate to the Precambrian crystalline basement.

Key words: artesian basin, crystalline massif, salt water, brines, salinity, hydro-geological formation, Nickel, norite-diorite intrusions.

Введение

Подземные воды обладают естественной защищенностью от поверхностного загрязнения и в основном сохраняют свои природные качества. В настоящее время подземные воды являются важнейшим источником питьевого водоснабжения населения. В ближайшей перспективе роль его неуклонно будет возрастать. В Воронежской области к настоящему времени разведано более 200 месторождений и отдельных проявлений подземных вод питьевого назначения; эксплуатационные запасы их используются в настоящее время не более чем на 25 %. Однако в связи с крайней неравномерностью в рас-

пределении эксплуатационных запасов на территории области, недостаточной защищенностью подземных вод от загрязнения и истощения в отдельных районах, наличием обширной гидрогеохимической провинции на юге области с повышенным содержанием нормируемых компонентов, требуется активизация работ по изучению ресурсов подземных вод и освоению разведанных эксплуатационных запасов. В первую очередь эта проблема актуальна для юго-восточных районов Воронежской области, находящихся в зоне сочленения Приволжско-Хоперского и Московского артезианских бассейнов.

Гидрогеохимия

Зона сочленения Приволжско-Хоперского и Московского артезианских бассейнов, приуроченная к юго-восточной периферии Воронежского кристаллического массива (Прихопёрье), включает подземные воды уникальные по степени минерализации, разнообразию гидрогеохимических типов и высокой концентрации микрокомпонентов. С начала 30-х годов XX столетия и до настоящего времени отдельные месторождения как пресных, так и минеральных вод и рассолов привлекают внимание многих ученых [1, 2].

Важнейшими особенностями региона являются: возраст геологических образований (от кристаллических пород докембрия до современных отложений), высокий уровень литофикации и метаморфизации горных пород, длительные перерывы в осадконакоплении, интенсивный мафит-ультрамафитовый никеленосный магматизм, наличие соленосных формаций, представленных хлоридно-натриевыми и хлоридно-натриево-кальциевыми солеными водами и рассолами, объединенными в солевую гидрогеологическую формацию.

В гидрогеохимическом отношении весь разрез осадочного чехла целесообразно разделить на четыре формации (сверху вниз): надсолевую, солоноватую, солевую, рассолов.

Надсолевая гидрогеохимическая формация включает в себя комплексы:

1. *современный*: локально водоносные современный аллювиальный (aIV) и делювиальный (dl IV) горизонты;

2. *четвертичный*: водоносный среднечетвертичный аллювиальный горизонт (a II), слабоводоносный донской водно-ледниковый горизонт (f,lg¹Ids);

3. *неогеновый*: слабоводоносный неоген-четвертичный аллювиальный горизонт (aI), водоносный неогеновый аллювиальный горизонт (N);

4. *палеогеновый*: слабоводоносный кантемировский терригенный горизонт (P₃kt), локально водоносный киевско-дерезовский терригенный горизонт (P₂²-³kv-dr), слабоводоносный каневско-бучакский терригенный горизонт (P₂¹⁻²kn-bč), слабоводоносный, локально водоупорный сумской терригенный горизонт (P₁sm).

5. *меловой*: локально слабоводоносный турон-сантонский карбонатный горизонт (K₂t-st), водоносный апт-сеноманский терригенный горизонт (K₁₋₂a-s), водоносный, локально слабоводоносный, готеривский терригенный горизонт (K₁g).

Солоноватая формация включает в себя комплексы:

1. *верхнедевонский*: озерский карбонатный водоносный горизонт (D₃oz), водоносная мамонская терригенно-карбонатная свита (D₃mm), водоупорный локально водоносный саргаевско-семилукский терригенно-карбонатный комплекс (D₃sr-sm);

2. *среднедевонский*: водоупорный локально водоносный мулинско-тиманский терригенный водоносный горизонт (D₂₋₃ml-tm), слабоводоносный локально водоносный клинцовско-мосоловский терригенно-

Таблица 1

Общий химический состав пресных подземных вод и рассолов Новохоперского никеленосного района

Формации	Минерализация по классификации Н. И. Толстикова	Преобладающие типы вод по классификации С. А. Щукарева	Минерализация, г/дм ³	pH	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Число анализов
Надсолевая	<1	HCO ₃ Ca, HCO ₃ Ca-Na, HCO ₃ Ca-Mg	0,45 – 0,84 0,65	6,4 – 7,2 6,8	0,12 – 0,42 0,24	0,1 – 0,24 0,12	0,06 – 0,25 0,09	0,05 – 0,15 0,06	0,02 – 0,06 0,03	0,11 – 0,26 0,07	34
Солоноватая	1-10	HCO ₃ -SO ₄ Ca, HCO ₃ -Cl Ca Na, Cl-SO ₄ Na-Ca	1,5 – 5,7 3,2	6,0 – 7,1 6,9	0,1 – 0,35 0,24	0,25 – 1,6 0,85	0,22 – 2,5 0,95	0,35 – 1,15 0,90	0,08 – 0,45 0,24	1,25 – 2,55 0,92	14
Солевая	10-50	Cl-SO ₄ Na, Cl Ca-Na, Cl Na-Ca	14,4 – 48,1 37,2	6,5 – 7,5 7,0	0,08 – 0,32 0,2	0,15 – 3,5 1,62	16,4 – 29,2 18,8	2,5 – 14,3 9,8	0,12 – 2,8 1,55	1,2 – 16,5 7,33	12
Рассолы	>50 50-150	Cl Na, Na-Ca, Ca-Na	55,2 – 98,7 83,8	4,8 – 8,5 7,2	0,05 – 1,6 0,35	0,11 – 4,9 1,35	35,5 – 96,8 42,4	1,2 – 34,2 17,8	0,95 – 2,5 1,4	2,6 – 39,2 20,5	10

Примечание: над чертой – пределы содержания, под чертой – средние значения.

-карбонатный горизонт (D₂kl-ms).

Солевая формация включает комплексы:

1. *среднедевонский*: слабодоносный локально водоупорный воробьевско-ардатовский карбонатно-терригенный горизонт (D₂vb-ag).

Рассолы:

1. *архей-нижнепротерозойский*: слабодоносная нижнепротерозойская зона кристаллических пород (AR-PR₁¹vc₁-vc₂) [3-6].

Надсолевая гидрогеохимическая формация представлена исключительно пресными водами, формирующимися в основном за счет атмосферных осадков (табл. 1). По химическому составу воды надсолевой формации являются гидрокарбонатными кальциевыми, гидрокарбонатными кальциево-натриевыми, реже, гидрокарбонатными кальциево-магниевыми. Минерализация этих вод колеблется в довольно узком интервале значений, определяющихся как исходным составом атмосферных вод, так и составом водовмещающих пород (пески, реже, алевролиты с прослоями сульфидов).

Нижние горизонты надсолевой формации включают водоносные, слабодоносные горизонты верхнего (сеноман, турон, сантон) и нижнего (готерив, апт) мела.

Пресные воды верхнего мела распространены в основном в южной периферии района. Водовмещающими породами служит писчий мел с прослоями мелко-среднезернистых песков. По химическому составу воды преимущественно гидрокарбонатные кальциево-магниевые с минерализацией 0,5–0,8 г/дм³, умеренно жесткие (5–7 ммоль/дм³). Воды нижнего и среднего мела ввиду малой водообильности и большой глубины залегания используются в ограниченном масштабе.

Солоноватая формация включает водоносные комплексы верхнего и частично среднего девона. Слабосоленоватые воды (минерализация 1–3,5 г/дм³) имеют, как правило, гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый или кальциево-натриевый состав. В умеренно и сильно солоноватых водах (минерализация 3,5–10 г/дм³) отмечается увеличение содержания хлора и натрия (табл. 1). Соответственно преобладающим химическим типом

становятся хлоридные кальциево-натриевые и натриево-кальциевые, реже встречаются хлоридно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые воды.

Солевые воды на территории Новохоперского никеленосного района установлены в среднем девоне (воробьевско-ардатовский горизонт). По составу это хлоридно-сульфатные натриевые, хлоридные натриево-кальциевые и кальциево-натриевые воды с минерализацией до 50 г/дм³. Минерализация воды растет пропорционально увеличению концентрации хлора и натрия. Вместе с тем, соленые воды постоянно содержат сульфат-ион, содержание которого может достигать 2–5 г/дм³.

Рассолы приурочены преимущественно к кристаллическому фундаменту, сложенному сланцами и метапесчаниками. Они также спорадически распространены в низах воробьевско-ардатовского горизонта среднего девона. В соответствии с классификацией [7, 8] рассолы принадлежат к группе слабых (до 150 г/дм³). По химическому составу они преимущественно хлоридные натриевые, хлоридные кальциево-натриевые, слабокислые. Заметное влияние на изменение гидрогеохимических условий и формирование подземных рассолов мог оказать интенсивный ультрамафит-мафитовый магматизм в раннепротерозойское время. В зонах дробления ультраосновных и основных пород, внедрившихся в песчаниково-сланцевую толщу, отмечается присутствие высокоминерализованных хлоридно-натриевых вод с минерализацией до 90–120 г/дм³ [3].

Устанавливается четкая зависимость между содержанием основных катионов и минерализацией воды (рис. 1). С ростом минерализации резко возрастает содержание кальция и магния в водах солевой формации и рассолах, несколько снижается содержание натрия. При этом вариации отдельных содержаний катионов резко возрастают от пресных вод надсолевой формации к соленым водам и рассолам, что отчетливо фиксируется возрастанием длинной оси эллипсов рассеивания отдельных значений главных типобразующих компонентов в направлении от гидрокарбонатно-кальциевых к хлоридно-натриево-кальциевым водам.

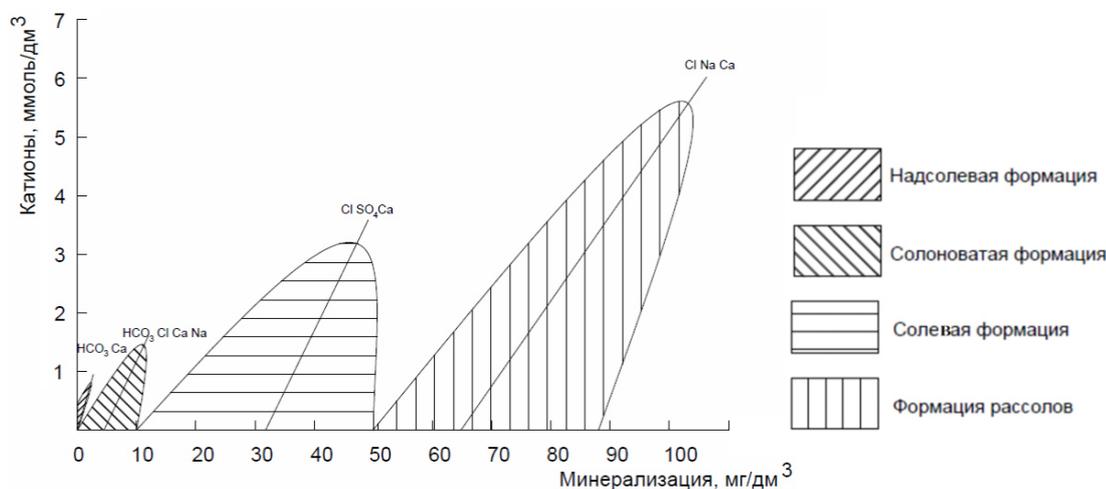


Рис. 1. Эллипсы рассеивания отдельных значений главных типобразующих компонентов.

Таблица 2

Содержание элементов группы железа и меди в пресных подземных водах и рассолах Новохоперского никеленосного района (мг/дм³)

Формации, комплексы	Количество определений	Элементы									
		Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu		
Надсолевая											
Четвертичный	8	0,036	0,02	0,004	0,028	0,22	0,016	0,008	0,046		
Неогеновый	7	0,014	0,006	0,012	0,025	0,22	0,006	0,008	0,05		
Палеогеновый	6	0,011	0,004	0,012	0,08	0,14	0,08	0,014	0,15		
Меловой	6	0,018	0,009	0,015	0,08	0,22	0,008	0,012	0,004		
<i>Среднее по формации</i>	27	0,017	0,011	0,009	0,056	0,204	0,024	0,020	0,052		
Солоноватая											
Верхнедевонский	7	0,011	0,009	0,005	0,08	0,16	0,006	0,008	0,14		
Среднедевонский	7	0,06	0,012	0,006	0,08	0,24	0,016	0,024	0,18		
<i>Среднее по формации</i>	14	0,036	0,011	0,006	0,08	0,2	0,011	0,016	0,16		
Солевая											
Среднедевонский	7	0,035	0,006	0,09	0,08	0,12	0,008	0,014	0,055		
Рассолы											
Архей-нижнепротерозойский	7	0,009	0,011	0,006	0,08	0,18	0,008	0,009	0,07		

Таблица 3

Содержание микроэлементов в пресных подземных водах и рассолах Новохоперского никеленосного района (мг/дм³)

Формации, комплексы	Количество определений	Элементы									
		Li	Rb	Cs	Sr	Ba	B	F	Br	I	
Надсолевая											
Четвертичный	8	0,09	0,04	0,0005	0,58	0,05	18,6	0,82	0,08	0,01	
Неогеновый	7	0,12	0,03	0,0002	0,52	0,04	16,4	0,72	0,06	0,006	
Палеогеновый	6	0,14	0,06	0,0005	0,62	0,06	17,8	0,69	0,05	0,004	
Меловой	6	0,11	0,009	0,0006	0,48	0,04	12,8	0,92	0,11	0,009	
<i>Среднее по формации</i>	27	0,114	0,046	0,0004	0,57	0,046	17,2	0,76	0,064	0,114	
Солоноватая											
Верхнедевонский	7	0,14	0,08	0,0008	0,72	0,09	14,9	0,88	0,17	0,06	
Среднедевонский	7	0,14	0,006	0,0004	0,79	0,12	19,4	0,92	0,18	0,06	
<i>Среднее по формации</i>	14	0,14	0,043	0,0006	0,755	0,105	17,15	0,9	0,175	0,14	
Солевая											
Среднедевонский	7	0,18	0,009	0,0007	0,88	0,21	22,1	1,6	0,22	0,08	
Рассолы											
Архей-нижнепротерозойский	7	0,22	0,01	0,0012	0,95	0,18	24,3	2,4	0,31	0,08	

Пресные и соленые подземные воды в своем составе постоянно содержат элементы группы железа и медь (табл. 2). Однако четкой приуроченности к определенной гидрогеохимической формации и водоносным комплексам тех или иных элементов в целом не наблюдается. Вместе с тем можно отметить, что соленые воды и рассолы по сравнению с пресными и солоноватыми водами содержат больше титана, кобальта и меди. Что касается других элементов группы железа, то межформационные различия проявлены менее заметно.

Известно, что водоносные горизонты и комплексы солевой формации и рассолы отличаются наибольшей обогащенностью литофильными редкими элементами и тяжелыми галоидами. Не являются исключением подземные воды и Новохопёрского никеленосного района. С ними связаны наиболее высокие концентрации брома, йода, фтора (табл. 3). Из литофильных редких элементов выделяются высокими концентрациями стронций и барий. Их содержание в водах солевой формации соответственно составляет 0,88 и 0,21 мг/дм³, а в рассолах – 0,95 и 0,18 мг/дм³.

Заключение

Гидрогеохимические исследования показали, что в пределах зоны сочленения Приволжско-Хопёрского и Московского артезианских бассейнов гидрогеохимический разрез включает сверху вниз надсолевую, солоноватую, солевую гидрогеохимические формации и рассолы. Надсолевая формация представлена пресными подземными водами преимущественно гидрокарбонатно-кальциевого и гидрокарбонатно-кальциево-натриевого состава, нейтральной активной реакции и минерализации, соответствующей водам хозяйственно-питьевого назначения. Надсолевая формация сменяется солоноватой, включающей подземные воды преимущественно гидрокарбонатно-сульфатного натриево-кальциевого состава с небольшим участием хлора, повышенной минерализации. Ниже залегающая солевая формация содержит преимущественно хлоридно-сульфатные натриево-кальциевые воды, также преимущественно нейтральной активной реакции, отличается от предыдущих резким возрастанием минерализации, где на первое место выходит хлор, и заметно большее значение приобретают кальций и магний. И, наконец, рассолы хлоридно-натриевого и хлоридно-натриево-кальциевого состава отличаются наибольшей обогащенностью литофильными редкими элементами, среди которых выделяются галоиды – фтор, бром, йод.

Подтверждается ранее установленная закономерность в различных регионах проявления соленосных формаций, заключающаяся в резком возрастании ми-

нерализации с глубиной, что в целом характерно для нефтегазоносных бассейнов [9, 10].

Существует закономерная смена гидрогеохимических формаций с увеличением минерализации в определенной последовательности: от гидрокарбонатно-кальциевых и гидрокарбонатно-кальциево-натриевых пресных вод к гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатным кальциево-натриевым до хлоридно-натриевых и хлоридно-натриево-кальциевых вод и рассолов. При практическом использовании подземных вод района как гидроминерального сырья следует обратить внимание на солевую формацию и хлоридно-кальциево-натриевые рассолы, которые в наибольшей степени обогащены полезными компонентами и достаточно широко распространены в основаниях гидрогеологических разрезов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров, В. Л. Геологическая стратификация водосодержащих горизонтов и комплексов Новохопёрского никеленосного района. Статья 1. Докембрий и палеозой / В. Л. Бочаров, О. А. Бабкина, Л. Н. Строгонова, В. М. Рыборак // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2016. – № 1. – С. 27–36.
2. Бочаров, В. Л. Геологическая стратификация водосодержащих горизонтов и комплексов Новохопёрского никеленосного района. Статья 2. Мезозой и кайнозой / В. Л. Бочаров, О. А. Бабкина, В. М. Рыборак // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2016. – № 3. – С. 14–21
3. Смирнова, А. Я. Экология подземных вод бассейна Верхнего Дона / А. Я. Смирнова, А. И. Бородин. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2007. – 186 с.
4. Смольянинов, В. М. Подземные воды Центрально-Черноземного региона: их формирование, использование / В. М. Смольянинов. – Воронеж: Истоки, 2003. – 250 с.
5. Бочаров, В. Л. Проблемы изучения и использования ресурсов подземных питьевых вод Воронежской области / В. Л. Бочаров, Л. Н. Строгонова, Е. С. Овчинникова // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2010. – № 1. – С. 243–251.
6. Bocharov, V. L. Geological and geochemical indicators of mineral waters and brines genesis in Voronezh Prihopere, (Russia) / V.L. Bocharov, L.N. Strogonova // AplikovanÉ vÉdeckÉ novinky – 2014. VaterÁ X mezinárodní Vedecko-praktická konference. Díl 15, Ekologie. Zeměpis a geologie. Praha: Publishing House «Education and Science», 2014. – P. 54–56.
7. Посохов, Е. В. Минеральные воды (лечебные, промышленные, энергетические) / Е. В. Посохов, Н. И. Толстихин. – Л.: Недра, 1977. – 240 с.
8. Редкие типы минеральных вод Среднерусского артезианского бассейна / под ред. А. И. Короткова, А. А. Потапова, В. Г. Румынина. – СПб.: Наука, 2013. – 303 с.
9. Шварцев, С. Л. Химический состав и изотопы стронция рассолов Тунгусского бассейна в связи с проблемой их формирования / С. Л. Шварцев // Геохимия, 2000. – № 11. – С. 1170–1184.
10. Сидкина, Е. С. Особенности химического состава подземных вод и рассолов западной части Тунгусского артезианского бассейна / Е. С. Сидкина // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2015. – №2. – С. 34–39.

Воронежский государственный университет

Бочаров Виктор Львович, д. г.-м. н., профессор, заведующий кафедрой гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии. E-mail: gidrogeol@mail.ru; Тел.: +7 (473) 220-89-80
Колесова Д. А., магистрант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии. E-mail: gidrogeol@mail.ru

Voronezh State University

Bocharov V. L., Doctor of the Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of the Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology Chair. E-mail: gidrogeol@mail.ru
Kolesova D. A., Graduate Student
E-mail: gidrogeol@mail.ru; Tel.: +7 (473) 220-89-80