



УДК 504.5:628.33

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ СТОЧНЫХ ВОД В КРУПНОКУСКОВЫХ МАССИВАХ ИЗ РАЗРУШЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ РАЗРЕЗА «КАМЫШАНСКИЙ»

Макридин Е.В.¹, Тюленев М.А.², Марков С.О.²

¹ АО «СУЭК-Кузбасс»

² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Аннотация.

В процессе угледобычи как открытым, так и подземным способом образуется значительное количество сточных вод. Данные стоки загрязнены взвешенными частицами, растворенными веществами. Для очистки таких сточных вод используются промышленные фильтры, состоящие из прудов-отстойников, фильтрующих дамб, прудов сбора очищенной воды, станций бактериальной УФ-доочистки. Фильтрующие дамбы, наряду с их относительно небольшими размерами, имеют один большой недостаток: их сооружение требует специальной фильтрующей загрузки. В качестве наполнителя для такой загрузки применяется керамзит, цеолиты, специально изготавливаемые сорбенты. В качестве альтернативы использования дорогостоящих материалов для фильтрования карьерных (шахтных) сточных вод предлагается использовать коренные породы вскрыши.

Для оценки пригодности использования вскрышных пород в качестве фильтрующего материала необходимо провести их соответствующее исследование, которое будет заключаться в возведении экспериментального фильтрующего массива, пропускании через него загрязненной карьерной воды, в отборе проб воды и коренных пород, анализе данных проб.

В данной работе дано описание проведения эксперимента по очистке карьерных сточных вод: рассмотрена постановка задачи, установлены предполагаемые факторы, влияющие на процесс очистки и соответствующие им отклики; приведены некоторые результаты. Описан порядок реализации эксперимента, способы измерения и расчета наблюдаемых откликов. Полученные данные будут использованы в качестве исходных при расчете оптимальных конструкций и литологических составов фильтрующих дамб в системах водоочистки на предприятиях АО «СУЭК-Кузбасс».

Информация о статье

Принята 27 апреля 2020 г.

Ключевые слова:

карьерные сточные воды, фильтрование, очистка сточных вод, крупнокусковые фильтрующие массивы, открытые горные работы, геоэкология угледобывающих предприятий

EXPERIMENTAL STUDY OF THE QUARRY WASTEWATER FILTERING IN COARSE-GRAINED MASSIFS OF ROCK DEBRIS AT KAMYSHANSKY OPEN PIT MINE

Eugene V. Makridin¹, Maxim A. Tyulenev², Sergey O. Markov²

¹ JSC “SUEK-Kuzbass”

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University



Article info

Received April 27, 2020

Keywords: quarry wastewaters, filtering, wastewater treatment, coarse-grained filtering massifs, open pit mining, environmental engineering of mining enterprises

Abstract.

Both open-pit and underground coal mining produces a significant amount of wastewater. These waters are contaminated with suspended particles and dissolved substances. Industrial filters are used for the treatment of such wastewater, consisting of settling ponds, filter dams, purified water collection ponds and bacterial UV treatment stations. Filter dams, along with their relatively small size, have one big disadvantage: their construction requires a special filter load. Ceramzite, zeolites and specially produced sorbents are used as fillers for such loading. As an alternative to using expensive materials for mine's wastewater filtration, it is proposed to use overburden rocks.

In order to assess the suitability of overburden for use as a filter material, it is necessary to carry out a corresponding study, which will consist in the construction of an experimental filter massif, the filtering of contaminated quarry water through it, the sampling of water and rocks, analysis of data. This paper describes the experiment on quarry wastewater treatment: the problem statement is considered, the assumed factors influencing the treatment process and their corresponding responses are established; some results are given. The order of realization of experiment, ways of measurement and calculation of observed responses is described. The received data will be used as initial at calculation of optimum designs and lithological compositions of filtering dams in water treatment systems at the enterprises of «SUEK-Kuzbass» JSC.

Введение. Актуальность работы

Карьерные сточные воды при угледобыче перед сбросом в открытые водные источники в любом случае подвергаются очистке.

Типовые схемы водоочистки при открытой угледобыче включают в себя сбор всех водопритоков в зумпфах карьерной выработки, их транспортировку до очистных сооружений, аккумуляцию и первичную очистку от крупных взвесей в пруде-отстойнике, аккумуляцию предварительно очищенной воды в прудке осветленной воды, очистку через фильтрующую дамбу, доочистку ультрафиолетом на обеззараживающей станции и сброс в речную сеть.

В целом, вопросу фильтрования и очистки карьерных и шахтных вод, в том числе с использованием инновационных технологий и наноматериалов, посвящено достаточно большое число исследований отечественных и зарубежных авторов [9-25].

Использование цеолитов, обычно предусмотренное проектом водоочистных сооружений разреза, позволяет максимально очистить воду от вредных примесей, что особенно актуально при все более возрастающей техногенной нагрузке на регион. В то же время сами цеолиты являются достаточно редким и ценным сорбентом, что ограничивает их широкое применение в условиях интенсификации ведения горных работ в Кемеровской области. Применение в качестве фильтрующей загрузки пород вскрыши, извлекаемых при отработке месторождения, позволит снизить техногенную нагрузку горных работ на экологию участка и сократить затраты на возведение фильтрующих массивов, как основных элементов очистных сооружений.

Исходные данные

Существующие очистные сооружения карьерных, ливневых и талых вод предприятия (рис. 1) состоят из [15]:

- пруда-отстойника вместимостью 31,3 тыс. м³ с ограждающей дамбой;
- прудка осветленной воды вместимостью 11,2 тыс. м³ с фильтрующей дамбой;
- прудка очищенной воды вместимостью 8,9 тыс. м³ с ограждающей дамбой;
- проточной станции обеззараживания.

В пруде-отстойнике осаждается не менее 90% взвешенных частиц, поступающих со сточными водами.

Основным фильтром является фильтрующая дамба, имеющая следующие параметры:

- длина по гребню 176 м;
- ширина по гребню 11 м;
- ширина по подошве 23,5 м.

Дамба возведена из взорванных скальных вскрышных пород и огорожена со стороны подошвы противофильтрационным экраном.

Для дополнительной очистки стоков от тяжелых металлов, железа и других загрязнений со стороны низового откоса фильтрующей дамбы предусмотрено устройство прослойки из цеолита.

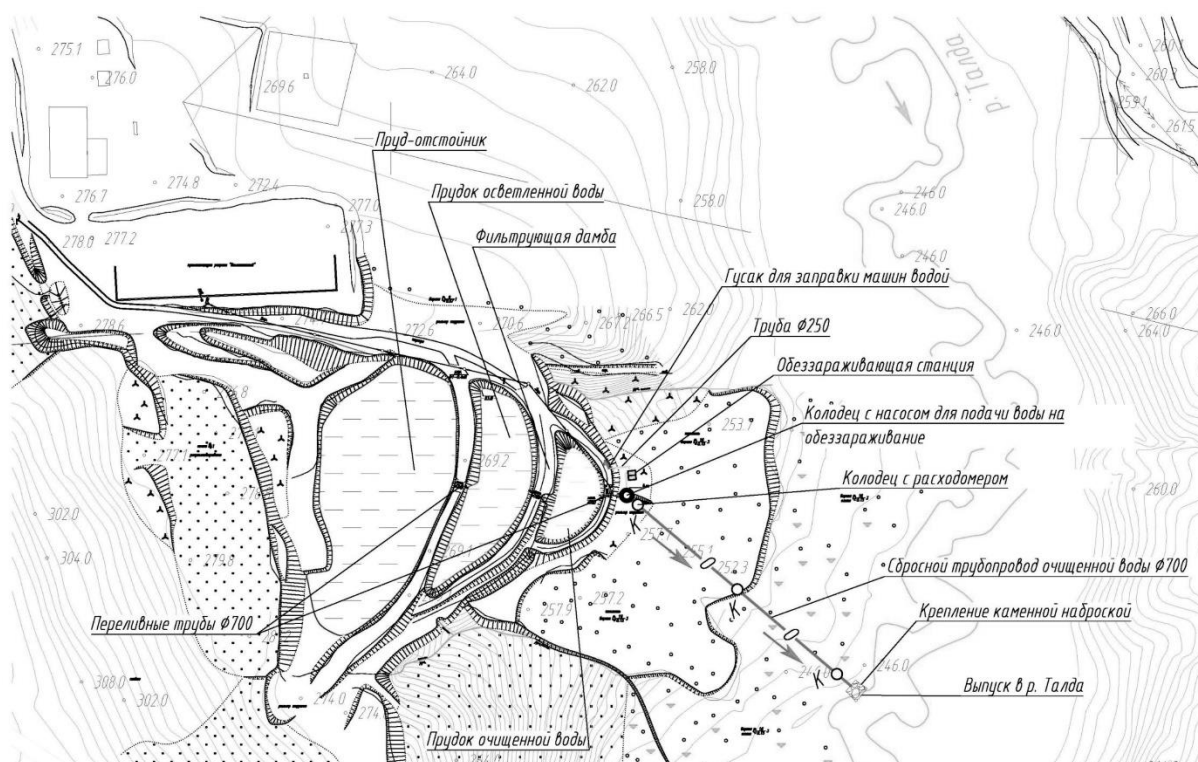


Рис. 1. Очистные сооружения карьерных, ливневых и талых вод

Постановка цели и задач

Целью исследования является установление влияния гранулометрического и петрографического состава скальных пород вскрыши, используемых для возведения фильтрующих дамб, минерального состава пород и их физических свойств на качество улавливания взвесей и растворенных веществ.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Выбор параметров и места размещения опытного фильтрующего массива (ОФМ).
2. Устройство ОФМ с использованием скальных пород вскрыши с определенного горизонта с одновременным отбором проб породы.
3. Промывка массива, опытное фильтрование и отбор проб воды.
4. Определение гидродинамических характеристик ОФМ.
5. Определение массовой концентрации химических элементов Fe, Mn, As, Se, Zn, Cu, Al, Pb, Sr, анионов SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и наличие или отсутствие Hg в пробах воды при ее фильтровании через ОФМ.



6. Проведение анализа удельной поверхности, объема и размеров пор и их распределения по размерам во вскрышных породах, использующихся для возведения ОФМ (в общем случае – для возведения любых фильтрующих дамб).

7. Определение минерального состава пород, используемых для возведения ОФМ.

8. Определение степени влияния минерально-петрографического состава вскрышных пород на степень очистки карьерных сточных вод от загрязняющих примесей.

Факторы, предположительно влияющие на результаты эксперимента:

- параметры ОФМ (длина, ширина, глубина, уклон основания);
- литологический и минеральный состав пород, загруженных в ОФМ;
- концентрация загрязняющих веществ на входе в ОФМ;
- гранулометрический состав пород фильтрующей загрузки.

Отклики как наблюдаемые случайные переменные, зависящие от факторов:

- концентрация загрязняющих веществ по длине и на выходе из ОФМ;
- напорные градиенты и скорость фильтрации воды в теле ОФМ;
- коэффициент фильтрации ОФМ.

Постановка эксперимента

Эксперимент состоит в сооружении трех выемок в отвале пласта 75 разреза «Камышанский», представляющих собой траншеи трапециевидного поперечного сечения с уклоном в сторону откоса отвала. Внешний вид выемок представлен на рис. 2-а, б.

Размеры выемок выбраны следующие: длина 15 м (0,64 от длины по подошве фильтрующей дамбы очистных сооружений разреза), ширина 2,5 м, глубина от 0 м в начальной части до 1,5 м в конце. Ширина и глубина выбираются исходя из возможности дальнейшей гидроизоляции дна и боков выемки с целью недопущения инфильтрации карьерных сточных вод, пропускаемых через ОФМ, в тело отвала. Гидроизоляция осуществляется в 2 продольных полосы полиэтиленовой пленкой шириной 3 м (рис. 3).

После монтажа гидроизоляции определяется место заложения вертикальных перфорированных полиэтиленовых пьезометров в тело ОФМ, предназначенных для отбора проб воды по направлению потока. В ОФМ было принято 5 точек отбора проб: первая – в месте входа воды в ОФМ, вторая, третья и четвертая – внутри ОФМ через вышеуказанные пьезометры, пятая – в месте выхода воды.

Таблица 1. Данные гранулометрического состава угля нижней пачки пласта 73

№ п.п	Размер фракции d, мм	Масса фракции g _i , г	Содержание фракции A _i , %	Суммарное содержание фракций W, %
1	более 10	70,05	39,06683	100
2	7–10	24,9	10,99404	60,93317
3	5–7	24,93	9,337741	49,93913
4	3–5	29,1	11,81625	40,60139
5	2–3	20,42	8,928229	28,78515
6	1–2	19,63	9,91013	19,85692
7	0,5–1	9,24	4,392738	9,946789
8	0,25–0,5	4,48	2,676508	5,55405
9	менее 0,25	4,5	2,877542	2,877542

В эксперименте на первом этапе использованы крупнообломочные взорванные скальные породы междупластья пластов 73 и 78 и разубоженный уголь нижней пачки пласта 73 с целью выявления возможности их использования в качестве фильтрующей загрузки.



Рис. 2-а. Формирование первой выемки на опытном участке



Рис. 2-б. Общий вид опытного участка



Рис. 3. Гидроизоляция основания и откосов выемки для ОФМ

W, %

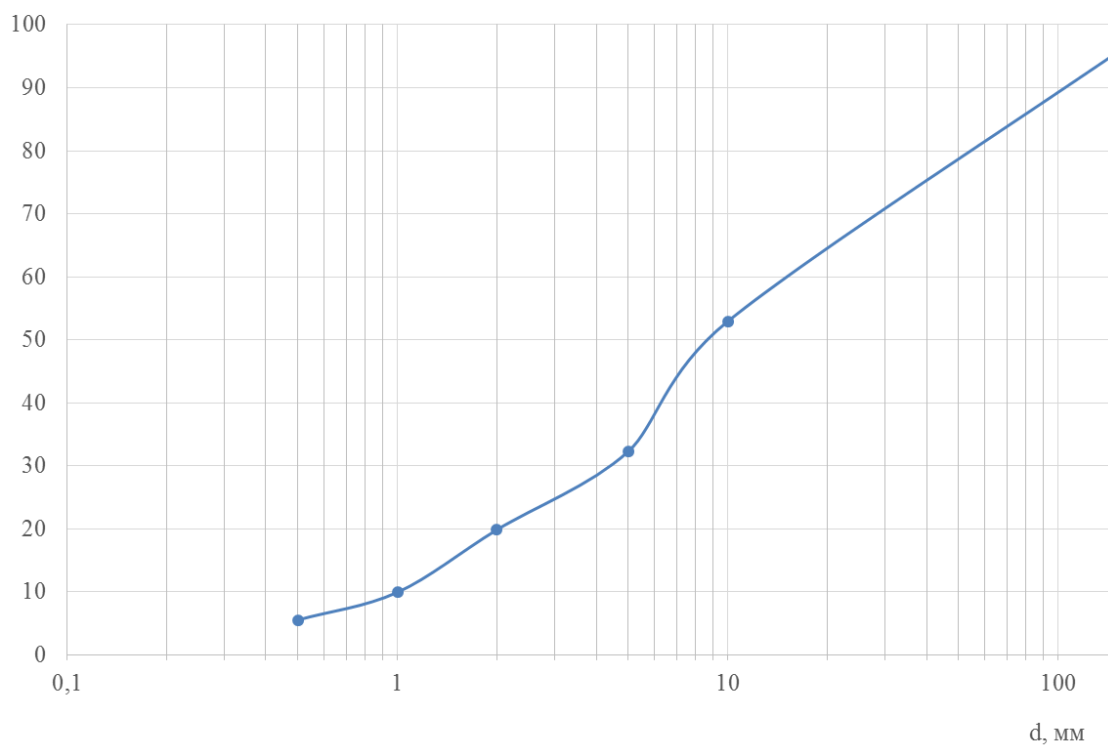


Рис. 4. Интегральная кривая гранулометрического состава угля из нижней пачки пласта 73



Материалы и методы исследования

Поскольку уголь представлял собой мелкодисперсный грунт, в соответствии с [3] был проведен его гранулометрический анализ ситовым методом без промывки водой.

Данные гранулометрического состава угля приведены в табл. 1, интегральная кривая гранулометрического состава – на рис. 4.

Таблица 2. Данные измерения коэффициента фильтрации угли нижней пачки пласта 73 (без примеси глины)

№ опыта	Объем воды Q, см ³	Время фильтрации T, с	Коэффициент фильтрации k _ф , см/с	Коэффициент фильтрации, приведенный к 10 °С, k ₁₀ , см/с	Коэффициент фильтрации k _ф , м/сут.
Напорный (гидравлический) градиент I = 0,3					
1	10	72	0,018518519	0,015007225	12,96624248
2	10	64	0,020833333	0,016883128	14,58702279
3	10	68	0,019607843	0,015890003	13,72896263
4	10	70	0,019047619	0,015436003	13,33670655
5	10	68	0,019607843	0,015890003	13,72896263
6	10	69	0,019323671	0,015659713	13,52999216
7	10	70	0,019047619	0,015436003	13,33670655
8	10	70	0,019047619	0,015436003	13,33670655
				Среднее	13,56891279
Напорный (гидравлический) градиент I = 0,4					
1	10	49	0,020408163	0,016538575	14,28932845
2	10	46	0,02173913	0,017617177	15,22124118
3	10	48	0,020833333	0,016883128	14,58702279
4	10	47	0,021276596	0,017242344	14,89738498
5	10	47	0,021276596	0,017242344	14,89738498
6	10	48	0,020833333	0,016883128	14,58702279
7	10	46	0,02173913	0,017617177	15,22124118
8	10	47	0,021276596	0,017242344	14,89738498
				Среднее	14,82475142
Напорный (гидравлический) градиент I = 0,5					
1	10	57	0,014035088	0,011373897	9,827046935
2	10	60	0,013333333	0,010805202	9,335694588
3	10	55	0,014545455	0,011787493	10,1843941
4	20	116	0,013793103	0,011177795	9,657615091
5	10	64	0,0125	0,010129877	8,752213676
6	10	54	0,014814815	0,01200578	10,37299399
7	10	61	0,013114754	0,010628068	9,182650414
				Среднее	9,616086969
Напорный (гидравлический) градиент I = 0,6					
1	10	41	0,016260163	0,013177076	11,3849934
2	20	83	0,016064257	0,013018316	11,2478248
3	10	43	0,015503876	0,012564188	10,85545882



№ опыта	Объем воды Q, см ³	Время фильтрации T, с	Коэффициент фильтрации k _ф , см/с	Коэффициент фильтрации, приведенный к 10 °С, k ₁₀ , см/с	Коэффициент фильтрации k _ф , м/сут.
4	10	41	0,016260163	0,013177076	11,3849934
5	10	44	0,015151515	0,012278639	10,60874385
6	10	45	0,014814815	0,01200578	10,37299399
7	10	41	0,016260163	0,013177076	11,3849934
8	10	46	0,014492754	0,011744785	10,14749412
				Среднее	10,92343697
Напорный (гидравлический) градиент I = 0,7					
1	10	40	0,014285714	0,011577002	10,00252992
2	10	40	0,014285714	0,011577002	10,00252992
3	10	40	0,014285714	0,011577002	10,00252992
4	10	40	0,014285714	0,011577002	10,00252992
5	10	43	0,013289037	0,010769304	9,304678991
6	10	41	0,013937282	0,011294636	9,758565771
7	10	42	0,013605442	0,011025716	9,526218967
8	10	41	0,013937282	0,011294636	9,758565771
				Среднее	9,794768645
Напорный (гидравлический) градиент I = 0,8					
1	10	33	0,015151515	0,012278639	10,60874385
2	10	29	0,017241379	0,013972244	12,07201886
3	10	33	0,015151515	0,012278639	10,60874385
4	10	30	0,016666667	0,013506503	11,66961823
5	10	32	0,015625	0,012662346	10,9402671
6	10	31	0,016129032	0,013070809	11,29317894
7	10	33	0,015151515	0,012278639	10,60874385
8	10	30	0,016666667	0,013506503	11,66961823
				Среднее	11,18386661
Напорный (гидравлический) градиент I = 0,9					
1	10	31	0,014336918	0,011618497	10,03838128
2	10	29	0,01532567	0,012419772	10,73068343
3	10	29	0,01532567	0,012419772	10,73068343
4	20	57	0,015594542	0,012637663	10,91894104
5	10	32	0,013888889	0,011255419	9,724681862
6	10	28	0,015873016	0,012863336	11,11392213
7	10	29	0,01532567	0,012419772	10,73068343
8	5	16	0,013888889	0,011255419	9,724681862
				Среднее	10,46408231

Анализ данных гранулометрического состава показал, что действующий диаметр частиц угля $d_{10} = 1,01$ мм, контролирующий диаметр $d_{60} \approx 10,4$ мм, медианный $d_{50} \approx 8,4$ мм.

Форма обломков грунта – от самых мелких до самых крупных – неокатанная угловатая.



Рис. 5. Точки отбора породы для загрузки в ОФМ: 81, 78, 73, 71 – пласты; а – точка отбора взорванных скальных пород; b – точка отбора разубоженного угля

Согласно [1] грунт относится к крупнообломочному дресвяному грунту с глинистым заполнителем. Коэффициент неоднородности грунта



$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 10,3 \quad (1)$$

показывает, что данная порода относится к грунтам, неоднородным по гранулометрическому составу. В то же время механическая суффозия в данном грунте маловероятна ($C_u < 30$) и возможна только в краевой части массива в месте выхода воды из водонасыщенного слоя.



а



б

Рис. 6. Укладка фильтрующей загрузки ОФМ в подготовленную выемку:
а – предварительно установленный и зафиксированный пьезометр в будущей точке отбора проб воды; б – процесс разгрузки породы погрузчиком в выемку



Значительное содержание синих глин (до 20% по массе, в данных гранулометрического состава не учтены) исключает использование данного грунта в качестве фильтрующей загрузки для очистки карьерных промстоков.

В то же время при наличии технической возможности для удаления примеси глины данный грунт может быть использован в качестве фильтрующей загрузки. Это подтверждается данными исследования его водопроницаемости, приведенными в табл. 2.

Исследования коэффициента фильтрации грунта с удаленными включениями глины проводились с использованием прибора КФ-00М в соответствии с [2]. Без примеси глины, согласно действующей классификации, грунт являлся бы сильноводопроницаемым, поскольку его коэффициент фильтрации принимал значения от 3 до 30 м/сут.

Примеси глины приводят к тому, что в полевых условиях вода, залитая в приемный прудок, уходит предельно медленно: объем воды примерно 300-400 л проходит через массив длиной 3 м в течение 3-4 часов. Порода, представленная мелко-, средне- и крупнозернистыми песчаника, взятыми из междупластья пластов 73 и 78, в фильтрационном отношении гораздо более водопроницаема из-за полного отсутствия включений глины. Гранулометрический состав взорванных песчаников не исследовался из-за значительного содержания глыбового (>200 мм) материала.

Точки отбора породы приведены на рис. 5. Порода отбирается валовым способом без сортировки по гранулометрическому и литологическому составу.

Далее в подготовленные надлежащим образом выемки с помощью погрузчика производится укладка породы (рис. 6). Порода укладывается таким образом, чтобы:

- верхний гребень ОФМ примерно совпадал с уровнем верхней бровки выемки, поскольку более низкое заложение верхнего гребня может привести к совпадению его уровня с уровнем фильтрующейся воды, что приведет к нарушению чистоты эксперимента, а более высокое заложение экономически нецелесообразно;
- в начале выемки оставалось место для прудка-приемника загрязненной воды;
- была возможность безопасной установки перфорированных пьезометров для отбора проб воды во время ее фильтрации через ОФМ. Пьезометры устанавливаются вертикально, примерно на равном расстоянии от бортов выемки, друг от друга и от крайних точек отбора проб.

В первый ОФМ укладываются крупнообломочные скальные породы междупластья пластов 78 и 73, во второй – разубоженный уголь нижней пачки пласта 71, в третий – смесь указанных скальных пород и угля в соотношении 1:1.

После формирования ОФМ проводилось нивелирование дна выемок с целью установления точных расстояний между точками отбора проб, уклонов соответствующих отрезков и общей длины ОФМ.

Нивелирование выполнялось с помощью точного нивелира Н-3 и рейки нивелирной РН-3 с шашечными сантиметровыми делениями. При этом в точках 1 и 5 (в точке 4 для ОФМ №3) рейка устанавливается непосредственно вблизи тела ОФМ, а в точках 2, 3, 4 (в точках 2, 3 для ОФМ №3) рейка устанавливается в пьезометр для отбора проб воды.

Данные технического нивелирования приведены в табл. 3–5. Полученный продольный профиль ОФМ №1 представлен на рис. 7. Для ОФМ №2 и №3 продольные профили имеют аналогичную конфигурацию.

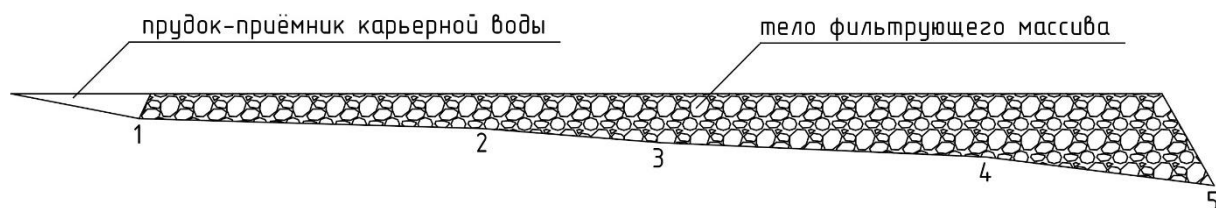


Рис. 7. Продольный профиль фильтрующего массива: 1, 2, 3, 4 – точки отбора проб воды; заложение пьезометров – в точках 2, 3, 4



После возведения ОФМ производилась промывка их водой, подвозимой с помощью поливаторосительной машины на базе автомобиля БелАЗ-7540 (рис. 8). Напор в выходном патрубке машины подбирался таким образом, чтобы не происходило переполнение прудка-приемника ОФМ, и в то же время уровень воды в нем не снижался, но оставался постоянным. Промывка в течение 10 рабочих дней осуществлялась для уменьшения содержания пылеватых частиц, присутствующих на кусках породы.

Таблица 3. Данные технического нивелирования дна выемок для ОФМ №1

№ точки, n	Отсчёты по рейке, мм			Расстояние S от станции до точки, мм	Превышение h _n , мм	Расстояние S, мм	Уклон, ‰	Уклон, tg α	α, градус
	н	с	в						
1	2500	2350	2190	30500	150	5250	28,57	0,029	1,64
2	2680	2500	2325	35750	180	2750	65,46	0,066	3,75
3	2870	2680	2480	38500	220	5000	44	0,044	2,52
4	3120	2900	2690	43500	435	3500	124,29	0,12	7,09
5	3570	3335	3100	47000					
Общее по всей длине					985	16500	59,7	0,06	3,42

Таблица 4. Данные технического нивелирования дна выемок для ОФМ №2

№ точки, n	Отсчёты по рейке, мм			Расстояние S от станции до точки, мм	Превышение h _n , мм	Расстояние S, мм	Уклон, ‰	Уклон, tg α	α, градус
	н	с	в						
1	2570	2470	2370	20000	230	5500	41,82	0,042	2,4
2	2830	2700	2580	25500	210	2500	84	0,084	4,80
3	3050	2910	2770	28000	50	4000	12,5	0,013	0,72
4	3120	2960	2800	32000	330	4000	82,5	0,083	4,72
5	3470	3290	3110	36000					
Общее по всей длине					820	16000	51,25	0,051	2,93

Таблица 5. Данные технического нивелирования дна выемок для ОФМ №3

№ точки, n	Отсчёты по рейке, мм			Расстояние S от станции до точки, мм	Превышение h _n , мм	Расстояние S, мм	Уклон, ‰	Уклон, tg α	α, градус
	н	с	в						
1	2740	2590	2440	30000	200	4000	50	0,05	2,86
2	2960	2790	2620	34000	220	4000	55	0,055	3,15
3	3200	3010	2820	38000	520	6500	80	0,08	4,57
4	3750	3530	3300	44500					
Общее по всей длине					940	14500	64,83	0,065	3,71



Далее проводились измерения таких параметров течения воды в теле ОФМ, как ее уровень в пьезометрах и в точке 1, напорный градиент между точками отбора проб, скорость понижения уровня с момента прекращения подачи воды в прудок-приемник. Механизированный отбор воды (водопонижения) в точках отбора проб не осуществлялся, поэтому динамический напор h_d потока воды в пьезометрах соответствует статическому напору H .



Рис. 8. Промывка ОФМ и заполнение прудка-приемника водой

Результаты замера уровня (напора) воды в точках отбора проб воды приведены в табл. 6.

Таблица 6. Результаты измерений уровня (напора) воды в точках отбора проб

Точка отбора пробы	Высота столба воды в пьезометре, мм		
	Установившееся движение, в точке 1 напор постоянный	Через 7 минут после прекращения заливки	Через 15 минут после прекращения заливки
	Время		
	15:15	15:22	15:30
1	210	110	68
2	198	42	35
3	335	92	70
4	310	110	55
5	10	10	5

Результаты и обсуждение

Для вычисления гидравлических характеристик установившегося неравномерного движения фильтрующейся воды рассмотрим чертеж на рис. 9. Выделим условную плоскость сравнения 0-0. Без учета скоростных напоров, которые чрезвычайно малы в реальных условиях



движения фильтрующей воды в теле ОФМ, и с напором в любом сечении потока равным отметке свободной поверхности воды в этом сечении [4], выразим напор H в сечении точки 2 над плоскостью сравнения 0-0 через высоту столба воды h , измеряемую по вертикали:

$$H = C_0 - s \cdot i_0 + h, \quad (2)$$

где C_0 – расстояние от плоскости сравнения 0-0 до водонепроницаемого дна ОФМ в точке 1 ($s = 0$); s – расстояние от начального сечения (от точки 1), отсчитываемое вдоль дна ОФМ; $i_0 = \sin \alpha$ – уклон дна ОФМ, α – угол наклона дна ОФМ на рассматриваемом отрезке. Пьезометрический уклон потока

$$I = -\frac{dH}{ds} = i_0 - \frac{dh}{ds}. \quad (3)$$

Поскольку геометрические параметры потока на каждом участке n (1-2, 2-3, 3-4, 4-5) повторяют конфигурацию дна ОФМ, длина пути фильтрации L_n может быть принята за длину дна соответствующего участка s_n , в том числе на участке потока 2-3, соответствующий прямой подпора [5].

Фильтрация воды в теле ОФМ происходит в зоне полного насыщения. Поскольку взорванная горная масса, из которой формируется фильтрующая загрузка, содержит достаточное количество мелких фракций, что подтверждается исследованиями гранулометрического состава вскрышных пород, складированных в отвалы [6-8], скорость потока u и напорный градиент (пьезометрический уклон потока) I связаны линейным законом фильтрации:

$$u = k \left(i_0 - \frac{dh}{ds} \right) = k \left(-\frac{dH}{ds} \right) = kI \quad (4)$$

Исходя из данных, полученных в результате технического нивелирования, были рассчитаны превышения уровня воды dh в пьезометрах и напора dH относительно условной горизонтальной плоскости водоупора 0-0, соответствующей высотной отметке точки отбора проб №5, по длине пути фильтрации. Соответствующие значения приведены в табл. 7.

Таблица 7. Значения падения напоров на участках пути фильтрации в ОФМ при установившемся движении

Участок между точками	Падение напора dH , м, относительно условной плоскости водоупора 0-0	Падение напора в пьезометрах dh , м	Длина участка s , м
1–2	0,36	0,012	5,25
2–3	0,378	- 0,137	2,75
3–4	0,555	0,025	5,0
4–5	0,745	0,3	3,5

Из табл. 7 видно, что значения напора dH относительно условной горизонтальной плоскости водоупора 0-0, соответствующей высотной отметке точки отбора проб №5, равны сумме высоты столба воды в соответствующей точке (табл. 6) и превышения данной точки h_n относительно последующей точки по длине пути фильтрации (табл. 3).

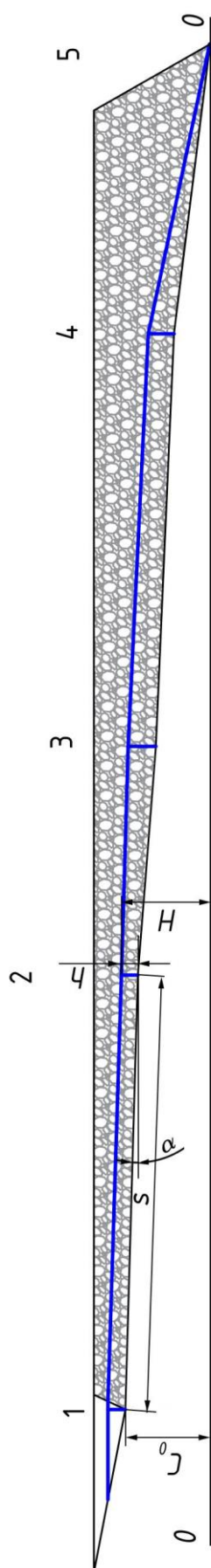


Рис. 9. Схема к определению гидравлических характеристик потока фильтрующейся воды в теле ОФМ: 1, 2, 3 – точки отбора проб, в т.ч. с установленными пьезометрами

Положительные значения dh соответствуют относительному падению напора, отрицательные – его относительному повышению. Данными значениями достаточно сложно оперировать в их чистом виде, поскольку разные участки по направлению фильтрации имеют разное значение в гидродинамическом отношении, сменяясь от участков сброса с положительными значениями dh к участкам подпора с отрицательными значениями dh .

Измерение скорости фильтрации и на отдельных участках ОФМ, планируемое в дальнейших исследованиях, позволит рассчитать *in situ* коэффициент фильтрации горной массы, используемой для сооружения фильтрующих массивов.

Коэффициент фильтрации является величиной постоянной для данной конкретной фильтрующей загрузки, используемой в эксперименте. Механической и химической суффозией можно пренебречь, поскольку увеличения выноса взвешенных частиц и деформации тела ОФМ в процессе фильтрации воды не наблюдалось.

Таким образом, характер изменения скорости фильтрации и напорного градиента с течением времени после прекращения подачи воды в прудок-приемник укажет характер течения воды в теле ОФМ. Поскольку скорость течения воды в ОФМ в рамках данного эксперимента не измерялась, остановимся на результатах измерения напоров в точках отбора проб воды.

Непосредственно результаты замеров изменения уровня воды в пьезометрах приведены в табл. 6. Из приведенных данных видно, что величина напора H после прекращения подачи воды в прудок-приемник с течением времени меняется нелинейно. На рис. 10 приведен характер изменения высоты столба воды в точках 1–4.

В конечной точке 5 ОФМ, т.е. в месте разгрузки потока фильтрующейся воды, динамика изменения столба воды не производилась ввиду сложной конфигурации потока (весьма нестабильной по высоте и ширине), а также неровного дна выемки и наличия крупных обломков горной массы.

Анализ данных, приведенных на рис. 10, показал, что в точках, характеризующих начало и конец участка кривой подпора (точки 2 и 3), интенсивность уменьшения уровня воды в теле ОФМ после прекращения подачи воды в прудок-приемник с течением времени резко падает:

$\frac{dh_i}{dt} = 0,875$ мм/мин для точки 2, $\frac{dh_i}{dt} = 2,75$ мм/мин для точки 3 (dh_i – изменение напора в пьезометре за промежуток времени dt) по сравнению с точками, характерными для начала кривых сброса (точки 1 и 4), где такой картины не наблюдается:

$\frac{dh_i}{dt} = 5,25$ мм/мин для точки 1 и $\frac{dh_i}{dt} = 6,875$ мм/мин для точки 4. Это связано с тем, что подпитка участка кривой подпора 2-3 осуществляется некоторое время после прекращения подачи воды в прудок-приемник за счет объемов жидкости, содержащейся на участке кривой сброса 1-2. В точке 4 за счет резкого увеличения уклона участка 4-5 происходит интенсификация сброса (т.е.



увеличение напорного градиента, а следовательно, и скорости фильтрующегося потока). Это подтверждается более интенсивным снижением уровня воды в пьезометре данной точке по сравнению с точками 2 и 3.

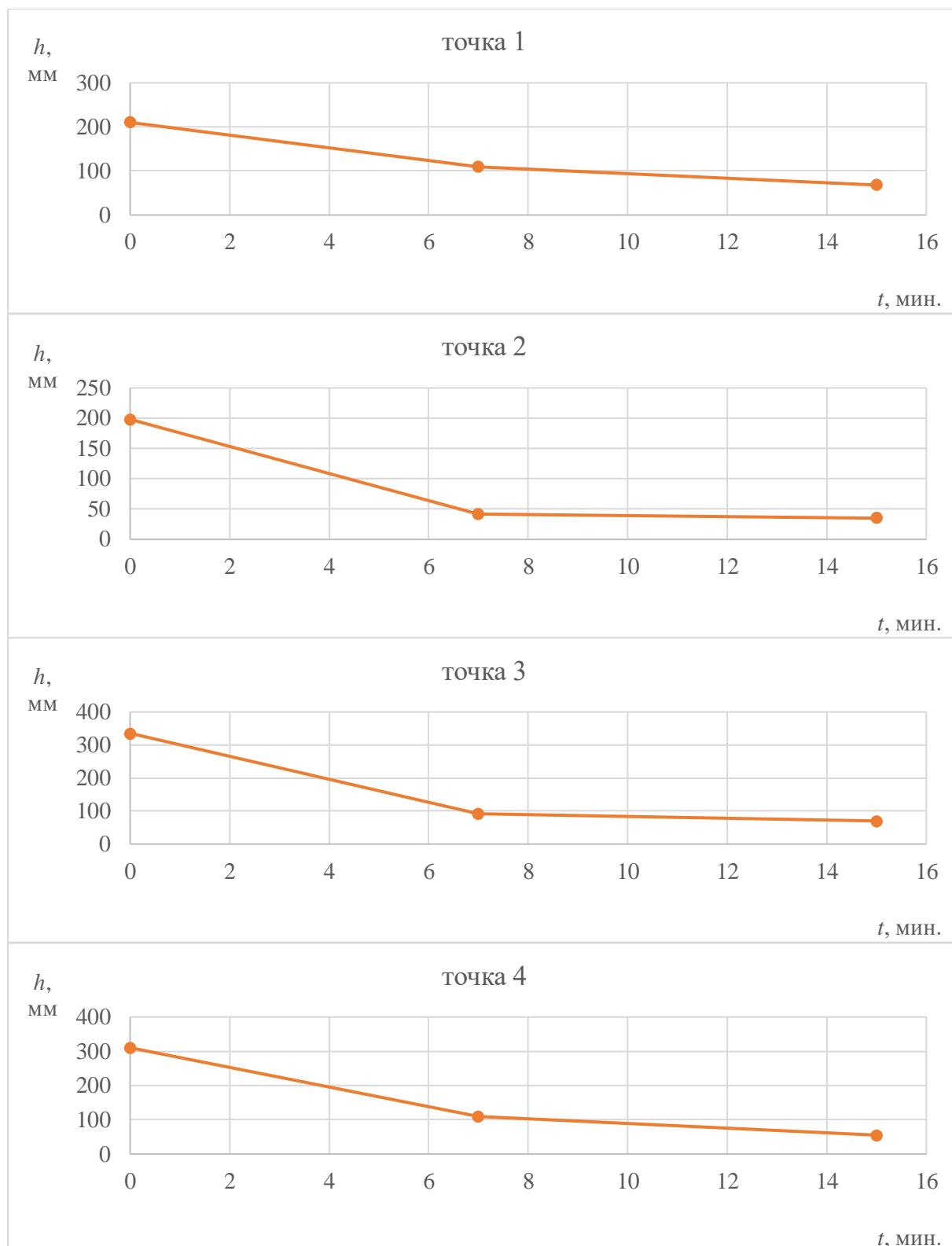


Рис. 10. Зависимость высота столба воды h в точках отбора проб от времени t после прекращения подачи воды в прудок-приемник ОФМ.



Рис. 11. Образцы горных пород, загруженных в ОФМ

В литологическом отношении вскрышные породы участка разреза «Камышанский» представлены песчаниками, аргиллитами и алевролитами, преимущественно на карбонатном цементе. В ОФМ были складированы в равных пропорциях (рис. 11) красноватый тонкозернистый песчаник с включениями углистого вещества (образец 1), сероватый мелкозернистый песчаник (образец 2), сероватый крупнозернистый песчаник с включениями углистого вещества (образец 3). Данные породы слагают междупластья пластов 71 и 73, 73 и 78, 78 и 81; породы в целом трещиноватые, выветрелые. Наименьшей прочностью на одноосное сжатие обладает образец 3, затем образец 2; самым прочным является образец 1.

Для определения физических свойств (плотности, пористости, коэффициента пористости) для каждого образца породы были случайным образом отобраны по 10 экземпляров, по результатам измерений свойств которых были выведены средние значения, приведенные в табл. 8 и табл. 9. Статистическая обработка результатов измерений физических свойств производилась в соответствии с [26].

В соответствии с [27] для пород, загруженных в ОФМ, были определены плотность, средняя плотность частиц, пористость, коэффициент пористости.

Плотность породы определялась методом взвешивания в воде по формуле

$$\rho = \frac{m \cdot \rho_w \cdot \rho_n}{\rho_n(m_1 - m_2) - \rho_w(m_1 - m)}, \text{ г/см}^3, \quad (5)$$

где m – масса образца горной породы, г; ρ_w – плотность дистиллированной воды, г/см³; ρ_n – плотность парафина, г/см³; m_1 – масса образца горной породы, покрытого парафином, г; m_2 – масса образца горной породы, покрытого парафином, в воде, г.

Усредненные результаты по 10 соответствующим каждой породе образцам приведены в табл. 8.

Таблица 8. Результаты определения плотности образцов горных пород, складированных в ОФМ

Наименование		Обозначение	Средние значения		
			образец 1	образец 2	образец 3
Масса образца, г	без парафина	m	31,05	18,85	64,64
	покрытого парафином	m_1	31,66	19,29	66,40
	покрытого парафином в воде	m_2	19,68	11,19	38,71
Плотность горной породы, г/см ³		ρ	2,75	2,48	2,51



Результаты расчета средней плотности частиц горной породы приведены в табл. 9.

Таблица 9. Результаты измерения средней плотности частиц образцов пород, складированных в ОФМ

Наименование	Обозначение	Средние значения		
		образец 1	образец 2	образец 3
Масса пикнометра, г	m_3	29,45	40,17	28,9
Масса пикнометра с породой, г	m_4	75,01	84,85	61,25
Масса пикнометра с породой и водой, г	m_5	158,68	167,77	148,21
Масса пикнометра с водой, г	m_6	129,37	140,03	128,52
Масса породы, г	m'_s	45,56	44,68	32,35
Масса породы с поправкой на гигроскопическую влажность, г	m_s	43,81	42,96	31,11
Средняя плотность частиц породы, г/см ³	ρ_s	3,02	2,82	2,73
Влажность породы, %	w	4	4	4
Плотность скелета (сухой породы), г/см ³	ρ_d	2,64	2,38	2,42
Пористость, %	n	12,58	15,63	11,36
Коэффициент пористости	e	0,14	0,19	0,13

Средняя плотность частиц образцов пород определялась пикнометрическим методом в соответствии с [27] по формуле:

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_s + m_6 - m_5} \text{ г/см}^3, \quad (6)$$

где m_s – масса частиц породы с учетом поправки на гигроскопическую влажность, г; m_6 – масса пикнометра с водой, г; m_5 – масса пикнометра с породой и водой, г.

Масса частиц породы с учетом поправки на гигроскопическую влажность рассчитывалась как:

$$m_s = \frac{m'_s}{1,04}, \text{ г}, \quad (7)$$

где m'_s – масса минеральных частиц породы, г, $m'_s = m_4 - m_3$, где m_4 – масса пикнометра с породой, г; m_3 – масса пустого пикнометра, г.

Пористость n и коэффициент пористости e вычислялись расчетным способом по формулам:

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \cdot 100\%, \quad e = \frac{n}{100 - n}, \quad (8)$$

где ρ_d – плотность скелета (сухой породы), г/см³:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01 \cdot w} \quad (9)$$

Следующим этапом исследования является изучение скорости фильтрующегося потока, влияние литологического, гранулометрического и микрокомпонентного состава вскрышных пород и их структурно-текстурных особенностей на изменение концентрации основных ионов и металлов по длине фильтрующего массива.

Выводы

Полученная зависимость напорных градиентов в теле искусственного фильтрующего массива по отношению к водонепроницаемому основанию может быть использована для проектирования фильтрующих дамб очистных сооружений с целью управления скоростью



потока в различных в литологическом отношении участках фильтрующей дамбы для улучшения качества очистки карьерных сточных вод.

Литологический состав вмещающих пород вскрыши оказывает решающее влияние на их использование в качестве фильтрующей загрузки очистных дамб. Если такие факторы, как гранулометрический состав, уклон основания и т.п., благоприятствуют использованию вскрышных пород в качестве естественного фильтра, то 10-20% содержание глины полностью препятствует их применению для очистных сооружений горных предприятий.

Список источников

1. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация = Soils. Classification : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 июля 2012 г. № 190-ст : дата введения 2013-01-01. – М.: Стандартинформ, 2018. – 46 с. – Текст : непосредственный.
2. ГОСТ 25584-2016. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации = Soils. Laboratory methods for determination of coefficient of hydraulic conductivity : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 02.11.2016 № 1570-ст: дата введения 2017-05-01. – М.: Стандартинформ, 2017. – 23 с. – Текст : непосредственный.
3. ГОСТ 12536-2014. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава = Soils. Methods of laboratory granulometric (grain-size) and microaggregate distribution : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12.12.2014 № 2022-ст : дата введения 2015-07-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 22 с. – Текст : непосредственный.
4. Богомолов, А. И. Гидравлика : учебник для вузов. Изд 2-е, перераб и доп. / А. И. Богомолов, К. А. Михайлов. – Москва : Стройиздат, 1972. – 648 с. – Текст : непосредственный.
5. ГОСТ 23278-2014. Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости = Soils. Field methods for determining permeability : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12.12.2014 № 2031-ст : дата введения 2015-07-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 42 с. – Текст : непосредственный.
6. Astoy, Y. Implementation of Split to Estimate the Size Distribution of Rocks in Mining and Milling Operations / Y. Astoy, I. Brunton, F. Tapia-Vergara, S. S. Kanchibotla // Mine to Mill Conference. – The Australian Institute of Mining and Metallurgy, 1998. – № 4. – P. 227-233.
7. Kemeny J.M. Practical technique for determining the size distribution of blasted benches, waste dumps and heap leach sites // Mining Engineering. – November 1994. – P. 1281–1284.
8. Nainggolan, D. R. et al 2018 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., **212**, 012065. DOI: 10.1088/1755-1315/212/1/012065
9. Gritlia, M. Scale inhibition properties of metallic cations on CaCO₃ formation using fast controlled precipitation and a scaling quartz microbalance / Manel Gritlia, Hélène Cheap-Charpentier, Olivier Horner, Hubert Perrotd, Yasser Ben Amor // Desalination and Water Treatment **167** (2019) 113–121. DOI: 10.5004/dwt.2019.24578
10. Ma, S. Advanced treatment technology for FGD wastewater in coal-fired power plants: current situation and future prospects / Shuangchen Ma, Chang Liu, Yao Sun, Chunqin Gong, Baozhong Qu, LanMa, Renhao Tang // Desalination and Water Treatment **167** (2019) 122–132. DOI: 10.5004/dwt.2019.24630
11. Govorova, Zh. et al. (2020) IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 869 042030. DOI: 10.1088/1757-899X/869/4/042030
12. Homaeigohar, S. Water Treatment with New Nanomaterials / Water, 2020, 12, 1507; DOI:10.3390/w12051507
13. Butt, B.Z. (2020) Nanotechnology and Waste Water Treatment. In: Javad S. (eds) Nanoagronomy. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-41275-3_9
14. Lekang, O. Aquaculture Engineering, Third Edition. – John Wiley & Sons Ltd, 2020. – 525 p. DOI:10.1002/9781119489047
15. Tyulenev, M. Determination of the Artificial Filtering Massif Location for Purification Quarry Wastewaters of Kamyshansky Open Pit Mine / M. Tyulenev, S. Markov, E. Makridin, Yu. Lesin and V. Gogolin // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 105. – Article № 02022. DOI:10.1051/e3sconf/201910502022



16. Abu-Dief, AM (2020) Sustainable Nanocomposites for Water Treatment. *Int J Org Inorg Chem*; 2(1): 1-12. DOI: 10.31829
17. Lima, J. P. M. Simplified Water Treatment Techniques / J. P. M. Lima, S.L.S Rollemberg // *Rev. Virtual Quim.*, 2020, 12 (2), 447-460. DOI: 10.21577/1984-6835.20200036
18. Abdurasulov I.A., Umarov T.S., Imanbekov S.T., Abdurasulov A.I. (2020) On Mine Waters Treatment in Kyrgyzstan. In: Popkova E. (eds) *Growth Poles of the Global Economy: Emergence, Changes and Future Perspectives. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 73. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15160-7_5
19. Eliassen, R. Clogging of Rapid Sand Filters // *Journal of the American Water Works Association*. – 1941. – Vol. 33, №5. – Pp. 926-942.
20. Makridin, E. Theoretical Background of Quarry Wastewater Filtering Through Filters of Coarse-Grained Blasted Overburden Rocks / E. Makridin, S. Markov, E. Murko, Yu. Lesin, M. Hellmer // *E3S Web of Conferences*. – 2020. – Vol. 174. – Article № 01056. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401056
21. Mallik, A. Clean Water: Design of an efficient and feasible water treatment plant for rural South-Bengal / A. Mallik and Md.A. Arefin // *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*. – 2018. – Vol. 41, No. 1. – Pp. 156-167. DOI: 10.7508/jmerd.2018.01.019
22. Gehrke, I. Innovations in nanotechnology for water treatment / I. Gehrke, A. Geiser, A. Somborn-Schulz // *Nanotechnology, Science and Applications*. 2015;8:1-17. <https://doi.org/10.2147/NSA.S43773>
23. Di Bernardo, L. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. ABES. Rio de Janeiro, 1993. – 498 p.
24. Akuzuo, O. Waste Water - Evaluation and Management / O. Akuzuo, U. Eunice, I. Cynthia // *Intech Europe, Croatia*. – 2011. DOI: 10.5772/16001
25. Masel, R.L. (1996) *Principles of Adsorption and Reaction on Solid Surfaces*. John Wiley & Sons, New York. – 818 pp.
26. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний = Soils. Methods of statistical treatment of test results : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 октября 2012 г. № 597-ст : дата введения 2013-07-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 31 с. – Текст : непосредственный.
27. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик = Soils. Laboratory methods for determination of physical characteristics : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 ноября 2015 г. № 1694-ст : дата введения 2016-04-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 20 с. – Текст : непосредственный.

References

1. GOST 25100-2011. Grunty. Klassifikaciya = Soils. Classification : mezhgosudarstvennyj standart : izdanie oficial'noe : vveden v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskemu regulirovaniyu i metrologii ot 12 iyulya 2012 g. № 190-st : data vvedeniya 2013-01-01. – М.: Standartinform, 2018. – 46 s. – Текст : непосредственный.
2. GOST 25584-2016. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya koefficienta fil'tracii = Soils. Laboratory methods for determination of coefficient of hydraulic conductivity : mezhgosudarstvennyj standart : izdanie oficial'noe : vveden v dejstvie prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskemu regulirovaniyu i metrologii ot 02.11.2016 № 1570-st: data vvedeniya 2017-05-01. – М.: Standartinform, 2017. – 23 s. – Текст : непосредственный.
3. GOST 12536-2014. Metody laboratornogo opredeleniya granulometricheskogo (zernovogo) i mikroagregatnogo sostava = Soils. Methods of laboratory granulometric (grain-size) and microaggregate distribution : mezhgosudarstvennyj standart : izdanie oficial'noe : vveden v dejstvie prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskemu regulirovaniyu i metrologii ot 12.12.2014 № 2022-st : data vvedeniya 2015-07-01. – М.: Standartinform, 2015. – 22 s. – Текст : непосредственный.
4. Bogomolov, A. I. Gidravlika : uchebnik dlya vuzov. Izd 2-e, pererab i dop. / A. I. Bogomolov, K. A. Mihajlov. – Moskva : Strojizdat, 1972. – 648 s. – Текст : непосредственный.
5. GOST 23278-2014. Grunty. Metody polevyh ispytaniy pronicaemosti = Soils. Field methods for determining permeability : mezhgosudarstvennyj standart : izdanie oficial'noe : vveden v dejstvie prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskemu regulirovaniyu i metrologii ot 12.12.2014 № 2031-st : data vvedeniya 2015-07-01. – М.: Standartinform, 2015. – 42 s. – Текст : непосредственный.



6. Astoy, Y. Implementation of Split to Estimate the Size Distribution of Rocks in Mining and Milling Operations / Y. Astoy, I. Brunton, F. Tapia-Vergara, S. S. Kanchibotla // Mine to Mill Conference. – The Australian Institute of Mining and Metallurgy, 1998. – № 4. – P. 227-233.
7. Kemeny J.M. Practical technique for determining the size distribution of blasted benches, waste dumps and heap leach sites // Mining Engineering. – November 1994. – P. 1281–1284.
8. Nainggolan, D. R. et al 2018 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. **212** 012065. DOI: 10.1088/1755-1315/212/1/012065
9. Gritlia, M. Scale inhibition properties of metallic cations on CaCO₃ formation using fast controlled precipitation and a scaling quartz microbalance / Manel Gritlia, Hélène Cheap-Charpentier, Olivier Horner, Hubert Perrot, Yasser Ben Amor // Desalination and Water Treatment **167** (2019) 113–121. DOI: 10.5004/dwt.2019.24578
10. Ma, S. Advanced treatment technology for FGD wastewater in coal-fired power plants: current situation and future prospects / Shuangchen Ma, Chang Liu, Yao Sun, Chunqin Gong, Baozhong Qu, LanMa, Renhao Tang // Desalination and Water Treatment **167** (2019) 122–132. DOI: 10.5004/dwt.2019.24630
11. Govorova, Zh. et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 869 042030. DOI: 10.1088/1757-899X/869/4/042030
12. Homaeigohar, S. Water Treatment with New Nanomaterials / Water, 2020, 12, 1507; DOI:10.3390/w12051507
13. Butt, B.Z. (2020) Nanotechnology and Waste Water Treatment. In: Javad S. (eds) Nanoagronomy. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-41275-3_9
14. Lekang, O. Aquaculture Engineering, Third Edition. – John Wiley & Sons Ltd, 2020. – 525 p. DOI:10.1002/9781119489047
15. Tyulenev, M. Determination of the Artificial Filtering Massif Location for Purification Quarry Wastewaters of Kamyshansky Open Pit Mine / M. Tyulenev, S. Markov, E. Makridin, Yu. Lesin and V. Gogolin // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 105. – Article № 02022. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910502022>
16. Abu-Dief, AM (2020) Sustainable Nanocomposites for Water Treatment. Int J Org Inorg Chem; 2(1): 1-12. DOI: 10.31829
17. Lima, J. P. M. Simplified Water Treatment Techniques / J. P. M. Lima, S.L.S Rollemberg // .Rev. Virtual Quim., 2020, 12 (2), 447-460. DOI: 10.21577/1984-6835.20200036
18. Abdurasulov I.A., Umarov T.S., Imanbekov S.T., Abdurasulov A.I. (2020) On Mine Waters Treatment in Kyrgyzstan. In: Popkova E. (eds) Growth Poles of the Global Economy: Emergence, Changes and Future Perspectives. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 73. Springer, Cham. DOI: [10.1007/978-3-030-15160-7_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15160-7_5)
19. Eliassen, R. Clogging of Rapid Sand Filters // Journal of the American Water Works Association. – 1941. – Vol. 33, №5. – Pp. 926-942.
20. Makridin, E. Theoretical Background of Quarry Wastewater Filtering Through Filters of Coarse-Grained Blasted Overburden Rocks / E. Makridin, S. Markov, E. Murko, Yu. Lesin, M. Hellmer // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 174. – Article № 01056. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401056
21. Mallik, A. Clean Water: Design of an efficient and feasible water treatment plant for rural South-Bengal / A. Mallik and Md.A. Arefin // Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. – 2018. – Vol. 41, No. 1. – Pp. 156-167. DOI: 10.7508/jmerd.2018.01.019
22. Gehrke, I. Innovations in nanotechnology for water treatment / I. Gehrke, A. Geiser, A. Somborn-Schulz // Nanotechnology, Science and Applications. 2015;8:1-17. <https://doi.org/10.2147/NSA.S43773>
23. Di Bernardo, L. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. ABES. Rio de Janeiro, 1993. – 498 p.
24. Akuzuo, O. Waste Water - Evaluation and Management / O. Akuzuo, U. Eunice, I. Cynthia // Intech Europe, Croatia. – 2011. DOI: 10.5772/16001
25. Masel, R.L. (1996) Principles of Adsorption and Reaction on Solid Surfaces. John Wiley & Sons, New York. – 818 pp.
26. GOST 20522-2012. Grunty. Metody statisticheskoy obrabotki rezul'tatov ispytaniy = Soils. Methods of statistical treatment of test results : mezhgosudarstvennyy standart : izdanie oficial'noe : vveden v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 29 oktyabrya 2012 g. № 597-st : data vvedeniya 2013-07-01. – M.: Standartinform, 2013. – 31 s. – Tekst : neposredstvennyy.
27. GOST 5180-2015. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya fizicheskikh karakteristik = Soils. Laboratory methods for determination of physical characteristics : mezhgosudarstvennyy standart : izdanie oficial'noe : vveden v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 3 noyabrya 2015 g. № 1694-st : data vvedeniya 2016-04-01. – M.: Standartinform, 2015. – 20 s. – Tekst : neposredstvennyy.



Авторы

Макридин Евгений Владимирович,

заместитель директора технического (по перспективному развитию) разрезу управления АО «СУЭК-Кузбасс»
e-mail: makridinev@suek.ru
АО «СУЭК-Кузбасс»

Тюленев Максим Анатольевич

кандидат технических наук, профессор кафедры открытых горных работ
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

Марков Сергей Олегович

кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геологии
e-mail: markovso@kuzstu.ru
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Authors

Eugene V. Makridin

Deputy Technical Director (for Perspective Development) Surface Mining Office of JSC "SUEK-Kuzbass"
makridinev@suek.ru
JSC "SUEK-Kuzbass"

Maxim A. Tyulenev

Candidate of Technical Sciences,
Professor of the Open Pit Mining Department
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

Sergey O. Markov

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Mine Surveying and Geology Department
e-mail: markovso@kuzstu.ru
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

Библиографическое описание статьи

Макридин Е.В., Тюленев М.А., Марков С.О.
Экспериментальные исследования
фильтрации карьерных сточных вод в
крупнокусковых массивах из разрушенных
горных пород в условиях разреза
«Камышанский» // Техника и технология
горного дела. – 2020. – № 2 (9). – С. 4-25.

Cite this article

Makridin E.V., Tyulenev M.A., Markov S.O. (2020)
Experimental study of the quarry wastewater filtering
in coarse-grained massifs of rock debris
at Kamyshansky open pit mine, *Journal of mining
and geotechnical engineering*, 2(9):4.