

<https://doi.org/10.3176/oil.1997.3.04>

## APPLICATION OF INFILTRATION BASINS AS WATER PROTECTION STRUCTURES (IN THE KURTNA LANDSCAPE RESERVE)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ БАССЕЙНОВ В КАЧЕСТВЕ ВОДОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ (В УСЛОВИЯХ КУРТНАСКОГО ЛАНДШАФТНОГО ЗАПОВЕДНИКА)

N. DOMANOVA  
V. FYODOROV

Centre for Research  
in Applied Science  
AS Eesti Põlevkivi  
Jõhvi, Estonia

Н. ДОМАНОВА  
В. ФЁДОРОВ

Центр научно-прикладных  
исследований  
АО «Ээсти Пылевкиви»  
г. Йыхви, Эстония

*A 2950 m-long system of infiltration basins with requisite network of observation points (4 water-measuring stations and 18 wells) has been operating in the Estonian oil shale deposit on the east wall of the Vasavere buried valley. During a two-year period the changes in water levels of lakes have been observed and corresponding data are presented and discussed.*

В практике рационального использования и охраны вод, в том числе и применительно к добыче полезных ископаемых, используются две как бы противоположные группы методов. Методы первой группы ориентированы на регулирование степени осушения (равно как и на послеэксплуатационное восстановление) нарушаемых водоносных горизонтов. К этим методам относятся горно-технические мероприятия и противофильтрационные завесы. Методы второй группы базируются на использовании вод, откачиваемых (отводимых) из горных выработок, в народном хозяйстве. Использование этих методов выходит за рамки горного дела, и решение об их применении принимают водохозяйственные органы — тогда, когда существует потенциальный потребитель откачиваемых вод.

Наиболее распространенные горнотехнические мероприятия базируются на тех или иных способах управления кровлей горных выработок. Основные среди них – поддержание кровли с помощью целиков и полная закладка выработанного пространства. Функция противодиффузионных завес (ПФЗ) – перехват воды и полное или частичное недопущение ее в горные выработки. Завесы могут быть либо природными (специально оставляемый породный противодиффузионный целик), либо искусственно создаваемыми инженерными сооружениями.

Существует десять основных типов инженерных ПФЗ [1, 2]: ПФЗ, сооружаемые буровым способом; свайные, траншейные (инфузионные), щелевые, инъекционные и криогенные ПФЗ; гидрозавесы; инфильтрационные бассейны; пневмозавесы; ПФЗ, сооружаемые взрывным способом. Наиболее универсальны щелевые и инъекционные ПФЗ. Первые сооружаются с помощью бурофрезерных машин в любых породах до глубины 50 м. Инъекционный способ эффективен в случае больших глубин и имеет много технологических вариантов исполнения. Закрепляющие растворы подаются в перекрываемый водоносный горизонт путем нагнетания через тампонажные скважины. Гидрозавесы и инфильтрационные бассейны (они имеют сходный принцип действия) используются на тех участках, где требуется восполнение водных запасов.

В мире в целом, и в бывшем СССР в том числе, накоплен большой опыт проектирования и сооружения ПФЗ. Их широко применяют на угольных шахтах для изоляции стволов и тектонических разломов, для ликвидации прорывов песков-плывунов и изоляции карстовых зон. Так, в 1985 г. на шахте «Ленинградская» Ленинградского месторождения горючих сланцев при проходке наклонного ствола инъекционной завесой был перекрыт высоководообильный (проводимость 1500–2000 м<sup>3</sup>/сут) везенбергский (набала-раквереский) водоносный горизонт. Один из последних примеров особенно ярок, он не имеет аналогов в мире. Это сооружение кольцевой ПФЗ вокруг знаменитой алмазной трубки «Мир» (Якутия-Саха). Ее параметры: длина – 3000 м, глубина – до 540 м, ширина местами до 100 м. ПФЗ комбинировалась с обратной закачкой остаточного водопритока в нижележащие пласты [3].

Все перечисленные типы завес, кроме криогенных (которые используются в районах вечной мерзлоты), применимы в геолого-гидрогеологических условиях Эстонского месторождения горючих сланцев, где расположен природоохранный объект – Куртнаский ландшафтный заповедник.

Куртнаский ландшафтный заповедник приурочен к Вазавереской погребенной долине. Экологическое состояние ее подземных и

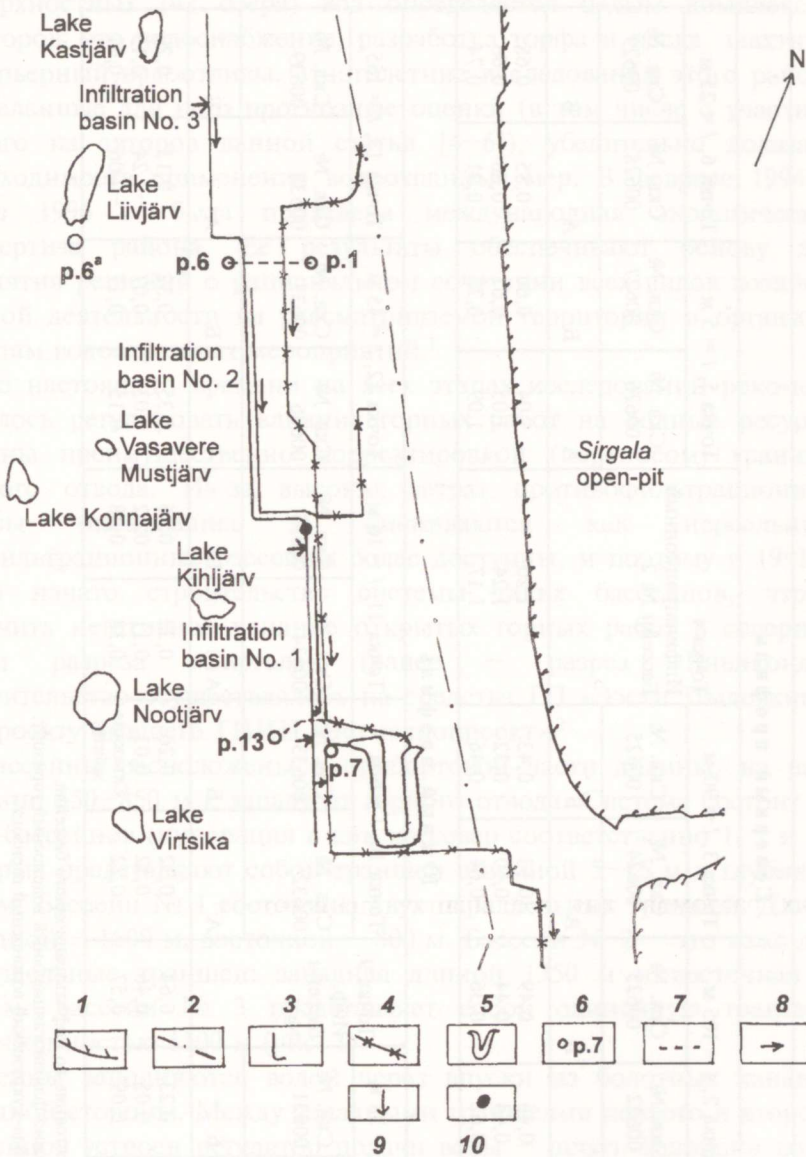


Fig. 1. Infiltration basins location scheme. Conventional signs: 1 - oil shale mining outline as of 01.01.95; 2 - Sirgala open-pit technical boundary; 3 - infiltration basins; 4 - open-pit water diversion ditch; 5 - settling basin; 6 - observation points; 7 - profiles of observation points; 8 - places of water intake into infiltration basins; 9 - water flow direction, 10 - regulator sluice

Таблица 1. Изменение уровней воды по сравнению с 6.09.1993 г., м  
 Table 1. Change of Water Levels in Lakes (Compared to the Levels in September 6, 1993), meters

Северный профиль													
Дата измерения	Точка 1 Канавы карьерной воды, l = 170 м	Точка 2, l = 105 м		Точка 3, l = 90 м		Точка 4 Инфильтрационный Бассейн № 2		Точка 5, l = 5 м		Точка 6, l = 25 м			
		Скв. № 00622	Скв. № 00623	Скв. № 00624	Скв. № 00625	Скв. № 00626	Скв. № 00627	Скв. № 00628	Скв. № 00629	Скв. № 00630	Скв. № 00631	Скв. № 00632	
5.11.93 г.	0,19	0,46	0,49	0,53	0,43	1,20	1,04	0,60	0,85	0,68			
30.08.94 г.	-0,03	0,44	0,44	0,50	0,32	1,24	1,05	0,61	0,86	0,66			
14.09.95 г.	0,67	0,62	0,36	0,64	0,46	1,17	1,09	0,72	0,91	0,74			
		А	Б	А	Б		А	Б	А	Б			
Южный профиль													
Дата измерения	Точка 7 Канавы карьерной воды, l = 60 м	Точка 8, l = 38 м		Точка 9 Инф. бассейн № 1		Точка 10, l = 6 м		Точка 11, l = 16 м		Точка 12, l = 45 м		Точка 13, l = 165 м	
		Скв. № 00630	Скв. № 00631	Скв. № 00632	Скв. № 00633	Скв. № 00634	Скв. № 00635	Скв. № 00636	Скв. № 00637	Скв. № 00638	Скв. № 00639	Скв. № 00640	Скв. № 00641
5.11.93 г.	0,05	0,20	0,23	0,32	0,26	0,32	0,26	0,32	0,35	0,13	0,20		
30.08.94 г.	0,19	0,09	0,05	0,12	0,01	0,11	0,02	0,03	0,07	-0,24	-0,15		
14.09.95 г.	0,20	0,24	0,09	0,22	0,57	0,18	0,08	0,15	0,17	-0,06	-0,01		
		А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б

Условные обозначения: l - расстояние до инфильтрационного бассейна.

А - лимно-флювиогляциальный водоносный горизонт.

Б - келья-курузский водоносный горизонт.

поверхностных (42 озера) вод определяется целым комплексом факторов: это водоснабжение, разработка торфа и песка, шахтный и карьерный водоотливы. Многолетние исследования этого района и сделанные для него прогнозные оценки (в том числе с участием одного из авторов данной статьи [4–6]), убедительно доказали необходимость применения водоохраных мер. В феврале 1994 – июне 1996 г. была проведена международная экологическая экспертиза района. Ее результаты обеспечивают основу для принятия решений о рациональном сочетании всех видов хозяйственной деятельности на рассматриваемой территории и организации там водоохраных мероприятий.<sup>1</sup>

До настоящего времени на всех этапах исследований рекомендовалось регулировать влияние горных работ на водные ресурсы долины преимущественно корректировкой (переносом) границы горного отвода. Из-за высоких затрат противодиффузионные завесы оценивались и оцениваются как нереальные. Инфильтрационные бассейны более доступны, и поэтому в 1991 г. было начато строительство системы таких бассейнов, чтобы смягчить негативное влияние открытых горных работ в северной части разреза «Сиргала» (ранее – разрез «Вивиконд»). Строительство осуществлялось на средства ГП «Ээсти Пылевкиви» по проекту бывшего ГПИИ «Эстмелиопроект».<sup>2</sup>

Бассейны расположены в прибортовой части долины, на расстоянии 650–850 м к западу от горного отвода. Система состоит из трех бассейнов (нумерация с юга на север соответственно 1, 2 и 3), которые представляют собой траншеи шириной 5–15 м и глубиной 2–5 м. Бассейн № 1 состоит из двух параллельных траншей. Длина западной – 1600 м, восточной – 800 м. Бассейн № 2 – это тоже две параллельные траншеи: западная длиной 1350 м и восточная – 1100 м. Бассейн № 3 представляет собой одиночную траншею протяженностью 1100 м (рис. 1).

Бассейны заполняются водой через впуски из болотных канав с западной стороны. Между западными траншеями первого и второго бассейнов устроен регулятор подачи воды – шлюз. Излишки воды сбрасываются в параллельную водоотводную карьерную канаву, которая расположена в 30–60 метрах восточнее бассейнов. Из-за отсутствия средств не осуществлена третья очередь строительства – не установлен регулятор между вторым и третьим бассейнами и не

<sup>1</sup> Keskkonnaekspertis. Tootmisalade mõju Kurtna järvestiku hidro-geoloogilisele seisundile (ekspertiisiakti projekt) // AS Ideon ja Ko, litsents nr. KKM-0099. Tallinn, 1996.

<sup>2</sup> Инфильтрационные бассейны на западной границе разреза «Вивиконд». ГПИИ «Эстмелиопроект». Работа № 00025901. 1-я очередь строительства: бассейн № 1, 1990 г. 2-я очередь строительства: бассейны № 2 и 3 и регуляторы, 1990 г. 3-я очередь строительства: водозабор на р. Вазавере, 1991 г.

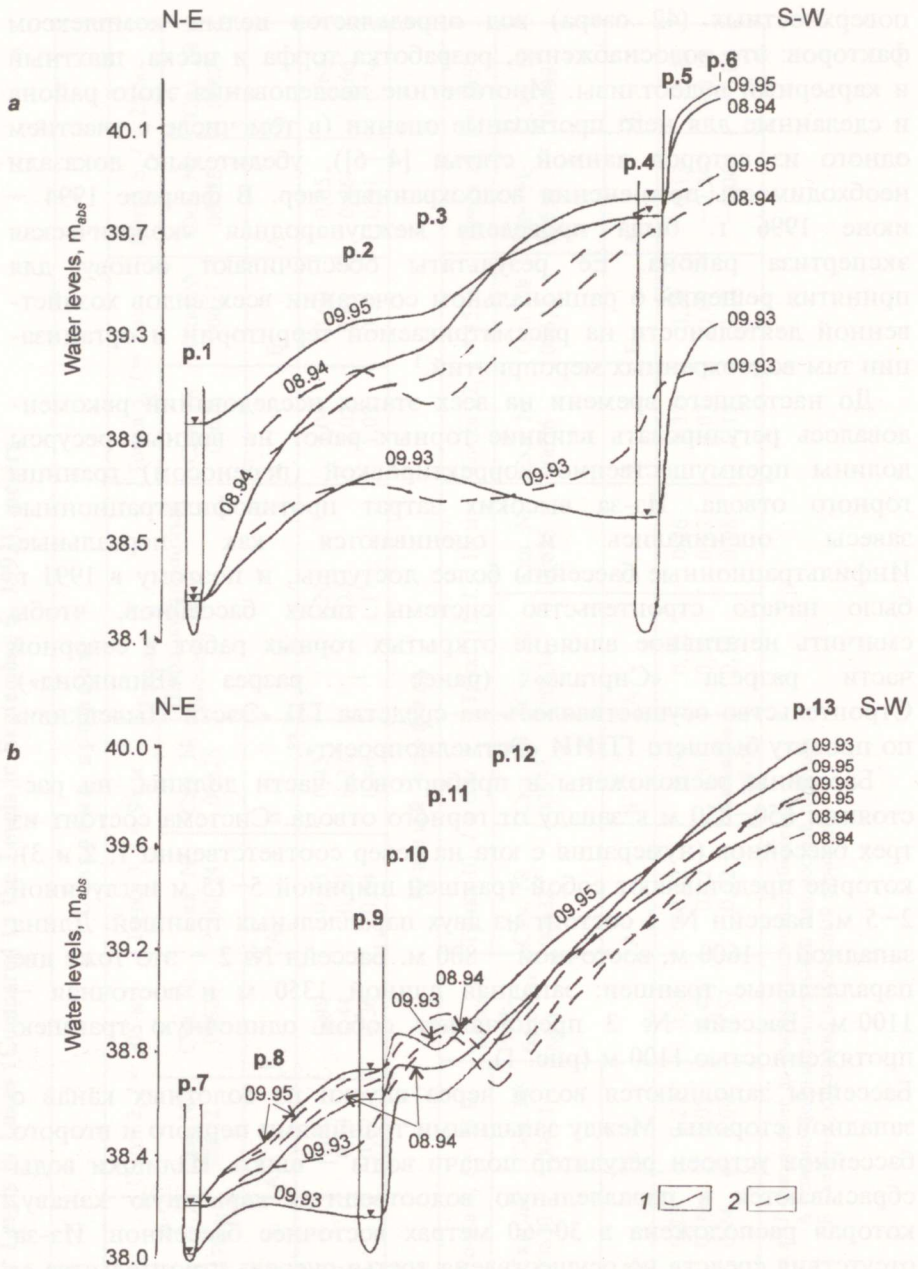


Fig. 2 Water levels at the infiltration basins locality: *a* - northern profile, *b* - southern profile. Conventional signs: 1- level surface of lymno-fluvioglaciological (Quaternary) aquifer, the same for Keila-Kukruse

сооружен водозабор на р. Вазавере. Поэтому водозащитную функцию выполняют только бассейны № 1 и 2.

Общая длина траншей — 5150 м, из них западные траншеи, соединенные в единую нить, составляют 4050 м при длине работающей части 2950 м.

Для наблюдений за работой и эффективностью системы оборудовано четыре водомерных (гидрометрических) поста и 18 скважин. Скважины расположены так, что образуют два секущих бассейна профиля — северный и южный. Два поста находятся на инфильтрационных бассейнах, два — на канаве карьерной воды. Одна половина скважин оборудована на лимно-флювиогляциальный водоносный горизонт (пески и супеси), другая — на нижележащий кейла-кукрузеский горизонт (известняки), который вмещает промпласт горючих сланцев. Две скважины — по одной на каждый горизонт — образуют как бы одну наблюдательную точку. Расстояние от инфильтрационных бассейнов до пар наблюдательных скважин (точек) варьирует от минимум 5–6 м до максимум 105 и 165 м (рис. 2; табл. 1).

Северный профиль естественным образом продолжает наружу наблюдательная точка оз. Лийвьярв: водомерный пост, скважина № 00640<sup>г</sup> на лимно-флювиогляциальный водоносный горизонт и скважина № 00641<sup>г</sup> на ласнамяэ-кундаский горизонт (рис. 1, точка 6<sup>а</sup>). Расстояние от восточного берега оз. Лийвьярв до бассейна № 3 составляет 530–660 м, до бассейна № 2 — 850 м; от скважин это соответственно 640 и 810 м. Эта точка расположена в центральной части долины, где лимно-флювиогляциальные отложения залегают уже на третьем от земной поверхности водоносном горизонте — ласнамяэ-кундаском (известняки, доломиты). Как наблюдения, так и анализ осуществлялись на фоне оценки региональной гидродинамики долины, в том числе и в случае сопредельных с бассейнами участков — для точек 7 (оз. Кастьярв), 8 (оз. Кихльярв) и 9 (оз. Виртсика).

Фильтрующая среда в пределах бассейнов следующая: на северном профиле — пылеватые и мелкозернистые пески, подстилаемые песчано-глинистой мореной; на южном — разномзернистые пески (от пылеватых до крупнозернистых).

Период наблюдений за уровнями подземных и поверхностных вод до их искусственного подъема в сентябре 1993 г. составил от 21 до 24 месяцев для разных точек. В течение наблюдаемого периода колебания уровня воды в горизонтах имели явный климатический характер. Подъем уровня воды в инфильтрационных бассейнах № 1 и № 2 в сентябре 1993 г. вызвал соответственный подъем во всех скважинах обоих профилей. На северном профиле при подъеме уровня воды в бассейне на 1,20 м подъем в скважинах — в

зависимости от их расположения по отношению к бассейну — составил 1,04–0,46 м в лимно-флювиогляциальном горизонте и 0,68–0,43 м в кейла-кукрузеском; на южном профиле при подъеме уровня воды в бассейне на 0,64 м — соответственно 0,32–0,13 и 0,32–0,20 м (рис. 2, табл. 1). В течение всего последующего времени (до конца 1995 г.) такое положение уровней на северном профиле сохранялось полностью, а на южном произошел спад, который, однако, достиг исходных позиций только в интервале между 45 и 165 м. По-видимому, эти цифры ориентировочно обозначают размеры зоны влияния инфильтрационных бассейнов и, естественно, будут колебаться в зависимости от конкретных условий.

Анализ данных наблюдений в точке 6<sup>а</sup> (оз. Лийвьярв) за 1991–1995 годы позволяет сделать вывод об отсутствии техногенной реакции в уровнях воды лимно-флювиогляциального и нижележащего ласнамяэ-кундаского горизонтов и о наличии такой реакции в озерных водах (табл. 2). Общая величина снижения уровня воды в озере, начиная с 1946 г., составила 3,23 м, что обусловлено торфодобычей и горными работами шахты «Ахтме», которые с 1988 г. по экологическим соображениям не развиваются в сторону долины. Не исключено и то, что начиная с 1991–1992 годов на озеро оказывают дренарующее воздействие незначительно заполненный водой инфильтрационный бассейн № 3 и — в слабой мере — открытые горные работы: расстояние до их контура на 1.11.1995 г. составляло 1990 м.

**Таблица 2. Изменение летне-осенних (меженных) уровней воды в точке 6<sup>а</sup> (рис. 3)**

**Table 2. Change of Summer-Autumn (Medium) Water Levels in the Point 6<sup>a</sup> (Fig. 3)**

Водоносные горизонты	Уровни воды по годам, <i>Мабс</i>				
	1991	1992	1993	1994	1995
Озерные воды	43,42 (1990 г.)	43,11	42,75	42,35	42,47
Лимно-флювиогляциальный, скв. № 00640 <sup>г</sup>	41,30	41,90	41,47	41,50	41,75
Ласнамяэ-кундаский, скв. № 00641 <sup>г</sup>	40,53	40,47	40,76	40,76	40,67

В 1994–1995 годах это влияние, вероятно, существенно стабилизировалось. Сейчас озеро является изолированным. Уровненный режим оз. Лийвьярв требует детального изучения, что возможно при включении его в систему государственного мониторинга с оборудованием капитального водомерного поста,



Таблица 3. Изменение межвенных уровней воды на сопредельных с бассейнами участках  
 Table 3. Change of Medium Water Levels in Adjacent to Basins Areas

Точки, водонесные горизонты	Расстояние до инфильтрационных бассейнов, м	Расстояние до контура открытых горных работ на 01.11.95, м	Уровни воды по годам, Мабс				
			1991	1992	1993	1994	1995
Озеро Кастьярв Лимно-флювиогляциальный, схв. № 0729г Ласнамяэ-кундаский, схв. № 0728г	220 до бассейна №3	Точка 7 1720	43,34 (1987)	43,07	Нет данных	43,76	43,89
	430 до бассейна №3		42,54 (1986)	41,69	41,83	41,80	42,28
	430 до бассейна №3		41,62 (1986)	41,12	41,29	41,25	41,67
Озеро Кихляярв Лимно-флювиогляциальный, схв. № 109 Кейла-кукурзеский, схв. № 00701г/н	380 до бассейна №1	Точка 8 1560	Нет данных	41,02	40,93	41,01	41,13
	380 до бассейна №1		40,43	40,57	40,31	40,06	40,55
	380 до бассейна №1		Скважина не была пробурена				
Озеро Вирсику Лимно-флювиогляциальный, схв. № 105 Кейла-кукурзеский, схв. № 104	850 до бассейна №1	Точка 9 2090	41,50 (1990)	41,58	41,63	41,49	41,56
	850 до бассейна №1		41,66	41,05	40,82?	41,40	41,55
	850 до бассейна №1		41,35	41,07	41,50	41,39	51,54

регулярными наблюдениями (не менее шести раз в месяц) и – при необходимости – обновлением опорных топографических реперов для контроля высотных отметок (земная поверхность при снижении уровней воды оседает).

Оз. Кастьярв формально считается проточно-зарегулированным – оно соединено с р. Вазавере каналом длиной 1300 м, но по сути дела является слабосточным, так как подача и отток воды там сейчас никем не регулируются. В связи с прекращением торфодобычи и снижением оттока воды по канавам в последние годы отмечен подъем уровней воды (точка 7 – табл. 3), на фоне которого пока невозможно установить то или иное влияние инфильтрационных бассейнов.

В озерах Кихльярв и Виртсика сохраняется естественный режим, и в течение 1991–1995 годов колебания уровней как озерных, так и подземных вод имели явный климатический характер (точки 8 и 9 – табл. 3).

Таким образом, два двухтраншейных инфильтрационных бассейна (из трех запланированных), которые работают с сентября 1993 г., показали приемлемость этого вида водозащитных сооружений. Благодаря их действию в горизонты поступает достаточно большое количество воды, что повысило в них уровень воды и поддерживает его на протяжении более двух лет. Это дает основание полагать, что при включении в систему третьего с подачей воды из р. Вазавере положительное влияние системы расширится, и появится основа для более детального анализа как в экспериментальном, так и в прикладном аспектах. Оценить действие инфильтрационных бассейнов в условиях существенной интенсификации нарушения уровня режима водоносных горизонтов вероятнее всего не удастся, так как из-за угрозы состоянию близрасположенных озер, по итогам вышеупомянутой международной экспертизы, в ближайшее время предполагается остановить горные работы в северной части разреза «Сиргала».

## **APPLICATION OF INFILTRATION BASINS AS WATER PROTECTION STRUCTURES (IN THE KURTNA LANDSCAPE RESERVE)**

Two groups of methods different by the mechanism of action are used in water conservation practice. The first method is directed to regulate the rate of aquifers disturbance, the second one - to use pumped (discharged) waters in national economy. Mining-technical measures and antifer screens form the first group. The second methods are relevant to the competence of institutions responsible for public water supply and are decided if a water user is available.

Antifilter screens are based on the water interception and can be either natural (left rock pillar) or artificially made engineer constructions. There are many types of engineer antifilter screens there and large experience in their design and construction have been gained in the world (including former USSR).

Infiltration basins are one of the type of antifilter screens. In particular, the network of such infiltration basins (half-finished yet) exists during 4 years in the Estonian oil shale deposit. Basins are located in the by-wall part of the Vasavere buried valley 650-850 meters to the west from the mine-take of the north part of Sirgala open-pit (former Viivikond open-pit). The aim of their function is to estimate the possibility and efficiency of the maintenance of aquifer water levels disturbed by mining operations. The network consists of 3 basins (two of them are in operation) which are trenches (single or doubled) 5-15 m wide and 2-5 m deep. The total length of the network is 4050 m, the length of the working part - 2950 m.

To supervise the network 4 water measuring (hydrometric) stations and 18 wells have been constructed. These wells are arranged in two profiles, north and south, which are transverse to the basins. The distances from infiltration basins to the supervisory wells are from 5-6 m up to 105 and 165 m. Filter medium - fine (up to pulverized) sands.

During a two-year period, the rising of water levels (up to artificial) has been observed and also regulated with the help of a regulator sluice. The variations in water levels had an obviously climatic nature. The water level rising in the basins has involved the same in all wells of both profiles. In the north profile, a rise in the basin by 1.20 m involved a 1.04-0.43 m rise in wells depending on their location with respect to the basin and observed aquifer. In the south profile, a rise in the basin by 0.64 m caused a 0.32-0.13 m rise in wells. During the following period, such state of levels in the north profile remained unchanged. In the south profile a recession has occurred but starting positions were reached only at the distance of at least 45 m or more.

Consequently, a sufficiently large amount of water goes through infiltration basins to aquifers. i.e. they are able to perform water-protection function. One cannot succeed in estimating their work in conditions of intensified disturbances of aquifer level regime, because mining in the north part of Sirgala open-pit will in all probability be stopped in the nearest future as it represents a real threat to the state of near-situated lakes.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по осушению горных пород / И. К. Станченко (ред.) - М.: Недра, 1984.
2. Временные методические указания по применению противодиффузионных завес на угольных разрезах / ВНИИОСуголь. - Пермь, 1984.

3. Вигандт В. А. Опыт сооружения и эксплуатации обратной закачки дренажных вод карьера "Мир" // Горный журнал. Изв. ВУЗов. Сентябрь 1994. С. 60–62.
4. 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.
5. Доманова Н. И., Норватов Л. А., Петрова И. Б. Исследование гидродинамического режима Вазавереской погребенной долины // Oil Shale. 1995. Т. 12, № 1. С. 3–14.
6. Доманова Н., Крапива А. Уровенный режим озер Консу-Куртгнаской системы // Oil Shale. 1996. Т. 13, № 2. С. 101–114.

Presented by E. Reinsalu

Received June 16, 1996