ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(12):89-102
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.33 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-89-102

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА

Е.В. Макридин[1], М.А. Тюленев[2], С.О. Марков[2], Ю.В. Лесин[2], Е.В. Мурко[2]

[1] АО «СУЭК-Кузбасс», Ленинск-Кузнецкий, Россия
[2] Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева (КузГТУ),
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

Аннотация: Угольная промышленность входит в первую десятку отраслей, оказывающих наибольшее негативное воздействие на окружающую среду. Это воздействие проявляется в заборе воды из природных источников, сбросе загрязненных сточных вод в водные объекты, выбросе вредных веществ в атмосферу, изъятии из землепользования и нарушении земель, образовании и размещении отходов производства во внешних породных отвалах. Проблема обеспечения экологической безопасности в угольной промышленности и сохранения благоприятной окружающей среды в районах размещения объектов угольной промышленности является сложной, требует разработки и реализации целого комплекса мероприятий. С другой стороны, при открытой разработке угольных месторождений образуются значительные объемы отходов — вскрышных скальных и полускальных пород. Складирование этих пород в большинстве случаев затруднено в связи с ограниченными площадями земель, отчуждаемых под отвалы, а также с ограниченными возможностями по использованию выработанного карьерного пространства. При постоянном увеличении масштабов ведения открытых горных работ растут и объемы карьерных сточных вод, требующих очистки. Одним из перспективных направлений решения данного вопроса является низкозатратная технология очистки сточных вод угольных предприятий с использованием отходов горного производства — вскрышных пород.

Ключевые слова: искусственный фильтрующий массив, карьерные сточные воды, очистка промышленных стоков, водоотлив, фильтрование

Для цитирования: *Макридин Е.В., Тюленев М.А., Марков С.О., Лесин Ю.В., Мурко Е.В.* Использование вскрышных пород для повышения экологической безопасности угледобывающего региона // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 12. – С. 89–102. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-89-102.

Overburden management towards higher safety in coal mining regions

E.V. Makridin[1], M.A. Tyulenev[2], S.O. Markov[2], Yu.V. Lesin[2], E.V. Murko[2]

[1] SUEK-Kuzbass JSC, Leninsk-Kuznetskiy, Russia
[2] T. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia,
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

Abstract: Coal mining is on the list of top ten industries producing the most adverse impact on the environment. This impact includes water withdrawal from natural sources, discharge of polluted mine effluents in water bodies, emission of harmful substances in air, land withdrawal and disturbance, as well as placement of mine waste in external dump storages. Ecological safety

© Е.В. Макридин, М.А. Тюленев, С.О. Марков, Ю.В. Лесин, Е.В. Мурко. 2020.

of coal mining and friendly environment in coal mining areas is a challenging problem calling for an appropriate campaign to be developed and undertaken. Open pit mining of coal results in considerable accumulation of hard overburden and half-rock. Dumping is confined to limited areas above ground and inside mined-out pit voids. With persistently increasing size of open pit mines, the volume of pit effluents to be treated also grows. One of the promising ways of this problem solution is a low-cost technology of coal mine waste water treatment using mining rejects, namely, overburden rocks.

Key words: artificial filter mass, open pit mine waste water, industrial effluent treatment, water handling, filtering.

For citation: Makridin E. V., Tyulenev M. A., Markov S. O., Lesin Yu. V., Murko E. V. Overburden management towards higher safety in coal mining regions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(12):89-102. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-89-102.

Введение

В поверхностные водные объекты предприятиями угольной промышленности в 2017 г. было сброшено 458,9 млн м^3 сточных вод, что на 21,3 млн м^3, или на 4,9%, больше, чем в 2016 г.; из них 345,1 млн м^3 загрязненных (с превышением нормативных требований). Значительный объем сброса загрязненных сточных вод обусловлен отсутствием на части выпусков очистных сооружений и неэффективной работой действующих сооружений механической очистки. Подобная картина наблюдается и по другим годам [1 — 5]. Положительным результатом является снижение сброса загрязненных сточных вод без предварительной очистки на 15,2 млн м^3, или на 12,2%, а также увеличение сброса нормативно очищенных вод на 10,5 млн м^3 (на 13,6%). Достигнутый результат получен за счет строительства новых и модернизации действующих очистных сооружений на основе использования современных технологий на шахтах им. А.Д. Рубана, «Котинская» (АО «СУЭК-Кузбасс»), «Усковская», «Ерунаковская-VIII» (ООО «РУК»), шахтах «Южная» (филиал АО «Черниговец» — АО ХК «СДС-Уголь»), АО «Междуречье» и других.

Материалы. Постановка вопроса

По данным [1, 2] в ряду видов экономической деятельности в составе сточ-

Рис. 1. Структура сточных вод по видам экономической деятельности в 2017–2018 гг.
Fig. 1. Waste water per types of economic activity in 2017–2018

ных вод преобладают нормативно чистые стоки. К ним относятся «сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» (81,96–78,58% от общего объема сточных вод), «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» (95,13–95,52%). По такому виду деятельности, как «добыча полезных ископаемых», преобладают загрязненные сточные воды; их доля в общем объеме сточных вод составили в 2018 г. 59,07% и 56,6% соответственно (рис. 1).

Анализ данных по сбросу загрязняющих веществ в составе сточных вод в поверхностные природные водные объекты в РФ за 2010 — 2018 гг. (табл. 1) показал значительное сокращение сброса подавляющего числа загрязняющих веществ. В частности, за восемь последних лет учитываемый сброс по бензолу и фосфатам сократился более чем в 10 раз, по азоту аммонийному — более чем в 5 раз, по ртути — почти в 3 раза, ванадию — в 3 раза, железу — почти в 2 раза. По таким металлам, как марганец, медь, цинк, показатели снизились примерно в 2 — 3 раза.

За период 2010 — 2018 гг. произошло снижение значений основных показателей уровня загрязнения сточных вод: сокращение сброса по взвешенным веществам составило 37%, по сухому остатку — 28%; по биохимическому потреблению кислорода ($БПК_{полн.}$) — 33%. Снижение показателя ХПК (химическое потребление кислорода) за рассматриваемый период оказалось незначительным и составило 1%.

За этот же период наблюдался определенный рост сброса сточных вод в поверхностные природные водные объекты по ряду загрязнителей: по нефти и нефтепродуктам сброс увеличился на 1%; (ионов калия, натрия, хлоридов, сульфатов, нитратов и карбамида): по калию — на 214%, по карбамиду — на 104%, по натрию — на 152%, по нитратам — на 106%, по хлоридам — на 111%.

Сокращение объема сброса загрязненных сточных вод, отводимых в поверхностные водоемы, за рассматриваемый период в целом по Российской Федерации составило около 18% при гораздо более существенном сокращении содержания в них загрязняющих веществ по различным компонентам, что демонстрирует факт улучшения качества сточных вод и снижения тем самым загрязняющей нагрузки на водные объекты РФ. Это свидетельствует о достижении ощутимого результата от проведения водоохранных и водосберегающих мероприятий, несмотря на значительные по масштабам и не устраненные до настоящего времени недостатки в области водопользования.

Таким образом, несмотря на имеющиеся экологические проблемы, обозначенные природоохранные мероприятия и разработка и внедрение инновационных технологий снижают степень техногенного воздействия открытой разработки угля на окружающую среду как в целом, так и на поверхностную и подземную гидросферу региона в частности.

Качественные показатели карьерных сточных вод

Суммарные значения объемов загрязняющих веществ в сбрасываемых сточных водах хозяйствующих субъектов РФ с 2010 г. по 2018 г. по данным Минприроды [1 — 5] приведены в табл. 1.

По Кузбассу карьерные сточные воды до очистных сооружений имеют следующие основные загрязнители [22 — 25]:

- взвешенные твердые вещества (частицы вмещающих пород и угля);
- растворимые соли (сульфаты, карбонаты, хлориды, нитраты, нитриты, попадающие в воду в результате выщелачивания, активизирующегося при про-

Таблица 1

Объемы загрязняющих веществ (2010—2018 гг.)
Contaminant volumes (2010–2018)

Загрязняющие вещества	2010	2014	2015	2016	2017	2018	2018 в% к 2017	2018 в% к 2010
Показатели степени загрязнения сточных вод								
ХПК, т	309 882	323 266	316 606	309 072	306 438	10 304 265*	3362,6	3325,2
БПК полный, т	198 219	...	148 131	148 962	138 541	131 883	95	67
Сухой остаток, тыс. т	9479,6	6630	7707,6	6993,9	5654,9	6793,9	120	72
Взвешенные вещества, т	275 725	200 330	190 366	191 551	188 645	173 728	92	63
Нефть и нефтепродукты, т	2638,7	2044,4	2023,7	1918,8	1957,6	2661,7	136	101
Ионы тяжелых металлов								
Железо (Fe^{2+}, Fe^{3+}) (все растворимые в воде формы), т	6482,81	2975,09	2560,48	2383,27	2137,02	3005,7	141	46
Никель (Ni^{2+}), кг	37 364,2	30 940,7	28 159,6	28 339,3	22 854,1	30 284	133	81
Марганец (Mn^{2+}), кг	525 309	375 690	327 323	323 668	241 387	242 024	100	46
Медь (Cu^{2+}), кг	73 876	51 114	48 173	32 385	31 272	27 020	86	37
Цинк (Zn^{2+}), кг	588 679	404 136	411 080	365 317	223 024	213 987	96	36
Свинец (Pb) (все растворимые в воде формы), кг	8969	7608	5695	5102	6151,3	4153,1	68	46
Ртуть (Hg^{2+}), кг	18,94	9,46	8,98	9,95	4,54	7,13	157	38
Хром (Cr^{3+}), кг	24 849	11 732	13 088	13 577	16 353	19 602	120	79
Ванадий (V), кг	6801	3541	3437	2791	2245,7	2158,4	96	32
Основные катионы сточных вод								
Калий (K+), т	30 126,4	53 850,6	64 861,2	69 098,5	83 494,8	64 458,5	77	214
Кальций (Ca^{2+}), т	215 610,3	377 019,5	336 823	466 814	156 485	398 755	255	185
Натрий (Na+), тыс. т	304,15	352,62	401,9	414,02	439,06	462,16	105	152
Бор (по B^{3+}), кг	106 163	101 430	99 203	107 145	88 547,4	94 668,1	107	89

Магний (Mg) (все растворимые в воде формы), т	37 440,9	35 293,8	35 576,8	35 140,4	31 397,5	32 890	105	88
Алюминий (AL^{3+}), т	979,51	516,76	488,86	534,97	504,98	507,93	101	52
Фосфаты (по P), т	228 257,5	26 018,9	23 569,4	17 584,1	17 285	15 994	93	7
Основные анионы сточных вод								
Хлориды (Cl^-), тыс. т	5662,45	6705,58	5570,24	5656,11	5798,00	6286,3	108	111
Сульфат-анион (сульфаты) (SO_4), тыс. т	1915,4	1760,73	1855,43	1962,8	2217,6	1737,2	78	91
Нитрат-анион (NO_3^-), тыс. т	366,43	424,61	421,18	423,79	404,81	387,92	96	106
Нитрит-анион (NO_2^-), т	6537,8	6678,3	6047,5	6515,3	6277,5	5597,4	89	86
Фтор (F^-), т	2505,6	2409,7	2206,2	2011,9	1967	1766	90	70
Соединения азота								
Азот общий, т	36 452,8	27 745,2	25 496,1	35 619	28 452,8	31 526,3	111	86
Азот аммонийный, т	297 218,1	104 822,6	67 769,4	65 771,4	55 449,8	51 018,5	92	17
Мочевина (карбамид), т	4318,7	4965	5537,8	4950,8	6388,6	4492,8	70	104
Водорастворимые сульфопроизводные лигнина								
Лигнин сульфатный, т	11 945,7	11 395,4	10 554,2	10 003,6	9 617,1	12 555,2	131	105
Лингосульфат аммония, т	7864,1	3189,8	3181,9	3392,3	3023,5	2755,8	91	35
Прочие органические соединения								
ОП-10, СПАВ, смесь моно- и диалкил-феноловых эфиров полиэтилен-гликоля, т	1841,9	1359,8	1390,5	1633,6	1785,2	1372,1	77	74
Бензол, кг	761,5	84,24	91,59	40,45	38,77	54,31	140	7
Фенол, кг	27 991	17 652	16 110	18 228	14 287	21 154	148	76
Формальдегид, кг	105 760,3	82 180,2	82 316,8	82 922,4	85 571,2	80 294,3	94	76
Жиры/масла (природного происхождения), т	4098,9	2168,9	2050	2147	1710,6	1917,5	112	47

Таблица 2

Содержание некоторых примесей в карьерных водах разрезов Кузбасса
Content of some impurities in waste water of open pit mines in Kuzbass

Разрез	Содержание примесей, мг/л*	
	взвешенные вещества	нефтепродукты
«Кедровский»	20,5/67,2	0,42/0,8
«Черниговский»	73,5/200	0,03/0,08
«Моховский»	316,6/1094	4,82/20
«Краснобродский», участок Краснобродское поле	712/5964	4,36/13
«Краснобродский», участок Новосергеевское поле	11,2/65,6	1,5/5
«Краснобродский», участок Вахрушевское поле	158,9/3300	2,81/10,2
«Киселевский»	93,5/210	8,26/28
«Прокопьевский»	21,3/254	0,32/2,2
«Красногорский»	36,7/142	0,03/0,07
«Томусинский»	979,7/1315,5	0,12/5
«Междуречье»	398/1103,1	1,43/4,0
«Сибиргинский»	71,2/2580	0,02/0,12
«Ольжерасский»	47,9/493,5	0,68/7,0
«Задубровский»	23,4/40	0,012/0,012
Среднее значение (по среднему)	211,74	1,77

* В числителе приведены средние, а в знаменателе максимальные значения.

сачивании подземных и поверхностных вод через разрушенные породы, а также при вымывании продуктов взрывания при проведении буровзрывных работ);

• нефтепродукты (попадающие в грунт, а затем в воду в процессе работы выемочно-погрузочного и транспортного оборудования).

В ме́ньшей степени воды при ведении горных работ подвержены биологическому загрязнению, которое активизируется при насыщении вод кислородом и, следовательно, при последующем активном размножении микроводорослей и аэробных бактерий.

Негативное воздействие на окружающую среду сбрасываемых вод горнодобывающих предприятий заключается в химическом загрязнении поверхностных вод гидросферы солями тяжелых металлов, органическими веществами (нефтепродуктами), а также частицами угля и вмещающих пород [12, 17].

Средние концентрации взвешенных веществ и нефтепродуктов в сточных карьерных водах Кузбасса приведены в табл. 2.

Объемы карьерных стоков

Объемы забора воды горнодобывающими предприятиями РФ (по данным Минприроды России [1, 3]) приведены в табл. 3.

Объемы забора воды в бассейне реки Оби составили 9,28 млрд м^3.

Объемы сброса очищенных и недоочищенных карьерных и шахтных сточных вод в водоемы РФ в 2014 г. со-

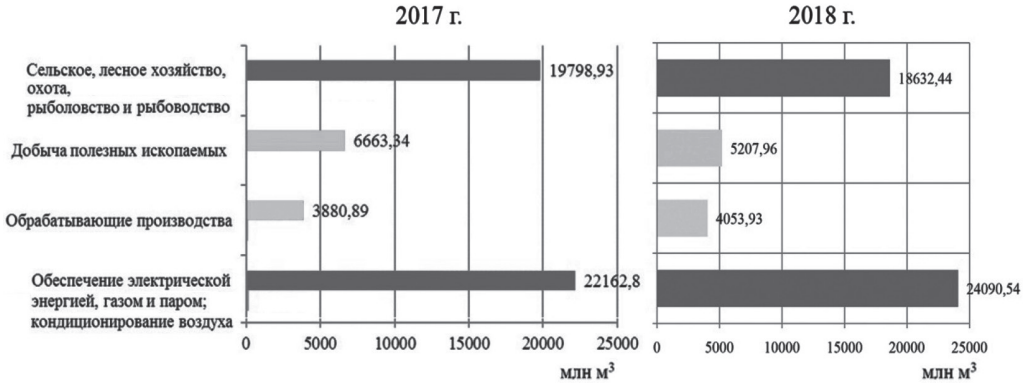

Рис. 2. Водопотребление из природных источников и потери воды при транспортировке, по видам экономической деятельности в 2017 — 2018 гг.

Fig. 2. Water consumption from natural sources and water loss in transport per types of economic activity in 2017–2018

Таблица 3

Объемы карьерных стоков
Volumes of effluents from open pit mines

Объем забора воды, млн м³/год	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Общий объем	78 955,5	75 220,5	72 052,6	69 924,7	70 806,8	68 614,3	69 498,5	68 887,6
Горнодобывающими и перерабатывающими предприятиями	1485	1709	1707	1688	2626	н/д	н/д	1407,9

ставлял соответственно 398 млн м³ и 996,0 млн м³ [6].

В отраслевом разрезе в 2018 г. (см. рис. 2) объем забора воды при добыче полезных ископаемых стоит на третьем месте после энергогенерации и сельского хозяйства и составляет 5207,96 млн м³, или на 22% меньше по сравнению с показателем 2017 г. Несмотря на общее снижение объемов

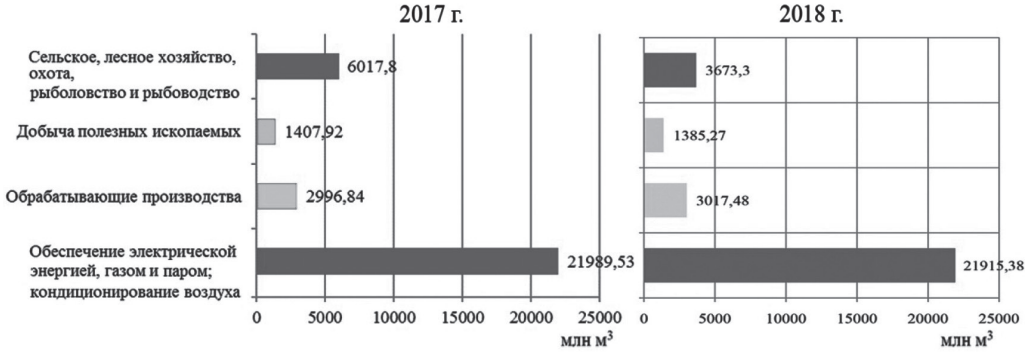

Рис. 3. Сброс сточных вод в поверхностные водные объекты в разрезе видов экономической деятельности в 2017 г.

Fig. 3. Waste water discharge in surface water bodies per types of economic activity in 2017

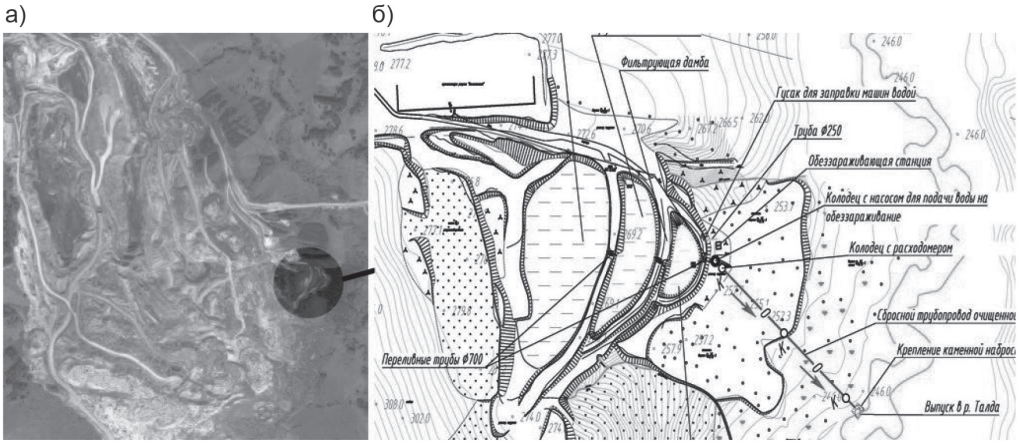

Рис. 4. Расположение очистных сооружений: общий план (а), увеличенное изображение (б)
Fig. 4. Arrangement of sewage treatment facilities: a — general plant; b — enlarged image

сброса сточных вод при добыче полезных ископаемых (до 1385,27 млн м^3 в 2018 г.), в абсолютном значении эта цифра является весьма значительной, особенно если учесть достаточно высокое загрязнение данного типа стоков.

Объемы водоотведения при добыче полезных ископаемых составляют 1407,92 млн м^3, или 3,3% (рис. 3).

Для решения вопроса очистки загрязненных стоков целесообразным представляется использование отходов гор-

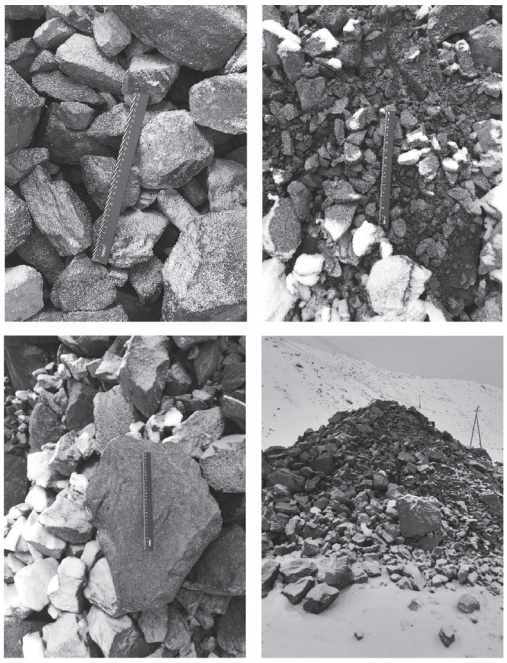

Рис. 5. Крупнокусковый материал для возведения искусственного фильтрующего массива
Fig. 5. Coarse material for construction of artificial filter mass

ного производства — вскрышных скальных и полускальных пород. Это связано прежде всего с их значительными объемами при открытой угледобыче; с их подходящими физико-механическими свойствами (низкая размокаемость, высокая прочность и относительно высокая удельная поверхность отдельных кусков). Это связано с благоприятным литологическим составом вмещающих толщ: аргиллиты, алевролиты, песчаники и их углистые разности, а также малые объемы кристаллических магматических и метаморфических горных пород.

Результаты

Для проведения натурного эксперимента по фильтрации карьерных сточных вод на одном из горнодобывающих предприятий Кузбасса (разрез «Камышанский» АО «СУЭК-Кузбасс») была выбрана площадка в непосредственной близости от существующих очистных сооружений (рис. 4). Также были отобраны определенные объемы вскрышных пород из кровли и почвы отрабатываемых пластов (рис. 5).

В проводимом эксперименте устанавливалась зависимость коэффициента фильтрации от гранулометрического состава горной массы. На основе анализа выполненных ранее работ по изучению движения суспензий в пористых средах [7—11, 13—16, 18—21] в качестве статистической модели зернистой среды была использована модель Козени-Кармана [7]. Модель пористой среды Козени-Кармана представляет собой случайно упакованные частицы сферической формы одинакового размера. В рамках этой модели в единице объема существует в единственном числе поровый канал заданного гидравлического радиуса, в поперечном сечении представляющий собой равносторонний треугольник, что позволяет в этом канале рассчитать среднюю скорость течения жидкости. Скорость, получаемая из закона Дарси, в сравнении с рассчитанной скоростью дает нужную зависимость коэффициента фильтрации от гранулометрического состава. Полученная зависимость для трехфракционной смеси имеет вид:

$$K_{\Phi} = \frac{0,351}{\mu} R_3^2 (1 - q_1 - q_2)^{1,606} \cdot (1 + q_1 - q_2)^{0,820} \cdot (q_1 + q_2)^{-0,390} \cdot \left(\frac{\bar{r}_1}{\bar{r}_3}\right)^{-0,814} \cdot \left(\frac{\bar{r}_2}{\bar{r}_3}\right)^{-0,234} \quad (1)$$

где μ — динамическая вязкость жидкости, Па·с; $R_з$ — среднее значение размера частиц, м; q_1, q_2 — относительное содержание первой и второй фракции в смеси, доли ед.; $\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3$ — средние размеры частиц каждой фракции, м.

Выводы

Полученные результаты показывают перспективность применения раздробленных вскрышных пород разрезов Кузбасса в качестве фильтрующего материала в искусственных фильтрующих массивах. Использование зависимости (1) необходимо для расчета гранулометрического состава смеси взорванных горных пород с целью обеспечения требуемого коэффициента фильтрации и показателя фильтрования. Рациональный гранулометрической состав материала для искусственного фильтрующего массива позволит увеличить степень очистки воды по сравнению с материалом, использованным без предварительной подготовки.

Помимо вышесказанного, оптимизация грансостава наполнителя для искусственного фильтрующего массива позволит определить наиболее подходящий фракционный состав для, с одной стороны, снижения коэффициента

фильтрации, а с другой стороны — повышения показателя фильтрования. Варьирование гранулометрического состава в определенных пределах позволит управлять и сроком эффективной работы фильтрующего массива, что немаловажно для горных предприятий с большим сроком службы. Кроме того, использование (рециклинг) твердых отходов горного производства, к которым относятся вскрышные породы, позволяет улучшить экологическую обстановку [26—32] в угледобывающем регионе в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Государственный* доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». — Электронный ресурс: http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2017_/ — Загл. с экрана.

2. *Государственный* доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». — Электронный ресурс: http://gosdoklad-ecology.ru/2018/ — Загл. с экрана.

3. *Государственный* доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году». — Электронный ресурс: http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/142679/?sphrase_id=53390. — Загл. с экрана.

4. *Государственный* доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». — Электронный ресурс: http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/http_new_mnr_gov_ru_docs_gosudarstvennye_doklady/ — Загл. с экрана.

5. *Государственный* доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». — Электронный ресурс: http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2016_/ — Загл. с экрана.

6. *Матвеева В.А.* Оценка и снижение техногенного воздействия ОАО «Ковдорский ГОК» на поверхностные воды: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — СПб.: НМСУ «Горный», 2015.

7. *Бэр Я., Заславский Д., Ирмей С.* Основы фильтрации воды. — М.: Мир, 1971. — 452 с.

8. *Areepitak T., Ren J.* Model simulations of particle aggregation effect on colloid exchange between streams and streambeds // Environmental Science & Technology. 2011. Vol. 45. No 13. Pp. 5614—5621.

9. *Arnon S., Marx L.P., Searcy K.E., Packman A.I.* Effects of overlying velocity, particle size, and biofilm growth on stream-subsurface exchange of particles // Hydrological Processes. 2010. Vol. 24. Pp. 108—114.

10. *Esakkimuthu T., Sivakumar D., Akila S.* Application of nanoparticles in wastewater treatment // Pollution Research. 2014. Vol. 33. No 3. Pp. 567—571.

11. *Gupta S.K., Ramesh K.S., Sameer S.* Decentralised wastewater treatment, a sustainable approach for use in developing country environment // Pollution Research. 2015. Vol. 34. No 1. Pp. 111—120.

12. *Khayrulina E., Maksimovich N.* Influence of drainage with high levels of water-soluble salts on the environment in the Verhnekamskoe potash deposit, Russia // Mine Water and the Environment. 2018. Vol. 37. Pp. 595–603. DOI: 10.1007/s10230-017-0509-6.

13. *Jones J.I., Murphy J.F., Collins A.L., Sear D.A., Naden P.S., Armitage P.D.* The impact of fine sediment on macro-invertebrates // River Research and Applications. 2012. Vol. 28. No 8. Pp. 1055—1071.

14. *Karwan D. L., Saiers J. E.* Hyporheic exchange and streambed filtration of suspended particles // Water Resourse Research. 2012. Vol. 48. Pp. 15 — 19.

15. *Karwan D. L., Gravelle J. A., Hubbart J. A.* Effects of timber harvest on suspended sediment loads in Mica Creek, Idaho // Forest Science. 2007. Vol. 53. No 2. Pp. 181 — 188.

16. *Lei L., Jian L., Yutao W., Nvjie W., Renqing W.* Cost-benefit analysis and payments for watershed-scale wetland rehabilitation: a case study in Shandong Province, China // International Journal of Environmental Research. 2011. Vol. 5. No 3. Pp. 787 — 796.

17. *Maximovich N. G., Khayrulina E.* Artificial geochemical barriers for environmental improvement in a coal basin region // Environmental Earth Sciences. 2014. Vol. 72. No 6. Pp. 1915 — 1924.

18. *Sharma M. M., Yortsos Y. C.* Transport of particulate suspensions in porous media: Model formulation // AIChE Journal. 1987. Vol. 33. No 10. Pp. 1636 — 1643.

19. *Xu S., Gao B., Saiers J. E.* Straining of colloidal particles in saturated porous media // Water Resourse Research. 2006. Vol. 42. Pp. 12 — 16.

20. *Zamani A., Maini B.* Flow of dispersed particles through porous media — deep bed filtration // Journal of Petroleum Science & Engineering. 2009. Vol. 69. No 1 — 2. Pp. 71 — 88.

21. *Zheng Xi-lai, Shan Bei-bei, Chen Lei, Sun Yun-wei, Zhang Shu-hui* Attachment-detachment dynamics of suspended particle in porous media: experiment and modeling // Journal of Hydrology. 2014. Vol. 511. Pp. 199 — 204.

22. *Gogolin V. A., Lesin Yu. V.* The research methods' review of the natural and tech-nogenic rock massifs stability // Journal of Mining and Geotechnical Engineering. 2018. No 3. Pp. 42 — 55.

23. *Tyulenev M., Markov S., Makridin E., Lesin Yu., Gogolin V.* Determination of the artificial filtering massif location for purification quarry wastewaters of Kamyshansky open pit mine // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 105. Article 02022. DOI: 10.1051/e3sconf/201910502022.

24. *Tyulenev M., Garina E., Khoreshok A., Litvin O., Lesin Yu., Maliukhina E.* A method of effective quarry water purifying using artificial filtering arrays // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 50. No 1. Article 012035. DOI: 10.1088/1755-1315/50/1/012035.

25. *Tyulenev M., Lesin Yu., Litvin O., Maliukhina E., Abay A.* Increasing the reliability of the work of artificial filtering arrays for the purification of quarry waste water // E3S Web of Conferences. 2017. Vol. 21. Article 02019. DOI: 10.1051/e3sconf/20172102019.

26. *Калашников В. А., Горбачев А. В.* Некоторые результаты опытно-промышленных испытаний оболочечных фильтровальных конструкций из геотекстильных и геотекстилеподобных материалов // Техника и технология горного дела. — 2018. — № 3. — С. 56 — 79. DOI: 10.26730/2618-7434-2018-3-56-79.

27. *Данилов А. С., Матвеева В. А., Пашкевич М. А.* Оценка техногенных массивов как источников экологической опасности // Мир русского слова. — 2017. — № 2. — С. 115 — 120.

28. *Калашников В. А., Горбачев А. В.* Разработка низкозатратной технологии обезвоживания угольного шлама обогатительных фабрик с применением оболочечных фильтровальных конструкций // Техника и технология горного дела. — 2019. — № 3. — С. 36 — 59. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-3-36-59.

29. *Цехлар М., Рыбар П., Михок Я., Энгель Я.* К вопросу о классификации запасов минеральных ресурсов // Техника и технология горного дела. — 2019. — № 1. — С. 4 — 23. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-1-04-23.

30. *Гаршин О. О., Старцева Ж. Ф.* Методика проведения эксперимента по обезвоживанию водоугольной пульпы в условиях обогатительной фабрики шахты им. С.М. Кирова // Техника и технология горного дела. — 2019. — № 2. — С. 33 — 41. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-2-33-41.

31. *Быкова М. В., Пашкевич М. А.* Снижение экологической опасности загрязненных нефтепродуктами почв на производственных объектах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № S7. — С. 392 — 403.

32. *Пашкевич М. А., Матвеева В. А., Данилов А. С.* Исследование миграции загрязняющих веществ с территорий техногенных массивов Кольского полуострова // Горный журнал. — 2019. — № 1. — С. 17—21. ГИАБ

REFERENCES

1. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2017 godu»* [State report «On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2017»], available at: http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2017_/ (accessed 01.04.2020). [In Russ].

2. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2018 godu»* [State report «On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2018»], available at: http://gosdoklad-ecology.ru/2018/ (accessed 01.04.2020). [In Russ].

3. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2014 godu»* [State report «On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2014»], available at: http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/142679/?sphrase_id=53390 (accessed 01.04.2020). [In Russ].

4. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2015 godu»* [State report «On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2015»], available at: http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/http_new_mnr_gov_ru_docs_gosudarstvennye_doklady/ (accessed 01.04.2020). [In Russ].

5. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2016 godu»* [State report «On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2016»], available at: http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2016_/ (accessed 01.04.2020). [In Russ].

6. Matveeva V.A. *Otsenka i snizhenie tekhnogennogo vozdeystviya OAO «Kovdorskiy GOK» na poverkhnostnye vody* [Assessment and reduction of technogenic influence of Kovdorsky GOK on surface waters], Candidate's thesis, Saint-Petersburg, NMSU «Gornyy», 2015.

7. Ber Ya., Zaslavskiy D., Irmey S. *Osnovy fil'tratsii vody* [Principles of water percolation and seepage], Moscow, Mir, 1971, 452 p.

8. Areepitak T., Ren J. Model simulations of particle aggregation effect on colloid exchange between streams and streambeds. *Environmental Science & Technology*. 2011. Vol. 45. No 13. Pp. 5614—5621.

9. Arnon S., Marx L.P., Searcy K.E., Packman A.I. Effects of overlying velocity, particle size, and biofilm growth on stream-subsurface exchange of particles. *Hydrological Processes*. 2010. Vol. 24. Pp. 108—114.

10. Esakkimuthu T., Sivakumar D., Akila S. Application of nanoparticles in wastewater treatment. *Pollution Research*. 2014. Vol. 33. No 3. Pp. 567—571.

11. Gupta S.K., Ramesh K.S., Sameer S. Decentralised wastewater treatment, a sustainable approach for use in developing country environment. *Pollution Research*. 2015. Vol. 34. No 1. Pp. 111—120.

12. Khayrulina E., Maksimovich N. Influence of drainage with high levels of water-soluble salts on the environment in the Verhnekamskoe potash deposit, Russia. *Mine Water and the Environment*. 2018. Vol. 37. Pp. 595–603. DOI: 10.1007/s10230-017-0509-6.

13. Jones J.I., Murphy J.F., Collins A.L., Sear D.A., Naden P.S., Armitage P.D. The impact of fine sediment on macro-invertebrates. River Research and Applications. 2012. Vol. 28. No 8. Pp. 1055—1071.

14. Karwan D. L., Saiers J. E. Hyporheic exchange and streambed filtration of suspended particles. Water Resourse Research. 2012. Vol. 48. Pp. 15 — 19.

15. Karwan D. L., Gravelle J. A., Hubbart J. A. Effects of timber harvest on suspended sediment loads in Mica Creek, Idaho. Forest Science. 2007. Vol. 53. No 2. Pp. 181 — 188.

16. Lei L., Jian L., Yutao W., Nvjie W., Renqing W. Cost-benefit analysis and payments for watershed-scale wetland rehabilitation: a case study in Shandong Province, China. International Journal of Environmental Research. 2011. Vol. 5. No 3. Pp. 787 — 796.

17. Maximovich N. G., Khayrulina E. Artificial geochemical barriers for environmental improvement in a coal basin region. Environmental Earth Sciences. 2014. Vol. 72. No 6. Pp. 1915 — 1924.

18. Sharma M. M., Yortsos Y. C. Transport of particulate suspensions in porous media: Model formulation. AIChE Journal. 1987. Vol. 33. No 10. Pp. 1636 — 1643.

19. Xu S., Gao B., Saiers J. E. Straining of colloidal particles in saturated porous media. Water Resourse Research. 2006. Vol. 42. Pp. 12 — 16.

20. Zamani A., Maini B. Flow of dispersed particles through porous media — deep bed filtration. Journal of Petroleum Science & Engineering. 2009. Vol. 69. No 1 — 2. Pp. 71 — 88.

21. Zheng Xi-lai, Shan Bei-bei, Chen Lei, Sun Yun-wei, Zhang Shu-hui Attachment-detachment dynamics of suspended particle in porous media: experiment and modeling. Journal of Hydrology. 2014. Vol. 511. Pp. 199 — 204.

22. Gogolin V. A., Lesin Yu. V. The research methods' review of the natural and tech-nogenic rock massifs stability. Journal of Mining and Geotechnical Engineering. 2018. No 3. Pp. 42 — 55.

23. Tyulenev M., Markov S., Makridin E., Lesin Yu., Gogolin V. Determination of the artificial filtering massif location for purification quarry wastewaters of Kamyshansky open pit mine. E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 105. Article 02022. DOI: 10.1051/e3sconf/201910502022.

24. Tyulenev M., Garina E., Khoreshok A., Litvin O., Lesin Yu., Maliukhina E. A method of effective quarry water purifying using artificial filtering arrays. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 50. No 1. Article 012035. DOI: 10.1088/1755-1315/50/1/012035.

25. Tyulenev M., Lesin Yu., Litvin O., Maliukhina E., Abay A. Increasing the reliability of the work of artificial filtering arrays for the purification of quarry waste water. E3S Web of Conferences. 2017. Vol. 21. Article 02019. DOI: 10.1051/e3sconf/20172102019.

26. Kalashnikov V. A., Gorbachev A. V. Some results of pilot tests of shell filter constructions made of geotextile and geotextile-like materials. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2018, no 3, pp. 56 — 79. [In Russ]. DOI: 10.26730/2618-7434-2018-3-56-79.

27. Danilov A. S., Matveeva V. A., Pashkevich M. A. Evaluation of technogenic massifs as sources of environmental hazard. *Mir russkogo slova*. 2017, no 2, pp. 115 — 120. [In Russ].

28. Kalashnikov V. A., Gorbachev A. V. Development of a low-cost technology for coal slurry dewatering from concentration plants with the use of shell filter constructions. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019, no 3, pp. 36 — 59. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-3-36-59.

29. Tsekhlar M., Rybar P., Mikhok Ya., Engel' Ya. On the issue of mineral reserves' classification. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019, no 1, pp. 4 — 23. [In Russ]. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-1-04-23.

30. Garshin O. O., Startseva Zh. F. Experimental technique of the coal-water pulp dewatering at S.M. Kirov mine's concentrating plant. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019, no 2, pp. 33 — 41. [In Russ]. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-2-33-41.

31. Bykova M. V., Pashkevich M. A. Reducing environmental hazard of oil-contaminated soils at production facilities. MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2019, no S7, pp. 392 — 403. [In Russ].

32. Pashkevich M. A., Matveeva V. A., Danilov A. S. Study of migration of pollutants from the territories of anthropogenic massifs of the Kola Peninsula. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no 1, pp. 17 — 21. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Макридин Евгений Владимирович[1] — аспирант, заместитель директора технического (по перспективному развитию) разрезоуправления АО «СУЭК-Кузбасс»,
Тюленев Максим Анатольевич[1] — канд. техн. наук, доцент, профессор,
Марков Сергей Олегович[1] — канд. техн. наук, доцент,
Лесин Юрий Васильевич[1] — д-р техн. наук, профессор,
Мурко Елена Викторовна[1] — канд. техн. наук, доцент,
начальник отдела аспирантуры, докторантуры,
[1] Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева (КузГТУ).
Для контактов: Тюленев М. А., e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E.V. Makridin[1], Graduate Student;
Deputy of Technical Director (for Perspective Development) of Surface Mining Office, SUEK-Kuzbass JSC, 652507, Leninsk-Kuznetskiy, Russia,
M.A. Tyulenev[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Professor, e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru,
S.O. Markov[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Yu.V. Lesin[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor,
E.V. Murko[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Chief of Graduate and Doctoral Studies Department,
[1] T. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russia.
Corresponding author: M.A. Tyulenev, e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

Получена редакцией 18.03.2020; получена после рецензии 05.08.2020; принята к печати 20.11.2020.
Received by the editors 18.03.2020; received after the review 05.08.2020; accepted for printing 20.11.2020.

РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ И АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДАТЧИКА DHT11

(№ 1230/12–20 от 23.09.2020; 11 с.)

Шогенова Залина Асланбековна[1] — старший преподаватель, e-mail: shogenova.88@mail.ru,
Жилов Ислам Анзорович[1] — магистр, *Созаев Ильяс Исхакович*[1] — магистр,
Макоев Ислам Аскербиевич[1] — магистр, e-mail: Makoev-islam@bk.ru.
[1] Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия.

Рассмотрен метод разработки аппаратно-программного комплекса мониторинга температуры и атмосферного давления на основе датчика DHT11. Температура и влажность — одни из важнейших параметров технологических процессов. Они обладают некоторыми особенностями, вызывающими необходимость применения большого количества методов и технических средств для их измерения.

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, мониторинг, атмосферное давление, датчик, агротехника, микроклимат.

DEVELOPMENT OF A HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR MONİTORİNG TEMPERATURE AND ATMOSPHERİC PRESSURE BASED ON DHT11 SENSOR

Z.A. Shogenova[1], Senior Lecturer, e-mail: shogenova.88@mail.ru,
I.A. Zhilov, Magister, *I.I. Sozaev*[1], Magister, *I.A. Makoev*[1], Magister, e-mail: Makoev-islam@bk.ru.
[1] Kh.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University, 360004, Nalchik, Russia.

The article considers a method for developing a hardware and software system for monitoring temperature and atmospheric pressure based on the DHT11 sensor. Temperature and humidity are one of the most important parameters of technological processes. It has some fundamental features, which necessitates the use of a large number of methods and technical means for its measurement.

Key words: hardware-software complex, monitoring, atmospheric pressure, sensor, agricultural technology, microclimate.