

<https://doi.org/10.3176/oil.1995.1.01>

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВАЗАВЕРЕСКОЙ ПОГРЕБЕННОЙ ДОЛИНЫ

STUDY OF HYDRODYNAMIC CONDITIONS OF THE VASAVERE BURIED VALLEY

Н. И. ДОМАНОВА
Ю. А. НОРВАТОВ
И. Б. ПЕТРОВА

N. DOMANOVA
YU. NORVATOV
I. PETROVA

ГП «Ээсти Пылевкиви»
Кохтла-Ярве, Эстония

State Enterprise "Eesti Põlevkivi"
Kohtla-Järve, Estonia

Научно-исследовательский
институт горной геомеханики
и маркшейдерского дела
(ВНИМИ)
Санкт-Петербург, Россия

Research Institute
of Mine Geomechanics
and Surveying (VNIMI)
Sankt-Petersburg, Russia

A mathematical model for describing the hydrodynamics of the Vasavere buried valley is created using the data gathered formerly (1989-1993) and obtained periodically in the course of additional experiments and observations.

Forecast versions of the round-water regime of the valley conditionally by the year 2000 are given.

Вазавереская погребенная долина расположена в северо-восточной Эстонии, в пределах месторождения горючих сланцев (рис. 1). Значительная часть территории долины относится к охраняемой зоне — Куртнаскому ландшафтному заповеднику. Соблюдение природоохранных мер в промышленном районе — задача нелегкая, поэтому проблемы долины, связанные прежде всего с многолетним и постоянным снижением уровня подземных и поверхностных вод, давно находятся в центре внимания соответствующих специалистов, служб и ведомств.

Экологическое состояние водных ресурсов Вазавереской долины определяет комплекс факторов, которые сопровождают те или иные виды техногенного воздействия. Основные из них — водоснабжение, разработка торфа и песка, шахтный и карьерный водоотливы.

Влияние горных работ по сланцедобыче на режим подземных и поверхностных вод Вазавереской долины было проанализировано автором настоящей статьи по состоянию на 1988 г. [1]. В работе были указаны организации, проводившие исследования.

За истекшее время бывший Эстонский филиал ИГД им.

А. А. Скочинского (ныне: Научно-исследовательский центр (НИЦ) ГП «Ээсти Пылевкиви») провел три этапа исследований по этой проблеме. По сути они отражают процесс создания, становления и развития гидродинамической модели Вазавереской погребенной долины.

На всех этапах исследования имели две главные цели:

- постоянный и регулярный контроль за режимом подземных вод;
- анализ и прогноз гидродинамической ситуации для обоснования водоохранных мероприятий.

Масштаб модели — 1 : 25 000.

В течение всего срока на договорной основе в исследованиях участвовала лаборатория гидрогеологии ВНИМИ. Используются результаты многолетних геолого-разведочных, режимных и тематических работ подразделений ГП «Эстонгеология», работ бывшего ГПИИ «Эстмелиопроект», Института геологии АН Эстонии и других организаций.

На первом этапе исследований (1989 г.) на примере восточного борта долины была показана целесообразность и эффективность применения математического (численного) моделирования для изучения процесса геофильтрации в условиях анизотропной многопластовой гидродинамической системы. Это позволяет уточнить фильтрационные параметры водоносных комплексов и прогнозировать техногенный режим подземных вод [2].

На этом этапе были заложены основы модели, отражающей условия питания и разгрузки подземных вод, а также фильтрационную неоднородность дренируемого комплекса в плане и в разрезе, которая контролируется по результатам регулярных режимных наблюдений за уровнями и притоками подземных вод. Прогноз на этом этапе носил «предельный» характер — стационарная постановка; границы горных работ совпадают с проектным контуром горного отвода; интенсивность инфильтрации не дифференцирована по площади. Результаты прогноза — снижение уровней подземных вод в районе водозабора, равное 10–12 м от фактических на 1988 г., — свидетельствовали о необходимости продолжать исследования и разработку водоохранных мер.

Второй этап (1990–1991 гг.) можно считать этапом создания модели. В нем участвовала большая группа эстонских и российских (из Москвы и Санкт-Петербурга) специалистов-гидрогеологов.

Математическая форма модели разработана преимущественно сотрудниками лаборатории гидрогеологии ВНИМИ и Государственного горного института им. Г. В. Плеханова (г. С.-Петербург) под руководством д-ра геол.-мин. наук проф. Ю. Норватова. Модель прошла экспертизу и была одобрена Водной службой Министерства окружающей среды Эстонии. На научном семинаре «Охрана недр на Эстонском сланцевом месторождении» (19–20.05.1992, г. Йыхви) было рекомендовано сохранить модель на уровне постоянно действующей.

Создание модели потребовало значительного объема дополнительных полевых работ: были пробурены наблюдательные скважины в восточной

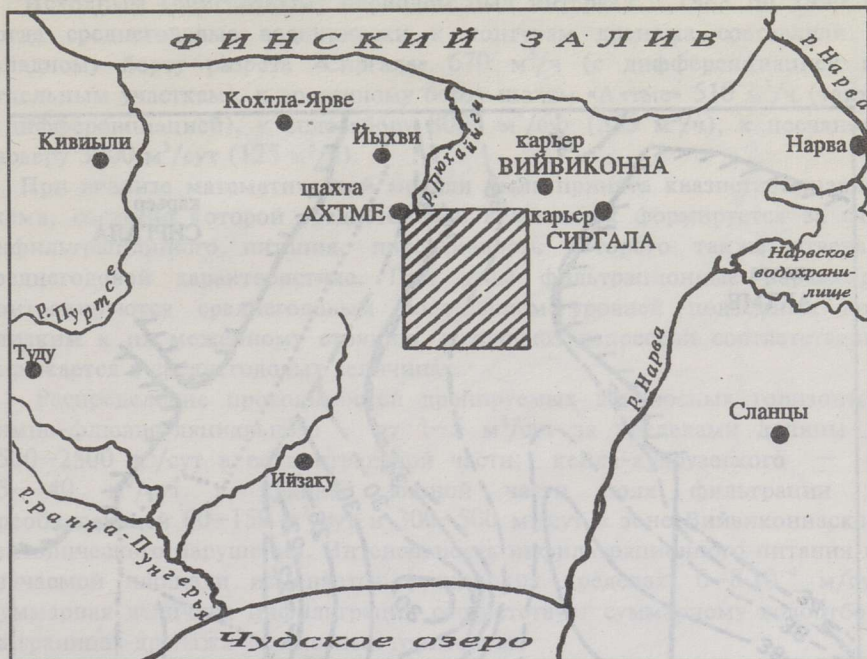


Рис. 1. Обзорная схема местоположения Вазаверской погребенной долины (район долины заштрихован)

Fig. 1. The general scheme of the Vasavere buried valley (the valley area is hatched)

и южной частях долины; пробурен и опробован куст гидрогеологических скважин на восточном борту долины, при этом определены фильтрационные параметры и параметры перетекания, а также (впервые в районе) миграционные характеристики — коэффициент трещиноватости и массообменный параметр для карбонатных пород идавере-кукрузского водоносного подгоризонта. Последние необходимы в перспективе для эколого-гидрохимических оценок, в частности для обоснования мероприятий по восполнению запасов подземных вод с помощью инфильтрационных бассейнов.

Дополнительные полевые работы и анализ достаточно регулярных режимных наблюдений по обширной сети наблюдательных точек позволили значительно уточнить фильтрационные параметры водоносного комплекса и параметры инфильтрационного питания подземных вод, а также дифференцировать их по площади. Параметры модели подобраны с контролем по водопритокам к горным выработкам и водозаборам, а также по уровням подземных вод в пьезометрах при принятой погрешности подбора $\pm 0,5$ м. Определенные затруднения вызывает оценка водопритока со стороны долины в горные выработки, особенно в открытые, а также разделение его на составляющие подземного стока и атмосферных вод. Погрешности в этих оценках искажают полученные на модели параметры и прогноз техногенного режима.

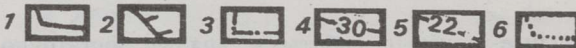
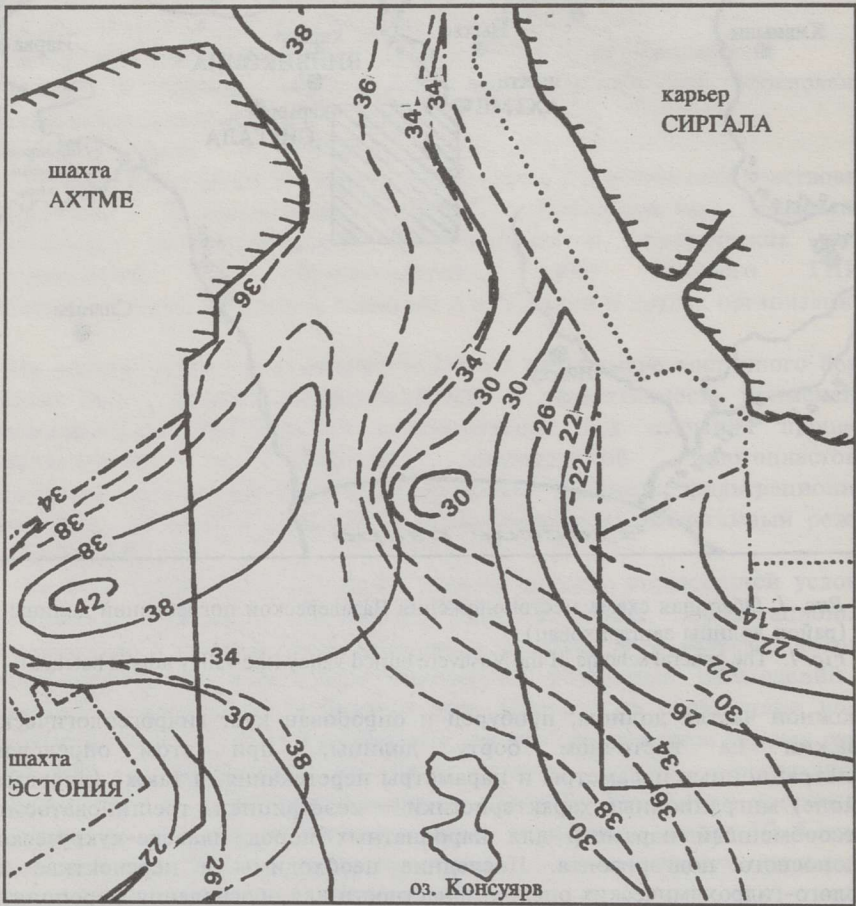


Рис. 2. Прогнозная депрессия на условный 2005-й год с учетом затопления разреза «Вийвиконна». Условные обозначения: 1 – технические границы шахт и разрезов; 2 – контур отработки горючего сланца на 1.01.1989; 3 – проектный контур отработки; 4 и 5 – проектные гидроизогипсы, м. абс. (4 – стационар, 5 – нестационар); 6 – приемлемая прогнозная граница открытых горных работ

Fig. 2. Forecasted depression conditionally by the year 2005 considering the Viivikonna open-pit to be flooded. Legend: 1 - technical boundaries of mines and open-pits; 2 - outline of oil shale mining area on January 1, 1989; 3 - planned outline of the mining area; 4 - planned water-table contours in m abs. (4 - stationary, 5 - non-stationary); 6 - acceptable forecasted boundary of surface mining

Исходным (эпигнозным) периодом был интервал с 1988 по 1990 г., когда среднегодовые водопритоки к контурам дренажа составляли: к западному борту разреза «Сиргала» 670 м³/ч (с дифференциацией по отдельным участкам), к восточному борту шахты «Ахтме» 510 м³/ч (также с дифференциацией), к водозабору 8000 м³/сут (335 м³/ч), к песчаному карьере 3000 м³/сут (125 м³/ч).

При анализе математической модели была принята квазистационарная схема, согласно которой среднегодовой водоприток формируется за счет инфильтрационного питания, интенсивность которого также отвечает среднегодовой характеристике. При этом фильтрационные параметры контролируются среднегодовым положением уровней подземных вод, близким к их межennaleмостоянию, и прогноз депрессии соответственно выражается в среднегодовых величинах.

Распределение проводимостей дренируемых водоносных горизонтов: лимно-флювиогляциального — от 1–5 м²/сут за пределами долины до 1500–2500 м²/сут в ее центральной части; кейла-кукрузеского — от 15–40 м²/сут в крайней южной части поля фильтрации до преобладающей 60–150 м²/сут и 300–500 м²/сут в зоне Вийвиконнаского тектонического нарушения. Интенсивность инфильтрационного питания по изучаемой площади изменяется в широких пределах: 0–8·10⁻⁴ м/сут. Суммарная величина инфильтрации соответствует суммарному водоотбору на границах дренажа водоносных горизонтов.

Использована программа численного моделирования MODFLOW (США), которая базируется на конечно-разностном принципе дискретности процессов фильтрации по времени и пространству. Исследуемый район площадью 17,5 Ч 15 км был разбит на блоки ортогональной сеткой с размерами элементарных участков от 750 Ч 750 м до 1500 Ч 1500 м. Модель четырехслойная, реализация — на персональных компьютерах типа IBM PC/AT.

Прогнозную задачу по определению уровней дренируемых водоносных горизонтов выполняли на пятилетние отрезки времени, связанные с планируемым развитием горных работ: 1990–1995 гг., 1996–2000 гг., 2001–2005 гг. Главным при этом было положение фронта горных работ (контур дренажа), а временной ориентир носил в определенной мере условный характер.

На границах разгрузки подземных вод задавались условия первого рода (известные напоры), при этом на контурах открытых горных выработок напоры соответствовали отметкам кровли промпласта (относительного водоупора), а на внешних контурах подземных выработок учитывалось «нависание» потока. Согласно результатам режимных наблюдений, «нависание» на контуре выработок по шахте «Ахтме» составляет 10–15 м над кровлей промпласта, а по шахте «Эстония» — около 20 м. Производительность водозабора и водоотбора из карьера по добыче песка на перспективу принималась равной фактической на 1988–1990 гг.

Прогнозные оценки учитывали вариант планируемого затопления разреза «Вийвиконна» после отработки запасов сланца на условный 1995-й год. В качестве оптимальной расчетной отметки уровня воды на отработанной площади принималась отметка +32,5 м абс. (данные бывшего ГПИИ

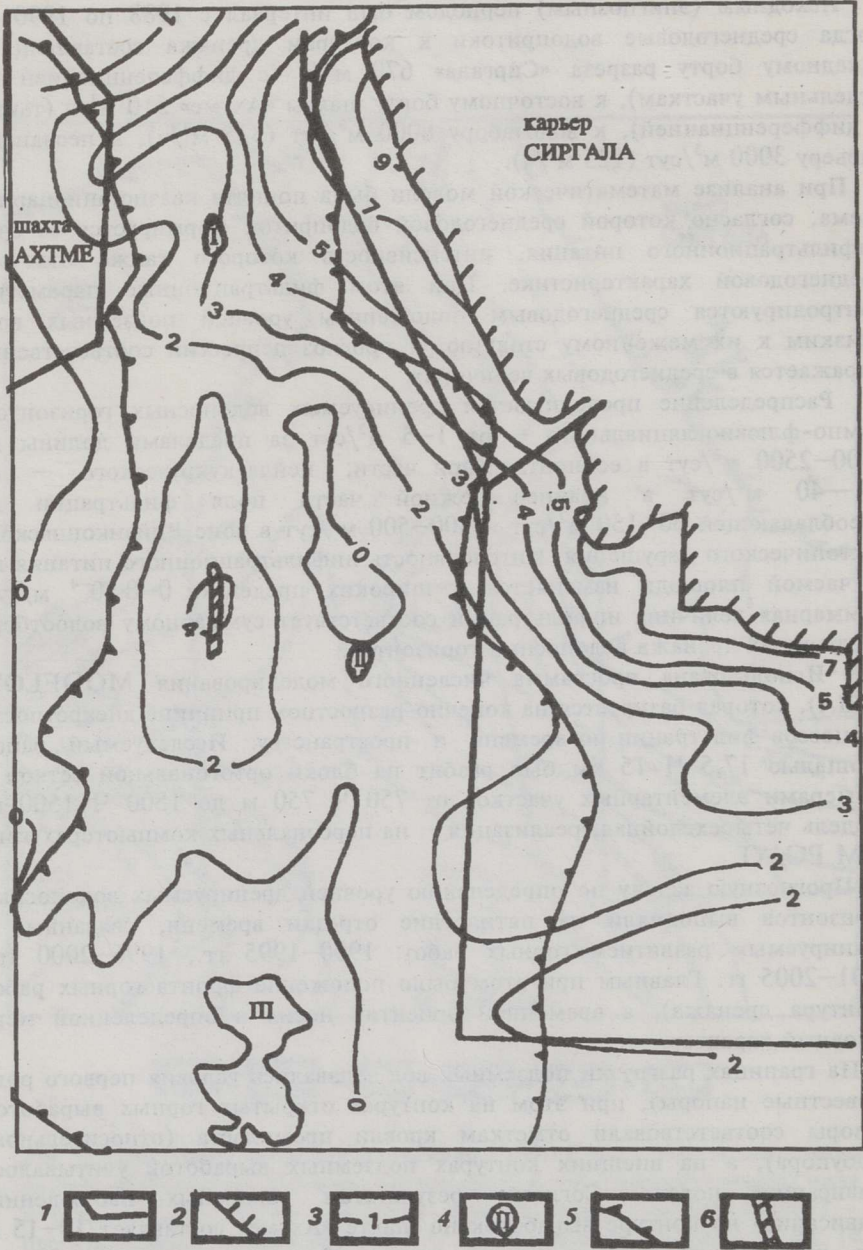


Рис. 3. Изменение летних межлетних уровней поверхностных и грунтовых вод за период с 1946 по 1992 г. Условные обозначения: 1 – технические границы шахт и разрезов; 2 – контур отработки горячего сланца на разрезе «Сиргала» на 1.01.1992; 3 – изолинии снижения уровней воды; 4 – озера: I – Лийв, II – Валге, III – Консу; 5 – контур Вазаверской погребенной долины; 6 – Вазаверский водозабор грунтовых вод

«Эстмелиопроект»). Период затопления рассмотрен в двух вариантах: в течение 10 лет, начиная с условного 1995-го года до условного 2005-го года; в течение 5 лет, начиная с условного 2000-го года до условного 2005-го года.

Прогнозные оценки выполнены с учетом статических запасов подземных вод, то есть в нестационарной постановке с использованием водоотдачи дренируемых горизонтов.

Результаты прогноза однозначно свидетельствовали о том, что по мере развития горных работ (особенно открытых) уровни подземных вод в долине будут постоянно снижаться. Поскольку критерии оценки допустимого снижения никем заданы не были, авторы в качестве такового временно приняли степень влияния горных работ на водозабор питьевой воды. Так, на конечную дату прогноза — условный 2005 год, когда контур открытых горных работ на большем своем протяжении по проекту достигает границы горного отвода (рис. 2), снижение уровня в районе водозабора от уровней 1988–1990 гг. ожидается равным 10–12 м. Планируемое затопление разреза «Вийвиконна» приведет к подъему уровней на северном участке долины на 1–4 м.

Анализ результатов прогноза позволил определить допустимые масштабы развития горных работ на ближайшую перспективу, которые рекомендовалось обосновать анализом экологических последствий прогнозируемого снижения уровней.

Водоохранные мероприятия предложены в двух вариантах — естественный противодиффузионный щиток и искусственная противодиффузионная завеса. Первый вариант означает перенос существующей границы горного отвода разреза «Сиргала» вглубь поля, то есть потерю запасов и определенную переориентировку горных работ (положение приемлемой прогнозной границы горных работ показано на рис. 2). Сооружение завесы технически возможно и фильтрационно эффективно, но трудоемко и достаточно дорого (проработка института «Гидроспецпроект», г. Москва). Максимально, в ценах 1991 г., стоимость 1 м² составляла 562 руб., а суммарная стоимость по линии горного отвода бывшего разреза «Вийвиконна» — 169 млн. руб. Было предложено провести геолого-экономическую оценку района на базе сравнения разных вариантов водоохранных мероприятий.

На третьем этапе исследований (1992–1993 гг.) модель совершенствовалась: контролировались, уточнялись и конкретизировались прогнозные оценки влияния сланцедобычи на водные ресурсы долины по мере развития горных работ. Основные положения по гидрогеологическим работам и прогнозным оценкам были апробированы на научно-

Fig. 3. Summer changes in low-water levels of surface and underground waters within the period 1946–1992. Legend: 1 - technical boundaries of mines and open-pits; 2 - outline of oil shale mining area at the Sirgala open-pit on January 1, 1992; 3 - isometric line of water level drop; 4 - lakes: I - Liivjärv, II - Valgejärv, III - Konsu; 5 - outline of the Vasavere buried valley; 6 - Vasavere ground water intake

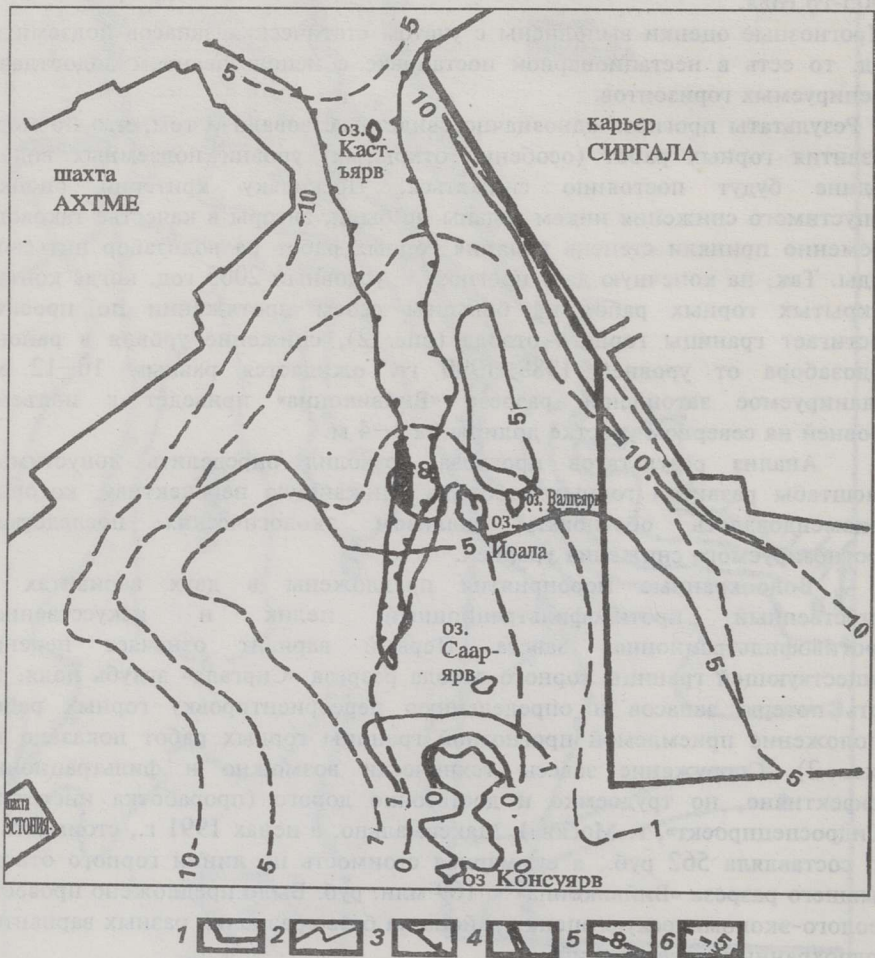


Рис. 4. Изолинии снижения прогнозных уровней воды (на 2000-й год) от статического. Условные обозначения: 1 – техническая граница открытых горных работ; 2 – прогнозируемое положение фронта горных работ на условный 2000-й год; 3 – эрозийный срез сланцевой залежи; 4 – Вазаверский водозабор грунтовых вод; 5 и 6 – изолинии снижения уровней воды (5 – при эксплуатации водозабора, 6 – без эксплуатации водозабора)

Fig. 4. Isometric lines of drop in forecasted water levels (by the year 2000) as compared with the statistical ones. Legend: 1 - technical boundaries of surface mining; 2 - forecasted location of mining front conventionally by the year 2000; 3 - erosional section of oil shale deposit; 4 - Vasavere ground water intake; 5, 6 - isometric lines of water level drop (5 - in case of using water intake, 6 - without using water intake)

практическом семинаре гидрогеологов производственных и научно-исследовательских организаций угольной промышленности [3].

Исходные параметры на этом этапе уточнены по режимным наблюдениям 1991–1992 гг. Пробурены и включены в режимную сеть новые наблюдательные скважины на трассе инфильтрационных бассейнов как возможных водозащитных сооружений, расположенных между горным отводом разреза «Сиргала» и долиной. Водопритоки к контурам дренажа: к западному борту разреза 475 м³/ч в межень и 950 м³/ч в паводок, к восточному борту шахты «Ахтме» соответственно 407 м³/ч и 1197 м³/ч, к юго-восточному борту шахты «Ахтме» 153 м³/ч и 440 м³/ч, среднегодовой к водозабору 8880 м³/сут (370 м³/ч), а к песчаному карьере 1920 м³/сут (80 м³/ч).

Количественно исходные параметры уточнены незначительно, то есть в принципе подтвержден уровень оценки предыдущего этапа, но существенно увеличена степень дифференциации интенсивности инфильтрационного питания по площади в пределах общего интервала колебаний 10^{-6} – $7,9 \cdot 10^{-4}$ м/сут.

Общие максимальные снижения уровня грунтовых вод на это время были следующие (рис. 3): 7–8 м на северо-западном контуре открытых горных работ и 3–6 м на северо-западном контуре горного отвода (участок «Вийвиконна»); 2–3 м на западной и южной границах горного отвода (собственно разрез «Сиргала»); до 3–4 м в районе Вазаверского водозабора грунтовых вод и песчаного карьера «Паннъярве» (на небольшом участке в центре водозабора, возможно, до 5 м); до 1–3 м на севере долины между озерами Изандъярв и Ряэкъярв. На участке озер Саарейрв и Консу и далее на юг режим грунтовых вод был естественным.

Скорректированная по результатам дополнительных режимных наблюдений за уровнями подземных вод вблизи фронта открытых горных работ математическая модель использована для очередного прогноза депрессии. Его главная цель — уточненный прогноз с определением оптимального положения границ горных работ, обеспечивающего нормальную эксплуатацию водозабора. Прогноз сделан на условный 2000-й год в двух вариантах — с учетом деятельности водозабора и без нее. Прогнозное положение фронта открытых горных работ определялось рекомендуемой границей отработки по результатам моделирования 1991 г. с частичной корректировкой согласно технологии добычи сланца. Производительность водозабора и песчаного карьера принята на уровне существующей.

Анализ варианта модели с учетом условного отключения водозабора позволил оценить влияние последнего на режим центрального участка Вазаверской долины. При достижении фронтом горных работ рекомендуемой границы снижение уровней подземных вод на участке водозабора составляет 1–1,5 м (рис. 4). При эксплуатации водозабора с производительностью 8880 м³/сут это снижение составит 7–8 м. Следовательно, рекомендуемое ограничение горного отвода гарантирует нормальные условия эксплуатации водозабора с указанной производительностью.

Прогнозные оценки уровня режима подземных вод являются основой для анализа изменений и других составляющих экологической ситуации на участке Вазаверской долины — режима озер, болот, поверхностных водотоков, условий развития флоры и существования фауны. Анализ имеющейся информации об уровне режиме наблюдавшихся и наблюдаемых озер планируется опубликовать в ближайшее время. К сожалению, с 1992 г. из-за отсутствия необходимых денежных средств наблюдения по большей части озер и значительному количеству скважин не ведутся.

Для всесторонней оценки приемлемости результатов прогноза необходима выработка единых (комплексных) критериев для определения допустимого снижения уровней воды. На основе конкурса экспертных групп, проведенного Министерством окружающей среды в мае 1994 г., выбрана фирма "Ideon & Ko", которая до июля 1995 г. должна организовать и провести экологическую экспертизу Куртна-Вазаверского района.

В 1994–1995 гг. НИЦ ГП «Эсти Пылевкиви» осуществляет следующий этап анализа и прогноза: «Поддержание созданной модели геофильтрации Вазаверской погребенной долины на уровне постоянно действующей с детализацией восточного борта и прилегающей площади поля разреза "Сиргала"». Расширена режимная сеть на этом участке, осуществляются регулярные наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод, в том числе и на трассе второй очереди инфильтрационных бассейнов.

Масштаб модели — 1 : 10 000. Это позволяет полнее учесть водозащитное влияние инфильтрационных бассейнов и детальнее отразить ситуацию в центре долины, для которого к тому же пока не ясны перспективы развития как карьера по добыче песка [4], так и водозабора. С 1991 по 1993 г. производительность водозабора уменьшена по экологическим соображениям с 10 201 до 8493 м³/сут. При этом за 1991–1992 гг. изменений в уровне режиме грунтовых вод не отмечено, а за период 1992–1993 гг. зафиксировано снижение среднегодовых значений на 0,2–0,4 м [5, 6].

Таким образом, на данном этапе исследований управление техногенным режимом подземных вод рекомендуется осуществлять корректировкой (переносом) границы горного отвода. Устройство противофильтрационной завесы — дело нереальное по причине высоких затрат, хотя нельзя исключать постановку такой задачи в качестве промышленного эксперимента на отдельных наиболее обводненных участках. Инфильтрационные бассейны в существующем виде на предварительном уровне оцениваются как вспомогательная мера. Исследования в этом направлении продолжаются.

В заключение необходимо отметить следующее. Как бы ни был высок уровень современного моделирования, модель не может отразить все детали столь сложной природной гидродинамической ситуации. Поэтому необходимы непрерывные и регулярные наблюдения за режимом подземных вод по представительной сети наблюдательных точек для контроля, систематического анализа и прогноза.

STUDY OF HYDRODYNAMIC CONDITIONS OF THE VASAVERE BURIED VALLEY

N. DOMANOVA, YU. NORVATOV, I. PETROVA

Summary

The results of all stages of the study of the technogenic conditions of the underground waters of the Vasavere buried valley during 1989-1993 are given in this paper. Current estimation and forecast of the influence of oil shale mining on water resources of the valley were the main aim of the investigation (Figs 1-4).

Analysis and forecast of the geofiltration process for all stages was accomplished with the application of numerical modelling technics. As a result, a mathematical model for describing the hydrodynamics of the Vasavere buried valley was created, and now this model is kept at the regime of the continuous working. Creation of this model became possible owing to a sufficient amount of data gathered formerly and obtained periodically in the course of additional filtration experiments and observations.

We used the MODFLOW numerical modelling programme (USA) based on the finite-difference principle of discreteness of filtration processes in time and space. This programme was realized on the personal computer IBM PC/AT. The model is considered efficient under conditions of the studied anisotropic multi-layer system.

At the final stage of the research (1992-1993) the regime of ground water levels was characterized by the following values of the general maximum decreases:

- 7-8 m on the north-western outline of the surface mining and 3-6 m on the north-western outline of the mine take (Viivikonna mining district);
- 2-3 m on the western and southern mine take boundaries (Sirgala opencast);
- up to 3-4 m (at a short strip possibly up to 5 m) in the region of the Vasavere water intake of ground waters and Pannjärve sand open-pit;
- up to 1-3 m on the north of the valley between Isandjärv and Rääkjärv. The regime of ground waters has not been disturbed in the area of the lakes Saarijärvi and Konsu and further to the south.

Epignosis and forecast problems were solved at every stage of investigation. Hydrogeological parameters of the aquifers, characteristics of their supply and interconnections were specified with the help of the epignosis.

Different forecast versions led to the following conclusions:

- levels of underground waters will sink constantly due to the development of mining industry (especially of surface mining);
- conditionally by the year 2005 this expected difference from the water levels of 1988-1990 in the area of water intake would be 10-12 m;
- as most of the natural lakes are in connection with ground waters, their water level will drop up to the complete drainage;
- the planned closing of the Viivikonna opencast mine in 1995 with the subsequent flooding of the mined area up to +32.5 m abs. will not change the forecasted situation cardinally - the rise of water level will not exceed 1-4 m, and it occurs mainly on the northern part of the valley;
- Vasavere ground water intake influences essentially the level regime of the central part of the Vasavere valley as well as the conditions of the formation of water intake to the open-pits.

Conditionally by the year 2000 the prospective boundary of mining operations has been suggested (i.e. natural filtrationproof pillar) which is considered necessary for the protection of drinking water intake. (There exist no criteria for estimating damages of water resources.)

It is recommended to carry out the ecologic expertise and geological-economic estimation of the suggested boundary of the front of mining operations.

One m² of an artificial filtration-defence screen (waterproof walls) costed 562 roubles in 1992. Investigations aimed at elucidating the detailed structure of the eastern wall of the valley considering the fact that infiltration basins located there may serve as possible defences are in progress.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доманова Н. И. Влияние горных работ на водные ресурсы Вазавереской погребенной долины и возможные мероприятия по их защите // Oil Shale. 1989. Т. 6, № 3. С. 291–296.
2. Норватов Ю. А., Петрова И. Б. Опыт создания математической модели фильтрационно-неоднородного водоносного комплекса при решении природоохранных проблем // Управление горным давлением и прогноз безопасных условий освоения угольных месторождений : Сб. науч. статей / ВНИМИ, Ленинград, 1990. С. 140–145.
3. Доманова Н. И. Гидрогеологические исследования для оценки влияния горных работ на водные ресурсы Вазавереской погребенной долины : Тез. докл. 2-го науч.-практ. сем. «Гидрогеологические и инженерно-геологические проблемы при разработке угольных месторождений». Ялта, 1993. С. 61–62.
4. Sinisalu R. Pannjärve liivamaardla arendusvõimaluste prognoos // Eesti Geoloogiakeskuse aastaraamat 1992. Tallinn, 1993. Lk. 61–62.
5. Põhjavee seisund 1992. aastal : Informatsioonibülletään / N. Boldõreva, N. Erikson, N. Kivit jt. Eesti Geoloogiakeskus. — Tallinn, 1993.
6. Põhjavee seisund 1993. aastal / L. Savitski, N. Kivit, N. Boldõreva, jt. Eesti Geoloogiakeskus. — Tallinn, 1994.

Представил Э. Рейнсалу

Поступила в редакцию 25.07.1994

Presented by E. Reinsalu

Received July 25, 1994