

*Л. Л. БОКИЙ, Ф. П. СТРЕЛЬСКИЙ, Е. Н. ЛУПАНОВ,
А. И. СКАДОРВА*

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОСВОЕНИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЭСТОНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

В южной части Эстонского месторождения горючих сланцев эксплуатируется шахта «Эстония», оказывающая мощное дренажное воздействие на водоносные горизонты в кровле и почве промпласта. Изменения во времени и по площади месторождения техногенного режима водоносных горизонтов характеризуют их фильтрационные свойства и источники питания во много раз ярче, чем самые совершенные опытные откачки или нагнетания при разведке. Поэтому изучение условий формирования водопритоков в действующие выработки позволяет более обоснованно прогнозировать их изменения в предстоящие годы и разработать мероприятия по ограничению водопритоков в новые шахты и сохранению подземных вод. С этой целью для района шахты «Эстония» проведен комплекс исследований, включающий:

- изучение гидрогеологического строения ордовикского водоносного комплекса,
- наблюдения за режимами напоров подземных вод и водопритоков в горные выработки,
- интерпретацию результатов режимных наблюдений для оценки фильтрационных параметров водоносных горизонтов и построения прогнозной модели фильтрации,
- прогноз режима напоров подземных вод и водопритоков в горные выработки.

В южной части месторождения водопритоки в горные выработки обусловлены водоносными горизонтами ордовикского водоносного комплекса карбонатных пород, вмещающих промпласт: набалараквереским и кейла-кукрузеским в кровле и ласнамяэ-кундаским в почве пласта. В кейла-кукрузеском водоносном горизонте выделяются кейлаский и кукрузеский подгоризонты. Границы выделенных водоносных горизонтов и подгоризонтов в основном совпадают со стратиграфическими границами одноименных геологических горизонтов. Вместе с тем гидрогеологическое строение кровли промпласта, изучавшееся расходомерным каротажем скважин при наливах и нагнетаниях на Ленинградском месторождении [1], шахте «Эстония» и промплощадке шахты «Куремяэ», свидетельствует о том, что водоносные горизонты, выделенные по стратиграфическим признакам, фактически представляют собой отдельные закарстованные водопроводящие зоны или прослои в относительно водоупорных породах. Положение прослоев в разрезе кровли пласта в районе шахты «Эсто-

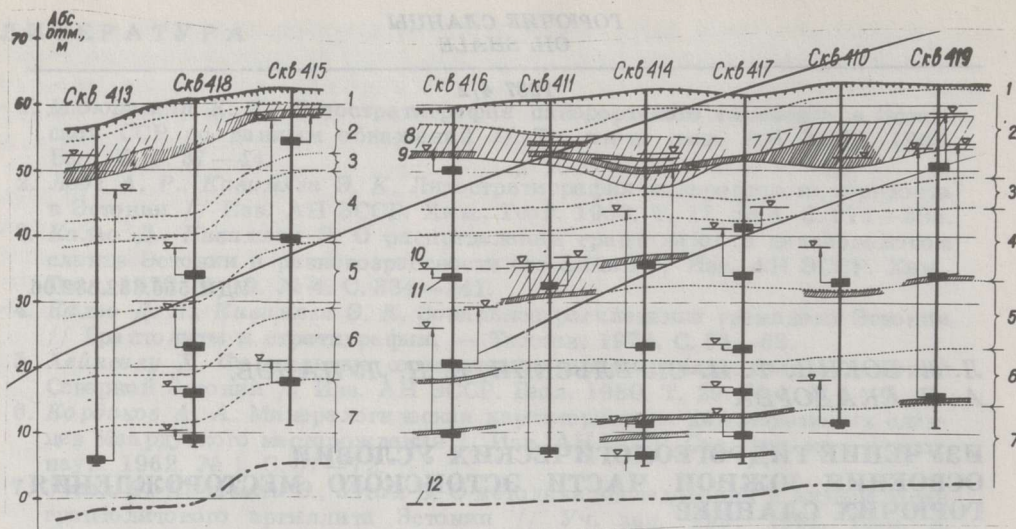


Рис. 1

Схема расположения водопроводящих прослоев в разрезе кровли пласта сланца и оборудования наблюдательных скважин. 1 — четвертичные отложения Q ; горизонты ордовикских отложений: 2 — набала-раквереский O_2nb-rk , 3 — оандуский O_2op , 4 — кейла-ский O_2kl , 5 — йхвицкий O_2jh , 6 — идаввереский O_2id , 7 — кукрузеский O_2kk ; 8 — проницаемые зоны; 9 — прослой относительно высокой проницаемости; 10 — уровень воды в межень; 11 — дистанционный струнный манометр; 12 — положение кровли горных выработок

ния» выявлено расхо до метрическим каротажем десяти опытных скважин (рис. 1), характерная расходограмма одной из скважин приведена на рис. 2. В набала-раквереском горизонте зафиксировано несколько водопроводящих прослоев, образующих закарстованную зону общей мощностью от 2 до 7 м. В кейла-кукрузеской толще мощность водопроводящих прослоев изменяется всего от 0,5 до 2 м.

Для наблюдений за напорами в водопроводящих прослоях и разделяющих их относительно водоупорных слоях в скважинах были установлены дистанционные струнные манометры. По всем скважинам отмечено снижение напоров с возрастанием глубины (рис. 1),

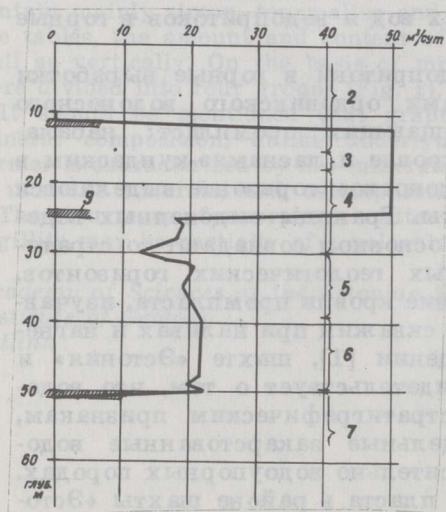


Рис. 2

Характерный график расходо-метрического каротажа (сква. 4146). Условные обозначения см. в подписи к рис. 1

что свидетельствует о вертикальной фильтрации из водопродводящей зоны набала-раквереского водоносного горизонта в водопродводящие прослойки кейлаского и кукурузеского водоносных подгоризонтов. Водопродводящие прослойки кейлаского подгоризонта встречаются в средней его части или на границе с йыхвиским горизонтом и не выдержаны в плане, а наблюдения за напорами свидетельствуют о том, что взаимосвязь между этими прослоями затруднена, в силу чего они могут рассматриваться как промежуточные емкости на пути фильтрации из набала-раквереского горизонта в кукурузеский.

Условия поступления водопритоков в шахту «Эстония» при существующей системе отработки с применением камер со столбчатыми целиками изучали также во время гидрогеологических съемок в шахте в паводковые и меженные периоды. Было установлено, что значительная часть суммарного водопритока поступает в шахту из набала-раквереского горизонта по техническим скважинам и шурфам: 20—30 % в межень и 60—80 % в паводок. Расходы отдельных скважин достигают в паводок 60—80 м³ и более, причем весной талая вода с поверхности также поступает в выработки по некоторым скважинам. В межень расходы скважин могут уменьшаться в несколько раз, так как закарстованная зона в набала-раквереском горизонте постепенно осушается в период от паводка к межени. На одних участках уровень в горизонте снижается до подошвы закарстованной зоны и обводнены лишь понижения в рельефе подошвы. На других участках закарстованная зона остается обводненной не более, чем на метр (рис. 5). Поэтому, чтобы даже частично восполнить запасы набала-раквереского горизонта и сократить водопритоки, необходимо ликвидировать старые технические скважины. Не менее важно улучшить технологию изоляции горизонта, применяя при бурении новых скважин тампонаж водопродводящей зоны твердеющими смесями.

На основе балансовых расчетов по данным гидрогеологических съемок суммарный водоприток в шахту был разделен на составляющие элементы. Так, в июле 1983 г. суммарный водоприток (2700 м³/ч) слагался из бокового водопритока* (1670 м³/ч), водопритока за счет перетекания по площади выработок через относительно водоупорные слои в кровле и подошве** (330 м³/ч) и водопритока по скважинам и шурфам (700 м³/ч). Величина бокового водопритока была использована при оценке проводимости и площадного питания кукурузеского водоносного подгоризонта (см. ниже).

Судя по результатам изучения гидрогеологического строения кровли промпласта и анализа материалов многолетних режимных наблюдений за уровнями подземных вод и водопритоками в шахту, основной схемой фильтрации к горным выработкам за пределами отработанной площади является схема с перетеканием из набала-раквереского (питающего) водоносного горизонта в кукурузеский подгоризонт через разделяющие их относительно водоупорные слои. Там, где набала-раквереский горизонт отсутствовал, в качестве питающего рассматривался кейлаский подгоризонт, а на площади Вазавереской долины — лимно-флювиогляциальный водоносный горизонт. Основные фильтрационные параметры данной расчетной схемы — водопродвижимость кукурузеского водоносного подгоризонта и параметр перетекания K_v/M_v , где K_v — средний коэффициент фильтрации по нормали к напластованию, M_v — суммарная мощность разделяющих слоев.

* Боковой водоприток поступает к внешним контурам выработок по водопродводящим прослоям в кукурузеском водоносном подгоризонте.

** Водоприток со стороны подошвы выработок из ласнамяэ-кундаского горизонта не превышает 50 м³/ч.

Как показали наблюдения за напорами в водопроводящих прослоях, вертикальную фильтрацию из набала-раквереского водоносного горизонта в кукрузеский подгоризонт на всей площади выработанного пространства можно схематизировать перетеканием только в паводковые периоды. По мере спада уровней подземных вод на отдельных участках набала-раквереский горизонт практически осушается, а остаточные напоры в кейласком подгоризонте срабатываются за счет инфильтрации по трещинам в горные выработки через полностью насыщенные йыхви-кукрузеские слои, а также различными скважинами и шурфами.

Кукрузеский водоносный подгоризонт в плане отличается значительной фильтрационной неоднородностью, поэтому для достоверной оценки его параметров по надобилась интерпретация режимных наблюдений за уровнями и водопритоками в шахту на плановой математической модели подгоризонта. Отметим, что данные опытно-фильтрационных работ в период разведки поля шахты «Эстония» практически нельзя было использовать при построении плановой модели фильтрации, так как кейла-кукрузескую толщу опробовали, в основном, суммарно и параметры взаимосвязи водоносных горизонтов и подгоризонтов не оценивали.

Величины водопродвижности кукрузеского водоносного подгоризонта и параметра перетекания предварительно оценивали численным анализом лент тока с наибольшей информацией о напорах и водопритоках по методике, приведенной в [2]. Использовали карты гидроизогипс кукрузеского водоносного подгоризонта и набала-раквереского горизонта на 27.07.1983 г. и данные по водопритокам к отдельным участкам внешнего контура выработок, выделенным при анализе гидрогеологических съемок. Фильтрационные параметры для

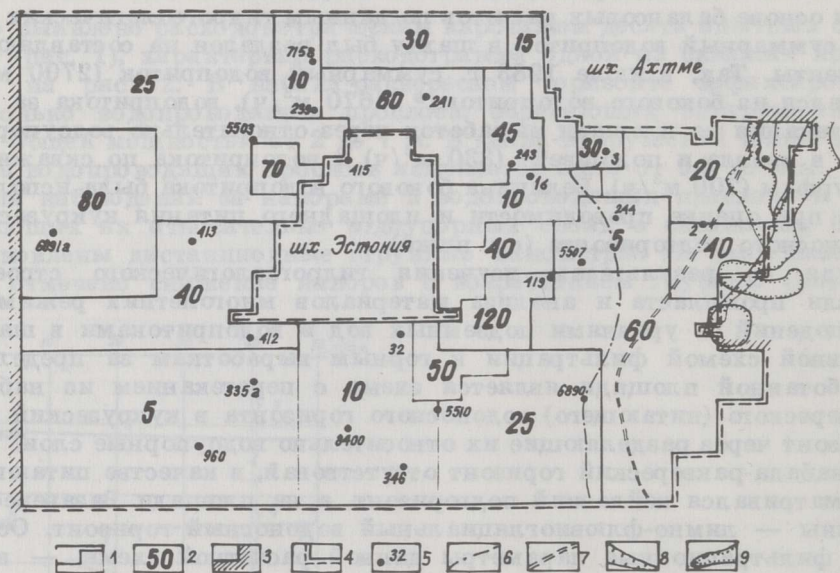


Рис. 3

Схема распределения величин проводимости кукрузеского водоносного подгоризонта по результатам моделирования. 1 — границы однородных зон; 2 — величины проводимости зон, м²/сут; границы модели: 3 — непроницаемые, 4 — с заданными напорами; 5 — наблюдательные скважины; границы выклинивания ордовикских отложений: 6 — набала-раквереских, 7 — кейла-йыхвиских, 8 — кукрузеских; 9 — участки отсутствия моренных отложений

долгосрочного прогноза режима подземных вод уточняли на плановой модели области фильтрации в процессе решения обратной задачи.

Модель охватывала область размером $23,8 \times 14 \text{ км}^2$, значительно превышающую площадь наблюдаемой сейчас шахтной депрессии в кукрузеском водоносном подгоризонте, в пределах которой предварительно оценивались фильтрационные параметры. Область была разделена на 690 элементарных кусочно-однородных прямоугольных блоков размерами от $0,7 \times 0,75 \text{ км}^2$ до $1,4 \times 1,5 \text{ км}^2$. Условия на внешних границах модели были заданы в соответствии с картой гидроизогипс кукрузеского водоносного подгоризонта. По контуру выклинивания подгоризонта в районе Вазавереской долины было принято условие прямой связи подгоризонта с водами флювиогляциальных отложений долины, основанное на данных разведки об отсутствии относительно водоупорной морены на значительной площади участка (рис. 3). Границы дренажа подгоризонта проводили по контурам восстающих дренажных скважин на шахтах «Эстония» и «Ахтме», где задавались величины остаточных напоров.

Обратную задачу решали в стационарной постановке, с использованием программы для численного моделирования фильтрации в неоднородной области в конечных разностях. Параметры проводимости и перетекания за пределами горных выработок подбирали по данным периода летней межени (конец июля 1983 г.), когда происходит медленное снижение уровней и режим фильтрации близок к установившемуся, параметры перетекания на площади выработанного пространства — по данным наблюдений в период весеннего паводка 1984 г., когда вертикальная фильтрация может надежно схематизироваться перетеканием (см. выше).

Решение обратной задачи сводилось к решению ряда прямых задач с последовательной коррекцией исходных значений фильтрационных параметров на каждом приближении [2, 3]. Качество модели — способность воспроизводить фактическую картину фильтрации — оценивали на каждом этапе решения по степени согласованности исходных напоров и водопритоков в натуре и на модели. Обобщенное сопоставление натуральных и модельных данных проводили по двум калибрационным критериям следующего вида [4]:

$$f_k^H = \sum_1^n [H_i - H_i^m], \quad (1)$$

$$f_k^Q = \sum_1^n [Q_i - Q_i^m], \quad (2)$$

где H_i — значение напора в i -й опорной точке (наблюдательной скважине) в натуре, H_i^m — на модели; Q_i — величина водопритоков к выделенному участку контура дренажа в натуре, Q_i^m — на модели.

При подборе допустимые отклонения по напорам определялись точностью моделирования и в основном не превышали 1% (0,65 м) от максимального перепада напоров. Допустимые отклонения по водопритокам определялись точностью их измерений в натуре, составляющей обычно 10—15%. Величины отклонений напоров в опорных точках модели от натуральных, после окончательного подбора фильтрационных параметров по всей рассматриваемой области, приведены в табл. 1. Наибольшие отклонения (всего 1,5—2%) получены в точках модели, соответствующих скважинам 419, 5507 и 3 (рис. 3), и объясняются крупным шагом сетки модели.

Отклонения по водопритокам к отдельным участкам дренажного контура на модели и в натуре изменялись от 1 до 12%, но отклонение суммарного бокового водопритока составило всего 2% ($1670 \text{ м}^3/\text{ч}$ в натуре, $1635 \text{ м}^3/\text{ч}$ на модели). Качество модели проверялось и по степени ее соответствия натуре в пик весеннего паводка в апреле 1984 г.

Отклонения модельных напоров от натуральных
в межень и паводок, м

Скважина	Отклонения напоров		Скважина	Отклонения напоров	
	в межень	в паводок		в межень	в паводок
239	+0,30	+0,20	241	+0,25	+0,4
7158	-0,04	—	243	-0,6	-0,6
5503	+0,12	+0,96	16	10,4	0,0
413	+0,04	+1,4	419	+1,3	—
6091а	+0,57	-0,38	5507	-1,0	0,0
412	+0,08	+1,2	3	+1,4	—
335а	-0,5	+0,04	2	+0,75	—
960	+0,06	+0,67	244	-0,1	-0,5
8400	+0,1	—	6890	+0,6	-0,2
346	+0,16	+0,5	5510	-0,5	+0,5
32	+0,5	—	7313	+0,1	—
			1	+0,4	—

(табл. 1). На паводковой модели были подобраны параметры перетекания по площади выработок, свидетельствующие о том, что проницаемость разделяющей толщи в условиях камерной системы отработки практически не изменяется по сравнению с естественной проницаемостью.

В результате подбора наибольшие значения водопроводимости получены для участка, прилегающего к 9-й панели шахты «Эстония» ($120 \text{ м}^2/\text{сут}$), и на западе области ($80 \text{ м}^2/\text{сут}$). Область с водопроводимостями 5 и $10 \text{ м}^2/\text{сут}$ находится в южной части и в районе водораздела между шахтой «Эстония» и Вазавереской долиной. На остальной территории величины водопроводимости изменяются от 20 до $60 \text{ м}^2/\text{сут}$ (рис. 3). Наибольшие значения параметра перетекания k_p/m_p получены в юго-восточной части области — в районе Вазавереской долины (10^{-4} сут^{-1}), на участке Вийвиконнаского нарушения ($7 \cdot 10^{-5} \text{ сут}^{-1}$) и к востоку от 9-й панели ($6 \cdot 10^{-5} \text{ сут}^{-1}$). Наимень-

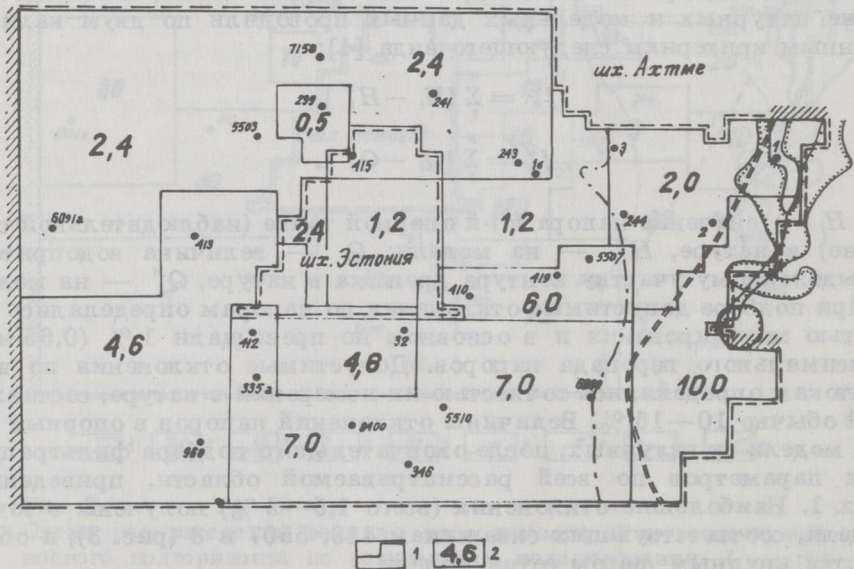


Рис. 4

Схема распределения величин питания кукурзеского водоносного подгоризонта. 1 — границы однородных зон, 2 — величины перетекания, 10^{-5} сут^{-1} . Остальные обозначения см. в подписи к рис. 3

шие значения параметра ($0,5 \cdot 10^{-5} \text{ сут}^{-1}$) получены для северо-западного участка 2-й панели. На остальной территории значения этого параметра изменяются от $1,2 \cdot 10^{-5}$ до $4,6 \cdot 10^{-5} \text{ сут}^{-1}$ (рис. 4).

Фильтрационные параметры для областей, расположенных на внешних краях и за пределами современных депрессий вокруг шахт «Эстония» и «Ахтме», необходимо уточнять по мере развития горных работ. Модель кукрузеского водоносного подгоризонта для этих участков мало чувствительна [4], поэтому определить для них достоверные фильтрационные параметры пока практически невозможно*.

Прогноз снижения среднегодовых напоров в кукрузеском водоносном подгоризонте и изменения среднегодовых и паводковых водопритоков в горные выработки (бокового и за счет перетекания по площади через кровлю выработок) сделан по модели, основа которой создана в результате решения обратной задачи плановой фильтрации.

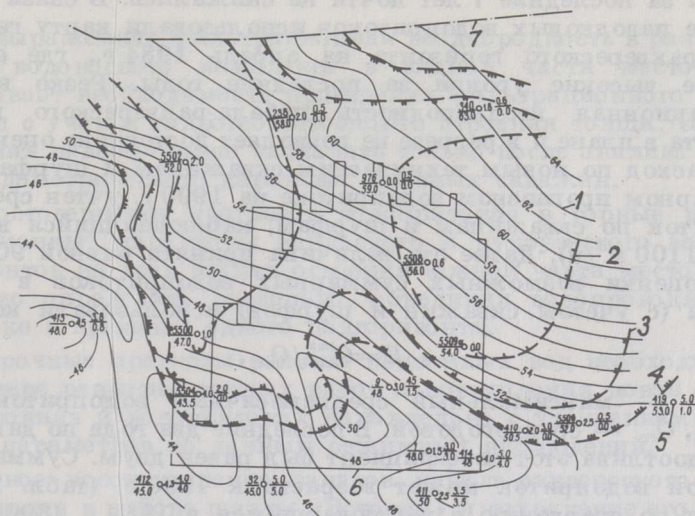


Рис. 5

Прогнозное положение осушенных участков закарстованной зоны в набала-раквереском водоносном горизонте. 1 — изолинии подошвы закарстованной зоны; границы осушенных участков: 2 — на 1990 г., 3 — на 1995 г., 4 — на 2000 г.; 5 — наблюдательная скважина: слева вверху — номер скважины, внизу — абсолютная отметка подошвы закарстованной зоны, справа — мощность обводненной зоны в межень (июль—август 1983 г.): вверху — среднегодовая мощность обводненной зоны на 1990 г., внизу — на 2000 г.; 6 — границы горных выработок; 7 — контур выклинивания набала-раквереских отложений

Для учета перетекания при прогнозе среднегодовых водопритоков использовали карты гидроизогипс набала-раквереского водоносного горизонта на 1990, 1995 и 2000 гг. Среднегодовые уровни набала-раквереского горизонта прогнозировали в соответствии со скоростью их снижения за последние 8—10 лет, изменяющейся от 0,2 (скв. 976) до 0,68 м/год (скв. 5500). При этом предполагалось, что на площади южнее магистральных штреков среднегодовые уровни останутся неизменными во времени (рис. 5), так как они не снижаются из-за постоянной подпитки горизонта из водоотводных канав и отстойни-

* При идентификации кукрузеского водоносного подгоризонта по данным режима наблюдений на внешних краях шахтных депрессий значительные изменения параметров вызвали малые отклонения напоров (в пределах точности моделирования).

ков. На основе прогнозных карт гидроизогипс набала-раквереского водоносного горизонта и схематической карты изолиний подошвы закарстованной зоны в горизонте, построенной по данным расходомерического каротажа опытных скважин, сделан прогноз осушения этой зоны для тех периодов, в которые уровни в набала-раквереском горизонте будут соответствовать прогнозным среднегодовым (рис. 5). Таким образом, если в ближайшие годы сохранится существующий режим дренирования горизонта техническими скважинами и шурфами, а новые шурфы будут проходиться под защитой водопонижения, то уже с 1990 г. на значительной площади выработок набала-раквереский водоносный горизонт может оказаться практически сухим в период между паводками, а с 2000 г. обводненность закарстованной зоны на площади выработок может сохраниться только в юго-западной части и в районе магистральных штреков.

Анализ режимных наблюдений показал, что уровни в паводковые периоды за последние 7 лет почти не снижались. В связи с этим при прогнозе паводковых водопритоков использовали карту гидроизогипс набала-раквереского горизонта на апрель 1984 г., где отображены наиболее высокие уровни за последние годы. Резко выраженная фильтрационная неоднородность набала-раквереского водоносного горизонта в плане и в разрезе не позволяет достоверно оценить ожидаемый расход по новым техническим скважинам и шурфам. Поэтому в суммарном прогнозном водопритоке на 1990 г. учтен среднегодовой водоприток по скважинам и шурфам, наблюдающийся в настоящее время (1100 м³/ч). Далее эта величина принята равной 900 м³/ч.

Для оценки возможных суммарных водопритоков в паводковые периоды (с учетом скважин и шурфов) использовали коэффициент

$$K = Q_{\text{см}}^{\text{max}} / Q_{\text{ср}},$$

где $Q_{\text{см}}^{\text{max}}$ — максимальный среднемесячный водоприток в период паводка, $Q_{\text{ср}}$ — среднегодовой. В последние два года по данным шахтного водоотлива этот коэффициент был равен двум. Суммарный среднегодовой водоприток может возрасти к 1990 г. (табл. 2) всего на 600 м³/ч по сравнению с наблюдавшимся в 1984 г. (3900 м³/ч), а в дальнейшем может даже уменьшиться из-за усиления взаимного дренажного влияния шахт «Эстония» и «Ахтме», а также вследствие осушения закарстованной зоны в набала-раквереском горизонте в межпаводковые периоды. Паводковые водопритоки за счет перетекания через кровлю будут возрастать по мере расширения площади отработанного пространства. Если существующая интенсивность дренирова-

Таблица 2

**Прогноз водопритоков в шахту «Эстония»
из кукурзеского водоносного подгоризонта (боковой)
и набала-раквереского горизонта**

Характер водопритоков	Прогнозные водопритоки, м ³ /ч		
	1990 г.	1995 г.	2000 г.
Среднегодовые			
Боковой	2200	2300	2200
За счет перетекания через кровлю	1200	1150	1050
Суммарный (с учетом скважин и шурфов)	4500	4350	4150
Паводковые			
Боковой	2350	2400	2300
За счет перетекания через кровлю	1800	2450	2850
Суммарный (с учетом скважин и шурфов)	9000	8700	8300

ния на бала-ракверского горизонта сохранится, то водоприитоки через шурфы и скважины в паводок могут достигнуть $5000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

В соответствии с прогнозом режима напоров кукурузского водоносного подгоризонта скорость распространения депрессионной воронки зависит от фильтрационных параметров. В западной части поля воронка к 2000 г. распространится на 5—8 км за дренажный контур. Водораздел между шахтами «Эстония», «Ахтме» и Вазавереской долиной в восточной части поля к этому периоду еще не сработается полностью. Это объясняется малой водопроницаемостью кукурузского водоносного подгоризонта в районе водораздела и более интенсивным его питанием в юго-восточной части области по сравнению с западной (рис. 3).

Выводы

1. Резко выраженная фильтрационная неоднородность в разрезе ордовикского водоносного комплекса в южной части месторождения обуславливает необходимость проведения фильтрационного опробования пород с учетом гидрогеологического строения толщи. Интервалы опробования целесообразно назначать только после анализа результатов расходомерического каротажа опытных скважин.
2. Для достоверности прогнозов водоприитоков в горные выработки фильтрационные параметры кейлаского и кукурузского водоносных подгоризонтов на всех этапах освоения южной части месторождения необходимо определять раздельно, объединяя водопроницающие прослойки только в пределах одного подгоризонта.
3. Долгосрочные прогнозы режима подземных вод необходимо уточнять по мере развития горных работ и поступления новой информации об уровнях и водоприитоках параллельно с уточнением фильтрационных параметров по данным режимных наблюдений.
4. Частичное восстановление запасов на бала-ракверского водоносного горизонта в районе шахты «Эстония» и сохранение его на участках новых шахт возможно, если при проходке стволов различного назначения практикуемое водопонижение заменить тампонажем водопроницающих прослоев твердеющими смесями. Решению этой проблемы будет способствовать такой же тампонаж и при бурении технических скважин.

1. Стрельский Ф. П., Бокий Л. Л., Прохоров А. Д. Гидрогеологические условия выемки горючих сланцев лавами с обрушением кровли // Уголь. 1983. № 8. С. 61—63.
2. Норватов Ю. А., Бокий Л. Л., Стрельский Ф. П. Анализ гидрогеологических условий Ленинградского месторождения и прогноз водопритоков в горные выработки // Методы и критерии промышленной оценки минерально-сырьевой базы сланцедобывающих предприятий. — Л., 1984. С. 85—86.
3. Бокий Л. Л., Стрельский Ф. П. К вопросу о решении обратных задач фильтрации // Геологические и геофизические исследования на угольных месторождениях. — Л., 1980. С. 21—26.
4. Гавич И. К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. — М., 1980.

Представил Э. Г. Кальевеэ

Всесоюзный научно-исследовательский
институт горной геомеханики
и маркшейдерского дела
г. Ленинград
Шахта «Эстония»
г. Кохтла-Ярве

Поступила в редакцию
10.12.1986

L. L. BOKII, F. P. STRELSKII, E. N. LUPANOV,
A. I. SKARDOVA

INVESTIGATION OF HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF OIL-SHALE MINING IN THE SOUTHERN PART OF THE ESTONIAN FIELD

The paper considers conditions of formation of water inflow into the mine workings of the ESTONIA pit. Using flowmetric logging of test holes it was established that water-bearing horizons in the roof of the shale seam can be regarded as water-conducting interlayers or low-volume zones in water-resisting rocks interconnected by overflow. The hydrogeological survey showed that water flows into the mine through operating holes and shafts, ranging from 25 to 30 % during low water and from 40 to 80 % during high water.

The principles of constructing a mathematical model for the Kukruse water-bearing subhorizon have been presented. The distribution of water-conductivity values of the subhorizon and parameters of overflow have been given. The results of forecasting water inflow into mine workings and depletion of the Kabala-Rakvere horizon in the mined-out area have been reported.

All-Union Research Institute
of Mining Mechanical Engineering and Mine Surveying
Leningrad

ESTONIA Pit
Kohhtla-Järve