

— регулювання несучої здатності кріплення в цілому за рахунок впливу на міцнісні та геометричні параметри затампонованої забутовки;

— можливість регулювання прольотом порід підшви з метою зменшення величини її підняття.

На основі виконаного аналізу і з врахуванням головних напрямків при розробці кріплень для умов шахт Західного Донбасу забезпечити робочий стан капітальних виробок можливо тільки комбінованим кріпленням, конструкції яких можуть бути самими різноманітними. При цьому слід відмітити, що тампонаж закріпного простору у всіх практично конструкціях підпорного типу обов'язковий, як для забезпечення надійного контакту породного контуру з кріпленням, а слід і теоретичної несучої здібності рам, так і для підвищення стійкості всієї системи «порода-кріплення».

Бібліографічний список

1. Перепичка Ф.И., Киндур В.П. Шахтные исследования замкнутой крепи // Проектирование и строительство угольных предприятий, 1967. — № 4.

© Кукліна Л.В., Рева С.М., 2002

УДК 546.212 (477.6)

ШЕВЧЕНКО О.А., ОСИПЕНКО А.Б. (ДонНТУ)

ГЕОХИМИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДОНБАССА (НА ПРИМЕРЕ КРАСНОАРМЕЙСКОГО РАЙОНА)

Необходимость изучения химического состава подземных вод каменноугольных отложений Донбасса обусловлена как использованием их в хозяйственно-бытовых и питьевых целях, так и тем, что при разработке угольных месторождений эти воды могут быть источником химических элементов и соединений в содержаниях, отрицательно влияющих на окружающую среду.

Основными геологическими факторами, влияющими на формирование химического состава подземных вод Красноармейского углепромышленного района, являются наличие мощной толщи покровных отложений и распространение трещинно-поровых вод. Интенсивная нарушенность продуктивной толщи сбросами, надвигами и флексурными складками осложняет гидрогеологическую обстановку и способствует распространению высокоминерализованных хлоридных вод на сравнительно небольших глубинах.

В основу данных исследований положены результаты химического и спектрального анализа 181 пробы, отобранной из водоносного комплекса каменноугольных отложений района (пробы анализировались в лаборатории Артемовской ГРЭ). Проведенные исследования, включавшие статистическую обработку данных, выявление закономерностей распределения химических элементов и соединений подземных вод как по горизонтали, так и по вертикали, построение карт распространения отдельных компонентов, позволили установить следующие геохимические особенности подземных вод Красноармейского углепромышленного района.

Подземные воды рассматриваемого водоносного комплекса преимущественно средне- и высокоминерализованные (минерализация 5–10 и 10–35 г/л), причем на некоторых участках (Красноармейский-Западный 2–3, Терешковский № 3 и др.)

встречаются рассольные воды (минерализация 35–150 г/л). Значение минерализации вод каменноугольных отложений на 95% площади района превышает ПДК, таким образом, по этому показателю воды полей шахт района будут оказывать отрицательное влияние на окружающую среду.

Основными макрокомпонентами подземных вод района являются сульфат- и хлор-ионы. Повышенные содержания сульфатов ухудшают органолептические свойства воды и оказывают отрицательное воздействие на организм человека. Содержание сульфатов, превышающее предельно допустимую концентрацию (ПДК=500 мг/л), в подземных водах каменноугольных отложений Красноармейского района отмечено в 37% проб (участки Северо-Родинский, Красноармейский-Западный 2–3, Терешковский № 3), достигая 7774 мг/л.

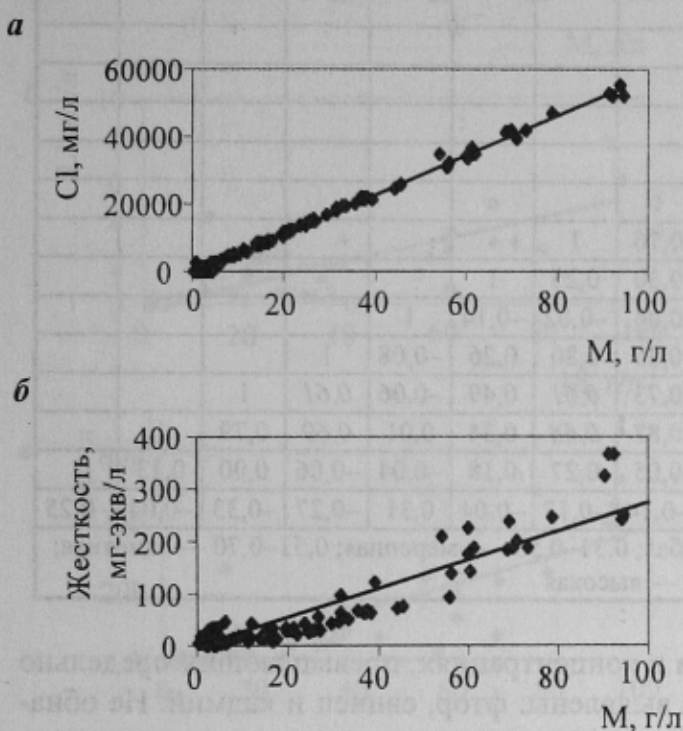


Рис. 1. Графики зависимости: *а* — содержание хлор-иона (уравнение регрессии — $y=2,7493x-0,977$; величина достоверности аппроксимации — $R^2=0,8719$); *б* — величины жесткости ($y=588,34x-656,59$; $R^2=0,9974$) подземных вод Красноармейского района от минерализации

Содержание хлоридных ионов в подземных водах в 74% проб превышает ПДК (350 мг/л). Максимальными содержаниями хлоридов характеризуется участок Самарский-Капитальный, где на глубине 1424 м зафиксировано содержание хлор-иона 73888 мг/л. В ходе исследований установлено, что содержание ионов хлора увеличивается с ростом минерализации воды (рис. 1,а), это объясняется высокой миграционной способностью Cl^- . В связи с этим, в Красноармейском районе, где с глубины 500 м подземные воды имеют минерализацию свыше 3 г/л (иногда 100 и более г/л) по содержанию хлоридов могут быть отнесены к вредным.

Для Красноармейского района характерны также высокие значения жесткости — от 0,3 до 364,9 мг-экв/л, причем только 12% проб воды имеют жесткость соответствующую ГОСТу (<7,0 мг-экв/л). Таким образом, по величине общей жесткости подземные воды каменноугольных отложений рай-

она непригодны для хозяйственно-питьевых целей, поскольку вода с высокой жесткостью, обуславливаемой наличием солей кальция и магния, плохо взмывается, образует накипь в паровых котлах и т.д.

В результате проведенных исследований выявлено, что величина общей жесткости находится в прямой зависимости от значения минерализации вод (рис.1б) и обратной зависимости от рН (табл. 1).

Значение рН на всей территории района находится преимущественно в пределах от 6,5 до 8,5, что соответствует ГОСТу. Однако на участках Самарский-Капитальный, Добропольский-Капитальный, Красноармейский-Западный № 2–3 на глубинах 747–1237 м скважинами вскрыты кислые воды с рН=5,4–6,0; на этих же

участках, а также на участке Терешковский № 3 в интервале глубин 240–450 м вскрыты щелочные воды с pH=8,6–12,4.

В Красноармейском районе Fe^{3+} не обнаружен, а Fe^{2+} повсеместно содержится в подземных водах каменноугольных отложений. Превышение ПДК (0,3 мг/л) зафиксировано на участках Добропольский-Капитальный, Северо-Родинский (0,1–1 мг/л), Терешковский № 3 (до 41,2 мг/л), Красноармейский-Западный № 2–3 (до 80,2 мг/л).

Табл. 1. Матрица парной корреляции компонентов подземных вод Красноармейского района

	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	pH	Ж	М	Fe ²	Zn	Sr	Li	Br	B
Ca	0,79	1												
Mg	0,56	0,40	1											
Cl	0,81	0,88	0,35	1										
SO ₄	-0,25	-0,24	-0,16	-0,26	1									
pH	-0,24	-0,33	-0,25	-0,28	-0,02	1								
Ж	0,81	0,89	0,74	0,78	-0,24	-0,35	1							
М	0,75	0,72	0,56	0,72	-0,25	-0,26	0,76	1						
Fe ²	0,23	0,29	0,17	0,52	-0,12	0,13	0,30	0,25	1					
Zn	-0,02	0,05	0,00	-0,01	0,01	0,01	0,04	-0,02	-0,14	1				
Sr	0,62	0,54	0,90	0,54	-0,19	-0,39	0,85	0,80	0,26	-0,08	1			
Li	0,66	0,77	0,32	0,82	-0,35	-0,63	0,73	0,61	0,49	-0,06	0,61	1		
Br	0,74	0,85	0,48	0,80	-0,24	-0,26	0,82	0,68	0,34	0,01	0,69	0,79	1	
B	0,21	0,06	0,00	0,21	-0,12	0,34	0,05	0,27	0,18	-0,04	-0,06	0,00	0,13	1
F	-0,17	-0,10	-0,19	-0,16	0,15	-0,10	-0,14	-0,17	-0,04	0,31	-0,27	-0,33	-0,04	-0,25

Примечание: степень корреляции: <0,3 — слабая; 0,31–0,50 — умеренная; 0,51–0,70 — заметная; >0,71 — высокая

Из элементов **I класса опасности** в концентрациях, превышающих предельно допустимые, в подземных водах района выявлены: фтор, свинец и кадмий. Не обнаружены: ртуть, бериллий и фосфор. Мышьяк и цинк встречаются довольно часто, однако в концентрациях, превышающих ПДК, не выявлены. Кадмий обнаружен в 2 пробах воды из 10, при этом его содержание колеблется от 0,03 до 0,035 мг/л (ПДК=0,001 мг/л).

Фтор встречается довольно часто (встречаемость 88%), однако, содержание его очень редко достигает ПДК (только в 8 пробах из 70 содержание F превышает 1,5 мг/л); максимальное содержание (9,3 мг/л) отмечено в пробе воды на участке Солёновский 1–2 (глубина 745 м).

Из элементов **II класса опасности** в концентрациях, превышающих предельно допустимые, в подземных водах Красноармейского района обнаружены: бром, бор, литий, никель и медь. Содержания молибдена, кобальта, хрома и висмута не превышают ПДК, содержание сурьмы и теллура не достигает порога чувствительности определения.

Бром относится к элементам, широко распространенным в Красноармейском районе, встречаемость его — 99%, содержание достигает 181,6 мг/л. В большинстве случаев содержание брома превышает предельно допустимую концентрацию (0,2 мг/л). Максимальные фоновые содержания (24,1 мг/л) приурочены к высокоминерализованным водам хлоридного натриевого состава (табл. 2), что вызвано наличием зависимости между содержанием брома и значением минерализации (рис. 2,а).

Кроме того, в подземных водах Красноармейского района установлены содержания брома, характерные для лечебных вод (участок Добропольском-Капитальном — 181,6 мг/л).

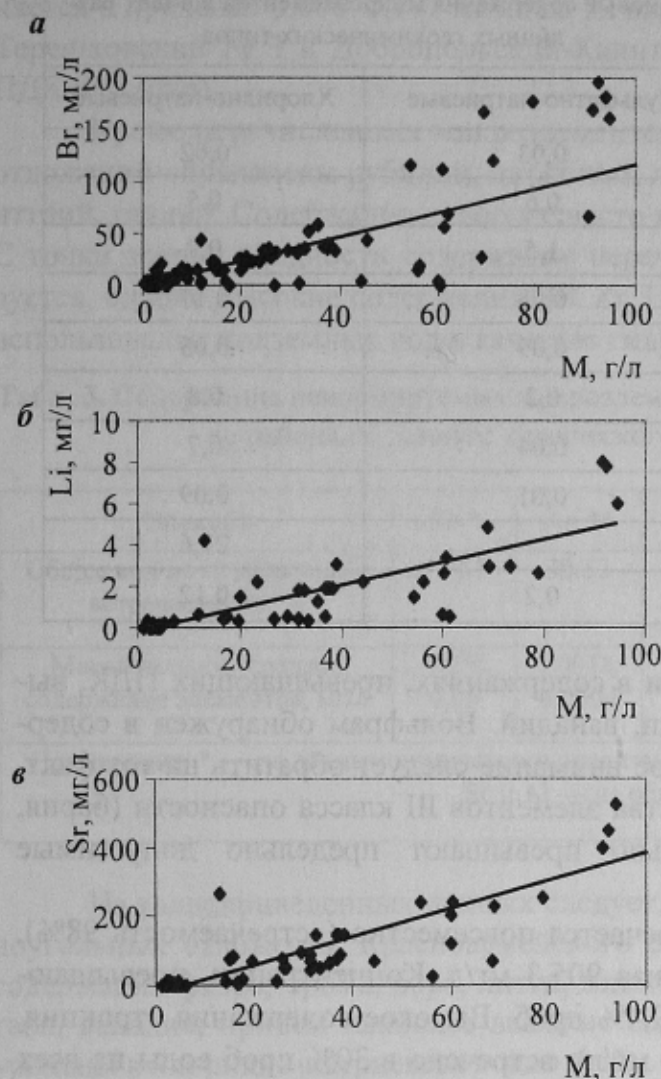


Рис. 2. Графики зависимости содержания: *а* — брома (уравнение регрессии — $y=1,153x-0,2173$; величина достоверности аппроксимации — $R^2=0,5899$); *б* — лития ($y=0,0552x-0,1919$; $R^2=0,6663$); *в* — стронция ($y=4,0625x-21,689$; $R^2=0,7627$) подземных вод Красноармейского района от минерализации

0,21 мг/л. В 10% пробах воды его содержание превышает ПДК по санитарно-токсикологическому показателю вредности для вод хозяйственно-питьевого назначения (0,1 мг/л), однако основная масса проб воды содержит никель в невысоких концентрациях (0,0048–0,027 мг/л).

Медь по данным спектральных анализов имеет встречаемость 100% и максимальное содержание — 1,36 мг/л, что превышает ПДК (1,0 мг/л). Максимальные фоновые содержания к хлоридным натриевым водам (табл. 2).

Бор (встречаемость 88%) в подземных водах района достигает концентрации 15,07 мг/л. Вг встречается во всех геохимических типах подземных вод, максимальных содержаний достигает в высокоминерализованных хлоридных натриевых водах в интервале глубин их распространения (табл. 2). В 41% проб воды его содержание превышает ПДК (0,5 мг/л). В 2 пробах подземных вод из 159 содержание бора превысило 10 мг/л, т.е. достигло концентраций, нормируемых для лечебных вод (участки Красноармейский-Западный и Терешковский № 3).

Литий выявлен в 74% проб воды химическим анализом, согласно которому максимальное его содержание достигает 21,0 мг/л. В максимальных количествах он содержится в высокоминерализованных хлоридных натриевых водах, в водах другого состава его содержание невысоко (табл. 2), отмечено также наличие положительной связи лития со значением минерализации (рис. 2 б). Промышленные содержания Li (более 10 мг/л) определены лишь в 2 пробах воды на участке Добропольском-Капитальном. В трех скважинах этого участка вода содержит литий в концентрациях, характерных для лечебных литиевых вод (более 5,0 мг/л).

Никель по данным спектральных анализов имеет встречаемость 100%, максимальное содержание —

Табл. 2. ПДК и фоновые содержания микроэлементов в водоносном комплексе каменноугольных отложений Красноармейского района (в мг/л)

Элементы	ПДК	Фоновые содержания	Фоновые содержания микроэлементов в водах различных геохимических типов	
			Сульфатно-натриевые	Хлоридно-натриевые
Zn	5,0	0,02	0,03	0,02
F	1,5	0,54	0,6	0,5
Br	0,2	5,03	1,5	9,9
Cu	1,0	0,14	0,08	0,17
Ni	0,1	0,03	0,09	0,05
B	0,5	0,58	0,2	0,8
Li	0,03	0,63	0,04	0,7
Cr	0,5	0,07	0,01	0,09
Sr	7,0	21,18		27,6
Mn	0,1	0,12	0,2	0,12

Из элементов **III класса опасности** в содержаниях, превышающих ПДК, выявлены: барий, марганец, стронций, титан, ванадий. Вольфрам обнаружен в содержаниях на 2–3 порядка ниже ПДК. Особое внимание следует обратить на тот факт, что даже фоновые содержания большинства элементов III класса опасности (бария, марганца, стронция, титана) значительно превышают предельно допустимые (табл. 2).

Стронций в подземных водах встречается повсеместно (встречаемость 98%), достигая по данным спектрального анализа 905,3 мг/л. Концентрации, превышающие ПДК (7,0 мг/л), зафиксированы в 59,4% проб. Высокие содержания стронция, достигающие норм для лечебных вод (10 мг/л), встречено в 30% проб воды на всех участках района; промышленные содержания стронция (более 300 мг/л) выявлены в 6% проб воды (участок Добропольский-Капитальный). Максимальными фоновыми содержаниями характеризуются хлоридные натриевые воды с высокой минерализацией (табл. 2), также отмечается четкая связь содержания стронция со значением минерализации (рис. 2,в).

Барий, по результатам спектрального анализа, достигает содержания 664,5 мг/л при встречаемости 100%. В 8% проб подземных вод содержание бария превышает ПДК (4,0 мг/л). В содержаниях, нормируемых для промышленных вод (200 мг/л), определен в 2 пробах воды из 44 (участки Красноармейский-Западный 2–3 и Северо-Родинский).

Марганец встречается в водах часто (встречаемость 100% по данным спектральных анализов), максимальная концентрация — 6,3 мг/л. Содержания, превышающие ПДК (0,1 мг/л) зафиксированы в 34% проб.

Титан по данным спектральных анализов встречается повсеместно (встречаемость 100%). Содержание титана в водах района колеблется от 0,001 до 13,79 мг/л, причем количество проб, с концентрациями, превышающими ПДК (0,1 мг/л), со-

ставляет 80,9%. Наиболее высокие содержания титана характерны для участков Северо-Родинский, Красноармейский-Западный 2–3, Терешковский № 3.

Содержание ванадия по данным спектрального анализа в водах района изменяется в пределах 0,006–0,197 мг/л (по 33 анализам), только в 5 пробах (на участках Терешковский № 3 и Добропольский-Капитальный) — его содержание превышает ПДК (0,1 мг/л).

Кроме перечисленных микроэлементов, в подземных водах каменноугольных отложений определены рубидий, цирконий, лантан, серебро, олово, иттербий, церий, иттрий, галлий. Содержание наиболее часто встречаемых из них приведено в табл. 3. С точки зрения вредности содержание перечисленных микроэлементов не лимитируется, однако высокие содержания Rb, Zr, La и т.д. могут представлять интерес для использования подземных вод в качестве гидроминерального сырья.

Табл. 3. Содержание ненормируемых микроэлементов в подземных водах Красноармейского района по данным химического и спектрального анализов

Элемент	Rb *	Ag **	Zr **	La **	Sn **	Ce **	Yb **
Общее кол-во определений/ встречаемость, %	57/87	30/53	36/36	85/28	17/23	61/11	178/1
Максимальное/ среднее содержание элементов, мг/л	1,25/ 0,06	0,0018/ 0,0004	1,288/ 0,315	1,81/ 0,407	0,146/ 0,048	1,8/ 0,097	0,246/ 0,148
Примечание: * — по данным химического анализа; ** — по данным спектрального анализа; Ge, Sc и Al — не обнаружены							

Из вышеприведенных данных следует, что для водоносного комплекса каменноугольных отложений Красноармейского района характерны превышающие ПДК содержания фтора, брома, бора, лития, никель, меди, стронция, бария, марганца, титана, ванадия, причем наиболее высокие содержания большинства элементов приурочены к хлоридно-натриевым водам (табл. 2).

В ходе исследований выявлены также закономерности распределение превышающих ПДК содержаний элементов по вертикальному разрезу (табл. 4).

В водах водоносного комплекса отложений верхнего карбона в Красноармейском районе повсеместно прослеживается наличие брома и цинка, в среднеминерализованных водах — стронция, в маломинерализованных сульфатных и хлоридных водах — марганца и меди в содержаниях, превышающих ПДК.

Для подземных вод водоносного комплекса среднего карбона так же как и для водоносного комплекса верхнего карбона содержание брома и цинка прослеживается по всем свитам, независимо от геохимического типа воды, глубины опробования и площади. Высокие содержания стронция (до 575–905 мг/л) характерны для высокоминерализованных вод. Титан, медь, никель, марганец, барий могут быть встречены во всех геохимических типах вод, независимо от их минерализации. Ванадий и кобальт встречены только в хлоридных высокоминерализованных водах.

Закономерности распределения микроэлементов в подземных водах отложений нижнего карбона аналогичны описанным выше. Характерной особенностью отдела является повсеместное распространение бария в содержаниях, превышающих ПДК.

Табл. 4. Распределение микроэлементов с содержаниями, превышающими ПДК, в подземных водах различных свитах карбона Красноармейского района

Свита	Глубина опробования, м	Тип вод	М, г/л	Наличие микроэлементов, содержание которых превышает ПДК (+)											
				Br	Sr	F	Zn	Ti	Cu	Mn	Ni	Ba	Co	V	
C ₃ ³	70–105	ХН	0,9–26	+		+	+				+				
C ₃ ²	65–100	ХН	1,3–2,4	+			+				+				
C ₃ ¹	85–88	ХН СН	1,7–2,2	+			+								
C ₂ ⁷	1070–1625	ХН	10–78	+	+		+		+	+	+	+			
C ₂ ⁶	800–900 965	СН ХН	2,4–2,6 151,3	+		+									
C ₂ ⁵	60 1100–1226	СН ХН	3,6 4,0–4,2	+		+		+	+						
C ₂ ⁴	55	СН	2,9	+					+						
C ₂ ³	298–605	ХН	8–36,9	+	+		+	+	+					+	+
C ₂ ²	270–830	ХН	19–20	+	+		+		+	+	+				+
C ₂ ¹	110–970	ХН	1,3–23	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+
C ₂ ⁰	87–100 315–819 198–630	ГК СН ХН	0,7–1,5 2,3–3,7 2,0–27	+			+		+						
C ₁ ⁴	510 510–1563	СН ХН	2,7 4,2–62	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	
C ₁ ³	61–1323	ХН	2,6– 10,3	+		+		+	+	+	+			+	
C ₁ ²	106–105 745	СН ХН	2,6–2,9 2,6–4,3	+				+	+	+	+				

Таким образом, к геохимическим особенностям подземных вод каменноугольных отложений Красноармейского района относятся превышающие ПДК концентрации в водах хлор- и сульфат-иона, бария, марганца, стронция, титана и других компонентов, наличие которых отрицательно сказывается как на здоровье населения при использовании их в хозяйственно-бытовых и питьевых целях, так и на состоянии природной среды, особенно гидрографической сети, при сбросе откачиваемых шахтами подземных вод. В свою очередь, изучение геохимических особенностей подземных вод каменноугольных отложений Красноармейского района кроме представляемого научного интереса, способствует как оценке экологического состояния природной среды, так и обоснованию использования подземных вод в хозяйственно-бытовых целях и в качестве лечебных и промышленных вод.

© Шевченко О.А., Осипенко А.Б., 2002