Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1985, т. 103

УДК 551.491.4

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕНИНГРАДСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Н.С.ПЕТРОВ

До начала эксплуатации Ленинградского месторождения горючих сланцев пьезометрическая поверхность водоносных горизонтов плавно снижалась в северо-западном направлении – общий сток подземных вод был направлен к Финскому заливу, колебания стока по сезонам определялись гидрометеорологическими условиями. При этом имела место общая тенденция к восходящему движению подземных вод с глубиной: отметки статических уровней водоносных горизонтов с глубиной постепенно возрастали, а их разница не превышала 6–10 м. На водоразделах статические уровни располагались в пределах 3–5 м от дневной поверхности, а в долинах рек наблюдался самоизлив скважин.

Многолетняя эксплуатация месторождения внесла заметные изменения в режим водоносных горизонтов. Эти изменения связаны в первую очередь с шахтным водоотливом, способствующим снижению пьезометрических уровней водоносных горизонтов и формированию значительных по площади депрессионных воронок. Немаловажную роль в изменении направления и скорости движения подземных вод играет регулярный отбор воды из водозаборов питьевого и хозяйственно-технического водоснабжения. Отвод и накопление на поверхности шахтных и технических вод создал дополнительные области питания подземных вод.

Взаимодействие отмеченных выше факторов привело к следующим изменениям гидродинамических условий:

1) неравномерный темп дренирования водоносных горизонтов обусловил формирование в каждом из них депрессионных воронок разных размеров, с разными скоростями роста, особенностями стабилизации в отдельных частях месторождения; общее северо-западное направление движения подземных вод сменилось движением к центру депрессионных воронок;

2) пьезометрические уровни снизились на 20–80 м, и разность положений статических уровней водоносных горизонтов достигла 50–60 м;

3) разобщение пьезометрических поверхностей привело к усилению движения подземных вод по вертикальным трещинам и карстовым нарушениям, перемещению воды из одного горизонта в другой, увеличению доли участия вод верхних водоносных горизонтов в формировании общешахтного водопритока;

4) на отдельных участках в северной части месторождения пьезометрическая поверхность верхних водоносных горизонтов опустилась ниже уровня воды

в поверхностных водотоках, что привело к их инверсии и к подтоплению водоносных горизонтов поверхностными водами.

Динамика водного режима внесла свои коррективы в естественную гидрохимическую зональность месторождения. До начала эксплуатации месторождения с ростом глубины погружения водоносных горизонтов установилась определенная закономерность изменения химического состава межпластовых вод, свойственная краевой части артезианского бассейна. Вертикальная гидрохимическая зональность проявлялась в постепенном увеличении минерализации воды с глубиной от 0,3-0,5 г/л в водоносных горизонтах, залегающих выше глин лонтоваской свиты, 0,6-0,8 г/л - в ломоносовском, до 2,9 г/л в гдовском водоносном горизонте (табл.I).

Таблица 1

Характеристика гидрохимической зональности в районе Ленинградского месторождения горючих сланцев (в условиях ненарушенного гидрохимического режима)

Водоносный горизонт	Содержание компонентов, мг/л						pH	Сухой остаток, г/л
	$Na^+ + K^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	$HCO_3^- + CO_3^{2-}$		
Везенбергский	11	54	32	4	17	337	7,6	0,2
Кукерский	19	50	18	19	9	317	7,8	0,3
Таллинский	63	32	18	41	6	250	7,9	0,4
Кембро-ордовикский	112	20	9	122	2	193	8,0	0,5
Ломоносовский	290	20	5	236	35	183	7,7	0,6
Гдовский	830	80	43	1550	9	110	7,7	2,9

Постепенное увеличение концентрации хлоридных солей с глубиной отражает общую гидрохимическую зональность артезианских бассейнов, а снижение содержания сульфатов в водоносных горизонтах, залегающих выше синих глин, объясняется восстановлением их в процессе сульфатредукции при взаимодействии с органикой горючих сланцев:

$$SO_4^{2-} + 2H^+ + 2C_{орг} \longrightarrow 2CO_2 + H_2S .$$

Подобное восстановление сульфатов способствует повышению щелочности среды и постепенному увеличению с глубиной pH, а также и появлению небольших количеств сероводорода (до I-2 мг/л) в отдельных водопроявлениях. Повышенные концентрации магния в водах везенбергского горизонта связаны с широким распространением в нем доломитов. В ломоносовском водоносном горизонте увеличение концентрации сульфат-иона объясняется развитием рассеянного пирита в перекрывающих горизонт кембрийских глинах.

Сопоставление химического состава воды гдовского горизонта с данными ГОСТ I3273-73 показывает, что вода этого горизонта в районе г.Сланцы относится к миргородскому типу хлоридных натриевых вод (группа ХХУ), которые являются лечебными водами.

Рассмотренные закономерности химии вод отдельных горизонтов являются основой для оценки изменений химического состава подземных вод отдельных частей месторождения в процессе его эксплуатации. Изменение гидродинамического режима в ходе отработки месторождения привело к тому, что к настоящему времени воды везенбергского и кукерского водоносных горизонтов практически идентичны по своему составу. В водоносных горизонтах, залегающих ниже подошвы горных выработок (таллинском и кембро-ордовикском), естественная гидрохимическая зональность сохранилась на полях шахт № 3 и I-го района шахты „Ленинградская". Однако, на юге этого района выделяется локальный участок, где сформировалась гидрохимическая аномалия, в пределах которой состав вод всех водоносных горизонтов выравнялся и отвечает в настоящее время кукерскому. Здесь резко падает содержание хлор-иона, а щелочно-земельные металлы преобладают над щелочными (табл.2). Такая взаимосвязь кровли и подошвы на этом участке, видимо, обусловлена геологическими причинами: расположением поблизости древнего эрозионного вреза, не подсеченного разведочными скважинами, крупного карстового нарушения или повышенной тектонической трещиноватости.

Таблица 2

Характерный химический состав воды кембро-ордовикского и таллинского водоносных горизонтов в районе гидрохимической аномалии на юге I-го района шахты „Ленинградская"

Пункт отбора пробы	Горизонт	Содержание компонента									pH	Сухой остаток, мг/л
		$Na^+ + K^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Br, мг/л	B, мг/л	F^-, мг/л		
Скважина 60	Кембро-ордовикский	40,4 29,8	36,9 31,3	27,7 38,7	14,2 8,8	4,1 1,4	329,0 91,8	0,39	0,17	Нет	7,6	316
Скважина 70	Таллинский	38,7 29,8	40,1 35,4	23,8 34,7	17,7 8,8	4,1 1,5	309,0 89,5	0,39	0,25	0,10	7,6	302

Примечание. В числителе – в миллиграммах на литр, в знаменателе – в эквивалент-процентах.

В пределах шахтных полей 2-го района шахты „Ленинградская" и шахты им.С.М.Кирова водоносные горизонты залегают ближе к поверхности. Здесь наблюдаются наибольшие сезонные колебания уровней и максимальная сработка водоносных горизонтов, что привело к выравниванию химического состава воды таллинского и кембро-ордовикского горизонтов и формированию в этой части месторождения нового гидрохимического фона (табл.3). Для последнего характерно пониженное содержание хлор-иона (до 20-50 мг/л), повышенные концентрации сульфат-иона (20-60 мг/л), преобладание щелочно-земельных металлов над щелочными. Все это свидетельствует об усилении водообмена, и вследствие этого затухании процессов катионного обмена и преобладании

Таблица 3

Характерный состав подземных вод таллинского и кембро-ордовикского водоносных горизонтов на полях шахты им. С.М.Кирова и 2-го района шахты „Ленинградская"

Пункт отбора пробы	Водоносный горизонт	Содержание компонента									pH	Сухой остаток, мг/л
		$Na^+ + K^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Br, мг/л	B, мг/л	F^-, мг/л		
Шахта им. С.М.Кирова												
Скважина 28	Таллинский	30,6 17,7	66,1 43,8	35,3 38,4	23,0 8,6	30,1 10,8	371,0 80,6	0,26	0,10	Нет	7,7	400
Скважина 14	То же	21,7 18,2	71,7 50,0	31,9 36,6	24,8 9,8	31,7 9,2	354,0 81,0	0,58	0,10	Нет	7,7	390
Шахта „Ленинградская", 2-й район												
Скважина 50	Кембро-ордовикский	60,6 44,5	34,5 29,0	19,0 26,3	49,6 23,6	30,0 10,5	238,0 65,8	1,33	0,25	0,10	7,6	382
Скважина 61	То же	43,4 48,0	20,4 26,9	12,4 25,9	24,3 17,6	4,9 2,6	180,9 78,7	0,39	0,80	Нет	7,6	214
Скважина 44	-"-	79,5 62,1	20,0 17,9	13,4 19,7	74,5 37,7	1,6 0,6	210,0 61,7	1,33	0,50	0,20	7,5	334

Примечание. В числителе – в миллиграммах на литр, в знаменателе – в эквивалент-процентах.

процессов выщелачивания известняков и доломитов. Все это способствует усилению окислительных процессов и переходу рассеянных в горючих сланцах и сконцентрированных в трещинах-грилях и карстовых нарушениях сульфидов в более устойчивую сульфатную форму.

Заметим, что на полях шахты им.С.М.Кирова и 2-го района шахты «Ленинградская" на локальных участках также выделяются гидрохимические аномалии, свидетельствующие о перетекании вод везенбергского горизонта в таллинский и кембро-ордовикский. Состав вод этих горизонтов практически мало отличается от состава вод вышележащих горизонтов, чему способствуют гидродинамические предпосылки для перетекания вод сверху вниз: пьезометрическая поверхность везенбергского горизонта располагается на 50-80 м выше, чем кембро-ордовикского и таллинского водоносных горизонтов.

Анализ изменения гидрогеологических условий в результате отработки месторождения показывает, что наибольшие опасения с точки зрения загрязнения вызывают воды везенбергского горизонта, залегающего непосредственно под четвертичными отложениями, а также воды горизонтов северных крыльев месторождения, в частности таллинского и кембро-ордовикского. Присутствие в этой части месторождения гидрохимических аномалий однозначно указывает

на переток вод верхних водоносных горизонтов в горные выработки и горизонты, залегающие ниже промышленного пласта. Опасность загрязнения подземных вод этой части месторождения растет в связи с тем, что здесь расположены основные потенциально возможные источники загрязнения природных вод: очистные сооружения и фенольный канал.

Для изучения процессов загрязнения и самоочищения подземных вод, наряду с лабораторными методами, привлекались полевые методы исследований: опробование гидрорежимных скважин, пробуренных в районе расположения хранилищ промстоков, подземная гидрохимическая съемка по заданным профилям в горных выработках, контрольное гидрохимическое опробование различных водопроявлений в различных горных выработках на участках, наиболее опасных с точки зрения фенольного загрязнения водоносных горизонтов. Для оценки интенсивности загрязнения атмосферных осадков непосредственно на территории месторождения проведена снежная гидрохимическая съемка.

Анализ полевых гидрохимических материалов свидетельствует о фенольном загрязнении вод первого от поверхности водоносного горизонта сточными водами хранилищ промстоков, а также вод в северной части 2-го района шахты "Ленинградская", что объясняется геолого-гидрогеологическими особенностями северной части месторождения (присутствие сильно закарстованных и трещиноватых пород с высокими фильтрационными свойствами, способствующими прямой фильтрации сточных вод в водоносные горизонты). Повышенные концентрации фенолов отмечены также на участках крупных карстовых нарушений, пересекающих всю толщу ордовикских отложений, и на участках перетекания загрязненных поверхностных вод по стволам некачественно затампонированных разведочных и технических скважин. В то же время, несмотря на существенное региональное загрязнение ландшафта, и следовательно, вод верхних водоносных горизонтов, на остальной части месторождения качество подземных вод изменилось несущественно, что свидетельствует о самоочищении загрязненных вод при фильтрации их через толщу четвертичных песчано-глинистых отложений и девонских и ордовикских карбонатно-глинистых отложений.

Лабораторные исследования показали, что наиболее эффективным механизмом самоочищения подземных вод является сорбция фенолов горными породами. Наибольшей сорбционной способностью обладают глины шундуровских слоев среднего ордовика и наровского горизонта среднего девона (коэффициент распределения соответственно 0,003-0,008 и 0,024-0,039). Определенную лепту в самоочищение подземных вод вносят также процессы окисления летучих фенолов и молекулярно-диффузионный отток их в пористые блоки трещиноватых пород.

Единичные, кратковременные и периодические появления летучих фенолов в шахтных водах, а также в водах горизонтов, залегающих ниже подошвы горных выработок, связаны не с фильтрацией сточных вод из хранилищ промстоков, а с летучими фенолами, являющимися результатом гидролиза основных компонентов горючих сланцев - керогена и гуминовых кислот при взаимодействии с шахтными водами, что подтверждается экспериментом: при трехсуточном

контакте кислых и щелочных растворов с образцами горючих сланцев концентрация фенолов в растворах достигала соответственно 0,05 и 0,007-0,01 мг/л.

Рассмотрим на основе установленных закономерностей изменения гидродинамических условий, гидрохимической зональности и процессов самоочищения возможность использования подземных вод отдельных горизонтов для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

В е з е н б е р г с к и й водоносный горизонт, как отмечалось, наиболее подвержен поверхностному загрязнению. Участки с четко выраженным фенольным загрязнением в районе фенольного канала локализованы. На загрязненных участках воды горизонта имеют высокую минерализацию (до 1500 мг/л), сумма ионов щелочных металлов составляет 100-200 мг/л, а щелочно-земельных - до 400 мг/л. Значительно изменились и санитарные показатели: вода приобретает запах сланцевого масла с силой в 3-5 баллов, содержит летучие фенолы в количестве от 0,002 до 0,15 мг/л. Присутствие органики в составе этих вод подтверждено показателями перманганатной и бихроматной окисляемости, которые меняются соответственно в интервале 10-65 мг/л и 20-152 мг/л.

Причины загрязнения подземных вод этого горизонта следующие: 1) значительная закарстованность известняков и доломитов горизонта в северной части месторождения, особенно вблизи линии везенбергского уступа; 2) гидродинамические условия, способствующие инфильтрации загрязненных сточных вод (расположение уровней подземных вод ниже поверхностных водотоков). Возможности самоочищения подземных вод за счет сорбционных процессов ограничены, так как скорости фильтрации вод значительны, а тонкодисперсные глинистые отложения отсутствуют. Таким образом, везенбергский водоносный горизонт не следует использовать для питьевого водоснабжения в черте г.Сланцы.

Т а л л и н с к и й водоносный горизонт отделен от подошвы горных выработок толщей глинистых мергелей и кукерситов кукерского горизонта мощностью 6-8 м. Однако надежного водоупора между горизонтом и подошвой горных выработок не существует, так как кровля крупных карстовых полостей, характерных для этого горизонта, нередко обрушаясь, достигает подошвы выработок. Следовательно, на площади, где пьезометрическая поверхность этого горизонта располагается ниже подошвы горных выработок, опасность проникновения шахтных вод в этот горизонт вполне реальна. Такие условия характерны для северных полей шахты "Ленинградская", где в отдельных точках концентрации летучих фенолов достигают 0,002-0,02 мг/л, что, как правило, связано с проявлениями гидрохимических аномалий. Вместе с тем фенольное загрязнение не сопровождается другими видами загрязнений подземных вод. Воды этого горизонта можно использовать для питьевого водоснабжения в шахтах, если организован контроль за санитарно-химическими показателями воды.

К е м б р о - о р д о в и к с к и й водоносный горизонт является основным источником централизованного водоснабжения района. Единичные случаи обнаружения небольших концентраций фенолов в водах этого горизонта

не связаны с общим загрязнением ландшафта и инфильтрацией сточных вод технических водоемов, а объясняются естественными природными процессами.

Ломоносовский водоносный горизонт отделен от вышележащих мощной регионально выдержанной толщей синих глин. Возможность проникновения фенольного загрязнения в ломоносовский водоносный горизонт через более чем 100-метровую толщу синих глин путем прямой фильтрации загрязненных шахтных вод полностью исключена, о чем свидетельствует многолетний опыт эксплуатации этого горизонта в Ленинградской области.

Таким образом, длительная эксплуатация Ленинградского месторождения горючих сланцев привела к существенному нарушению естественного гидрогеологического режима водоносных горизонтов, залегающих выше синих кембрийских глин, что вызвало значительные изменения в химическом составе вод основных водоносных горизонтов и шахтных вод. Изменение гидрогеологических условий, эксплуатация ряда горно-перерабатывающих предприятий, накопителей промстоков способствовали загрязнению подземных вод везенбергского горизонта, а также шахтных вод в северной части 2-го района шахты „Ленинградская". В то же время, несмотря на существенное региональное аэрогенное загрязнение ландшафта и, как следствие, загрязнение вод верхних горизонтов, в водах кровли выработок на остальной территории месторождения фенольное загрязнение практически отсутствует. Это связано с процессами самоочищения подземных вод: сорбции фенолов глинистыми породами, окислением и диффузионным оттоком их в пористые блоки горных пород.