

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БАССЕЙНА Р. УСМАНЬ (ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ)****Е. С. Гришина***Воронежский государственный университет**Поступила в редакцию 15 февраля 2012 г.*

**Аннотация.** *Физико-химические условия образования водоносных горизонтов и комплексов оцениваются с позиции соотношения щелочной кислотности (pH) и окисленности – восстановленности (Eh) водной среды. Подземные воды бассейна р. Усмань, судя по этим параметрам, формировались в условиях, близких к абсолютной нейтральности свободной воды (pH = 7, Eh = 400 mV). Положительное значение редокс-потенциала свидетельствует о присутствии в водной среде свободного кислорода, препятствующего накоплению сероводорода и его производных.*

**Ключевые слова:** *подземные воды, водоносный горизонт, водообильность, кислотность, щелочность, редокс-потенциал, абсолютная нейтральность.*

**Abstract.** *Physical and chemical terms of formation of aquiferous horizons and complexes estimated from position of correlation of alkaline acidity (pH) and oxidization – renewal (Eh) of water environment. The underwaters of pool Usman', judging to on these parameters, were formed in terms, near to absolute neutrality of free water (pH = 7, Eh = 400 mv). Positive value of redoks-potential testifies to being in the water environment of free oxygen, impedimental the accumulation of the sulphuretted hydrogen and his derivatives.*

**Key words:** *underwaters, aquiferous horizon, aquiferousness, acidity, alkaline, redoks is potential, absolute neutrality*

Многообразие природных гидрогеохимических условий определяется длительной геологической эволюцией системы «вода-горная порода-газ-органическое вещество». Гидрогеохимические системы различаются не только генетическим типом воды разновозрастных водоносных горизонтов и комплексов и содержанием в ней макро- и микрокомпонентов, но и параметрами физико-химической обстановки, которые чаще всего характеризуются кислотно-щелочным (pH) и окислительно-восстановительным (Eh) показателями [1]. В качестве объекта исследования физико-химических условий генезиса выбраны подземные воды бассейна р. Усмань, которые в последнее время испытывают интенсивную антропогенную нагрузку.

В гидрогеологическом разрезе подземных вод выделяются два структурно-гидрогеологических этажа: верхний и нижний [2]. Подземные воды верхнего этажа приурочены к песчаным породам современного, четвертичного и неогенового (плиоцен) возрастов. Для них характерен поровый тип циркуляции и отсутствие напора. Подземные воды

нижнего этажа заключены в терригенно-карбонатных отложениях среднего и верхнего девона и частично в докембрийских (ранний протерозой) песчаниково-сланцевых породах. Их отличают напорный характер, гидравлическая взаимосвязь между горизонтами в местах отсутствия разделяющего водоупора, порово-пластовый, трещинно-пластовый и карстово-трещинный типы циркуляции водных масс.

*Современный аллювиальный водоносный горизонт* локализован в пойменных и русловых отложениях рек Усмань, Хава, Правая Хава, Тамлык. Водовмещающими породами служат тонкозернистые пески с прослоями суглинков и глин. Мощность водовмещающих пород колеблется от 8 до 13 м. Уровень воды находится в пределах первых метров от поверхности. Водообильность горизонта невысокая, удельный дебет при откачках из скважин составляет 0,04–0,06 дм<sup>3</sup>/с. По химическому составу преобладают гидрокарбонатные кальциевые или кальциево-магниевого воды с минерализацией 0,35–0,55 г/дм<sup>3</sup> и общей жесткостью менее 6 ммоль/дм<sup>3</sup> (табл. 1). Подземные воды этого горизонта широко используются населением для хозяйственно-питьевых целей.

Таблица 1  
Химический состав подземных вод бассейна р. Усмань

Ингредиенты	Ед. изм.	1 (n = 22)		2 (n = 18)		3 (n = 24)		4 (n = 26)		5 (n = 18)		6 (n = 20)		7 (n = 12)	
		X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S
Кислотность-щелочность (рН)	–	7,5	4,1	7,25	5,3	7,8	6,3	7,4	4,1	6,9	3,9	7,6	4,3	7,8	5,2
Редокс-потенциал (Eh)	mV	473	127	458	112	490	188	467	164	382	110	478	211	490	232
Аммоний (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	0,7	0,43	0,65	0,48	0,42	0,58	0,32	0,43	0,25	0,32	0,38	0,41	0,18	0,21
Нитрит (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	0,45	0,38	0,35	0,36	0,32	0,36	0,26	0,38	0,18	0,16	0,21	0,32	0,14	0,24
Нитрат (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	28,3	18,3	30,4	22,1	26,4	22,8	22,7	18,3	18,8	10,4	25,6	22,7	15,3	15,9
Окисляемость (O <sub>2</sub> )	мг/дм <sup>3</sup>	3,5	2,1	3,6	3,2	2,6	3,2	2,9	2,1	2,8	2,6	3,2	3,8	2,5	2,3
Хлорид (Cl)	мг/дм <sup>3</sup>	28,8	12,6	20,7	18,2	21,9	20,2	19,9	12,6	20,3	14,2	56,9	19,9	65,4	22,4
Сульфат (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	65,5	19,3	70,4	28,1	132,2	28,1	92,6	19,3	44,4	19,6	142,4	29,9	160,8	38,4
Гидрокарбонат (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	118,4	31,5	98,9	35,5	114,1	45,5	135,8	31,5	180,5	38,5	89,8	42,4	45,6	25,9
Кальций (Ca <sup>2+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	75,5	43,2	106,2	48,6	90,1	52,6	89,4	43,2	45,4	28,4	78,1	26,8	142,2	53,5
Магний (Mg <sup>2+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	68,4	24,1	40,8	30,8	38,8	31,8	42,2	24,1	26,8	20,3	58,8	29,1	52,6	33,4
Натрий + калий (Na + K) <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	53,6	19,8	52,4	18,8	43,2	28,1	38,6	19,8	90,4	36,7	112,6	52,3	42,4	33,4
Железо общее (Fe)	мг/дм <sup>3</sup>	0,25	0,21	0,22	0,18	0,19	0,15	0,21	0,21	0,12	0,14	0,31	0,24	0,27	0,22
Марганец (Mn)	мг/дм <sup>3</sup>	0,08	0,08	0,06	0,06	0,07	0,04	0,08	0,08	0,06	0,08	0,11	0,15	0,1	0,17
Свинец (Pb)	мг/дм <sup>3</sup>	0,003	0,02	0,002	0,03	0,004	0,03	Не обн.	Не обн.	0,002	0,09	0,005	0,07	Не обн.	Не опр.
Медь (Cu)	мг/дм <sup>3</sup>	0,03	0,04	0,02	0,05	0,02	0,04	0,01	0,009	0,01	0,05	0,02	0,03	0,03	0,06
Фтор (F)	мг/дм <sup>3</sup>	0,35	0,32	0,19	0,28	0,22	0,22	0,31	0,15	0,24	0,28	0,22	0,41	0,16	0,21
Йод (I)	мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0,009	0,002	0,02	0,001	0,02	Не обн.	Не обн.	0,002	0,07	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не опр.
Бром (Br)	мг/дм <sup>3</sup>	0,15	0,15	0,18	0,18	0,19	0,23	0,15	0,25	0,22	0,29	0,11	0,18	0,12	0,14
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	мг/дм <sup>3</sup>	0,19	0,25	0,22	0,22	0,32	0,24	0,15	0,12	0,12	0,15	0,18	0,22	0,09	0,16
Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,08	0,12	0,06	0,15	0,07	0,15	0,11	0,09	0,06	0,11	0,09	0,17	0,07	0,09
Жесткость общая (H)	ммоль/дм <sup>3</sup>	5,4	3,9	5,8	4,2	5,8	4,2	4,8	4,2	4,6	4,0	5,8	3,6	6,3	4,5
Минерализация (M)	г/дм <sup>3</sup>	0,44		0,43		0,47		0,45		0,43		0,57		0,53	

Примечание. Водоносные горизонты: 1 – современный аллювиальный; 2 – верхнечетвертичный аллювиальный; 3 – среднечетвертичный аллювиально-флювиогляциальный; 4 – плиоценовый; 5 – верхнедевонский; 6 – среднедевонский; 7 – раннепермский.

X – среднее арифметическое, S – среднеквадратическое отклонение, n – количество определений. Не обн. – элемент не обнаружен. Не опр. – параметр не определяется.

*Верхнечетвертичный аллювиальный водоносный горизонт* приурочен к аллювиальным отложениям первой и второй надпойменных террас и расположен в долинах р. Усмань и р. Хава. Водовмещающими породами служат мелкозернистые глинистые пески, сменяющимися с глубиной среднезернистыми и гравийными песками. Мощность водоносного горизонта меняется от 5–8 м в долине р. Хава до 20–24 м в долине р. Усмань. Глубина залегания уровня составляет 8,9–10,7 м на первой надпойменной террасе, увеличиваясь до 15–17 м на второй. Удельные дебиты скважин, вскрывающих водоносный горизонт, составляют 0,2–0,8 дм<sup>3</sup>/с. Химический состав подземных вод довольно выдержанный: преимущественно гидрокарбонатный кальциевый, реже кальциево-магниевый с минерализацией от 0,2 до 0,8 г/дм<sup>3</sup> и общей жесткостью, изменяющейся в пределах 3–7 ммоль/дм<sup>3</sup>.

Воды верхнечетвертичного горизонта используются для хозяйственно-питьевого и сельскохозяйственного водоснабжения.

*Среднечетвертичный аллювиально-флювиогляциальный водоносный горизонт* связан аллювием третьей и четвертой надпойменных террас. Водовмещающие породы представлены мелкозернистыми песками с прослоями суглинков и супесей, в основании – крупнозернистыми и гравийными песками. Мощность обводненной части отложений колеблется от 5–8 до 10–12 м.

Водообильность аллювиально-флювиогляциальных отложений незначительна и характеризуется отдельным дебитом от 0,04 до 0,4 дм<sup>3</sup>/с. По химическому составу воды сульфатные кальциево-магниевые, реже сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-магниевые, слабоминерализованные (0,3–0,5 г/дм<sup>3</sup>) с общей жесткостью 5–6 ммоль/дм<sup>3</sup>. Воды этого горизонта эксплуатируются населением для хозяйственно-питьевых целей.

*Плиоценовый водоносный горизонт* включает слабонапорные воды во вмещающих разноминерализованных песках, в верхней части горизонта – мелкозернистых глинистых. Мощность водоносного горизонта 25–30 м. От вышележащих верхне- и среднечетвертичных водоносных горизонтов подземные воды плиоценового возраста отделены водонепроницаемым донским ледниковым горизонтом. Водообильность горизонта довольно значительна: дебиты скважин достигают 10–15 м<sup>3</sup>/с. По химическому составу воды преимущественно гидрокарбонатные кальциевые, минерализация их весьма устойчива (0,4–0,6 г/дм<sup>3</sup>), общая жесткость колеблет-

ся от 4 до 6 ммоль/дм<sup>3</sup>. Плиоценовый водоносный горизонт широко используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения и является основным для бассейна р. Усмань. Однако следует иметь в виду, что плиоценовые подземные воды могут загрязняться с поверхности вследствие низкой естественной защищенности. Местами наблюдается отсутствие водоупора в перекрывающей толще глинистых пород четвертичного возраста.

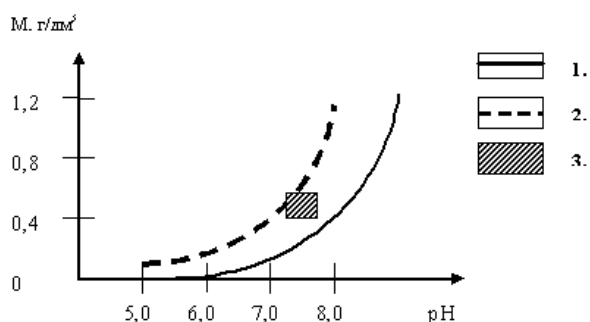
*Водоносный карбонатный горизонт верхнего девона* объединяет подземные воды, заключенные в трещиноватых известняках с маломощными прослоями глин. Мощность водовмещающих пород колеблется от 15 до 20 м. Воды напорные, высота напора 45–60 м. Удельный дебит скважин невысок 0,1–0,15 м<sup>3</sup>/ч. По химическому составу преобладают гидрокарбонатные натриевые, реже натриево-кальциевые воды с невысокой минерализацией (0,3–0,5 г/дм<sup>3</sup>). Жесткость воды также незначительна и не превышает 4,5 ммоль/дм<sup>3</sup>. Это наиболее ценные в экологическом отношении воды, однако из-за невысокого дебита скважин использование верхнедевонских вод не получило широкого распространения. В перспективе верхнедевонский водоносный карбонатный комплекс совместно с вышележащими плиоценовыми водами мог бы использоваться для хозяйственно-питьевого снабжения населения в большей степени, чем это имеет место в настоящее время [3].

*Водоносный карбонатный горизонт среднего девона* водовмещающие породы горизонта представлены органогенными известняками, часто трещиноватыми и кавернозными. Мощность водоносного горизонта составляет 8–10 м. Воды высоконапорные, удельные дебиты скважин 0,3–0,4 м<sup>3</sup>/ч. Подземные воды горизонта имеют довольно пестрый химический состав, но преимущественно это сульфатно-хлоридные и натриевые воды, минерализация их достигает 1,5 г/дм<sup>3</sup> при среднем значении 0,57 г/дм<sup>3</sup>, а жесткость находится в пределах 5–7 ммоль/дм<sup>3</sup>. Водоносный горизонт в бассейне р. Усмань практически не используется, в связи с малой водообильностью, большой глубиной залегания и неудовлетворительным качеством воды.

*Раннепротерозойский водоносный горизонт* приурочен к верхней трещиноватой зоне песчаникового – сланцевых пород. Воды кристаллического фундамента являются высоконапорными. Сам водоносный горизонт отличается крайне низким дебитом (0,01–0,03 дм<sup>3</sup>/с). По немногочисленным аналитическим данным состав воды раннепротерозойского водоносного горизонта характеризуется следующими показателями: минерализация 0,1–0,2 г/дм<sup>3</sup>, жесткость 0,1–0,2 ммоль/дм<sup>3</sup>.

розойского водоносного горизонта характеризуется как хлоридно-сульфатный натриевый. Минерализация воды находится в пределах 0,4–1,2 г/дм<sup>3</sup>, жёсткость колеблется от 5 до 7,5 ммоль/дм<sup>3</sup>. Близость химического состава воды этого докембрийского горизонта к таковому в водоносном комплексе среднего девона объясняется наличием устойчивой гидравлической связи, вследствие отсутствия регионального водоупора. Водоносный горизонт не эксплуатируется из-за крайне ограниченного количества скважин и, в первую очередь, по причине низкого качества воды.

В подземных водах бассейна р. Усмань исследованы щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные показатели, характеризующие природные физико-химические условия формирования водной среды. Показатель рН характеризует активность ионов водорода в воде. В реальных природных условиях концентрация водородных ионов определяется соотношением кислот и щелочей, содержащихся в нетрансформированной техногенными процессами водной среде. В подземной гидросфере в процессе растворения, выщелачивания, ионного обмена, гидролиза одновременно формируются кислоты и щелочи, которые взаимодействуя и нейтрализуя друг друга определяют конкретное значение рН. Поэтому пресные подземные воды обычно имеют значения рН, равные или незначительно отклоняющиеся от 7 [1]. Из приведенных в таблице данных видно, что подземные воды бассейна р. Усмань имеют диапазон изменения величины рН от 6,9 до 7,9. При этом отмечено, что показатель кислотности-щелочности увеличивается, хотя и незначительно, по мере возрастания минерализации (рис. 1).



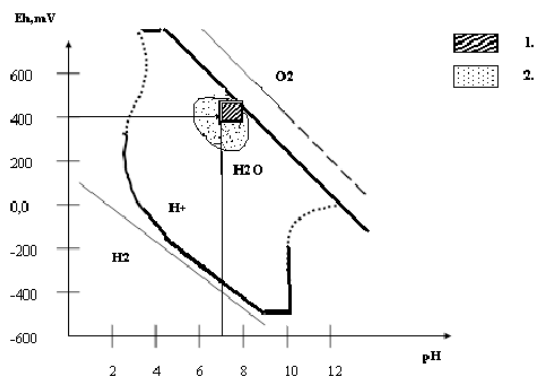
**Рис. 1.** Зависимость кислотности-щелочности (рН) от минерализации (М) подземных вод. Условные обозначения: 1 – область умеренного климата, 2 – область тропического климата [7], 3 – подземные воды бассейна р. Усмань

Редокс (окислительно-восстановительный)-потенциал (Eh) является показателем степени окисленности или восстановленности элементов

переменной валентности в природных водах. Редокс-реакции получили широкое развитие в водной среде [4, 5]. Окислительно-восстановительная обстановка определяется в основном содержанием в воде свободного кислорода, водорода, сероводорода, азота, углекислого газа, органических кислот и других компонентов. Важную роль в окислительно-восстановительных процессах играют и катионы тяжелых металлов переменной валентности. Для каждого химического элемента окислительно-восстановительная среда характеризуется вполне определенными значениями Eh [1].

Так при Eh, равном 700 мВ, среда будет восстановительной для Fe<sup>3+</sup> и окислительной для Cu<sup>2+</sup>, поскольку для восстановления меди необходим более низкий редокс-потенциал.

Существует зависимость между щелочно-кислотным (рН) и окислительно-восстановительным (Eh) показателями гидрогеохимической среды [4, 7]. Для различных типов природных вод рН варьирует от 0,2–0,5 до 11–13. Столь же значительны и колебания Eh – от 700–800 мВ до отрицательных значений (400–500 мВ). Поверхностные и грунтовые пресные воды, содержащие свободный кислород, имеют более узкий диапазон варьирования рН и Eh (6,5–8,0 и 200–500 мВ соответственно).



**Рис. 2.** Соотношение кислотности-щелочности (рН) и окислительно-восстановительного потенциала (Eh) в природных водах.

Условные обозначения: 1 – подземные воды бассейна р. Усмань, 2 – поверхностные воды (р. Дон, [6])

На диаграмме рН – Eh подземные воды бассейна р. Усмань образуют компактную группу в интервале значений рН 6,5–8,2 и Eh 350–530 мВ (с учетом среднеквадратических отклонений от средних), тяготеющей к области нейтральности воды. Абсолютная нейтральность свободной воды при T = 18 °С и P = 1 ат. в условиях земной поверхности и близповерхностной обстановки характеризуется следующими параметрами: рН = 7, Eh = 400 мВ. Такое

соотношение физико-химических показателей свидетельствует о том, что подземные воды бассейна р. Усмань, не затронутые техногенными преобразованиями, характеризуются активной реакцией среды, близкой к нейтральной, и сравнительно невысокими стабильными характеристиками окислительно-восстановительной обстановки [6]. В то же время для вод повышенной минерализации, присутствие которых отмечено в среднедевонском водоносном горизонте и докембрийском метаморфическом комплексе, возможны несколько иные физико-химические параметры формирования, более свойственные смешанным метаморфогенным водам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Кирюхин В. А.* Гидрогеохимия / В. А. Кирюхин, А. И. Коротков, С. Л. Шварцев. – М. : Недра, 1993. – 384 с.
2. *Бочаров В. Л.* Экологическая гидрогеохимия бассейна среднего течения р. Усмань (Воронежская область) / В. Л. Бочаров, О. А. Бабкина // Вестн. Воронеж. ун-та. Серия: Геология. – 2001. – № 12. – С. 197–205.
3. *Овчинникова Е. С.* Эколого-гидрогеологическая характеристика подземных вод глубоких водоносных горизонтов бассейна реки Усмань (Воронежская область) / Е. С. Овчинникова // Вестн. Воронеж. ун-та. Серия: Геология. – 2009. – № 1. – С. 171–173.
4. *Гаррелс Р. М.* Растворы, минералы, равновесие / Р. М. Гаррелс, Ч. Л. Крайст. – М. : Мир, 1968. – 368 с.
5. *Chemical Hydrogeology. Benchmark Papers in Geology* / ed. by W. Back and R.A. Freeze // Hutchinson less Publishing Company. – 1983. – V. 73. – 414 p.
6. *Бочаров В. Л.* Ландшафтно-экологические условия и гидрогеохимия бассейна Среднего Дона. Статья 2. Факторы формирования, гидрогеохимия и экологическая оценка подземных вод / В. Л. Бочаров // Вестн. Воронеж. ун-та. Серия: Геология. – 2009. – № 1. – С. 134–141.
7. *Шварцев С. Л.* Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С. Л. Шварцев. – М. : Недра, 1978. – 288 с.

*Воронежский государственный университет  
Е. С. Гришина, аспирант кафедры гидрогеологии,  
инженерной геологии и геоэкологии  
Тел. 8 (473) 220-89-80  
gidrogeol@mail.ru*

*Voronezh State University  
E. S. Grishina, the post-graduate student, Chair of  
Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology  
Tel. 8 (473) 220-89-80  
gidrogeol@mail.ru*