

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НОВОХОПЁРСКОГО
НИКЕЛЕНОСНОГО РАЙОНА** Статья 1. Докембрий и палеозой

В. Л. Бочаров, О. А. Бабкина, Г. Ю. Дешевых, Ю. А. Устименко

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 25 октября 2016 г.

Аннотация: в схеме гидрогеологического районирования территории Воронежской области выделяются краевые части крупных артезианских бассейнов: на севере и северо-западе – Московского, на юге и юго-западе – Донецко-Донского, на востоке и северо-востоке – Приволжско-Хопёрского. Стратифицированные гидрогеологические образования Новохопёрского никеленосного района приурочены к юго-западной периферии Приволжско-Хопёрского бассейна, где абсолютные отметки кристаллического фундамента снижаются до -400 и более метров. В связи с этим водоносные горизонты нижнего яруса, приуроченные к терригенно-карбонатным отложениям девонской системы и трещиноватой зоне докембрийского фундамента, полого погружаются в краевые части артезианского бассейна. Здесь условия водообмена глубоких напорных горизонтов девона и трещиноватой зоны докембрийского фундамента с атмосферными водами и между отдельными водоносными горизонтами затруднены. К наиболее погруженным участкам фундамента приурочены минерализованные и минеральные воды, формирующиеся в условиях затрудненного водообмена. Геологическая разведка и последующая эксплуатация никелевых месторождений района будет связана со значительным потреблением водных ресурсов, прежде всего, подземных вод. В этой связи гидрогеологическая стратификация водосодержащих породных комплексов будет способствовать оптимизации водопотребления на горнотехнические нужды.

Ключевые слова: гидрогеология, подземные воды, водоносный комплекс, водоупор, минерализация подземных вод, минеральные воды, инфильтрация, специфические компоненты, йод, бром.

GIDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF NOVOCHOPERSK NICKEL DISTRICT**Article 1. Precambrian and Paleozoic**

Abstract: in the scheme of hydrogeological zoning of the Voronezh region highlighted edge portions large artesian basins in the north and north-west – Moscow, in the south and south-west – the Donetsk-Don, in the east and north-east – the Volga-Hopersk. Stratified hydrogeological formation Novochopersk nickel-area are confined to the south-western periphery of the Volga-Hopersk pool, where the absolute level of the crystalline basement is reduced to -400 meters and more. In this regard, the lower tier of aquifers, confined to terrigen-carbonate deposits of the Devonian system and fractured Precambrian basement area, immersed in the hollow edge of the artesian basin. Here, the conditions of deep water exchange pressure Devonian horizons and fractured zone Precambrian basement with atmospheric water and between separate aquifers difficult. The most dive sites are associated with mineralized foundation and mineral water, formed in the conditions of hindered water exchange. Geological exploration and subsequent exploitation of nickel deposits area is associated with a significant consumption of water resources, especially groundwater. In this context, hydrogeological stratification of the water-bearing rock complexes will help to optimize water consumption in the mining and technical needs.

Key words: hydrogeology, groundwater, aquifer system, aquitard, groundwater salinity, mineral water, infiltration, specific components, iodine, bromine.

Введение

Подземные воды юго-восточной периферии Воронежского кристаллического массива изучаются с начала 30-х годов XX столетия. Отдельные месторождения как пресных, так и минеральных вод рассматривались А. А. Дубяным, И. Я. Фурманом, Е. М. Талдыкиным, В. Н. Шульженко, А. Я. Смирно-

вой. Установлено, что гидрогеологический разрез региона характеризуется четким двухъярусным строением. Верхний ярус представлен безнапорными водами, концентрирующимися в четвертичных, неогеновых, палеогеновых, меловых и частично в верхнедевонских отложениях. Нижний ярус включает напорные воды, приуроченные к терригенно-карбо-

натным отложениям девона и трещиноватой зоне докембрийского (протерозойского) фундамента. В последние годы особое внимание привлекают водоносные горизонты нижнего яруса, где условия водообмена глубоких напорных горизонтов девона и кристаллического фундамента, как с атмосферными водами, так и водоносными горизонтами затруднены. К погруженным участкам фундамента, где абсолютные его отметки снижаются до 400 и более метров, приурочены минерализованные и минеральные воды. По мере погружения пород девона от сводовой части кристаллического массива уменьшается возможность разбавления подземных вод пресными инфильтрационными водами, что определяет повышение минерализации с глубиной на фоне отсутствия взаимосвязи с вышележащими водоносными горизонтами верхнего гидрогеологического яруса, заключающего пресные воды. Юго-восточная периферийная часть территории в девонское время характеризовалась устойчивым неравномерным опусканием в направлении Приволжско-Хоперского артезианского бассейна, где существовал морской режим осадконакопления. При этом минерализация воды возрастала до 100 и более г/дм³, а гидрогеохимический тип приближался к хлоридному с подклассами натриевых и натриево-кальциевых вод. Отсутствие гидравлической связи между напорными водами кристаллического фундамента, среднего девона нижнего гидрогеологического яруса и безнапорными мезозойскими пресными водами верхнего яруса будет препятствовать смешению пресных и соленых вод, а также способствовать оптимизации водопотребления на горнотехнические нужды в процессе геологической разведки и последующей эксплуатации никелевых месторождений района.

Кристаллический фундамент Новохопёрского никеленосного района имеет весьма сложное строение, так как его площадь приурочена к сводовой части Воронежской антеклизы, а именно центральной части Новохоперско-Архангельского мегаблока, являющегося составной частью более крупных структур, слагающих Хопёрский (Восточно-Воронежский) мегаблок [1, 2]. Первый осложнен Елань-Эртильской тектоно-магматической зоной, сопряженной на юге с зонами субмеридианального Новохоперско-Шумилинского разлома, субширотного Суджано-Икорецкого разлома и серией разломов более низкого ранга [3, 4]. По всем этим тектоническим нарушениям осуществляется интенсивный подток глубоких высокоминерализованных, высоконапорных вод кристаллического фундамента в вышерасположенные гидрогеологические подразделения среднего девона. Об этом свидетельствует тот факт, что они содержат (за небольшим исключением) в различной степени минерализованные воды с повышенным содержанием хлоридов и некоторых специфических, не характерных для грунтовых вод элементов литофильной группы (бром, йод, фтор, стронций, барий). Это создает весьма

сложные гидрогеохимические условия, влияющие в ряде случаев на качество воды гидрогеологических подразделений верхнего девона [5].

Архей – нижний протерозой (AR-PR₁)

Слабоводоносная архей-нижнепротерозойская зона кристаллических пород (AR-PR₁¹vc₁-vc₂). В гидрогеологическом отношении изучена лишь верхняя часть горных пород зоны мощностью до 200 м (рис. 1а, 1б).

Водовмещающими породами служат сланцы, метапесчаники, интрузивные образования основного состава [6, 7]. Верхним водоупором, развитым локально, служат рыхлые глины коры выветривания докембрия мощностью до 15–20 м. На большей части района существует тесная взаимосвязь вод докембрия с водами вышележащего девонского комплекса. Глубина залегания кровли изменяется от 175 м на западе до 448 м на востоке никеленосного района; преобладает глубина 300–400 м. Абсолютные высоты кровли в наиболее погруженных частях достигают -358,6 м. Воды высоконапорные, величина напора варьирует от 57 м до 332 м. Пьезометрический уровень изменяется с глубины 109,0 м до +6,7 м над поверхностью земли. Абсолютные отметки соответственно +36,8 – +104,7 м. Водообильность зоны незначительная – по единичным скважинам удельный дебит составляет 0,03–0,4 дм³/с. Проницаемость пород также невысока – 0,09 м/сут. Воды от солоноватых до рассолов, минерализация увеличивается до 68,5 г/дм³. Химический состав хлоридный натриевый, кальциево-натриевый, жесткость увеличивается в северо-восточном направлении от 0,2 до 506,0 мг-экв/дм³ [5].

В процессе работ опробованы самоизливающиеся скважины 170 и 193, минерализация воды в которых, соответственно, 65,3 г/дм³ и 37,8 г/дм³, содержащие промышленное содержание брома до 600 мг/дм³. В скважине 84 его содержание достигает 200 мг/дм³. Питание вод трещиноватой зоны происходит, повидимому, за пределами территории, а также, за счет перелива вод из вышележащего клинцовско-мосоловского комплекса. Разгрузка, в основном, за пределами листа, частично путем напорной фильтрации в вышележащие слои. В настоящее время воды описываемой зоны не эксплуатируются и могут использоваться в дальнейшем как минеральные (бальнеотерапевтические), так и промышленные (бромные).

Продуктивная толща минеральных вод охватывает широкий возрастной интервал от нижнекаменноугольного отдела, озерско-хованского горизонта до архейско-протерозойского [8]. Она сложена пестрыми по литологии терригенно-карбонатными осадками мощностью от 135,0 до 804,0 м. В пределах участка распространены рассолы хлоридно-натриевого состава [9].

Минеральный источник 18, скв. 8186, находится в Новохоперском районе в пос. Елка в 3 км к югу от пос. Елань-Коленовский.

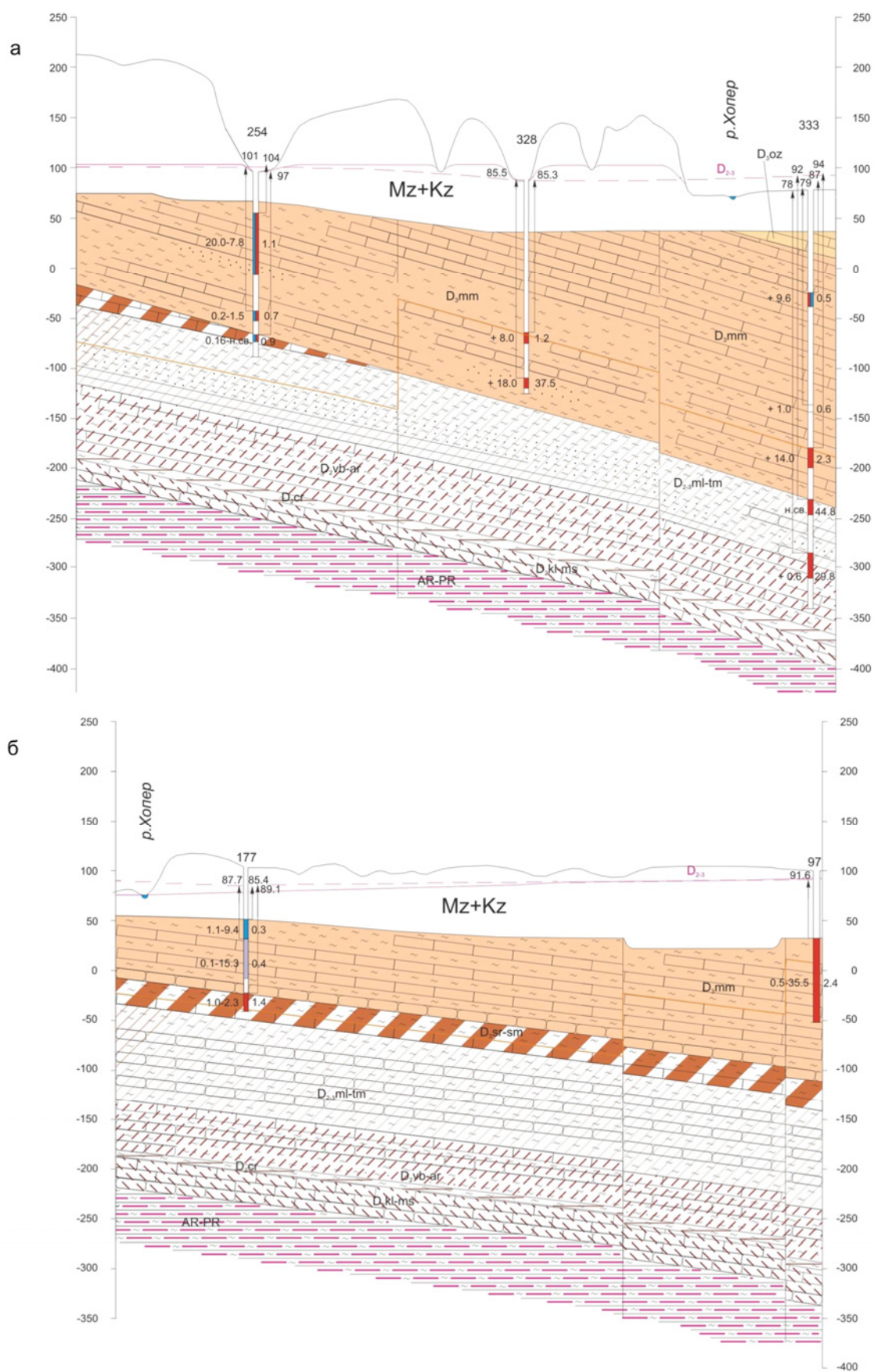
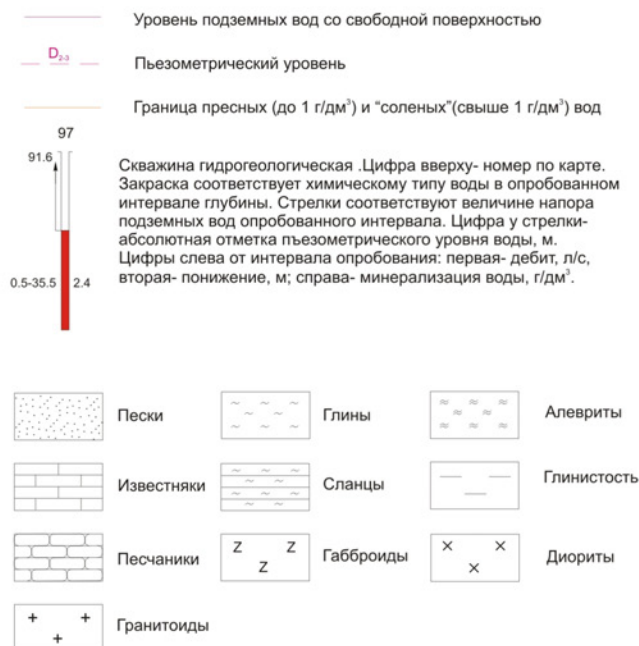


Рис. 1 Гидрогеологические разрезы: а – по правобережью р. Хопер; б – по левобережью р. Хопер.

Гидрогеологические подразделения

	Индекс	Наименование гидрогеологических подразделений
	Mz+Kz	Мезокайнозойский гидрогеологический этаж
	D ₃ oz	Водоносный озерский карбонатный горизонт
	D ₃ mm	Водоносная мамонская терригенно-карбонатная свита
	D ₃ sr-sm	Водоносный локально водоупорный саргаевско-семилукский терригенно-карбонатный комплекс
	D _{2,3} ml-tm	Водоупорный локально водоносный муллинско-тиманский терригенный комплекс
	D ₂ vb-ar	Слабоводоносный локально водоупорный воробьевско-ардатовский карбонатно-терригенный комплекс
	D ₂ cr	Водоупорный чернойарский терригенный горизонт
	D ₂ kl-ms	Слабоводоносный локально водоносный клинцовско-мосоловский терригенно-карбонатный комплекс
	AR-PR	Слабоводоносная архей-протерозойская зона кристаллических пород

Прочие знаки



Условные обозначения к рис. 1а, б

Геологический разрез представлен архейско-протерозойскими кристаллическими породами, на которых залегают терригенные и, в меньшей степени, карбонатные отложения живетского, франского и фаменского ярусов среднего и верхнего девона об-

щей мощностью 160 м, перекрываемые маломощным (7,5 м) слоем песков и глин аптского возраста нижнего мела, на неровной поверхности которых залегают аллювиальные современно-четвертичные породы (табл.1).

Таблица 1

Характерные параметры подземной воды источника № 18

Возраст водовмещающих пород	Литологический состав	Интервал глубины опробования, м	Минерализация, г/дм ³	Формула ионного состава	Бром йод, г/дм ³	pH	Удельный дебит, дм ³ /с
D ₃ oz	Песчаники, алевролиты	55,5-62,5	0,6-1,1	$\frac{Cl42HCO_336SO_422}{(Na+K)62Ca30Mg8}$	$\frac{2,6}{0,2}$	6,5	0,1-0,3
D ₃ mm	Известняки, песчаники, алевролиты	64,0-75,2	0,8-1,2	$\frac{Cl40HCO_336SO_424}{(Na+K)48Ca40Mg12}$	$\frac{33,5}{2,8}$	6,5	0,45
D ₃ sr-sm	Известняки, алевролиты, глины	115,5-117,7	3,5-11,3	$\frac{Cl52HCO_338SO_410}{(Na+K)45Ca40Mg15}$	$\frac{55,2}{3,0}$	6,8	0,12
D _{2,3} ml-tm	Аргиллиты, глины, алевролиты	128,0-131,4	10,9-11,7	$\frac{Cl48HCO_342SO_410}{(Na+K)42Ca58}$	$\frac{52,0}{4,4}$	6,7	0,15
D ₂ cr	Пески, алевролиты, глины	150,0-152,5	8,3-8,7	$\frac{Cl90HCO_36SO_44}{(Na+K)80Ca15Mg5}$	$\frac{50,0}{3,5}$	7,0	0,25
D ₂ kl-ms	Известняки, песчаники	175,0-186,2	15,8	$\frac{Cl95HCO_35}{(Na+K)75Ca15Mg10}$	$\frac{220,3}{5,5}$	6,9	0,95
D ₂ vb-ar	Известняки, песчаники, глины, алевролиты	190,0-192,5	17,9-31,4	$\frac{Cl98SO_42}{(Na+K)70Ca18Mg12}$	$\frac{252,0}{4,5}$	7,0	0,25
PR ₁ ¹ vc ₁ -vc ₂	Кристаллические сланцы, метапесчаники	260,0-270,0	87,9-92,0	$\frac{Cl87SO_412HCO_31}{(Na+K)71Ca18Mg11}$	$\frac{200,0}{5,4}$	6,2	0,1
	Зона дробления норитов	270,0-280,0	90,0-92,5			6,4	0,18

Минеральные воды приурочены к габбро-норитовым породам протерозоя с сульфидной минерализацией и вскрываются скважиной в интервале глубин от 270 до 280 м. Воды напорные. Верхним водоупором, изолирующим обводненную толщу трещиноватой зоны пород от вышележающих водоносных горизонтов, служит водоупор, представленный аргиллитами чернойгорского горизонта среднего девона мощностью около 20 м. Неравномерная трещиноватость кристаллических пород обуславливает низкую водообильность обводненной зоны; удельный дебит скважины не превышает 0,1 дм³/с [8, 10].

Питание минеральных вод, по-видимому, осуществляется водами вышележащего мосоловского горизонта, путем перетекания их в трещины пород на участках взаимных контактов.

По химическому составу минеральная вода определяется как слабокислая бромная высокоминерализованная хлоридного кальциево-натриевого состава, содержание брома составляет 42–52 мг/дм³.

В воде присутствует фтор – 0,2 мг/дм³, нитраты – 5,0 мг/дм³. Концентрация борной кислоты не превышает 26,4 мг/дм³. В воде отсутствуют карбонаты, нитраты, аммоний, марганец и свинец [11].

Повышенная минерализация бромных вод, хлоридный кальциево-натриевый состав, а также приуроченность минерального источника к погруженной краевой северо-западной части Приволжско-Хоперского артезианского бассейна указывает на формирование вод в условиях затрудненного водообмена. Связь бромных вод с поверхностными условиями крайне ограничена, учитывая глубину залегания обводненной зоны пород. Если принять, что 1 кг морской соли содержит 545 мг-экв/ дм³ иона (а в минеральной 223, 21 мг-экв/дм³), то примесь воды морского генезиса в рассматриваемой воде составит по объему $\frac{223,2 \cdot 100}{545} = 44,4\%$. Следовательно, в генетическом

отношении минеральная вода источника № 18 является смешанной, находящейся под влиянием инфильтрационных вод, перетекающих в трещины кристаллического фундамента из мосоловского водоносного горизонта [12].

По заключению Центрального научно-исследовательского института курортологии и физиотерапии минеральная вода Елkinsкого источника может быть использована для наружного применения при лечении больных с нейроциркулярной дистонией, ревмопороками сердца, при гипертонической болезни, заболеваниях позвоночника [13, 14].

Вода рассматриваемого источника имеет минеральный аналог. По своим физическим, химическим свойствам и бальнеологическому воздействию она аналогична минеральной воде «Белая Горка», которая используется как лечебная и лечебно-столовая вода [8].

Средний девон (D₂)

Слабоводоносный локально водоупорный воробьевско-ардатовский карбонатно-терригенный гори-

зонит (D₂vb-ar). Он развит повсеместно на исследованной территории (см. рис.1а, 1б). Водовмещающими породами служат известняки, песчаники, пески, переслаивающиеся с глинами и алевролитами. Относительно выдержанными являются известняки в кровле комплекса. Общая мощность всех пород достигает 63 м, преобладает 30–50 м [15].

Глубина залегания комплекса увеличивается на юго-восток с 113,3 м до 373,3 м, абсолютные высоты от -20,5 до -370 м. Воды повсеместно напорные. Величина напора достигает 373,4 м. Глубина пьезометрического уровня изменяется с 45, 6 до +0,4 м, абсолютные отметки с +78 до +101,4 м. Слабая трещиноватость известняков обуславливает их низкие фильтрационные свойства, а, следовательно, и водообильность. Коэффициент фильтрации составляет 0,05-0,4 м/сут. Удельные дебиты скважины изменяются от 0, 01 до 0,2 дм³/с.

В наиболее приподнятой западной части воды гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-натриевые. Вниз по разрезу и в юго-восточном направлении воды становятся хлоридные натриево-кальциевым с минерализацией до 29,8 г/дм³. Жесткость колеблется от 5 до 104 мг-экв/дм³, то есть воды от умеренно-жестких до очень жестких. Реакция меняется от слабощелочной до слабокислой (рН – 7,3-6,4).

Питание и разгрузка горизонта происходит, в основном, за пределами участка, в меньшей степени выше- и нижележащие подразделения. Воды горизонта в настоящее время не используются. В дальнейшем они могут представлять интерес с бальнеологической точки зрения. Так скважинами 63 и 65 вскрыты и опробованы воды комплекса для бальнеологических целей. Минерализация соответственно 11,5 г/дм³ и 15,9 г/дм³ с хлоридным кальциево-натриевым составом. По своему составу минеральная вода относится к переходному типу и может использоваться как в качестве питьевой, так и бальнеотерапевтической для наружных процедур (ванны, душ). Минеральные воды скважины 95 являются бальнеотерапевтическими и могут использоваться для наружных процедур в лечебно-оздоровительных учреждениях [9].

Слабоводоносный локально водоносный клинцовско-мосоловский терригенно-карбонатный горизонт (D₂kl-ms). Он развит повсеместно. Водовмещающими породами служат известняки мосоловской и песчаники клинцовской свит. Мощность комплекса изменяется от 15 до 55 м. Максимальная мощность отмечается в наиболее погруженных частях юго-востока участков. Глубина залегания кровли комплекса нарастает в том же направлении с 148 до 450 м, абсолютные отметки снижаются с -36 до -323 м. Воды комплекса высоконапорные. Величина напора достигает 290 м. Глубина залегания пьезометрического уровня колеблется от 44,9 до +12,45 м, на абсолютных отметках +83,5 – +103,4 м.

Водообильность комплекса, как и проницаемость пород, весьма различная – удельные дебиты варьиру-

ют 0,02–0,4 дм³/с, коэффициент фильтрации от 0,11 до 1,35 м/сут. Воды комплекса от солончатых до рассолов, минерализация колеблется от 11,6 до 64,8 г/дм³. Присутствуют хлоридные натриевые и кальциево-натриевые воды. Жесткость достигает здесь 349 мг-экв/дм³. Реакция изменяется от слабощелочной (рН – 7,2) до слабокислой (рН – 5,3). Питание горизонта осуществляется, в основном, за пределами участков, частично путем перетока из выше- и нижележащих подразделений. Разгрузка происходит также за пределами участков, реже в смежные подразделения по зонам тектонических нарушений. Воды горизонта не используются и могут представлять интерес как бальнеотерапевтические при дальнейшем их изучении [8, 9].

Черноярский водоупорный терригенный горизонт (D₂čr). Горизонт распространен повсеместно, отсутствуя лишь на крайнем северо-западе. Представлен аргиллитами, аргиллитоподобными глинами с прослоями алевролитов с линзами подземных вод преимущественно хлоридно-натриевого состава общей мощностью до 14,4 м. Глубина залегания увеличивается по мере погружения слоев на юго-восток с 68 до 363 м. Абсолютные отметки снижаются в том направлении от -35 м до -380 м. Горизонт является водоупорным экраном для восходящих высокоминерализованных (до рассолов) вод нижележащих подразделений.

Водоупорный локально водоносный мулинско-тиманский терригенный водоносный горизонт (D₂zml-tm). Он распространен повсеместно на исследуемой территории с погружением в юго-восточной части. Представлен отложениями мулинской (аргиллиты, глины), ястребовской (песчаники, алевролиты) и чапыгинской (глины аргиллитоподобные) свит. Мощность комплекса изменяется от 12 м до 120 м в наиболее полных разрезах. Глубина залегания кровли возрастает в юго-восточном направлении от 33,2 до 287,6 м, абсолютные отметки кровли снижаются от +69 м до -177 м. Величина напора зависит от глубины погружения водоносных прослоев и увеличивается от 34,8 м до 301,4 м. Уровень воды изменяется от 61,7 м на глубине до +14 м над поверхностью земли. Соответствующие абсолютные отметки от +88,2 до +101,1 м.

Водообильность комплекса низкая – удельные дебиты скважин варьируют от 0,004 до 0,23 дм³/с, составляя в среднем 0,02 – 0,1 дм³/с. Это обусловлено преобладанием в разрезе комплекса водоупорных пород – глин, аргиллитоподобных глин, аргиллитов. Коэффициент фильтрации составляет 0,02–4,6 м/сут, среднее значение – 0,2–0,9 м/сут.

Наличие достаточно мощной толщи водоупорных отложений является гидрохимическим барьером для восходящих высокоминерализованных вод. Поэтому пресные воды здесь редки, минимальная минерализация 0,76 г/дм³ единична. В общем же воды от солончатых до соленых (рассолов), минерализация вблизи зон тектонических разломов до 50,57 г/дм³. Состав однообразен – хлоридный, реже сульфатно-хлоридный кальциево-натриевый, натриевый. Воды очень жесткие – 20–366 мг-экв/дм³, реакция слабощелочная

– нейтральная (рН – 5,1–7,2).

Питание комплекса осуществляется, в основном, путем подтока восходящих вод из нижележащих подразделений через гидрогеологические окна и по зонам разломов. Разгрузка, большей частью, во вмещающие подразделения. Воды комплекса, ввиду повышенной минерализации, глубокого залегания и малой водообильности не используются для водоснабжения, за исключением Елань-Коленовского сахарного завода, где скважиной эксплуатируются воды, заключенные в ястребовских песчаниках (минерализация 1,2 г/дм³, воды хлоридные, смешанные по катионному составу).

Верхний девон (D₃)

Водоупорный локально водоносный саргаевско-семилукский терригенно-карбонатный комплекс (D₃sr-sm). Он расположен на большей части территории, отсутствуя лишь на северо-западе (см. рис. 1а, 1б). Комплекс представлен семилукской и саргаевской свитами. Водовмещающими породами являются саргаевские известняки мощностью до 24,7 м, преобладающая мощность – 10–20 м. Их перекрывают семилукские глины.

Глубина залегания увеличивается по мере погружения комплекса на юго-восток с 20,5 до 216,8 м, абсолютные отметки с +66,8 м до -122,8 м.

Воды имеют напор, достигающий 215,6 м в самой углубленной части комплекса. Уровень устанавливается на 2,8 м выше поверхности земли, нижний предел – 62,8 м. Соответствующие им абсолютные отметки -115,7 – (+86,7) м.

Водообильность комплекса весьма различная – удельный дебит водопунктов составляет 0,0001–1,2 дм³/с, наиболее типичный диапазон изменений 0,005–0,5 дм³/с. Также варьирует и проницаемость пород, зависящая от трещиноватости – от 0,001 до 28,5 м/сут, наиболее часто составляющая 0,05 – 4,5 м/сут.

Надо отметить, что семилукские глины не везде перекрывают саргаевские известняки. В местах, где они отсутствуют, воды комплекса имеют тесную гидравлическую связь с вышележащей мамонской свитой и имеют с ней единый уровень. Нижним водоупором служат отложения мулинской свиты.

Воды комплекса преимущественно слабосолончатые с минерализацией 1–2 г/дм³, увеличивающейся до 5,7 г/дм³, очевидно, вследствие подтока высокоминерализованных вод из нижележащих подразделений. Химический состав не отличается разнообразием – хлоридный, гидрокарбонатно-хлоридный, смешанный кальциево-натриевый, магниевый-кальциево-натриевый. Воды от жестких до очень жестких, общая жесткость варьирует от 6,6 до 48,1 мг-экв/дм³. Реакция воды изменяется от слабокислой (рН – 5,2) до слабощелочной (рН – 7,3). Из микроэлементов в воде обнаружены бор – 5,2 мг/дм³, бром – 50 мг/дм³, йод – 4,5 мг/дм³. Питание комплекса происходит за счет подтока вод из выше- и нижележащих подразделений, разгрузка, преимущественно, в вышележащие подраз-

деления [5].

Водоносная мамонская терригенно-карбонатная свита (D_{3mt}). Она приурочена к четырем толщам мамонской серии: лебедянско-плавской, задонско-елецкой, евлановско-ливленской и петинско-воронежской, гидравлически связанных между собой. Разрез свиты весьма разнообразен. Водовмещающие породы представлены, в первую очередь, известняками, реже песчаниками, песками с прослоями водупорных аргиллитоподобных глин. Распространена свита на большей части территории, отсутствует только на западе и северо-западе. Подошва свиты погружается на юго-восток, мощность увеличивается от 0 до 187,5 м. Глубина залегания кровли свиты изменяется от 36 до 165 м, в зависимости от мощности перекрывающих её отложений, на абсолютных отметках +15 – +65 м. Воды сугубо напорные, в зависимости от областей питания и глубины опробования, величина напора изменяется от 9 до 240 м. Уровень вод устанавливается на отметках от +8,7 м в пойме р. Хопер до 98 м на водоразделах. Абсолютные отметки варьируют в интервале +71,5 – +128,4 м. Водообильность свиты изменяется как в плане, так и в разрезе – удельный дебит скважин от 0,01 до 11,4 $\text{дм}^3/\text{с}$, в среднем 0,2–5 $\text{дм}^3/\text{с}$. Дебиты эксплуатационных скважин достигают 108 $\text{дм}^3/\text{с}$. По вышеописанным закономерностям изменяется и проницаемость; коэффициент фильтрации варьирует от 0,002 м/сут в монолитных известняках, глинах; до 39,2 м/сут в трещиноватых известняках; преобладает интервал 1,5–6 м/сут. Водопроницаемость на участках достигает 2663 $\text{м}^2/\text{сут}$ [5].

Химический состав подземных вод свиты разнообразен по глубине и зависит как от литологического состава водовмещающих пород, так и от наличия других определяющих факторов, прежде всего, от наличия тектонических нарушений. Воды имеют гидрокарбонатно-хлоридный, смешанный кальциево-натриевый, натриево-кальциевый состав с преобладающей минерализацией 0,5–0,9 г/дм³. С тектоническими нарушениями связано и высокое содержание хлоридов до 1240 мг/дм³, сульфатов до 4570 мг/дм³, а также жесткость до 234,3 мг-экв/дм³, увеличено содержание некоторых микроэлементов, прежде всего марганца до 32 мг/дм³, железа до 4,8 мг/дм³, бария до 200 мг/дм³. Питание свиты осуществляется как нисходящей фильтрацией, так и восходящим потоком из нижележащих подразделений, разгрузка происходит в вышележащие подразделения.

За исключением северной и западной частей, где свита залегает под неогеновым и апт-сеноманским горизонтами, воды описываемого подразделения являются основным для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения северо-западной части Волгоградской области. Так в районе г. Урюпинск разведаны эксплуатационные запасы подземных вод верхней части мамонской свиты в количестве 43 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$.

Озерский карбонатный водоносный горизонт (D_{3oz}). Горизонт ограниченно распространен в юго-восточной части никеленосного района и представлен известняками, местами брекчиевидными, трещиноватыми. Мощность горизонта увеличивается на юго-восток от 0 до 27,6 м. Глубина залегания кровли горизонта 29–50 м на абсолютных отметках от +36,6 до +45,3 м. Воды исключительно напорные, величина напора составляет 40–60 м. Уровень напора устанавливается на высоте +8,7 м над поверхностью земли, абсолютные отметки +86 – +96 м. По единичным данным удельный дебит скважин 0,5–1,2 $\text{дм}^3/\text{с}$, коэффициент фильтрации зависит от трещиноватости пород и изменяется от 0,5 до 14,7 м/сут. Химический состав (охарактеризован по единичным данным) хлоридно-гидрокарбонатный, хлоридный кальциево-натриевый. Воды пресные до слабосоленоватый с минерализацией 0,4–2,0 г/дм³, преобладает 0,5–1 г/дм³. Перекрывается горизонт нижеаптским водоупором, что препятствует его загрязнению. Подстиляется он мамонской свитой, с которой имеет тесную гидравлическую связь, и также как предшествующее гидрогеологическое подразделение используется для водоснабжения населения г. Урюпинск.

Территория распространения для горизонта является областью питания, разгрузка происходит частично в вышележащие подразделения через гидрогеологические окна в нижеаптском водоупоре.

Минеральный источник 15, скважина 266, наиболее полно отражает распределение минеральных вод и рассолов в пределах гидрогеологических подразделений девона. Он расположен у слияния рек Ворона и Хопёр в окрестностях г. Борисоглебск (пос. Теллермановский).

Геолого-структурные особенности расположения источника характеризуются условиями краевой зоны Пачелмского прогиба, осложненной тектоническими разломами. Геологический разрез сложен снизу вверх архейско-протерозойским кристаллическим комплексом пород, который покрывается осадочными средне- и верхнедевонскими отложениями общей мощностью 750 м, на неровной поверхности которых залегают мезокайнозойские отложения общей мощностью 80,2 м.

Геолого-структурные условия, литолого-фациальные особенности и геохимическая обстановка девонского комплекса пород способствуют формированию бромных и йодо-бромных рассолов с минерализацией от 48,3 до 106,7 г/дм³, которые тяготеют к среднему девону и докембрию (табл. 2). Верхняя часть девонских отложений, представленная озерскими известняками, исследовалась на водоносность в интервале глубин 120–150 м. Скважиной вскрыты соленоватые воды с минерализацией 0,7–1,2 г/дм³, сложного гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридного натриевого состава. Определение брома в воде не проводилось.

Таблица 2

Характерные параметры подземной воды источника № 15

Возраст водовмещающих пород	Литологический состав	Интервал глубины опробования, м	Минерализация, г/дм ³	Формула ионного состава	Бром йод, г/дм ³	Рв Н	Удельный дебит, дм ³ /с
<i>D_{3oz}</i>	Известняки брекчие-видные, трещиноватые	120-150	0,5-1,2	$\frac{Cl44HCO_3 28SO_4 26}{(Na + K)59Ca23Mg18}$	$\frac{2,4}{0,3}$	6,7	0,5-1,2
<i>D_{3mm}</i>	Известняки, песчаники с прослоями глин	235-245	0,5-0,9	$\frac{HCO_3 55Cl45}{Na52Ca48}$	$\frac{3,5}{0,2}$	6,9	0,2-5,0
<i>D_{3sr-sm}</i>	Известняки, глины	323-332	1,5-5,7	$\frac{Cl43HCO_3 57}{Ca42Mg35Na23}$	$\frac{148,1}{5,4}$	6,8	0,005-0,5
<i>D_{2,3ml-tm}</i>	Аргиллиты, глины, алевролиты	443-460	0,76-50,57	$\frac{HCO_3 52Cl48}{Ca58Na42}$	$\frac{200,0}{5,4}$	6,2	0,02-0,1
<i>D_{2čr}</i>	Аргиллиты, глины, алевролиты	506-524	18,9-55,8	$\frac{Cl95HCO_3 5}{(Na + K)85Ca10Mg5}$	$\frac{265,0}{4,2}$	6,5	0,01-0,1
<i>D_{2kl-ms}</i>	Известняки, песчаники	539-552	11,6-64,8	$\frac{Cl90HCO_3 10}{(Na + K)63Ca25Mg12}$	$\frac{250,0}{9,3}$	6,3	0,02-0,4
<i>D_{2vb-ar}</i>	Известняки, песчаники, глины, алевролиты	565-608	19,9-29,8	$\frac{Cl100}{(Na + K)53Ca35Mg12}$	$\frac{276,6}{4,7}$	6,4	0,01-0,2
<i>PR₁¹vc₁-vc₂</i>	Кристаллические сланцы, метапесчаники, нориты	610-615	37,8-65,3	$\frac{Cl100}{(Na + K)83Ca17}$	$\frac{600,0}{6,5}$	7,0	0,03-0,4

Бромные рассолы вскрыты на глубине 323–332 м в обводненных известняках с прослоями мергеля рудкинского и щигровского горизонтов мамонской толщи верхнего девона.

В гидрогеохимическом отношении рассолы характеризуются хлоридным кальциево-натриевым составом с минерализацией 48,3 г/дм³. Концентрация брома достигает 148,1 мг/дм³, а йода 2,4 мг/дм³. Отмечается высокое количество железа – до 171,5 мг/дм³ и повышенное содержание аммонийного азота до 15,1 мг/дм³.

Рассолы обладают напорным характером, пьезометрический уровень устанавливается близко к земной поверхности, на абсолютной отметке 87 м. Мощность водоносной толщи не превышает 17 м, удельный дебит скважины из этого водоносного горизонта составляет 0,4 дм³/с, что свидетельствует о слабой обводненности пород в интервале вскрытия.

В нижеследующих черныярско-старооскольских песчано-глинистых отложениях, в интервале глубин от 443 до 461 м распространены йодо-бромные рассолы с минерализацией от 87,9 до 89,9 г/дм³. Содержание брома, как показывают фактические данные, возрастает до 265 мг/дм³, а концентрации йода до 5,4 мг/дм³.

Ниже в мосоловском водоносном горизонте отмечается дальнейшее возрастание рассолов вышеуказанного химического состава, одновременно содержание брома увеличивается до 250 мг/дм³, а йода до 9,3 мг/дм³.

В породах кристаллического фундамента, в квар-

цево-полевошпатово-биотитовых сланцах, на глубине 610–615 м развиты хлоридные натриевые рассолы с минерализацией до 106,7 г/дм³; количество брома увеличивается до 480 мг/дм³, и остается самым высоким в пределах данного участка. Содержание йода колеблется около 6 мг/дм³. В воде этих же пород отмечена высокая концентрация иона аммония и незначительная нитратов, до 6,2 мг/дм³.

Водоносные горизонты девона: верхнешигровско-рудкинский, ястребовско-нижнешигровский, черныярско-старооскольский и нижеследующие мосоловский, ряжско-морсовский, а также водоносная трещиноватая зона кристаллических пород протерозоя отличаются напорным характером. Пьезометрические уровни горизонтов располагаются у земной поверхности, а в ряде случаев выше её на 1,4–4,3 м. Например, йодо-бромные рассолы мосоловского горизонта и обводненной трещиноватой зоны кристаллических пород протерозоя при их вскрытии скважиной самоизливаются на поверхность. Существующая разность пьезометрических уровней девонских водоносных горизонтов свидетельствует о возможности перетока вод из одного горизонта в смежный горизонт. Так, разность пьезометрического положения уровней мосоловского и выше залегающего черныярско-старооскольского горизонтов, разделяемые черныярскими водоупорными маломощными глинами, составляет 2,5 м, что обуславливает подпитку черныярско-старооскольского горизонта рассолами из мосоловских отложений. Аналогичная гидравлическая взаимосвязь возможна, в свою очередь, между водоносной трещиноватой зоной протерозойских пород и

ряжско-морсовским водоносным горизонтом. Имеющиеся сведения о водообильности продуктивных водоносных горизонтов показывают на невысокую водоотдачу отдельно взятых горизонтов. Удельные дебиты скважин колеблются от 0,01 до 0,075 $\text{дм}^3/\text{сек}$. Однако, эти значения известны только для единичных горизонтов. Возможно, что при совместной эксплуатации нескольких горизонтов водоотдача пород будет достаточной, чтобы обеспечить суммарный удельный дебит на уровне 2–3 $\text{дм}^3/\text{с}$. Исследование водообильности пород рекомендуется продолжать.

Истомин В. И., анализируя справочный гидрогеологический материал (Гидрогеология СССР. Т. IV. М.: Недра, 1972), полагает, что в пределах Новохоперского никеленосного района отсутствуют водопоры на Елань-Елкинском месторождении. Все верхние водоносные горизонты объединены в единую с архей-протерозойским водоносным комплексом систему [16]. В качестве довода он приводит уже упоминавшуюся скважину в районе г. Борисоглебск. Подобных скважин, вскрывших архей-протерозойский и девонские напорные водоносные горизонты, было пробурено около десятка в середине 50-х годов прошедшего столетия при поисках нефти и газа. В настоящее время они не функционируют. Между аптом и верхним девонем существует водонепроницаемый горизонт, выше которого локализованы подземные воды пресные с минерализацией 0,4–1,0 $\text{г}/\text{дм}^3$, широко используемые для питьевого водоснабжения населения [17,18]. Как видно из изложенного выше, водонепроницаемые горизонты и комплексы присутствуют и в отложениях среднего и верхнего девона. Никаких признаков присутствия единого водоносного комплекса в Новохоперском никеленосном районе нет.

Нельзя не согласиться с автором в том, что разработка месторождения «...без серьезного изучения гидрогеологии и экологии месторождения академическими институтами с обязательным привлечением государственного финансирования...», [16, с. 54–57] вряд ли возможна. Пока речь идет о разведке месторождения, которую воронежские геологи и гидрогеологи, имеющие большой практический опыт в этой сфере деятельности, проводят целенаправленно, эффективно, с соблюдением самых строгих экологических требований.

Заключение

Формирование йодо-бромных рассолов, по видимому, относится к древним геологическим эпохам, о чем свидетельствует значение генетических коэффициентов (<300 по Виноградову), высокое значение брома – основного компонента солеродных бассейнов и высокая величина минерализации воды.

Ведущим фактором формирования и трансформации состава и динамики подземных вод является геотектоническое положение района, которое обусловило наличие весьма сложных гидрогеологических, гидрохимических и гидродинамических условий. Многочисленные разрывные нарушения, оперяющие регио-

нальный Новохопёрско-Шумилинский разлом, служили в своё время подводящими каналами, по которым осуществлялся подток минерализованных вод из архей-протерозойского кристаллического фундамента в нижние горизонты осадочного чехла, представленные отложениями девона. В долинах рек Елань, Савала, Хопёр и их прибортовых частях он был более интенсивен. О восходящей разгрузке глубинных вод свидетельствует и тот факт, что все гидрогеологические подразделения, имеющие разрез от кристаллического фундамента до мезозойских отложений, содержат в различной степени минерализованные воды с повышенным содержанием хлор-иона. Чаще всего встречается смешанный тип воды, где наряду с хлором присутствуют сульфат- и гидрокарбонат-ионы.

Воды среднего и верхнего девона, формирующиеся как за счет нисходящей разгрузки вышележащих гидрогеологических подразделений, так и подпитки из пород кристаллического фундамента, формируют зону замедленного водообмена, где подземный сток характеризуется значительными скоростями. В связи с этим обогащение легкорастворимыми солями вод верхнего и среднего девона осуществляется при движении их в морских осадочных породах, содержащих хлориды и сульфаты, а также восходящими потоками рассолов из пород фундамента по тектонически ослабленным зонам. Следует отметить, что наряду с процессами растворения, здесь имеют место и процессы катионного обмена, протекающие между водой и глинистыми породами. По химическому составу воды хлоридные, гидрокарбонатно-хлоридные, кальциево-натриевые, от пресных до солёных (только вблизи тектонически ослабленных зон и в наиболее погруженных частях).

Зона затрудненного водообмена включает самую нижнюю часть разреза, сложенную архей-протерозойскими в различной степени трещиноватыми породами, а также воды клинцовско-мосоловских образований, отделенных от вышеупомянутых локальной рыхлой корой выветривания. На это ещё указывает то, что пьезометрические уровни подразделений устанавливаются на единой высоте – +103,4 м (D_2kl-ms) и +104,7 м (AR-PR). Значения коэффициента фильтрации 0,08–0,11 $\text{м}/\text{сут}$ доказывают слабую проницаемость пород описываемой зоны.

По химическому составу воды хлоридные натриевые с минерализацией до 68,5 $\text{г}/\text{дм}^3$. Здесь отмечается повышенное содержание брома до 600 $\text{мг}/\text{дм}^3$, наличие йода 1,5–4,0 $\text{мг}/\text{дм}^3$.

О характере взаимосвязи девонских отложений с мезо-кайнозойскими и четвертичными можно судить по соотношению их уровней. Уровни девонских подразделений на участках водоразделов ниже уровней вод перекрывающих отложений, что свидетельствует о нисходящем перетекании подземных вод, то есть вертикальная составляющая движения воды на водоразделах направлена сверху вниз.

В долинах рек наблюдается обратная картина. Здесь уровни девонских гидрогеологических подразделений

превышают уровни перекрывающих отложений, что свидетельствует о преобладающем восходящем перетекании подземных вод, то есть вертикальная составляющая движения воды направлена снизу вверх до регионального водоупора, разграничивающего средне- и верхнедевонские водоносные горизонты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышов, Н. М. Модель геодинамического развития Воронежского массива в раннем докембрии / Н. М. Чернышов, В. М. Ненахов [и др.] // Геотектоника, 1997. – № 3. – С. 21–30.
2. Чернышов, Н. М. Сульфидные платиноидно-медно-кобальт-никелевые месторождения Новохопёрского рудного района и проблемы их комплексного освоения в условиях жестких экологических ограничений и сохранения уникальной экосистемы / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2013. – № 2. – С. 95–105.
3. Савко, А. Д. Геология Воронежской антеклизы / А. Д. Савко // Труды НИИ геологии Воронеж гос. ун-та. – Вып. 12. – 2002. – 165 с.
4. Трегуб, А. И. Неотектоника территории Воронежского кристаллического массива / А. И. Трегуб // Труды НИИ геологии Воронеж гос. ун-та. – Вып. 9. – 2002. – 220 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. Сер.: Геология. – 2010. – № 1. – С. 243–251.
6. Легенда Воронежской серии листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000. Объяснительная записка. Изд. 2 – е / Под ред. Б. М. Демченко, Г. В. Холмового. – М.: Недра. – 1999. – 50 с.
7. Савко, К. А. Метатерригенные породы воронцовской серии Воронежского кристаллического массива: геохимия, особенности формирования и источники сноса / К. А. Савко, А. В. Самсонов, Н. С. Базиков // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2011. – № 1. – С. 70 – 94.
8. Смирнова, А. Я. Минеральные воды Воронежской области (лечебные и лечебно-столовые) / А. Я. Смирнова, В. Л. Бочаров, В. Ф. Лукьянов. – Воронеж: Изд-во «Петровский сквер». – 1995. – 182 с.
9. Бочаров, В. Л. Новый перспективный вид природного сырья Воронежской области – минеральные воды / В. Л. Бочаров, О. А. Бабкина, Л. Н. Строгонова // Русский провинциальный научный журнал «Регион: системы, экономика, управление». – Воронеж: Издательско-полиграфич-

еский центр «Научная книга». – 2014. – № 4 (27). – С. 185–189.

10. Бочаров, В. Л. Йодо-бромные минеральные воды в сульфидных никелевых рудах месторождения «Елка» / В. Л. Бочаров, Л. Н. Строгонова, О. А. Бабкина, А. Я. Смирнова // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2014, № 1. – С. 103–109.

11. Бабкина, О. А. Гидрогеологические условия формирования химического состава и естественные ресурсы подземных вод района Хоперского заповедника: мат-лы межрегиональной научно-практической конференции «Современные проблемы особо охраняемых природных территорий регионального значения и пути их решения» / О. А. Бабкина, В. Л. Бочаров. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2014. – С. 17–21.

12. Bocharov, V. V. Geological and geochemical indicators of mineral waters and brines genesis in Voronezh Prihopere, (Russia) / V.V. Bocharov, L.N. Strogonova // AplikovanĚ vĚdeckĚ novinky – 2014. VteriÁ X mezinarodni vedecko-prakticka konference. DĪl 15, Ekologie. ZemĚpis a geologie. Praha: Publishing House «Education and Science», 2014. – P. 54–56.

13. Фурман, И. Я. Гидрохимические особенности некоторых подземных вод Воронежского района и их бальнеологическая оценка / И. Я. Фурман // Литология и стратиграфия осадочного чехла Воронежской антеклизы. – 1974. – Воронеж. – С. 86–88.

14. Посохов, Е. В. Минеральные воды (лечебные, промышленные, энергетические) / Е. В. Посохов, Н. И. Толстихин. – Л.: Недра. – 1977. – 240 с.

15. Родионова, Г. Д. Девон Воронежской антеклизы и Московской синеклизы / Г. Д. Родионова, В. Т. Умнова, Л. И. Кононова. – М.: Недра. – 1995. – 265 с.

16. Истомин, В. И. Проблема сохранения поверхностных водоносных горизонтов питьевого-хозяйственного назначения: взгляд инженера на решение по разработке воронезского никеля / В. И. Истомин // Гидротехника, 2014. – № 1(34). – С. 54 – 57.

17. Бочаров, В. Л. Гидрогеоэкологические проблемы при освоении сульфидных медно-никелевых месторождений Воронежского кристаллического массива / В. Л. Бочаров, Л. Н. Строгонова // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2015. – № 1. – С. 125–127.

18. Бочаров, В. Л. Геоэкологическая оценка поверхностных и подземных вод района сульфидных медно-никелевых месторождений Воронежского Прихоперья / В. Л. Бочаров, О. А. Бабкина, Л. Н. Строгонова // XII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле». Доклады. – М.: РГГРУ-МГРИ. – 2015. – Т. 2. – С. 266–267.

Воронежский государственный университет

Бочаров Виктор Львович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии

E-mail: gidrogeol@mail.ru; Tel.: 8(473)220-89-80

Бабкина Ольга Алексеевна, ассистент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии

E-mail: gidrogeol@mail.ru; Tel.: 8(473)220-89-80

Дешевых Галина Юрьевна, ассистент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии

E-mail: gidrogeol@mail.ru; Tel.: 8(473)220-89-80

Устименко Юрий Алексеевич, ассистент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии

E-mail: gidrogeol@mail.ru; Tel.: 8(473)220-89-80

Voronezh State University

Bocharov V. L., Doctor of the Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of the Chair Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology

E-mail: gidrogeol@mail.ru; Tel.: 8(473)220-89-80

Babkina O. A., Assistant of Chair of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology

E-mail: gidrogeol@mail.ru; Tel.: 8(473)220-89-80

Deshevych G.Yu., Assistant of Chair of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology

E-mail: gidrogeol@mail.ru; Tel.: 8(473)220-89-80

Ustimenko Yu. A., Assistant of Chair of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology

E-mail: gidrogeol@mail.ru; Tel.: 8(473)220-89-80