

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД В ШАХТНОЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ (на примере Ленинградского сланцевого месторождения)

Н. Г. Паукер

Гидрохимический метод может быть использован при решении гидрогеологических вопросов, возникающих при разработке месторождений полезных ископаемых. Возможность применения этого метода покажем на примере Ленинградского месторождения горючих сланцев. Оно характеризуется наличием нескольких водоносных горизонтов выше и ниже разрабатываемого пласта, довольно крупной р. Плюсы и Нарвского водохранилища. В действии находятся четыре шахты. Годовой приток воды к ним составляет 25—28 млн. м³. Прорывы подземных вод достигали 1000 м³/ч и более. Природа вод этих прорывов оставалась неясной. По составу все они пресные. Но отдельные водопроявления в шахтах имеют несколько различный состав макро- и микрокомпонентов. Это и послужило основанием для применения гидрохимического метода при решении трех основных вопросов: 1) за счет каких вод формируется шахтный водоприток? 2) из каких водоносных горизонтов происходят наиболее крупные прорывы воды? 3) есть ли связь шахтных вод с р. Плюссой и Нарвским водохранилищем?

Комплексные гидрогеологические исследования, в том числе гидрохимические, проведены в 1959—1964 гг. Северо-Западным геологическим управлением и Ленинградским горным институтом. От верхних водоносных горизонтов к нижним установлено закономерное изменение химического состава воды, причем зона пресных вод простирается примерно до глубины 260 м. Ниже, в гдовском горизонте и кристаллическом фундаменте, находятся солоноватые воды.

Нижние водоносные горизонты (от кристаллического фундамента до надляминаритового) на обводненность горных выработок влияния не оказывают. Оболовый горизонт (зофитоновые, ижорские и пакерортские пески и песчаники) уже в известной мере влияет на обводненность шахт. Особенно сказывается влияние ордовикского водоносного комплекса, состоящего из трех подгоризонтов.

Нижний, или таллинский, подгоризонт приурочен к таллинским, кундским и частично волховским известнякам и доломитам; средний, кузерский, подгоризонт — к итферским и кузерским карбонатным породам с прослоями горючих сланцев (кузерситов); верхний, или везенбергский (ракверский), подгоризонт — к набаласским, везенбергским, кегельским и иевским известнякам и доломитам.

Вышележащие водоносные горизонты (в наровских, лужских слоях девона и в четвертичных отложениях) существенного влияния на обводненность горных выработок уже не оказывают. Поэтому здесь приводится гидрохимическая характеристика лишь трех подгоризонтов ордовика и оболowego горизонта. Как видно из табл. 1, от верхнего подгоризонта ордовика вниз по разрезу к оболовому горизонту закономерно уменьшается содержание ионов (Ca + Mg), HCO₃ и SO₄ (рис. 1, а), увеличивается содержание ионов Na и Cl. Возрастает и значение pH. Соответственно,

Горизонт или подгоризонт	Среднее содержание компонентов, мг-экв					Число анализов
	Na ⁺ + K ⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁺ + CO ₃ ²⁻	
Ордовикский горизонт (комплекс)						
Подгоризонты:						
Везенбергский (верхний) . . .	0,48	5,52	0,12	0,36	5,52	100
Кукерский (средний)	0,83	5,07	0,53	0,18	5,19	34
Таллинский (нижний)	2,74	2,96	1,48	0,12	4,10	39
Оболовый горизонт . .	4,88	1,72	3,43	0,04	3,17	67

* По Н. И. Толстихину.

** Числитель — по данным полных анализов 1960—1961 гг.; знаменатель — по 24 1960—1964 гг.

но в еще большей мере увеличиваются коэффициенты $\frac{r \text{ Cl}}{r \text{ SO}_4}$, $\frac{\text{Cl}}{\text{Br}}$ и $\frac{r (\text{Na} + \text{K})}{r (\text{Ca} + \text{Mg})}$, а также химический номер воды по Н. И. Толстихину. Облик «роз» ионного состава для вод каждого горизонта различен (рис. 1, б). Отличаются воды и формулой Курлова: в везенбергском подгоризонте воды по составу гидрокарбонатные кальциевые*; в кукерском — гидрокарбонатные кальциево-магниевые (с некоторым возрастанием роли ион-хлора); в таллинском — хлоридно-гидрокарбонатные натриевые; в оболловом водоносном горизонте — гидрокарбонатно-хлоридные натриевые. По микрокомпонентам нет такого четкого отличия, как по макрокомпонентам. Но установлено все же, что с глубиной увеличивается, например, содержание Ba, Mn, Li, F, Br и B. По таким же компонентам, как J, P, NO₃⁻, NO₂⁻, Si, Fe, Rb, Sr, Sb, V, Pb, Zn, Sn, Mo, Cg, Ce, La определенных закономерностей пока не выявлено.

Анализы растворенного и спонтанного газа (табл. 2)** показали преобладание азота во всех пробах. Его содержание достигает 97—99% от общего объема отобранного газа. Метана и высших углеводородов обычно содержатся десятые доли процента. Лишь в таллинском подгоризонте и оболловом горизонте содержание горючих газов иногда повышается до нескольких процентов. Инертные газы составляют 0,9—3,7%. Сероводород анализом не определен, но непосредственно вблизи подземных скважин и очагов прорывов его присутствие устанавливается по запаху.

Наиболее интенсивно газируют воды оболлового горизонта, в меньшей степени — таллинского подгоризонта, а воды вышележащих подгоризонтов ордовика не газируют вовсе. В растворенном состоянии, наряду с азотом, в них уже присутствует кислород. С точки зрения длительности пребывания воды в горных породах наибольший интерес представляет отношение гелия к аргону (табл. 2).

* Формула Курлова читается от наименьших компонентов к большим. *Ред.*

** Полные анализы воды и газа произведены в лаборатории ВСЕГЕИ, сокращенные — в лаборатории СЗГУ. Всего вместе с материалами предшествующих лет исследований нами использовано до 1500 анализов, включая спектральные.

градского месторождения горючих сланцев

Химический номер воды *	Гидрохимические коэффициенты **				Формула Курлова (по полным анализам 1960—1961 гг.)
	$\frac{r \text{ Cl}}{r \text{ SO}_4}$	$\frac{r (\text{Na} + \text{K})}{r (\text{Ca} + \text{Mg})}$	$\frac{\text{Cl}}{\text{Br}}$	pH	
1	$\frac{0.29}{0.21}$	$\frac{0.08}{0.08}$	42	7.6	$M 0.3 \frac{\text{HCO}_3 92 \text{SO}_4 6}{\text{Ca} 54 \text{Mg} 38 \text{Na} 8} t 5,5^\circ$
12	$\frac{0.60}{1.27}$	$\frac{0.14}{0.14}$	74	7.8	$M 0.4 \frac{\text{HCO}_3 88 \text{Cl} 9}{\text{Mg} 46 \text{Ca} 40 \text{Na} 14} t 6,8^\circ$
25	$\frac{14}{11.5}$	$\frac{0.71}{0.84}$	123	7.9	$M 0.35 \frac{\text{HCO}_3 72 \text{Cl} 26}{\text{Na} 48 \text{Ca} 26 \text{Mg} 26} t 8,0^\circ$
48—58	$\frac{156}{81.5}$	$\frac{2.79}{2.20}$	157	8.2	$M 0.37 \frac{\text{Cl} 52 \text{HCO}_3 48}{\text{Na} 74 \text{Mg} 14 \text{Ca} 12} t 8,1^\circ$

по проверенным анализам (полным и сокращенным); $\frac{\text{Cl}}{\text{Br}}$ — по данным полных анализов

Таблица 2
Состав свободно выделяющегося газа подземных вод

Подгоризонт или горизонт	$\frac{\text{He}}{\text{Ar}}$			Число анализов	Метан, %			Углекислота, %			Кислород, %
	от	до	среднее		от	до	среднее	от	до	среднее	
Кукерский подгоризонт . . .	—	—	0.003	1	—	—	0.0	—	—	1.1	Более 2, иногда 0
Таллинский подгоризонт . . .	0.008	0.080	0.055	4	0.2	5.4	2.9	0.2	0.7	0.5	До 1—2 чаще 0
Оболовый горизонт	0.016	0.102	0.070	7	0.4	2.4	1.3	0.2	0.4	0.3	0

Примечание. Первичные результаты анализов обработаны по известной методике [3].

В растворенном газе $\frac{\text{He}}{\text{Ar}}$ составляет для: везенбергского подгоризонта 0,0029—0,0056, в среднем 0,0042; для кукерского 0,0021—0,003, в среднем 0,0028; для таллинского 0,0032—0,0117, в среднем 0,0071 и для оболочкового горизонта 0,0032—0,0072, в среднем 0,0034.

В свободном газе коэффициент $\frac{\text{He}}{\text{Ar}}$ значительно больше, чем в растворенном (см. табл. 2). В целом же газовый состав вод рассматриваемых горизонтов различен. Наиболее «древними» являются воды таллинского подгоризонта и оболочкового горизонта, что вполне согласуется с общими представлениями о гидрогеологических условиях района.

Различие химического и газового составов вод объясняется тем, что таллинский подгоризонт и оболочковый горизонт имеют более затрудненную связь с вышележащими, а следовательно, и поверхностными водами и атмосферными осадками.

Основная масса воды, поступающая в горные выработки, не фильтруется непосредственно с поверхности шахтных полей. Она стягивается

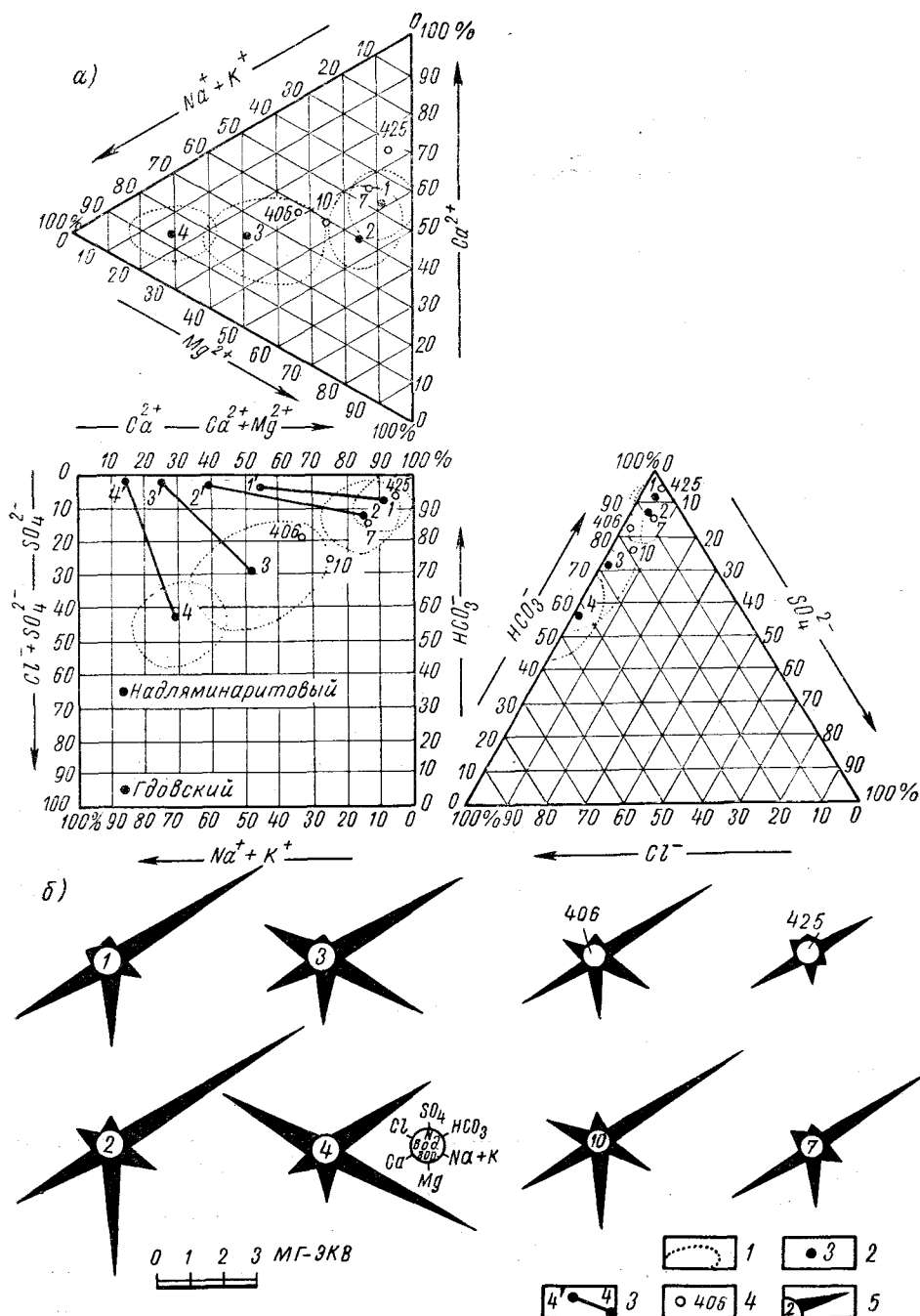


Рис. 1. Химический состав подземных вод Ленинградского сланцевого месторождения: а — графики Толстихина, %-экв.; б — «розы» ионного состава, мг-экв.

1 — ареалы распространения точек анализов трех водоносных подгоризонтов и оболового горизонта; 2 — среднее положение («центр тяжести») для ареала анализов соответствующего подгоризонта (1 — везенбергского, 2 — курекского, 3 — таллинского и 4 — оболового горизонта); 3 — векторы (1'—1, 2'—2, 3'—3, 4'—4), характеризующие степень метаморфизации воды от верхних подгоризонтов к нижним, точки 1', 2', 3' и 4' показывают содержание SO_4^{2-} (откладывается по линии $Cl^- + SO_4^{2-}$) и Ca^{2+} (откладывается по линии $Ca^{2+} + Mg^{2+}$); 4 — положение анализа соответствующей пробы воды на графике; 5 — луч, по которому откладываются миллиграмм-эквиваленты соответствующих ионов, считая от окружности; внутри окружности обозначены подгоризонты или номера проб воды.

с обширной области питания, находящейся за пределами шахтных полей, преимущественно на юго-востоке, и проходит по водоносным горизонтам довольно длительный по времени путь. На протяжении этого пути, различного для вод отдельных горизонтов, первоначальный состав инфильтрационных вод может изменяться вследствие взаимодействия их с водо-вмещающими породами. В какой-то мере происходит и вертикальная восходящая или нисходящая миграция вод (по тектоническим трещинам, карстовым нарушениям и т. п.).

Превалирующее значение в формировании химического состава остается за путями горизонтальной циркуляции. В свете этого представления становится понятным уменьшение с глубиной одних компонентов состава вод и возрастание других. Например, повышенное содержание Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^- в везенбергском подгоризонте можно объяснить более усиленным выщелачиванием в зоне свободного водообмена. В то же время ниже разрабатываемого пласта горючих сланцев, в зоне замедленного водообмена, выщелачивающая способность слабее. Здесь, по-видимому, преобладают процессы катионного обмена и другие, вследствие чего ион кальция поглощается породами, а ион натрия высвобождается.

Возможно, процессу смягчения вод способствует наличие глауконита в породах таллинского подгоризонта и оболочного горизонта. Повышенное содержание Cl^- и Na^+ в оболочном горизонте можно связывать и с растворением остатков морских солей в песчаных и карбонатных породах кембрия и ордовика. Наконец, уменьшение с глубиной сульфат-иона и его почти полное отсутствие в оболочном горизонте, по-видимому, вызвано жизнедеятельностью бактерий, восстанавливающих сульфаты до сероводорода.

Интересно, что в воде оболочного горизонта сульфатов значительно меньше, чем в атмосферных осадках. Как видно из табл. 3, сульфатов в дождевой воде в 2,5 раза, а в снеге в 10 раз больше, чем в воде оболочного водоносного горизонта.

Химический состав атмосферных осадков

Таблица 3

Компоненты	Дождь (Северо-западные районы СССР [1])			Снег * (Сланцевский район)		
	мг/л	мг-экв	%-экв	мг/л	мг-экв	%-экв
Ионы						
Na и K	2.30	0.10	24.8	5.75	0.25	14.6
Mg	1.33	0.11	27.2	Her	—	—
Ca	3.20	0.16	39.6	26.05	1.30	75.4
Прочие катионы	< 1	0.03	8.4	3.10	0.17	10.0
Σ	> 6.83	0.4	100	34.9	1.72	100
Хлориды	3.62	0.10	25.0	10.6	0.30	17.4
Сульфаты	4.66	0.10	25.0	18.9	0.39	22.9
HCO_3^- , CO_3^{2-} , N_2^-	12.45	0.20	50.0	36.4	1.03	59.7
Σ	20.73	0.40	100	65.9	1.72	100

* Проба снега отобрана 20 марта 1964 г.

В дополнение к сказанному о зоне замедленного водообмена в таллинском подгоризонте и оболочном горизонте приводим график Крейчи-Графа (рис. 2), где положение анализов вод двух верхних подгоризонтов ордовика тяготеет к линии А, характеризующей формирование химического

состава подземных вод в условиях открытых структур [2]. Точки анализов таллинского подгоризонта, оболочного и надляминаритового горизонтов находятся между линиями А и Б, т. е. между открытыми и закрытыми гидрогеологическими структурами.

В заключение краткой характеристики химии подземных вод района отметим, что при решении поставленных выше трех основных вопросов использованы следующие приемы гидрохимического метода: 1) наложение анализа «диагностируемой» пробы шахтной воды на график (—) Толстихина (рис. 1, а); 2) сравнение «роз» ионного состава изучаемой пробы воды с типичными «розами» водоносных горизонтов (рис. 1, б); 3) сопоставление

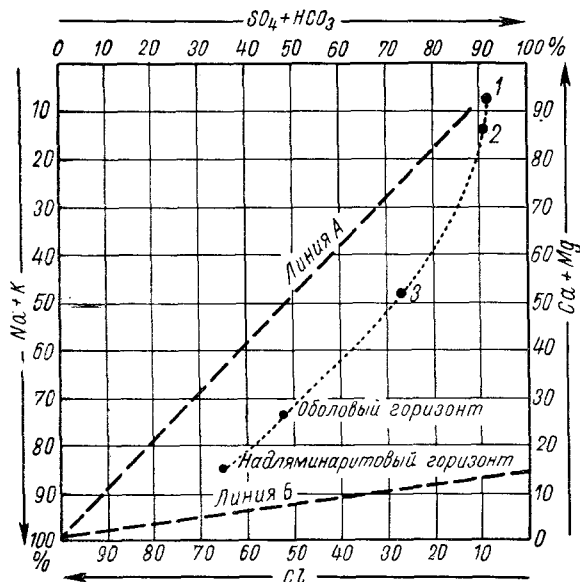


Рис. 2. Гидрохимический график Крейчи-Графа. Среднее значение анализов воды подгоризонтов. 1 — везенбергского; 2 — кукерского; 3 — таллинского.

формулы Курлова определяемой пробы воды с «эталонными» формулами водоносных горизонтов; 4) использование специального гидрохимического графика (рис. 3); 5) применение характерных гидрохимических коэффициентов и вспомогательного графика (рис. 4); 6) сопоставление вод по газовому составу и микрокомпонентам.

1. На график (—) Толстихина нанесены данные 240 анализов. Все точки анализов лежат в пределах обведенных контуров соответствующих подгоризонтов ордовика и оболочного горизонта (см. рис. 1, а). Пробы воды, взятые из различных пунктов водопрооявлений четырех шахт, подвергали обычному полевому анализу, результаты которого пересчитали в эквивалент-процентную форму и

нанесли на график. По их положению относительно соответствующих контуров (ареалов размещения анализов) на графике-квадрате и дополнительных треугольниках определили принадлежность воды к соответствующему водоносному горизонту и подгоризонту или смешение вод разных горизонтов. Обычно на кальку наносили сразу группу анализов, затем кальку накладывали на график и «дешифровали» отдельные пробы.

2. Аналогично использовали и «розы» ионного состава, построенные по усредненным значениям анионов и катионов для каждого водоносного горизонта и подгоризонта. Пробы сопоставляли по внешнему виду «роз».

3. Формулу Курлова изучаемой пробы сопоставляли последовательно с формулами водоносных горизонтов с учетом общей минерализации, температуры воды и pH.

4. При построении специального графика (рис. 3) использовали указанную ранее закономерность изменения с глубиной содержания отдельных компонентов. На горизонтальных линиях графика отложены средние значения наиболее распространенных анионов и катионов. По везенбергскому подгоризонту они занимают верхнее положение, по оболочному горизонту — нижнее, а по кукерскому и таллинскому подгоризонтам — промежуточное (см. рис. 3). Между ними условно показан разрабатываемый пласт, относительно которого различают воды «кровли» и воды «почвы» пласта. Через точки средних значений наиболее распространен-

ных ионов проведено пять наклонных ломаных линий. Кальций и магний на этом графике даны по сумме эквивалентов, т. е. приведена характеристика жесткости воды.

Результаты анализа исследуемой пробы нанесены на график следующим образом. По соответствующей шкале откладывают содержание того или иного компонента (в миллиграмм-эквивалентах) и по вертикали находят точку пересечения с наклонно ломаной линией для того же компонента. Если эта точка ложится вблизи горизонтальной линии какого-либо, например таллинского, подгоризонта, то воду исследуемой пробы относят

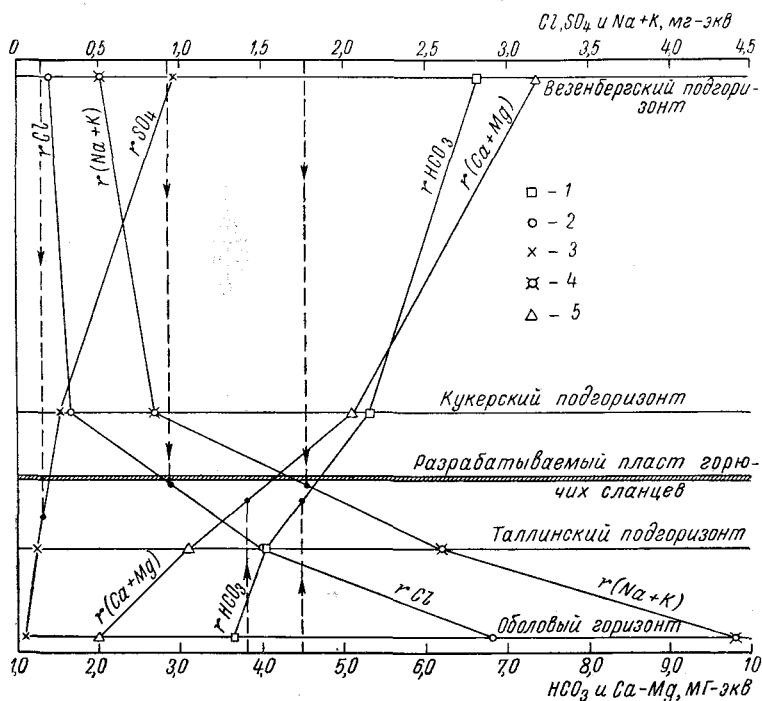


Рис. 3. Специальный гидрохимический график для выяснения принадлежности шахтных вод к соответствующим водоносным подгоризонтам.

Среднее значение миллиграмм-эквивалентов в водах соответствующего водоносного подгоризонта и горизонта: 1 — гидрокарбонат-иона; 2 — ион-хлора; 3 — сульфат-иона; 4 — суммы натрия и калия; 5 — суммы кальция и магния.

к этому подгоризонту. Если же точка оказывается между смежными горизонтальными линиями, то воду данной пробы считают смесью вод этих двух подгоризонтов. Во избежание случайного результата вывод следует делать по совокупному показанию всех пяти компонентов состава воды.

5. Несколько более детальнее можно оценить соотношение вод смежных подгоризонтов (в смешанной по составу пробе воды), если использовать характерные гидрохимические коэффициенты $\frac{r \text{ Cl}}{r \text{ SO}_4}$ и $\frac{r (\text{Na} + \text{K})}{r (\text{Ca} + \text{Mg})}$ и допустить возможность линейной интерполяции при определении процентного соотношения вод двух смежных подгоризонтов. Определить его соотношение можно по вспомогательному графику рис. 4, где пунктиром показан порядок пользования графиком. По оси абсцисс на нем нанесены (в логарифмическом масштабе) значения указанных коэффициентов, причем коэффициент $\frac{r (\text{Na} + \text{K})}{r (\text{Ca} + \text{Mg})}$ увеличен в 10 раз. На оси ординат дана шкала процентного соотношения всех трех подгоризонтов и оболочкового

горизонта с градацией через 10%. Масштаб шкалы подобран таким образом, чтобы значения коэффициента $\frac{r \text{ Cl}}{r \text{ SO}_4}$ находились на прямой наклонной линии. Соответственно и для коэффициента $\frac{10r (\text{Na} + \text{K})}{r (\text{Ca} + \text{Mg})}$.

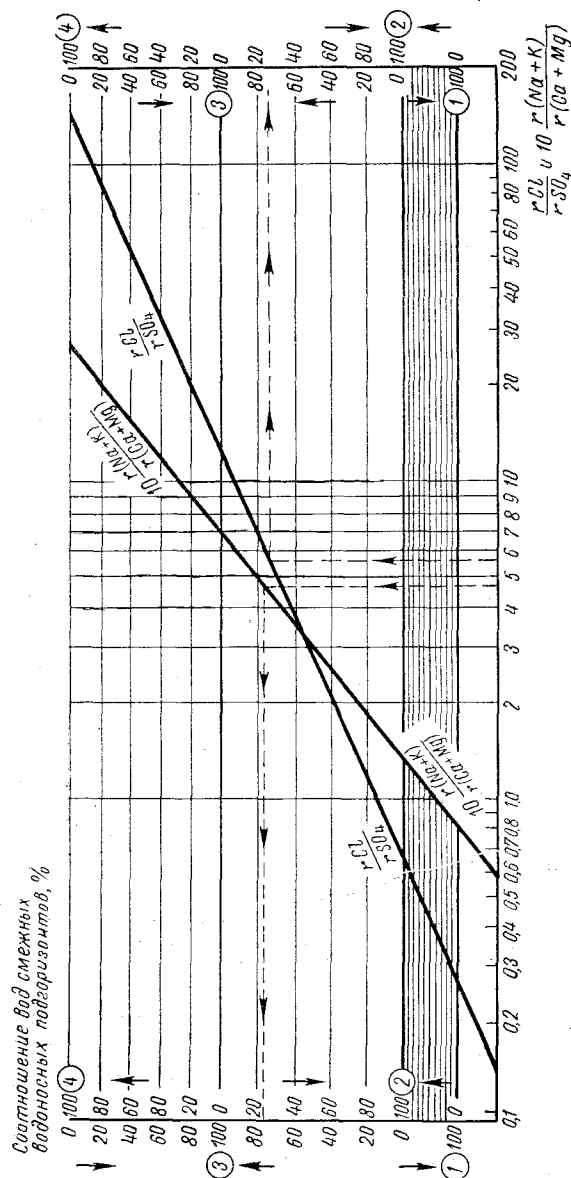


Рис. 4. Вспомогательный график для определения процентного соотношения вод разных подгоризонтов по коэффициентам $\frac{r \text{ Cl}}{r \text{ SO}_4}$ и $\frac{10r (\text{Na} + \text{K})}{r (\text{Ca} + \text{Mg})}$.
1 — везенбергский подгоризонт; 2 — кукуерский подгоризонт; 3 — таллинский подгоризонт; 4 — обольный горизонт.

6. Наконец, по газовому составу можно судить с принадлежности воды к тому или иному подгоризонту, сопоставляя данные исследуемой пробы с данными табл. 2.

Указанные приемы гидрохимического метода использованы при изучении всего аналитического материала по месторождению, включая анализы проб воды из очагов крупных прорывов и из р. Плюсы. В качестве примера рассмотрим анализы двух крупных прорывов воды в шахте им. С. М. Кирова и двух проб воды из р. Плюсы. Первый анализ (табл. 4, проба 406) относится к воде прорыва К-21, происшедшего в 1957 г. с ве-

личной начального притока до $325 \text{ м}^3/\text{ч}$. Предполагалось, что этот прорыв, так же как и прорывы 1936 и 1941 гг., непосредственно связан с водами р. Плюсы. Чтобы наметить правильные меры борьбы с шахтными водами, надо было установить источник поступления такого большого и постоянного во времени притока воды в шахту. Гидрохимический метод позволил решить этот вопрос на основании следующего: 1) на графике (—) Толстихина анализ воды пробы 406 попал в ареал таллинского подгоризонта (см. рис. 1, а); 2) облик «розы» ионного состава этой пробы оказался ближе к тому же таллинскому подгоризонту (см. рис. 1, б); 3) формула Курлова также ближе к таллинскому подгоризонту, чем к остальным, что подтверждается и сопоставлением величины рН, общей минерализацией и температурой воды; 4) на специальном гидрохимическом графике (см. рис. 3) все пять компонентов указывают в основном на таллинский подгоризонт с некоторым влиянием кукуерского; 5) по характерным коэффициентам (см. рис. 4) 74—77% пробы относится к водам таллинского и 23—26% — кукуерского подгоризонтов; 6) по хлорбромному коэффициенту воды прорыва ближе к таллинскому подгоризонту и оболловому горизонту; 7) в свободно выделяющемся газе 93,5% N, 6% CH_4 и 0,5% CO_2 , что свойственно более глубоким горизонтам; величина гелий-аргонового коэффициента в свободном газе 0,042 указывает на таллинский подгоризонт, а в растворенном газе ($\frac{\text{He}}{\text{Ar}} = 0,018$) больше соответствует оболловому горизонту.

Таким образом, анализ гидрохимического материала свидетельствует о принадлежности воды прорыва К-21 в основном к таллинскому подгоризонту. Эта вода отличается от пробы 425 из р. Плюсы как по основным компонентам, так и по общей минерализации, микрокомпонентам, рН, формуле Курлова, температуре и характерным гидрохимическим коэффициентам. Очевидно, вода р. Плюсы не соответствует воде таллинского подгоризонта и, следовательно, неидентична воде прорыва К-21.

Анализы воды прорывов К-8 ÷ 20 и р. Плюсы по данным 19—20 марта 1964 г. более сходны, чем в предыдущем случае. Однако по ряду компонентов выявляется их резкое отличие. Так, например, содержание щелочных металлов и ион-хлора в воде прорывов в 3 раза больше, чем в речной воде, брома — в 4 раза больше, а йода, наоборот, в воде прорывов нет, а в р. Плюсе содержится 0,04 мг/л и т. п. Тип воды, формула Курлова и характерные коэффициенты различны.

Вообще аналитический материал не подтверждает предположения о связи р. Плюсы с шахтными водами. Анализы вод р. Плюсы с 1933 по 1964 гг. (около 30 сокращенных и несколько полных анализов) показывают, что в различные периоды года состав речных вод и вод наиболее крупных прорывов в шахте им. С. М. Кирова существенно отличен. В водах р. Плюсы содержание ион-хлора 0,08—0,35 мг-экв, в воде прорывов 0,80—1,40 мг-экв, гидрокарбонат-иона соответственно 0,68—3,98 и 2,92—5,2 мг-экв, жесткость 0,8—3,8 и 3,4—4,76 мг-экв.

По графикам (—) Толстихина, речная вода летом ближе к воде везенбергского подгоризонта, а зимой — кукуерского. Аналогичные результаты дает сопоставление «роз» ионного состава (см. рис. 1, б). Формула Курлова также показывает, что речные воды ближе к везенбергскому подгоризонту, чем к кукуерскому. По рН, температуре и общей минерализации воды р. Плюсы не имеют полной аналогии с водами прорывов. В прорывах температура воды более или менее постоянна $7,8^\circ \text{C}$, а в р. Плюсе (—) $1—26^\circ \text{C}$. При непосредственном проникновении речных вод в шахту это, несомненно, сказалось бы на температурном режиме вод прорывов.

По $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и Cl^- , используя гидрохимический график (см. рис. 3), видим, что зимой и летом вода р. Плюсы соответствует везенбергскому подгоризонту 1, но по остальным компонентам (SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} ,

Химический состав вод прорывов

Компоненты анализа	Прорыв К-21, проба 406, 18/V 1961 г.			р. Плюсса, проба 425, 31/V 1961 г.		
	мг/л	мг-экв	%-экв	мг/л	мг-экв	%-экв
Катионы						
Na ⁺ + K ⁺	42	1,77	31,8	3	0,10	5,2
NH ₄ ⁺	Нет	—	—	0,3	0,02	1,1
Mg ²⁺	19	1,60	28,7	6	0,50	26,0
Ca ²⁺	44	2,20	39,5	26	1,30	67,7
Fe ³⁺ и др.	0,5	—	—	0,1	—	—
Σ г ⁺	105,5	5,57	100,0	35,4	1,92	100,0
Анионы						
J ⁻	Нет	—	—	0,02	—	—
Br ⁻	0,1	—	—	Нет	—	—
Fe ⁻	0,2	0,01	0,2	0,4	0,02	1,1
Cl ⁻	32,0	0,90	16,1	2	0,06	3,1
SO ₄ ²⁻	8	0,16	2,9	2	0,04	2,1
HPO ₄ ²⁻	0,2	—	—	0,1	—	—
CO ₃ ²⁻	6	0,20	3,6	Нет	—	—
HCO ₃ ⁻	262	4,30	77,2	110	1,80	93,7
Σ г ⁻	308,5	5,57	100	114,52	1,92	100,0
pH	—	7,9	—	—	7,3	—
HBO ₂	1	—	—	<0,4	—	—
H ₂ SiO ₃	10	—	—	6	—	—
Сухой остаток	293	—	—	111	—	—
Общая минерализация	425	—	—	156	—	—
Формула Курлова	М 0,4 $\frac{\text{HCO}_3 81 \text{ Cl} 16 \text{ SO}_4 3}{\text{Ca} 39 \text{ Na} 32 \text{ Mg} 29}$			М 0,1 $\frac{\text{HCO}_3 94 \text{ Cl} 4 \text{ SO}_4 2}{\text{Ca} 68 \text{ Mg} 26 \text{ Na} 6}$		
Температура воды, °С	7,8			18,4		
Характерные коэффициенты						
$\frac{r \text{ Cl}}{r \text{ SO}_4}$	5,63			1,50		
$\frac{r (\text{Na} + \text{K})}{r (\text{Ca} + \text{Mg})}$	0,47			0,087		
$\frac{\text{Cl}}{\text{Br}}$	320			—		
$\frac{\text{He}}{\text{Ar}}$	0,018			0,003		

Mg²⁺) никакой четкой параллели провести нельзя. Иными словами, соотношение ионов в речной воде нетипично для какого-либо определенного горизонта.

По гидрохимическому коэффициенту $\frac{10r (\text{Na} + \text{K})}{r (\text{Ca} + \text{Mg})}$ (см. табл. 4 и рис. 4) воду р. Плюсы можно отнести летом на 100% к везенбергскому подгоризонту, зимой — к кукерскому; по $\frac{r \text{ Cl}}{r \text{ SO}_4}$ — на 70% к кукерскому подгоризонту и на 30% к таллинскому. Следовательно, гидрохимический тип

Таблица 4

шахты им. С. М. Кирова и р. Плюсы

Прорывы К-8 ÷ 20, проба 10, 20/III 1964 г.			р. Плюсса, проба 7 19/III 1964 г.		
мг/л	мг-экв	%-экв	мг/л	мг-экв	%-экв
31,2	1,36	23,5	11,4	0,50	11,5
0,5	0,03	0,5	0,3	0,02	0,4
25,5	2,10	36,3	17,0	1,40	32,5
46,1	2,30	39,7	48,1	2,40	55,6
—	0,01	—	—	—	—
103,3	5,80	100,0	76,8	4,32	100,0
Нет	—	—	0,04	—	—
0,31	—	—	0,07	—	—
0,40	0,02	—	0,40	0,02	—
39,0	1,10	19,0	12,4	0,35	8,1
16,0	0,33	5,8	10,3	0,21	5,0
—	—	—	—	—	—
Нет	—	—	Нет	—	—
265,4	4,35	75,2	228,8	3,74	86,9
321,1	5,80	100,0	252,01	4,32	100,0
—	7,5	—	—	7,4	—
—	—	—	0,1	—	—
—	—	—	26	—	—
304	—	—	233	—	—
302	—	—	348	—	—
$M\ 0,3 \frac{HCO_3 75\ Cl 19\ SO_4 6}{Ca 40\ Mg 36\ Na 24}$ 7,9			$M\ 0,3 \frac{HCO_3 87\ Cl 8\ SO_4 5}{Ca 56\ Mg 32\ Na 12}$ 4,5		
3,3			1,66		
0,31			0,137		
126			31		
—			—		

вод реки и прорывов, так же как хлорбромный коэффициент и газовый состав, различен. Наконец, гелий-аргоновый коэффициент свидетельствует о том, что «возраст» речной воды в 4—6 раз «моложе» воды прорывов.

Таким образом, гидрохимический метод свидетельствует об отсутствии прямой связи р. Плюсы с водами крупных прорывов в выработках шахты им. С. М. Кирова и других шахт. Некоторое сближение этих вод по отдельным компонентам может указывать лишь на то, что поверхностные воды, если и проникают в подземные выработки, то не вблизи шахт, а пройдя довольно длительный путь, в течение которого в составе вод мо-

гут произойти существенные изменения. Например, в середине Нарвского водохранилища, где карбонатные породы таллинского подгоризонта близко подходят к поверхности и где нет уже разделяющего водоупора в кровле этого подгоризонта, поверхностные воды, в том числе и р. Плюссы, могут питать этот подгоризонт, а из него уже поступать (через очаги прорывов) в горные выработки, пройдя, однако, путь не менее 12—18 км.

Помимо прорывов во всех шахтах обследованы другие виды водопроявлений (из горизонтальных и вертикальных трещин, из трещин заколов при отработке лав, закарстованных зон, технических и разведочных скважин, дренажных канав и т. п.) с отбором проб на сокращенные анализы. Выяснена доля участия каждого водоносного подгоризонта в обводнении шахты с учетом дебита отдельного водопроявления. Дебиты всех пунктов водопроявлений каждого панельного штрека, распределенные по подгоризонтам, суммировались и полученный результат сопоставлен с «расшифровкой» пробы воды, отобранной в начале штрека (у панельного водослива). Затем суммировано все количество протекающей воды (по подгоризонтам) перед центральным водосборником и сопоставлено с распределением воды по подгоризонтам на основе «расшифровки» пробы, взятой в водосборнике (табл. 5).

Таблица 5

Распределение общешахтных притоков по горизонтам по данным гидрохимического метода * (по состоянию на июль — август 1960 г.)

Водоносные подгоризонты и горизонты	Шахта № 1		Шахта № 2		Шахта № 3		Шахта им. С. М. Кирова		Всего	
	м3/ч	%	м3/ч	%	м3/ч	%	м3/ч	%	м3/ч	%
Ордовикский горизонт										
Везенбергский подгоризонт	140	27	105	18	179	35	100	10	524	20
Кукерский подгоризонт	170	33	270	46	143	28	180	17	763	29
Таллинский подгоризонт	185	36	240	35.5	143	28	730	70	1268	48
Оболовый горизонт	20	4	3	0.5	44	9	30	3	97	3
Итого	515	100	588	100	509	100	1040	100	2652	100

* В обследовании выработок, обработке анализов и составлении специального графика (рис. 3) большое участие приняла Н. И. Орехова.

Полученный результат оказался близким к рассчитанному другими методами — анализом депрессионных воронок и расчетом по гидрогеологическим параметрам водоносных подгоризонтов.

Итак, гидрохимический метод при соответствующих условиях может оказать большую услугу в решении различных вопросов шахтной гидрогеологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурксер Е. С., Федорова Н. Е., Зайдис Б. Б. Атмосферные осадки и их роль в миграции химических элементов через атмосферу. Тр. Киев. геофизич. обсер., вып. 1, 1952.
2. Максимов В. М. О химизме подземных вод Якутского артезианского бассейна. Зап. ЛГИ, т. XXXIV, вып. 2, 1958.
3. Ростовцев Н. И., Панова В. Г. Методические указания для производства некоторых расчетов при обработке результатов анализов химического состава природных газов. Сб. «Вопросы нефтепоисковой гидрогеологии». Госгеолтехиздат, 1956.