

УДК 556.538 : 553.6 : 628.387.39(474.2)

Борис НАУМОВ*, Велло КАРИЗЕ*

ВЫНОС МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ФИНСКИЙ ЗАЛИВ ИЗ ФОСФОРИТНОГО КАРЬЕРА МААРДУ

При решении вопроса будущего нарушенных горными работами площадей, прогнозном определении массы выбросов растворенных и взвешенных ингредиентов, поступающих из района Маарду в Финский залив (в залив Мууга, в основном через овраг Крооди), не в последнюю очередь важна наиболее точная, дифференцированная по объектам оценка качества и количества стоков.

Со стороны левого и правого берегов оврага Крооди в него попадают в общей сложности воды почти двух десятков объектов и источников, в том числе и оз. Маарду (рисунок). Воды оврага формируются в основном из карьерных вод, атмосферных осадков, подземных вод, речной воды (р. Йыэляхтме), промышленных стоков предприятий (ливневая канализация, технологические воды, фильтрация через дамбы шламонакопителей и хвостохранилища), аварийных сбросов, разных стоков со стороны Таллинна по левому берегу (от конденсата теплотрассы до промстоков), а также хозяйственно-бытовых стоков г. Маарду. Последние, а также промстоки ПО «Эстонфосфорит», проходят через очистные сооружения и сбрасываются в овраг через шламоотстойник. Сточные воды обогатительной фабрики, содержащие флотореагенты, перекачиваются по системе оборотного водоснабжения**, но одновременно имеет место и утечка-фильтрация этих вод через дамбу и ложе хвостохранилища.

Карьерные воды, сбрасываемые в овраг и оз. Маарду, формируются из атмосферных осадков и фильтрующихся через нижние слои отвалов смешанных вод, состоящих из поверхностных и грунтовых вод отвалоганного пространства, а также подземных вод ордовикского ненапорного и ордовико-кембрийского напорного горизонтов. Последние также смешиваются из-за нарушения водоупора — пласта диктионемового сланца, расположенного между ними (Йоханнес, Каризе, 1979; Валлнер и др., 1988).

Часть осадков и карьерных вод с различной скоростью испаряется с поверхности отвалов, в основном покрытых растительностью (лес, трава), и с открытой водной поверхности — водоотводных канав, прудовнакопителей, зумпфов, добычных траншей. Остальная, подавляющая часть осадков инфильтруется сквозь отвальную толщу, где основным загрязнителем является размещенный в верхней активной зоне аэрации и в свое время подвергавшийся высокотемпературной (до 800—850 °С) деструкции граптолитовый аргиллит (диктионемовый сланец (ДС)), а также второстепенные — пирит, глауконитовый и кварцевый песчаники (Йоханнес, Каризе, 1979; Наумов, 1980, 1981, 1985, 1986; Наумов и др., 1988). Эта часть воды вместе со стекающей с откосов, бортов, траншей и других поверхностей собирается во внутрикарьерные канавы и зумпфы-водосборники, где окончательно смешивается с другими, в том числе с подземными и шахтными водами.

* Eesti Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituut (Институт геологии Академии наук Эстонии). 200105 Tallinn, Estonia pst. 7. Estonia.

** С 1991 г. горно-обогатительное производство прекратило свою деятельность.

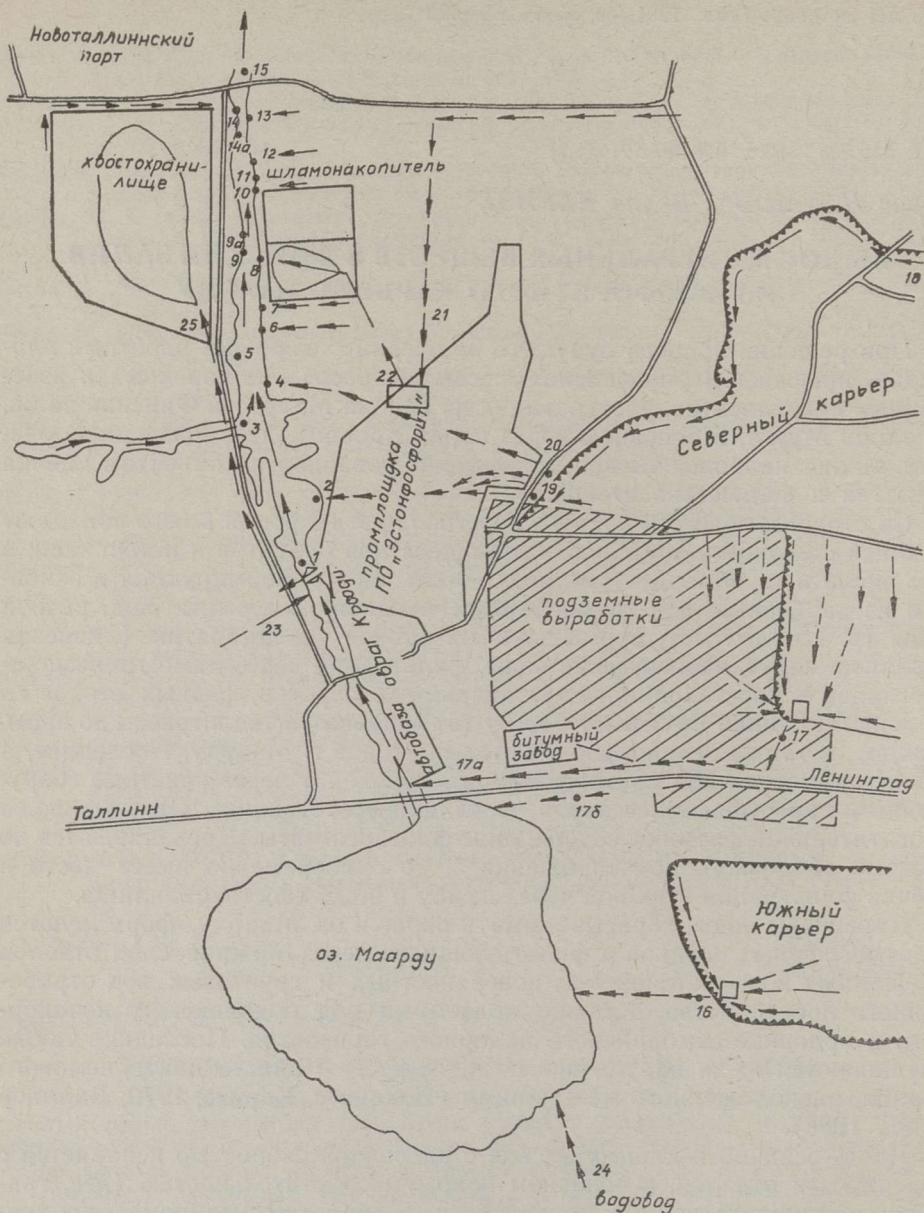


Схема сброса промышленных стоков через овраг Крооди и точек замеров расхода вод (1987 г.): 1 — плотина; 2 — сброс ливневых и шахтных вод; 3—14 — места сброса разных стоков; 15 — сброс всех вод через овраг в залив Мууга; 16—18 — стационарные насосные станции соответственно: главная (Южный карьер), центральная и северная (Северный карьер); 17а и 17б — сброс откачанных вод Северного карьера в овраг или в оз. Маарду; 19 — сток вод Северного карьера самотеком через подземные выработки (шахтные воды) и 20 — через дренажную траншею; 21 — стоки г. Маарду; 22 — сброс очищенных промышленных стоков ПО «Эстонфосфорит» и г. Маарду через шламонакопитель; 23 — сброс стоков в овраг со стороны Таллинна; 24 — водовод из р. Йыэляхтме; 25 — сброс пульпы обогатительной фабрики по пульпопроводу (с 1991 г. не работает).

The scheme of the discharge of industrial waters via the Kroodi gully with the points of water discharge measurement (1987): 1 — dam; 2 — discharge of storm and mine waters; 3—14 — places of the output of different waterflows; 15 — discharge of all kinds of waters via the Kroodi gully into Muuga Bay; 16—18 — stationary pumping stations: main (Southern openpit), central and northern (Northern openpit); 17a and 17b — discharge of mining waters from the Northern openpit into the gully or Lake Maarду; 19 — output of mining waters as a gravity flow via underground

excavations (mine waters) and 20 — through the drainage trench; 21 — waste water discharge from the town of Maardu; 22 — discharge of purified waters of the Estonian Phosphorite Association and the town of Maardu through the bottom mud basin; 23 — flows from the side of Tallinn; 24 — water main from the Jõelähtme River; 25 — pulp output from the concentration mill via the pulp conduit (unexploited since 1991).

Значительная часть карьерных вод проникает через полуобвалившиеся штреки в подземные выработки, смешивается с подземными водами еще раз и оттуда вновь попадает в карьер (зумпф южной траншеи Северного карьера) и — самотеком — в овраг Крооди.

В целом из карьера воды разгружаются принудительно, с помощью стационарных насосных установок (Северный и Южный карьеры), а также самотеком — через подземные выработки и траншеи (Северный карьер). До 1987 г. в оз. Маарду сбрасывались воды обоих карьеров, а с 1988 г. — только воды Южного карьера. Высокоминерализованные (до 7—10 г/л) сульфатные магниевые-кальциевые воды, откачиваемые главной насосной Северного карьера, обеспечили подъем средней минерализации и жесткости вод озера в 1974—1988 гг. с 527,2 мг/л и 7 мг-экв/л до 1865 мг/л и 29,2 мг-экв/л соответственно. В результате этого в 1984—1988 гг. менее минерализованные и менее жесткие воды Южного карьера (1073 мг/л и 15,8 мг-экв/л) по этим показателям были чище, чем воды озера.

С помощью гидрометрической (речной) вертушки ГР-21М и способом поплавка в ноябре—декабре 1987 г. был произведен замер расхода вод в очистных сооружениях, отстойниках, трубах насосных установок, в дренажных поверхностных канавах и траншеях, в подземных выработках (на входе и выходе) и — с контрольными замерами в 1988 г. — в овраге Крооди в целом.

Таблица 1

Показатели замеров расхода карьерных поверхностных стоков
ПО «Эстонфосфорит» в ноябре—декабре 1987 г.

Table 1

Readings of instruments measuring the openpit surface discharge supplied by the Estonian Phosphorite Association in November—December 1987

Показатель	Интервал значений	Отклонение от среднего, %
Скорость струи, м/с:	0,40—1,70	—
в трубах насосных установок	1,59—1,77	—1,3 + 0,85
в дренажной канаве	0,40—0,76	—31,5 + 32,3
в овраге Крооди	0,57—0,87	—15,4 + 29,0
Расход воды, м ³ /с:	0,16—0,77	—
в трубах насосных установок	0,16—0,33	—28,7 + 46,2
в дренажной канаве	0,21—0,24	—5,3 + 4,4
в овраге Крооди	0,69—0,87	—10,8 + 11,8
Расхождение показателей расхода (способ «поплавков» по сравнению со способом «вертушка»), %	—	0,6—14,0
Месячный объем стоков из карьеров, тыс. м ³ :		
из Северного карьера	402,5	—
из Южного карьера	224,2	—
всего	626,7	—
Общий годовой объем стоков через овраг Крооди, тыс. м ³	1817*—2404	—

* Расчет при минимуме осадков, апрель—май.

Всего было сделано по 2—3 замера в более чем 20 точках (рисунок). Подобная работа проводилась на объекте впервые, и для увеличения степени точности применялись оба способа (табл. 1). Расчет годового расхода производился по данным замеров с учетом количества атмосферных осадков, структуры и размеров водосборной площади, инфильтрации в отвалы, испарения с водной и земной поверхностей. Расход откачиваемых вод определялся, кроме того, по оперативным данным о расходе электроэнергии с учетом специфики насосных установок.

Среднегодовое количество осадков в Таллинне (1980—1989 гг., ст. Юлемисте) — 690 мм, при этом в месяцы с плюсовой температурой (8,1 мес.) выпадает 75% осадков. Испарение на широте Таллинна—Санкт-Петербурга составляет от 217—273 мм/год для песчаных и обнаженных почв до 320—412 мм/год для почв, покрытых лесом или травой, и 352—597 мм/год для водной поверхности в Эстонии (Куузику и Таллинн, многолетний период; Оперативные данные..., 1980—1988).

Структура водосборной площади Северного и Южного карьеров (табл. 2), а также баланс карьерных вод (без учета фильтрации) (табл. 3) показывают, что в целом приток в карьеры за счет атмосферных осадков (84—93% — доля инфильтрации) и подземных вод составляет 42,6 и 57,4% соответственно. Но раздельно по карьерам соотношение

Таблица 2
Структура водосборной площади карьеров в 1986—1987 гг.

Table 2

The structure of the openpit catchment area in 1986—1987

Карьер	Распределение площадей, км ²		
	нарушенная площадь в целом	поверхность отвалов по верхней бровке	площадь, занятая траншеями и др. выработками
Северный	7,84 (100%)	6,72 (85,7%)	1,12 (14,3%)
Южный	1,85 (100%)	0,85 (45,9%)	1,00* (54,1%)
Всего по руднику	9,69 (100%)	7,57 (78,1%)	2,12 (21,9%)

* Включая площадь по вскрыше и добыче известняка.

Таблица 3
Баланс карьерных вод за 1986—1987 гг., млн.м³/год

Table 3

Water balance of openpits in 1986—1987, million m³ a year

Карьер	Общие карьерные стоки	Атмосферные осадки			Приток подземных вод (по разности)
		выпадение	испарение	поступление в гидросеть	
Северный	4,83*	5,4	2,8	2,6 (54%)	2,23 (46%)
доля отвалов	—	4,6	2,3	2,3	—
Южный	2,69*	1,2	0,6	0,6 (21%)	2,09 (79%)
доля отвалов	—	0,7	0,3	0,35	—
Всего	7,52	6,6	3,4	3,2 (42,6%)	4,32 (57,4%)

* В том числе откачка насосами, млн.м³/год: северная насосная Северного карьера — 0,72, южная (центральная) насосная — 1,25, главная насосная Южного карьера — 2,69.

Таблица 4

Баланс вод оз. Маарду за 1984—1989 гг., млн.м³/год

Table 4

Water balance of Lake Maardu in 1984—1989, million m³ a year

Год	Поступление			Расход		
	атмосферные осадки*	карьерные воды (откачка)	из р. Ягала (водовод)	нужды ПО «Эстонфосфорит»	испарение (в среднем)	прямой сброс в овраг, фильтрация и др.
1985 (максимум осадков)	6,07	3,21	0,87	6,8	1,06	+2,29
1987 (минимум осадков)	3,0	3,94	0,84	7,15	1,06	-0,43
1989	5,85	3,21**	0,21	5,89	1,06	+2,32
1984—1989 (в среднем)	5,46	3,94	0,59	6,63	1,06	+2,30

* За вычетом испарения с площади водосбора (14,5 км²).

** Без вод Северного карьера, но с учетом увеличения доли откачки в 1988—1989 гг. из Южного карьера.

Таблица 5

Баланс стоков через овраг Крооди, ноябрь—декабрь 1987 г.

Table 5

Balance of discharge via the Kroodi gully, November—December 1987

Вид стоков	Номер на рисунке	Количество стоков, тыс. м ³ /мес
Стоки ПО «Эстонфосфорит»		
Карьерные и озерные воды, русло ниже дамбы	1	517,5
Ливневые стоки, шахтные воды и пролив промплощадки	2	855,8
Утечки из трубопроводов и других источников	4, 6	294,1
Сброс из шламонакопителей	8	265,0
в том числе стоки г. Маарду	8	160,0
Фильтрация через дамбы:		
шламонакопителей	7, 10, 11	9,2
хвостохранилища обогатительной фабрики	9, 14	26,3
Всего (без стоков г. Маарду)		1807,9 (80,6%)
Остальные стоки		
Поверхностные и другие воды из левого бокового оврага	3	153,7
Канализационные воды предприятий с левого берега	5	64,3
Канализационные воды г. Маарду	21	160,0
Сток конденсата теплотрассы	9а, 14а	0,8
Стоки дачных участков	12, 13	11,1
Атмосферные осадки в пределах оврага		46,4
Всего (включая стоки г. Маарду)		436,3 (19,4%)
Итого		2244,2 (100%)

атмосферных и подземных вод имеет обратные величины: на Северном карьере 54 и 46% (1:0,85), а на Южном 21 и 79% (1:3,76). Расчет общего модуля удельного годового стока также показывает преобладание доли подземных вод на Южном карьере (1,63 млн.м³/км² против 0,63 млн. м³/км² на Северном), но модуль удельного годового массопереноса (как и величина самого массопереноса) растворенных веществ на Северном карьере гораздо выше (1010 т/млн. м³ ДС против 656 т/млн. м³ ДС на Южном).

Причины этих явлений были выявлены в ходе совместных исследований специалистов ИГ АН Эстонии и ГИГХСа, проведенных в 1983—1984 гг. (Наумов, 1985) и в 1988—1989 гг.: карьерные стоки образуют два типа слабощелочных вод — сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-магниевые (рН 7,4—7,9) с минерализацией 1,1—2,4 г/л и сульфатные магниевые-кальциевые (рН 7,2—7,6) с минерализацией 5,6—11,4 г/л. Первый тип приурочен к зонам со слабым самонагревом ДС, второй — к зонам с активными массовыми пожарами 70-х годов, в подавляющем большинстве на Северном карьере***. Превышение содержания магния над содержанием кальция — однозначный индикатор наиболее высокой активности выщелачивания. В целом эти данные подтверждаются исследованиями других авторов: «... в ряду коэффициентов миграции на первом месте стоит S, на втором — Mg и на третьем — Ca» (Пихлак и др., 1985). Кроме того, как показали режимные наблюдения, вокруг Южного карьера в настоящее время образовалась депрессионная воронка и карьер вбирает в себя все виды вод, в то время как Северный не только питается водами ненапорного и напорного горизонтов, но и расходует их — за счет поверхностного дренажа и фильтрации своих вод на север — к глинту, на запад — к оврагу Крооди и на юг — к Южному карьере.

Откачиваемые в оз. Маарду воды Южного карьера по химическому составу гидрокарбонатно-сульфатные, кальциево-магниевые. Их минерализация — 0,8—1,4 г/л, рН 7,4—7,9. Озерные воды также слабощелочные — минерализация 1,5—2,4 г/л, рН 7,1—8,2. Объем воды в озере 2,2—2,8 млн. м³, что соответствует годовому сбросу Южного карьера (2,69 млн. м³).

За счет атмосферных осадков в озеро поступает в среднем 4,4 млн. м³, из р. Ягала — 0,59 млн. м³ (табл. 4). Как видно из этих данных, объем воды в озере физически обновляется трижды в год.

Вопреки ожиданиям, резкого снижения количества минеральных веществ в озере после прекращения в 1988 г. сбросов в него вод Северного карьера не произошло. Этот факт указывает на то, что атмосферные осадки в пределах водосборной площади озера (а также в атмосфере) значительно загрязняются. Процесс очищения озерных вод только наметился и можно ожидать его дальнейшего развития в случае прекращения загрязнения территории аэрозольными выбросами, а также отсутствия роста минерализации вод Южного карьера.

Баланс стоков через овраг Крооди представлен в табл. 5.

Следует отметить, что в последние годы воды оврага Крооди (как и карьерные стоки) проявляют тенденцию к смене кислой реакции на щелочную (ср.: 1980—1983 гг. рН 5,89—6,85; 1984—1988 гг. рН 7,23—7,73).

*** Результаты исследований 1983—1989 гг. при участии В. Костовецкого, А. Курманенко, Е. Кустаревой.

Выводы

1. В отработанном пространстве карьеров фосфоритного рудника Маарду образовался техногенный водоносный горизонт с сульфатно-гидрокарбонатными кальциево-магниевыми (минерализация до 2,4 г/л) и сульфатными магниевыми-кальциевыми (минерализация до 11,4 г/л) стоками. Второй тип вод связан с выщелачиванием из зон с высокотемпературной деструкцией диктионемового сланца.

2. Карьерные стоки, вода оз. Маарду и общие стоки оврага Крооди имеют тенденцию к сдвигу реакции среды в щелочную сторону.

3. По состоянию на 1986—1987 гг., поверхностный годовой сброс карьерных вод в залив Мууга составлял 7,52 млн. м³, из них 3,2 млн. м³ (42,6%) приходилось на атмосферные осадки (84—93% — доля инфильтрации), а 4,32 млн. м³ (57,4%) — на подземные воды ордовикского и ордовико-кембрийского горизонтов.

4. Общий модуль удельного годового стока карьерных вод составляет 0,63 млн. м³/км² на Северном и 1,63 млн. м³/км² на Южном карьерах.

5. Модуль удельного годового массопереноса растворенных веществ с карьерными стоками составляет 1010 т/млн. м³ ДС на Северном и 656 т/млн. м³ ДС на Южном карьерах.

6. Общий среднегодовой сброс в залив Мууга через овраг Крооди, рассчитанный с учетом атмосферных осадков, составляет 24,6—27,1 млн. м³. При этом доля стоков ПО «Эстонфосфорит» составляет 80%, а г. Маарду — 7%. Остальное (13%) приходится на другие предприятия, в основном со стороны Таллинна. Доля карьерных вод в общем сбросе не превышает 28—31%, но доля поставляемых карьерами веществ-загрязнителей достигает почти 50%, из них 40—60% сульфат-ионов. В среднем за год в прибрежную зону Финского залива из этого района поступает около 20 тыс. т тонких взвешенных и 50 тыс. т растворенных веществ.

7. Полученные результаты позволяют не только оценить общий и «маардуский» уровень техногенной нагрузки на гидросферу в акватории залива Мууга и удельный вес горного производства, составить дифференцированный баланс ингредиентов-загрязнителей и дать прогноз их выноса во времени, но и в целом более строго подойти к допустимости сбросов в прибрежные воды Финского залива минерализованных карьерных и шахтных вод без их предварительной очистки.

ЛИТЕРАТУРА

- Валлнер Л. К., Йоханнес Э. Я., Йыгар П. Э., Каризе В. Ю., Хвалынская М. Р. 1988. Влияние освоения фосфоритовых месторождений Раквереского района на гидросферу в Эстонии. — В кн.: Проблемы охраны литосферы в СССР. Тез. совещ.-сем. Таллинн, 14—15 апр. 1988 г. Таллинн, 8—13.
- Йоханнес Э. Я., Каризе В. Ю. 1979. Формирование качества вод при открытом способе добычи фосфоритов в Маарду (ЭССР). — В кн.: Проблемы самоочищения водоемов и регулирования качества воды. Мат.-лы VI всесоюз. симп. Таллинн, 16—18 апр. 1979 г. Таллинн, 66—67.
- Наумов Б. Е. 1980. Проблемы предупреждения самовозгорания диктионемового сланца при разработке фосфоритных месторождений Прибалтики. — В кн.: Тезисы докладов совещания: «Проблемы снижения вредного влияния горных работ на окружающую среду». Новый Роздол, 23—25 сент. 1980 г. Москва, МХП, 73—76.
- Наумов Б. Е. 1981. Основные закономерности процесса аутогенного нагрева диктионемового сланца в отвалах Маардуского фосфоритного рудника. — Сб. науч. тр. ГИГХС, вып. 53. Проблемы горной экологии. Москва, 59—63.
- Наумов Б. Е. 1985. Экологическая эффективность пожаробезопасной технологии отвалообразования с захоронением диктионемового сланца в выработанном пространстве карьера. — Сб. науч. тр. ГИГХС, вып. 66. Экологические проблемы горного производства. Москва, 65—69.

- Наумов Б. Е. 1986. Предупреждение самовозгорания горных пород в отвалах при открытых разработках фосфоритных месторождений Прибалтики. Автореф. канд. дис. Москва.
- Наумов Б. Е., Александров И. В., Войтковский Ю. Б. 1988. Фазообразование железосодержащих компонентов в процессах автоокисления и самовозгорания диктионового сланца. — Хим. тв. топл., 4, 41—52.
- Оперативные данные наблюдений УГКС ЭССР. 1980—1988. Таллинн.
- Пихлак А. А., Маремяэ Э. Я., Ялакас Л. Э. 1985. Водное выщелачивание диктионовых сланцев и известняков из фосфоритовых месторождений Маарду и Тоолсе Эстонской ССР. — Горючие сланцы, 2/2, 155—168.

Представил В. Пуура

Поступила в редакцию
1/III 1991

Boriss NAUMOV, Vello KARISE

MINERAALAINETE VÄLJAKANNE MAARDU FOSFORIIDIKARJÄÄRIST SOOME LAHTE

On esitatud Kroodi orgu juhivate heitvete ja Maardu fosforiidikarjääri heitvete klassifikatsioon, samuti Tallinna Uussadama piirkonna vesikondade struktuur, veebilanss ning Soome lahte suunatavate heitvete eriaravoolu ja saastavate ingredientide eriväljake moodsid. Karjääri heitvee koguhulk on 7,52 mlj. m³ aastas, millest 42,6% moodustub sademete ja 57,4% põhjavee arvel. Eriaravoolu moodul on Põhjakarjääris 0,63 mlj. m³ aastas, Lõunakarjääris 1,63 mlj. m³ aastas ühelt ruutkilomeetrilt ning heitvees lahustunud ingredientide eriväljake moodul vastavalt 1010 ja 656 tonni 1 mlj. m³ diktiooneema argilliidi kohta aastas.

Kroodi orgu juhivatest 24,6—27,1 miljonist kuupmeetrist heitveest moodustab karjääri vesi 28—31%, heitvees lahustunud ingredientidest pärineb karjäärist aga kuni 50%. Koos keemilise töötlemise jääkidega annab tootmiskoondis «Eesti Fosforiit» aga umbes 80% Kroodi orgu juhivatest heitmetest. Aasta jooksul satub Kroodi orgu kaudu Muuga lahte keskmiselt ligi 20 000 tonni hõljuvaineid ja 50 000 tonni vees lahustunud aineid.

Boris NAUMOV and Vello KARISE

OUTFLOW OF MINERAL SUBSTANCES FROM MAARDU PHOSPHORITE OPENPIT INTO THE GULF OF FINLAND

A classification of wastewater in the Kroodi gully and Maardu phosphorite openpits, Estonia, is given. The geological structure of drainage areas, the balance and moduli of specific wastewater discharge, and the outflow of dissolved ingredients polluting the Gulf of Finland in the vicinity of the Tallinn New Port are under consideration. A total of 7.52 million m³ of wastewater is annually supplied by openpits, of this total 42.6% is formed on the account of precipitation and 57.4% on the basis of groundwater. The modulus of annual specific discharge in the northern and southern openpits is 0.63 and 1.63 million m³ per km², respectively, and the annual outflow of dissolved ingredients is 1010 and 656 tons per one million m³ of Dictyonema argillite, respectively.

Openpits supply 28—31% of the total of 24.6—27.1 million m³ of wastewater entering the Kroodi gully, and up to 50% of dissolved ingredients. About 80% of wastewater forced into the Kroodi gully is provided by the *Estonian Phosphorite Association*. Annually, an average of 20,000 tons of suspended and 50,000 tons of dissolved substances reach Muuga Bay via the Kroodi gully.