

О. А. ГРЕБЕНЩИКОВА, Н. И. ДОМАНОВА,
Ю. А. НОРВАТОВ

ТЕХНОГЕННЫЙ РЕЖИМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СТРАТИФИЦИРОВАННОМ ОСАДОЧНОМ КОМПЛЕКСЕ НА ЭСТОНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Промышленный пласт Эстонского месторождения горючих сланцев имеет мощность 2,6—3,4 м и приурочен к кукрузескому горизонту ордовикского карбонатного комплекса. Глубина залегания промпласта на участках добычи открытым способом составляет 5—30, подземным — 10—65 м, а с погружением в южном направлении (2—4 м на 1 км) достигает 100—120 м.

Для стратифицированного комплекса карбонатных осадочных пород характерно чередование известняков и доломитов с их глинистыми разностями вплоть до мергелей. На фоне закономерного затухания с глубиной трещиноватости карбонатных пород наблюдаются аномальные зоны повышенной ее интенсивности, обусловленной тектоническими, карстовыми и эрозионными процессами. Четвертичные отложения представлены преимущественно ледниковыми песчано-глинистыми отложениями и болотными торфами; мощность их составляет 3—5 м и лишь в краевых ледниковых образованиях и погребенных долинах достигает нескольких десятков метров.

Месторождение приурочено к северным склонам Прибалтийского артезианского бассейна. Гидрогеологические условия его эксплуатации определяются ордовикским водоносным комплексом, естественные ресурсы которого весьма значительны. Водопритоки в горные выработки (шахты и разрезы) формируются за счет набала-раквереского, кейла-кукрузеского и ласнамяэ-кундаского водоносных горизонтов, представленных относительно проницаемыми пластами; образующими отдельные подгоризонты, разделенные слабопроницаемыми слоями.

Фильтрационные свойства водоносных пластов определяются степенью трещиноватости карбонатных пород, коэффициенты фильтрации которых изменяются в широких пределах (от 0,1 до 700 м/сут). Четвертичные отложения представляют собой самостоятельные водоносные горизонты только в пределах крупных болотных массивов и древних эрозионных врезов; на большей части месторождения их роль сводится к регулированию питания подземных вод.

Как естественный, так и нарушенный (техногенный) режимы ордовикского водоносного комплекса характеризуются в большей или меньшей степени выраженной связью подземных вод с атмосферными осадками. В условиях нарушенного режима эта связь активизируется и проявляется в различных формах, зависящих от геологического строения и структуры водоносного комплекса, техногенной трещиноватости пород в кровле горных выработок, деформаций земной поверхности по площади очистных горных работ. По балансовым расчетам, общий объем инфильтрации атмосферных осадков в условиях техногенного режима достигает 300—350 мм/год, что примерно в два раза больше соответствующего показателя для естественного режима подземных вод [1].

По условиям формирования водопритоков к подземным горным выработкам территорию месторождения можно разделить на три участка — северный, центральный и южный. В пределах северного и центрального участков максимальная глубина залегания промпласта ограничена 45 м, поэтому кровля подземных горных выработок представлена одним — кейла-кукрузеским — водоносным горизонтом. Граница между этими участками соответствует глубине залегания промпласта, примерно равной 25 м. На площади северного участка водоносные карбонатные породы характеризуются высокой степенью трещиноватости и относительной однородностью по проницаемости в разрезе. Здесь наблюдается наиболее интенсивная инфильтрация атмосферных осадков, и в меженные периоды, в условиях ограниченного питания подземных вод, породы кровли выработок оказываются практически сдrenированными.

На площади центрального участка условия питания и разгрузки подземных вод осложнены вертикальной фильтрационной неоднородностью карбонатного комплекса. В кровле выработок можно выделить два водоносных пласта (подгоризонта), разделенных прослоями метабентонита, — кейла-йыхвиский и идавере-кукрузеский. Относительно «водоупорные» прослои отмечаются и в пределах выделенных подгоризонтов. Профильная фильтрационная неоднородность предопределяет наличие остаточных напоров в дренируемых подгоризонтах; величина этих напоров составляет для нижнего подгоризонта 3—25 м над кровлей промпласта. Перепад напоров между подгоризонтами достигает 15—30 м.

На площади южного участка, кроме кейла-кукрузеского горизонта, развит вышележащий набала-раквереский. Ордовикский комплекс характеризуется здесь явно выраженной фильтрационной неоднородностью, наличием нескольких слабопроницаемых слоев и пачек слоев в кровле горных выработок.

Особой сложностью отличаются условия формирования водопритоков в шахты, расположенные в пределах центрального участка. Их целесообразно детально проанализировать на примере техногенного режима подземных вод на площади поля шахты «Виру». На этой шахте применяется камерная технология очистных работ с управлением кровлей столбчатыми целиками. Отработанная очистная площадь достигает 9 млн. м². Промпласт залегает на глубине 35—50 м. Поверхность шахтного поля характеризуется развитием болотных отложений; на болоте Калина расположено одноименное озеро площадью около 4 га. В подошве болотных отложений залегают ледниковые глинистые образования. Водопритоки в выработки формируются за счет кейла-кукрузеского горизонта, представленного кейла-йыхвиским (верхним) и идавере-кукрузеским (нижним) подгоризонтами (рис. 1). Среднегодовые водопритоки в зависимости от водности года составляют 990—1750 м³/ч при сезонном коэффициенте неравномерности 2,5—4.

На рассматриваемом шахтном поле по площади горных работ наблюдается определенная закономерность: существенные (до 8—10 м) сезонные колебания уровней идавере-кукрузеского подгоризонта фиксируются на фоне сравнительно небольших (до 2 м) колебаний уровней вышележащего подгоризонта. Такая закономерность может быть объяснена лишь инфильтрационным режимом питания нижнего подгоризонта; этот режим формируется в период от половодья до межени с возрастающим отрывом уровней идавере-кукрузеского подгоризонта от подошвы перекрывающего его относительного «водоупора». Существенные различия амплитуд уровней верхнего и нижнего подгоризонтов свидетельствуют о снижении гравитационной водоотдачи кар-

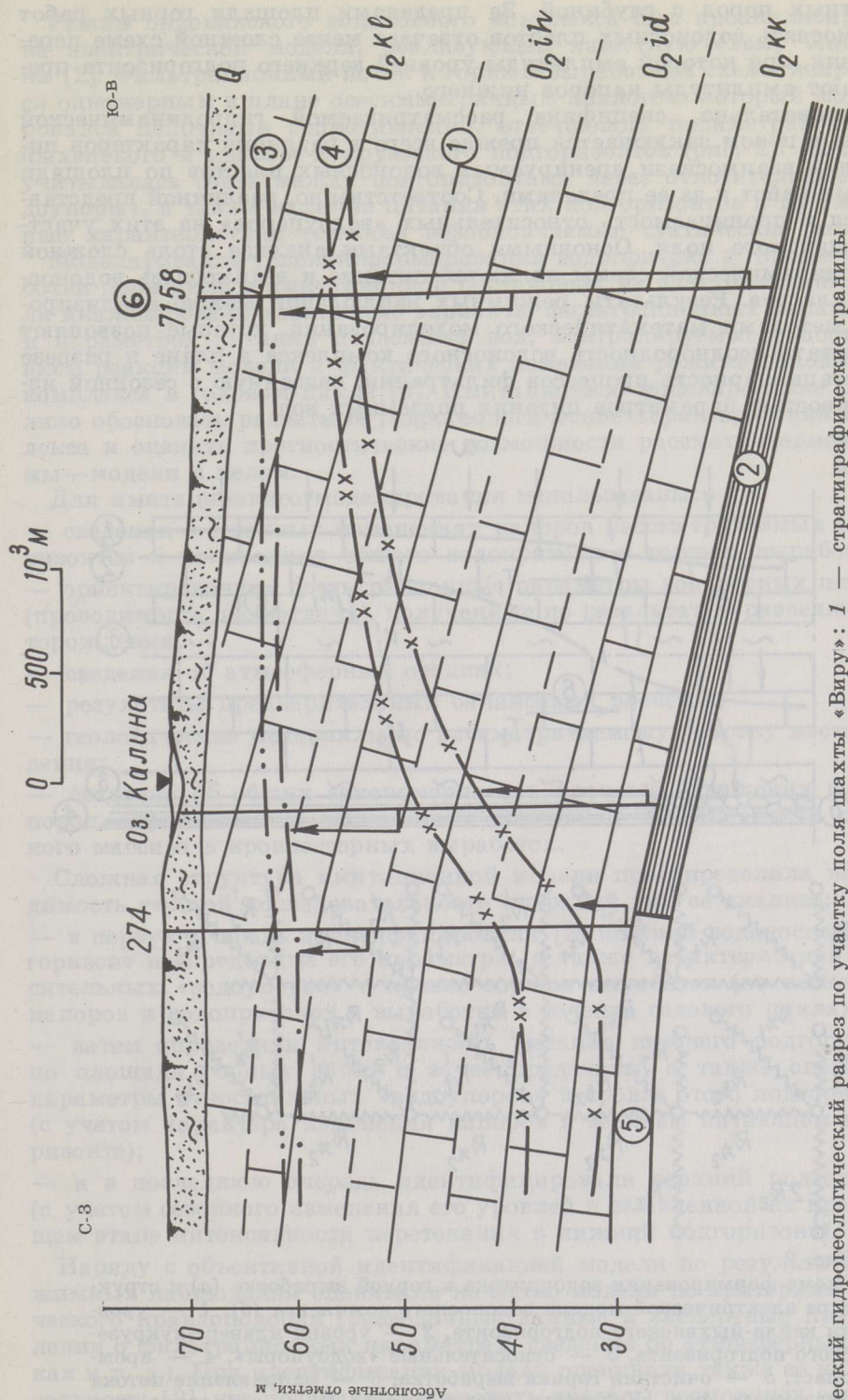


Рис. 1
 Схематический гидрогеологический разрез по участку поля шахты «Виру»: 1 — стратиграфические границы ордовикских отложений, 2 — промпласт, 3 — межвенные и паводковые уровни кейла-йыхвиского водоносного подгоризонта, 4 — то же идавере-курузеского подгоризонта, 5 — горная выработка, 6 — гидрогеологическая скважина, ее номер

бонатных пород с глубиной. За пределами площади горных работ взаимосвязь водоносных пластов отвечает менее сложной схеме перетекания, при которой амплитуды уровней верхнего подгоризонта превышают амплитуды напоров нижнего.

Следовательно, специфика рассматриваемой гидродинамической схемы в целом заключается прежде всего в различии характеров питания и взаимосвязи дренируемых водоносных пластов по площади горных работ и за ее пределами. Соответственно, различной представляется и проницаемость относительных «водоупоров» на этих участках шахтного поля. Основными объектами анализа столь сложной гидродинамической схемы являются питание и взаимосвязь водоносных пластов. Результаты режимных наблюдений можно анализировать методами математического моделирования, которые позволяют учитывать неоднородность водоносного комплекса в плане и разрезе и нестационарность процессов фильтрации, связанную с сезонной изменчивостью параметров питания подземных вод.

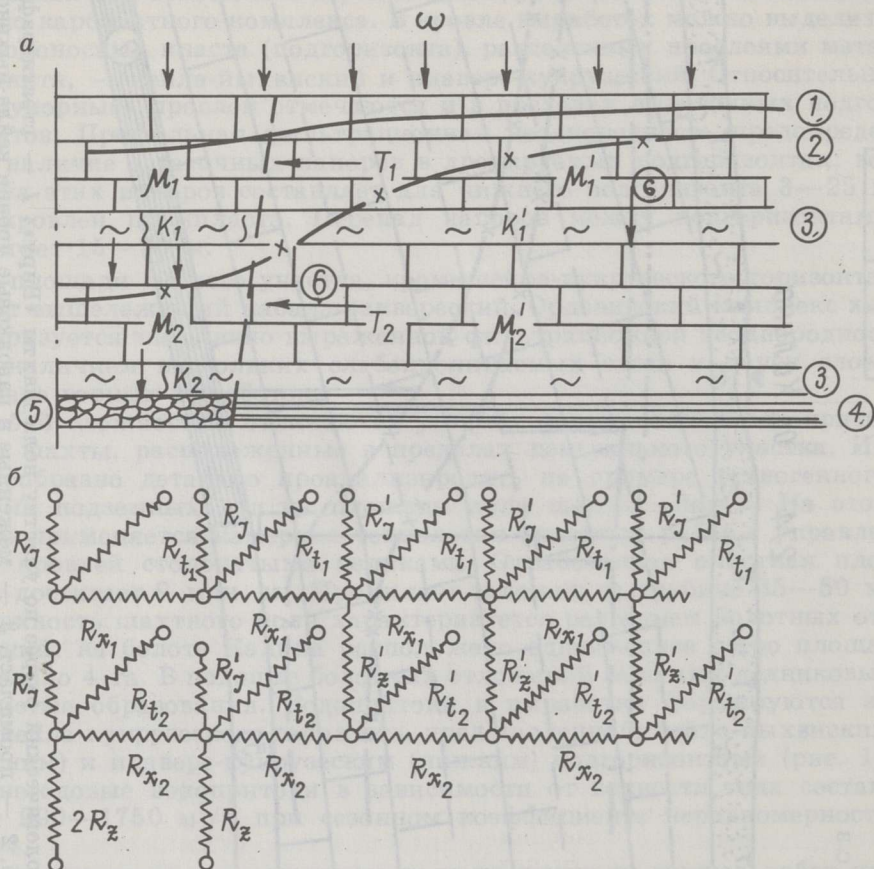


Рис. 2

Схема формирования водопритока к горной выработке (а) и структура электрической модели водоносного комплекса (б): 1 — уровни кейла-йхвиского подгоризонта, 2 — уровни идавере-кукрузского подгоризонта, 3 — относительные «водоупоры», 4 — промпласт, 5 — очистная горная выработка, 6 — направление потока подземных вод. Условные обозначения: R_x — сопротивления, соответствующие проводимости водоносных пластов, R_t — временные сопротивления, R_z — сопротивления, соответствующие характеристикам «водоупоров», R_l — сопротивления, имитирующие инфильтрационное питание горизонтов

Режим ордовикского водоносного комплекса был проанализирован на электрической модели, реализующей известную схему Либманна [2]. Фильтрационный поток к горным выработкам схематизировался одномерным в плане осесимметричным аналогом, который моделировался цепочками сопротивлений, отвечающих параметрам кейлайхвиского и идавере-кукрузеского подгоризонтов (рис. 2). Моделью учитывалась связь между подгоризонтами через относительные «водоупоры», а также наличие питания этих подгоризонтов и их емкостные характеристики (сезонно возобновляемые статические запасы).

Моделирование условий формирования водопритока в горные выработки проводили в имитационной постановке: на электрической модели анализировали возможные варианты фильтрационных параметров и параметров питания подземных вод, контролируемые сопоставлением реакции модели и фактических изменений режима водоносного комплекса в годовом цикле [3]. Имитационное моделирование позволило обосновать расчетные гидрогеологические характеристики комплекса и оценить прогностические возможности рассматриваемой схемы — модели в целом.

Для имитационного моделирования использованы:

- сведения о сезонных изменениях напоров рассматриваемых подгоризонтов и изменениях общего водопритока к горным выработкам;
- ориентировочные фильтрационные параметры водоносных пластов (проводимость, водоотдача), полученные по результатам разведки месторождения;
- сведения об атмосферных осадках;
- результаты предварительных балансовых расчетов;
- геологические материалы по рассматриваемому участку месторождения;
- сведения об общих закономерностях процесса сдвижения горных пород, определяющих техногенные изменения проницаемости породного массива в кровле горных выработок.

Сложная структура имитационной модели предопределила необходимость строгой последовательности операций при ее анализе:

- в первую очередь идентифицировали [2] нижний водоносный подгоризонт и определяли его параметры, а также характеристики относительных «водоупоров» в кровле горных выработок (по изменению напоров и водопритоков в выработки в течение годового цикла);
- затем определяли интенсивность питания нижнего подгоризонта по площади горных работ и за ее пределами, а также оценивали параметры относительных «водоупоров» в кровле этого подгоризонта (с учетом характера изменения напоров в верхнем питающем подгоризонте);
- и в последнюю очередь идентифицировали верхний подгоризонт (с учетом сезонного изменения его уровней и выявленной на предыдущем этапе интенсивности перетекания в нижний подгоризонт).

Наряду с объективной идентификацией модели по результатам режимных наблюдений оценивали качество модели по критериям физического правдоподобия (разведочные данные и экспертные представления о фильтрационных параметрах, сведения об атмосферных осадках и т. д.). При идентификации модели оценивали также ее чувствительность [2], что позволяло установить пределы возможных отклонений от полученных величин фильтрационных параметров (рис. 3, 4), обусловленных погрешностями исходных данных и недостаточной точностью моделирования [4].

Анализируя модель, реакция которой оптимально соответствует ре-

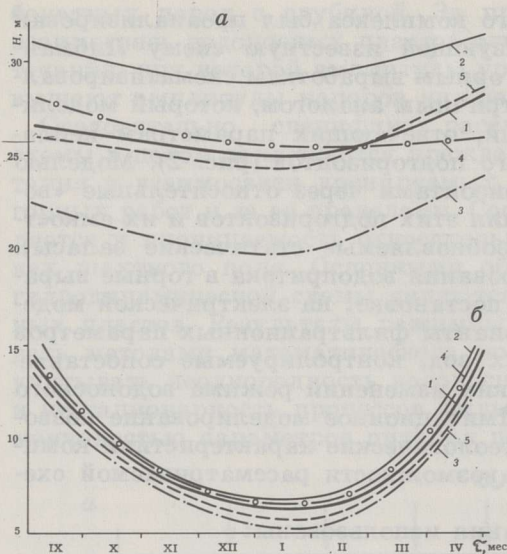


Рис. 3

Хронологические графики напоров над кровлей промпласта *H* в расчетных точках модели идавере-кукрузского водоносного подгоризонта, соответствующие изменению его параметров — проводимости T_2 и водоотдачи μ_2 (*a* — расстояние от контура горной выработки до расчетной точки модели 4000 м, *б* — 100 м): 1 — $T_2=25$ м²/сут, $\mu_2=2 \cdot 10^{-4}$ (параметры, отвечающие оптимальному соответствию модельных и фактических напоров); 2 — $T_2=12$ м²/сут, $\mu_2=2 \cdot 10^{-4}$; 3 — $T_2=50$ м²/сут, $\mu_2=2 \cdot 10^{-4}$; 4 — $T_2=25$ м²/сут, $\mu_2=4 \cdot 10^{-4}$; 5 — $T_2=25$ м²/сут, $\mu_2=7,5 \cdot 10^{-5}$

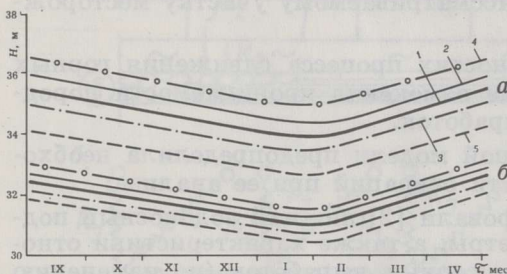


Рис. 4

Хронологические графики напоров над кровлей промпласта *H* в расчетных точках модели кейла-йыхвиского водоносного подгоризонта, соответствующие изменению параметров проводимости T_1 и водоотдачи μ_1 (*a* — расстояние от контура горной выработки до расчетной точки модели 4000 м, *б* — 100 м): 1 — $T_1=50$ м²/сут, $\mu_1=2 \cdot 10^{-2}$ (параметры, отвечающие оптимальному соответствию модельных и фактических величин напоров); 2 — $T_1=100$ м²/сут, $\mu_1=2 \cdot 10^{-2}$; 3 — $T_1=25$ м²/сут, $\mu_1=2 \cdot 10^{-2}$; 4 — $T_1=50$ м²/сут, $\mu_1=4 \cdot 10^{-2}$; 5 — $T_1=50$ м²/сут, $\mu_1=5 \cdot 10^{-3}$

результатам режимных наблюдений и параметры которой отвечают критериям физического правдоподобия, получили следующие характеристики изучаемого водоносного комплекса в пределах поля шахты «Виру»:

— проводимость идавере-кукрузского подгоризонта T_2 25 м²/сут, водоотдача $\mu_2=\mu_2' 2 \cdot 10^{-4}$, гравитационная водоотдача $\mu_2 1 \cdot 10^{-2}$ (по начальному периоду подъема уровней);

— коэффициент фильтрации относительного «водоупора» в кровле горных выработок $k_2 1 \cdot 10^{-3}$ м/сут (при условной мощности водоупора $m_0=4$ м, соответствующей минимальному напору в кейла-кукрузском подгоризонте);

— коэффициент фильтрации относительного «водоупора», разделяющего идавере-кукрузский и кейла-йыхвиский подгоризонты, k_1 в пределах площади горных работ составляет $2 \cdot 10^{-3}$ м/сут, а за ее пределами — $5 \cdot 10^{-6}$ м/сут (при условной мощности «водоупора» $m_0=0,5$ м);

— проводимость кейла-йыхвиского подгоризонта $T_1 50$ м²/сут, водоотдача $\mu_1=\mu_1' 2 \cdot 10^{-2}$;

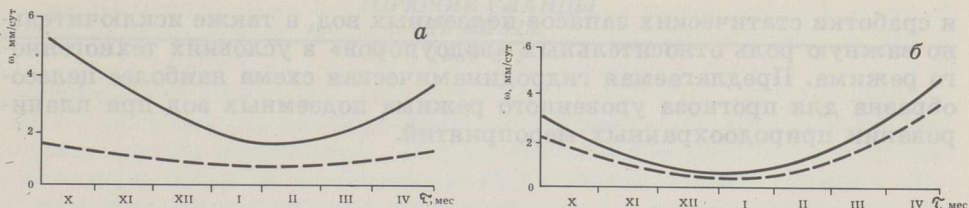


Рис. 5

Параметры питания кейла-йыхвиского (а) и идавере-кукрузеского (б) подгоризонтов по площади очистных горных работ (сплошная линия) и за ее пределами (штриховая линия)

— интенсивность питания идавере-кукрузеского и кейла-йыхвиского подгоризонтов по площади горных работ изменяется в годовом цикле (рис. 5) и равняется соответственно 0,5—2 и 2—6 мм/сут.

Моделирование позволило установить балансовые составляющие водопритока в горные выработки (рис. 6) и, в частности, определить, что поступление воды по техническим скважинам составляет 40—50% общешахтного водопритока.

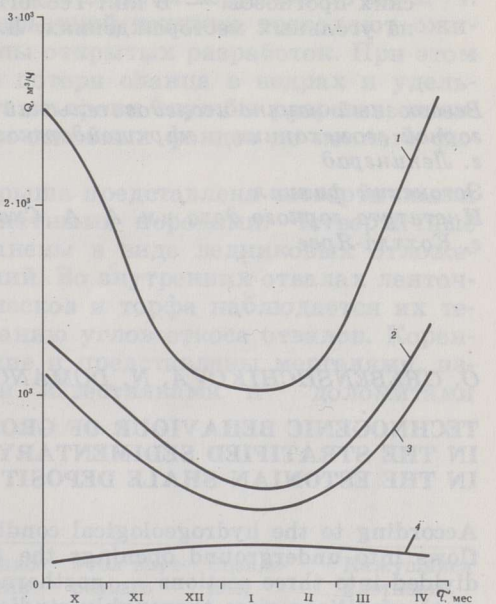


Рис. 6

Сезонные изменения баланса водопритоков по шахте «Виру»: 1 — общешахтный водоприток, 2 — водопритоки за счет перетекания из идавере-кукрузеского подгоризонта через относительный «водоупор», 3 — водопритоки по техническим скважинам, 4 — водопритоки по периметру горных выработок

Следует отметить, что по результатам разведочных работ проводимость каждого из подгоризонтов оценивалась величиной порядка $100 \text{ м}^2/\text{сут}$ при коэффициенте пьезопроводности комплекса порядка $10^3 \text{ м}^2/\text{сут}$. Заметное расхождение разведочных данных и результатов анализа режимных наблюдений можно объяснить тем, что обработка данных опытных откачек стандартными методами в условиях существенного проявления перетекания, как правило, приводит к завышению истинных значений проводимости.

Таким образом, анализ результатов режимных наблюдений, выполненный с применением математического моделирования, позволил конкретизировать представления о формировании водопритоков в горные выработки, оценить изменения проницаемости массива горных пород в кровле очистных выработок, выявить характер восполнения

и сработки статических запасов подземных вод, а также исключительную важную роль относительных «водоупоров» в условиях техногенного режима. Предлагаемая гидродинамическая схема наиболее целесообразна для прогноза уровня режима подземных вод при планировании природоохранных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Грейсер Е. Л., Завелийский С. В., Колесов Г. П., Попов О. В.* Условия стока карстовых вод Ижорского плато и возможность их электромоделирования. — Тр. Гос. гидрол. ин-та, 1982, № 286.
2. *Гавич И. К.* Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. — М., 1980.
3. *Норватов Ю. А.* Принципы решения обратных гидрогеологических задач при изучении условий осушения полей шахт и разрезов. — В кн.: Геофизические и геологические исследования угольных пластов и вмещающих пород. Л., 1981, с. 46—50. (Тр. / ВНИМИ).
4. *Норватов Ю. А.* Методика определения погрешностей гидрогеологических прогнозов. — В кн.: Геологические и геофизические исследования на угольных месторождениях. Л., 1980, с. 15—20. (Тр. / ВНИМИ).

Представил Э. Г. Кальювез

*Всесоюзный научно-исследовательский институт
горной геомеханики и маркшейдерского дела
г. Ленинград*

*Поступила в редакцию
21. 11. 1984*

*Эстонский филиал
Института горного дела им. А. А. Скочинского
г. Кохтла-Ярве*

O. GREBENSHCHIKOVA, N. DOMANOVA, Yu. NORVATOV

TECHNOGENIC BEHAVIOUR OF GROUND WATERS IN THE STRATIFIED SEDIMENTARY COMPLEX IN THE ESTONIAN SHALE DEPOSIT

According to the hydrogeological conditions of formation of ground water inflows into underground openings the territory of the shale deposit has been divided into three sections — northern, central and southern. The hydrogeological conditions were thoroughly studied in the central section on the example of the mine «Viru». A complex hydrodynamic scheme of non-uniform water-bearing system was analyzed with non-stationary processes of filtration influenced by seasonal variations in ground water recharge. The analysis has been made on the basis of waterflow behaviour observations using the methods of analogue modelling.

*All-Union Research Institute
of Mining Geomechanics and Mine Surveying
Leningrad*

*A. Skochinsky Mining Research Institute,
Estonian Branch
Kohhtla-Järve*