



УДК 622.351.823.3

ГИДРОНАМЫВ РЕКУЛЬТИВАЦИОННОГО СЛОЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА

Гоголин В.А.¹, Лесин Ю.В.^{1,2}, Литвин О.И.¹, Литвин Я.О.³

¹ Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева

² Кемеровский государственный университет

³ Филиал АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Моховский угольный разрез»

Аннотация.

Развитие и интенсификация открытой угледобычи в Кузбассе увеличивают воздействие горных работ на окружающую природную среду. К числу основных отрицательных результатов этого воздействия относится нарушение земной поверхности. Значительные территории на угольных разрезах занимают отвалы пород вскрыши.

Существующие способы рекультивации отвалов в Кузбассе направлены в основном на создание лесных насаждений. Создание пахотных угодий требует значительных затрат на нанесение потенциально плодородных пород. Учитывая дельнейший рост добычи угля открытым способом, разработка технологических схем гидронамыва рекультивационного слоя на породные отвалы является актуальной задачей для Кузбасса. Гидронамыв потенциально плодородных пород целесообразно внедрять в первую очередь на разрезах, использующих гидравлическую разработку наносов.

В статье рассмотрены перспективы использования гидронамыва рекультивационного слоя на породные отвалы на угольных разрезах Кузбасса. Представлены состав и физико-механические свойства потенциально плодородных пород. Предложены схемы рекультивации при совместной и селективной укладке пород вскрыши в отвалы.

Информация о статье

Принята 15 января 2021 г.

Ключевые слова:

Открытые горные работы, отвал, гидроотвал, гидронамыв, рекультивация, потенциально плодородные породы

HYDROFILLING OF THE RECLAMATION LAYER FOR RECOVERY OF DISTURBED LANDS AT KUZBASS OPEN PIT MINES

Vyacheslav A. Gogolin¹, Yury V. Lesin^{1,2}, Oleg I. Litvin¹, Yaroslav O. Litvin³

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

² Kemerovo State University

³ Branch of JSC «UK Kuzbassrazrezugol» Mokhovskiy Open Pit Mine

Article info

Received January 15, 2021

Keywords: Open pit mining, dump, hydrodump, hydrofilling, reclamation, potentially fertile rocks

Abstract.

The development and intensification of surface coal mining in Kuzbass increase the impact of mining operations on the natural environment. Among the main negative results of this impact is the disturbance of the earth's surface. Significant areas at open-pit coal mines are occupied by overburden dumps.

The existing methods of reclamation of dumps in Kuzbass are mainly aimed at creating forest plantings. The creation of arable land requires significant expenses for the application of potentially fertile rocks. Taking



into account further growth of open-pit coal mining, development of technological schemes for hydrofilling of the reclamation layer on waste rock dumps is an urgent task for Kuzbass. Hydrofilling of potentially fertile rocks is advisable to introduce in the first place at the mines, which use hydraulic mining of loose sediments.

The article considers the prospects of using reclamation layer hydrofilling on rock dumps at open-pit coal mines in Kuzbass. The composition and physical and mechanical properties of potentially fertile rocks are presented. The reclamation schemes for joint and selective placing of overburden rocks in the dumps are proposed.

Введение

Одной из важнейших задач, стоящих перед открытчиками в области охраны природы, является рекультивация нарушенных горными работами земель. Выбор вида рекультивации зависит от характера нарушенных земель, природных и климатических условий, а также экономики района [1].

Разрезы северной части Кузбасса находятся в лесной зоне с пересеченным и слабохолмистым рельефом местности и занимают часть земель, которые ранее использовались в сельскохозяйственном производстве. Поэтому здесь рациональным видом рекультивации отвалов является восстановление площадей под пашню и лесные насаждения.

Разрезы центрального Кузбасса расположены на плодородных землях в безлесной местности с равнинным рельефом. Поэтому здесь также следует считать основным видом рекультивации восстановление земель для сельскохозяйственных угодий и лесонасаждений.

Южная часть Кузбасса представляет собой горную, резко пересеченную местность, занятую лесными массивами. Сельскохозяйственное производство этого района развито слабо, поэтому восстановление земли здесь может использоваться под лесопосадки.

Как указывается в работе [2], большое разнообразие геологических и климатических условий, в которых действуют разрезы, требуют индивидуального подхода к выбору технологии и средств механизации для их выполнения. Поэтому в настоящее время на разрезах Кузбасса применяют следующие способы рекультивации [3]: планировка бестранспортных отвалов производится шагающими экскаваторами с последующей планировкой бульдозерами (разрезы «Моховский», «Красногорский»), планировка отвалов одними бульдозерами («Калтанский»), засыпка выработок породой с нанесением на поверхность суглинков и плодородного слоя почвы («Краснобродский»).

Существенным элементом затрат на восстановление нарушенных площадей является нанесение слоя потенциально плодородных пород на скальные породы отвалов. Одним из возможных направлений снижения затрат на рекультивацию породных отвалов является гидронамыв рекультивационного слоя. В мировой практике имеется определенный опыт по восстановлению нарушенных земель с применением гидромеханизации для нанесения слоя потенциально плодородных пород. Например, в Германии гидромеханизация используется для нанесения на спланированные отвалы слоя лёсса мощностью 1 м при длине транспортирования пульпы (Т:Ж = 1,5) до 10 км [5, 6]. Это снижает затраты на горнотехническую рекультивацию на 25-35% по сравнению с отсыпкой лёсса сухим способом. На некоторых разрезах России планировка внутренних отвалов вскрышных пород осуществлялась путем заполнения межгребневых впадин отвалов отходами углеобогащения. Затем поверхность отвала разравнивали бульдозерами и производили посадку леса.

Во Временных методических указаниях по рекультивации нарушенных земель в угольной промышленности [7], разработанных институтов ВНИИОСуголь, рассмотрен ряд технологических схем рекультивации внутренних и внешних отвалов с использованием гидромеханизации. Технологическая схема (рис. 1) может использоваться на разрезах, где ведется гидравлическая разработка наносов. Сущность ее заключается в том, что территория отвала разделяется при помощи ограждающих дамб на участки, и образованные таким путём емкости заливаются подаваемой с гидровскрыши пульпой.

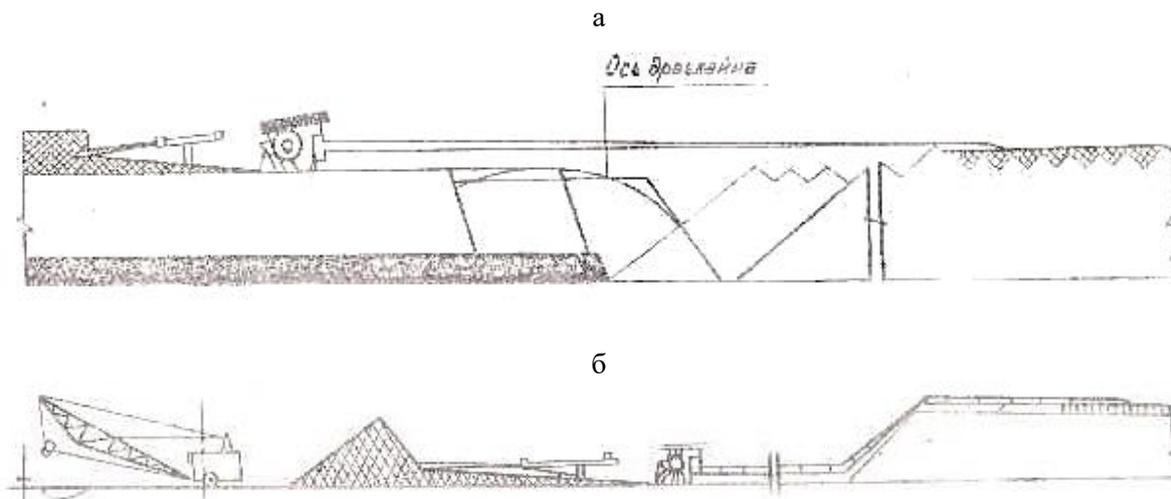


Рис. 1. Схема селективной укладки пород в отвал с помощью гидротранспорта: а – намыв потенциально плодородных пород непосредственно на поверхность отвала; б – то же, с промежуточным складом.

При отсутствии на разрезе потенциально плодородных пород или невозможности применения гидровскрышной транспортировки пород для рекультивации их укладка на отвал может осуществляться комбинированным способом (рис. 2). Схема в этом случае включает доставку автотранспортом потенциально плодородных пород с других участков (предприятий), где они разрабатываются, и складированием их на временный склад. Экскаватор перемещает породу в навал, где она размывается гидромониторами, а после землесосами перекачивается на рекультивируемый участок.

На шахтах Кузбасса также используется гидронамыв для создания изоляционных слоев из глины при плоском складировании пустых пород от проведения горных выработок.

Наиболее рациональным решением вопроса гидронамыва рекультивационного слоя, на наш взгляд, являлось бы включение этого процесса составным элементом в технологические схемы гидромеханизированной разработки рыхлых пород вскрыши. Разработка вскрыши по этой схеме производится следующим образом: забой разрабатывается гидромониторной струей, пульпа самотеком транспортируется от забоя до зумпфа и от зумпфа землесосными установками перекачивается в гидроотвал.

Включение гидронамыва рекультивационного слоя на отвалы коренных пород вскрыши в технологическую цепь гидравлической разработки наносов позволило бы сократить потери земли под гидроотвалами и снизить затраты на рекультивацию.

Для разработки технологии гидравлической укладки рекультивационного слоя на отвалы пород вскрыши необходимо провести следующие исследования:

- 1) Изучить вещественный состав и технологические свойства гидросмесей из четвертичных отложений;
- 2) Изучить физико-механические свойства пород отвалов;
- 3) Изучить водные свойства пород отвалов и процесс формирования водоносных горизонтов в толще отвалов;
- 4) Изучить процесс образования гумусового слоя на четвертичных породах Кузбасса.

Физико-механические свойства рыхлых отложений

Угленосные отложения Кузбасса повсеместно, за исключением крутых бортов долин поверхностных водотоков, перекрыты толщей рыхлых отложений, представленных на водораздельных пространствах комплексом глинистых разностей с подчиненным содержанием песчаных пород, а в долинах рек – песками, галечниками и глинистыми грунтами.



Мощность рыхлой толщи изменяется в очень небольших пределах. В гористых юго-восточной, южной и юго-западной частях бассейна она минимальная – от 0 до 20 м. В центральной и северной частях бассейна со спокойным увалисто-долинным рельефом мощность рыхлой толщи увеличивается до 50-60 м и более.

В зависимости от мощности рыхлого покрова все месторождения Кузбасса принято делить на три группы: открытые – мощность наносов до 5 м; полузакрытые – от 6 до 15 м и закрытые – свыше 15 м [8].

В южных районах из общей площади угленосных отложений на долю открытых месторождений приходится от 25 до 50%, полузакрытых 40-70% и закрытых 3-12%. Иная картина наблюдается в центральных и северных районах Кузбасса. Открытых месторождений здесь до 12%, а на полузакрытые и закрытые приходится до 85%.

Рыхлая толща сложена двумя общераспространенными группами пород, которые по горнотехническим признакам делятся на мягкие, связные и рыхлые несвязные. Первая группа пород распространена в основном на водоразделах. Значительно меньшая площадь слагается ими в долинах рек. Среди покровных отложений водоразделов их распространение ограничено. Основными разновидностями мягких связных пород в бассейне являются лессовидные суглинки и их деградированные разности, тяжелые суглинки и глины.

Лессовидные суглинки чаще подстилаются тяжелыми суглинками и глинами светло-бурными, бурными, а в условиях закисной среды – синеvато-серыми. Мощность тяжелых суглинков и глин – 20 м. Среди них иногда встречаются горизонты иловатых водонасыщенных разностей. В основании толщи рыхлых отложений, кроме указанных выше пород, местами залегают плотные глины мощностью до 6 м.

Указанный порядок наложения в различных районах Кузбасса может изменяться. Имеют место и значительные колебания мощности тех или иных разновидностей пород. Наиболее распространенным и хорошо выдержанным является верхний горизонт лессовидных суглинков, повсеместно встречающихся в степных и лесостепных областях бассейна и сменяющийся обычными разностями глинистых пород в зоне тайги.

На большей территории бассейна и особенно в ее центральной части основным типом несущих грунтов являются лессовидные суглинки. По окраинам бассейна, в зоне выклинивания лессовидных суглинков, несущими грунтами являются обычно делювиальные суглинки и глины, изредка обогащенные обломочным материалом. В долинах рек и крутых логах могут встречаться иловатые и, как правило, сильно пылеватые суглинки, реже глины, подстилающиеся в долинах крупных рек песчано-галечниковыми осадками аллювиального происхождения.

Физико-механические свойства типичных для Кузбасса грунтов приведены в таблице 1.

Лессовидные суглинки обладают высокой пористостью (37-58%) и коэффициентом пористости до 1,1. В естественном состоянии они хорошо сохраняют макропористую структуру. При нарушении естественных условий залегания и прежде всего при избыточном увлажнении структура лессовидных грунтов нарушается, а несущая способность снижается. Степень их сжимаемости и просадочности изменяется в широких пределах – от слабо- до сильносжимаемых и от I до III категории просадочности. При высокой естественной влажности степень просадочности низкая. Деградированные разности, а также тяжелые суглинки и глины обычно слабо сжимаемы и просадочными свойствами не обладают.

Углы внутреннего трения глин колеблются в пределах 17-20°, у суглинков – от 17 до 22° (чаще 20-22°). Величина сцепления соответственно составляет 0,06-0,6 кг/см² и 0,01-0,1 кг/см². Для песков угол естественного откоса колеблется от 25 до 30°.

Допустимые нагрузки на глинистые разности грунтов в зависимости от коэффициента пористости и консистенции грунтов лежат в пределах 0,75-0,8 кг/см². Расчетные сопротивления лессовидных суглинков колеблются от 1 до 2 кг/см².

Аллювиальные рыхлые отложения представлены глинистыми грунтами, песками и галечниками. На высоких террасах физико-технические свойства грунтов, гидрогеологические условия и расчетные сопротивления аналогичны соответствующим показателям грунтов водоразделов.



Таблица 1

Показатели	Породы	Суглинки, включая лессовидные	Глины
Гранулометрический состав, %			
фракция 0,5-0,25 мм		0-9	0-14
0,25-0,05 мм		1-37	1-32
0,05-0,01 мм		15-52	10-34
0,01-0,005 мм		12-55	10-44
0,005-0,001 мм		2-41	18-30
менее 0,001		1-18	2-20
Удельный вес, г/см ³		2,63-2,72	2,68-2,77
Объемный вес, г/см ³		1,60-2,08	1,65-2,12
Объемный вес скелета, г/см ³		1,28-1,65	1,35-1,86
Пористость, %		37-53	35-52
Предел текучести, %		30-39	30-52
Предел пластичности, %		16-22	18-25
Число пластичности, %		11-22	16-34
Коэффициент пористости		0,7-1,1	0,7-1,1
Естественная влажность, %		12-31	13-37
Максимальная молекулярная влагоемкость, %		17-22	18-24
Максимальная капиллярная влагоемкость, %		24-36	19-55
Полная влагоемкость, %		27-39	23-55
Степень влажности		0,3-1,0	0,4-1,0

В результате исследований, выполненных Институтом почвоведения и агрохимии, было установлено, что на четвертичных породах без покрытия их почвенным слоем успешно произрастают кормовые травы, обогащающие породы азотом, и через 8-10 лет при соответствующей агротехнике эти площади могут быть использованы под пашни.

Физико-механические свойства пород отвалов

Горные породы разрезов по физико-механическим свойствам и строению различны. В северной части бассейна вмещающие породы представлены песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Песчаники составляют 70% общего объема вскрыши и имеют коэффициент крепости 4-8 по шкале проф. М.М. Протодяконова [1].

На разрезах центральной части бассейна породы вскрыши выражены в виде мелкозернистых и крупнозернистых песчаников с коэффициентом крепости 4-5. С увеличением глубины разработки их крепость возрастает до 7-8. Аргиллиты и алевролиты по своему составу неоднородны – от вязких до имеющих способность скалываться. И коэффициент крепости изменяется от 2 до 4.

Породы, слагающие месторождения южной части Кузбасса, представлены конгломератами и аргиллитами. Песчаники, занимающие более 80% объема пород, характеризуются повышенной крепостью (8-12) и крупнообломочным строением. Коэффициент крепости остальных пород составляет 4-6.

Гранулометрический состав горных пород, уложенных в отвалы, весьма неоднороден. Породы отвалов, в основном, из песчано-глинистого заполнителя (фракции 0-10 мм) и



кускового материала (фракции 10-100 мм), причем фракция 0-300 мм составляет 40% всей отвальной массы [9].

Основные характеристики вскрышных пород разрезов южной части Кузбасса, определенные на образцах с ненарушенной структурой, приведены в табл. 2.

Уложенные в отвал породы имеют несколько иные, отличные от указанных в табл. 2, характеристики.

Таблица 2

Породы	Объемная масса, т/м ³	Угол внутреннего трения, градус	Сцепление пород, кгс/см ²
Песчаники	2,30	36	2,0-3,0
Алевролиты	2,15	33	0,5-3,0
Аргиллиты	2,00	30	0,4-3,6

Так, смесь пород отвалов разреза «Красногорский», состоящая из песчаников (65-70%), алевролитов (26-30%) и аргиллитов, имеет объемную массу 1,7 т/м³, значение угла внутреннего трения колеблется от 26 до 35°, а сцепление – от 0,66 до 1,6 тс/м². Естественная влажность пород отвалов составляет 8-9%.

Для разработки технологии гидравлического нанесения рекультивационного слоя на отвалы необходимо знать такие водные свойства, как водоустойчивость и водопроницаемость пород отвалов.

Из показателей водоустойчивости были изучены размокаемость и размягчаемость. Эти показатели изучались на образцах коренных пород вскрыши, отобранных на разрезе «Кедровский», расположенном в северной части бассейна.

Исследование размокаемости пород вскрыши

Методика исследования скорости размокания заключалась в следующем. Образцы породы помещались в стеклянные банки, имеющие сетки с квадратными отверстиями площадью 1 см², и заливались дистиллированной водой. В журнале наблюдений ежесуточно фиксировалось изменение состояния образцов. Испытывались образцы алевролита и аргиллита, отобранные с горных участков разреза «Кедровский».

Продолжительность наблюдений составила 24 суток. За этот период исследуемые образцы горных пород практически не претерпевали никаких изменений, за исключением одного образца, на котором через 13 суток после начала испытания появилась трещина.

Исследование размягчаемости коренных пород вскрыши

Водоустойчивость скальных и полускальных горных пород характеризуется коэффициентом размягчаемости K_p , численно равным отношению временного сопротивления сжатию образца породы, насыщенного водой ($\sigma_{сж.в}$), к временному сопротивлению сжатию образца породы в воздушно-сухом состоянии $\sigma_{сж.с}$ [10]:

$$K_p = \frac{\sigma_{сж.в}}{\sigma_{сж.с}}. \quad (1)$$

Для определения коэффициента размягчаемости с различных участков разреза «Кедровский» были отобраны образцы горных пород. Образцы были отобраны как с верхних горизонтов, где породы подвержены выветриванию, так и с нижних горизонтов.



Таблица 3

Порода	Номер образца	Размеры образцов, см			Масса образцов Q , г	$\frac{\gamma}{Q}$	$\left(\frac{\gamma}{Q}\right)^{0,67}$	Разрушающая нагрузка P , кгс	Временное сопротивление сжатию $\sigma_{сж}$, кгс
		А	В	С					
Песчаник естественной влажности	1	8	4	5	365	0,00685	0,0355	4000	142,0
	2	12	7	5	500	0,005	0,0287	6000	172,2
	3	9	8	5,5	500	0,005	0,0287	4400	126,3
	4	9	6	6	375	0,00666	0,0348	2500	87,0
	5	9	7	6	450	0,00555	0,0308	2000	96,2
	6	9	6	5	400	0,00625	0,0334	3500	116,9
	7	8	6	4	450	0,00555	0,0308	4300	132,4
	8	10	7	5	400	0,00625	0,0334	4600	153,6
	9	9	7	6	500	0,005	0,0287	7500	215,2
	10	8,5	7	4,5	450	0,00555	0,0308	7300	224,8
	11	7	5	5	400	0,00625	0,0334	3000	100,2
	12	8	5,5	5,6	300	0,00833	0,0405	1800	72,9
	13	7	5	5,2	285	0,00877	0,0419	1400	58,7
Песчаник водонасыщенный	1	10	6	4,5	370	0,00676	0,03516	4200	147,7
	2	8	5	3,5	350	0,00714	0,03647	4000	145,9
	3	10	7	5	450	0,0055	0,03062	3500	107,2
	4	14	7	4	450	0,0055	0,03062	4000	122,5
	5	11	7	4	395	0,00633	0,03365	4100	137,9
	6	8,5	6	4,5	450	0,0055	0,03062	1000	30,6
	7	9	4,5	6	380	0,006	0,03460	2600	89,9
	8	8	6	5	350	0,00714	0,03647	1500	54,7
	9	11	9	3	500	0,005	0,02872	3000	86,2
	10	8	5,5	4,5	400	0,00625	0,03336	3500	116,8
	11	11	6	5	500	0,005	0,02872	500	14,4
	12	8,5	7	3,5	350	0,00714	0,03647	5900	215,2
	13	11	5	5,5	400	0,00625	0,03336	350	11,7
	14	8,5	7	6,5	350	0,00714	0,03647	220	8,0
	15	11	6	3	350	0,00714	0,03647	600	21,9
	16	8	7	3	290	0,00862	0,04138	650	26,9
	17	8	6	2	170	0,0147	0,05917	200	11,8
Песчаник естественной влажности	1	8,5	4	4,5	400	0,00625	0,0334	5000	167
	2	7	6,5	4,5	550	0,00454	0,0269	3000	80,7
	3	9	6	3,5	450	0,00555	0,0308	7800	240,2
	4	8,5	7	3	480	0,00521	0,0295	6800	200,6
	5	7	5,5	3	300	0,00833	0,0404	3400	137,4
	6	8	5	2,5	370	0,00676	0,0352	образец разрушился без нагрузки	
	7	8	5	4	400	0,00625	0,0334	4000	133,6
	8	9	6,5	4	350	0,00714	0,0365	2350	85,8
	9	9,5	5	2,5	370	0,00676	0,0352	2600	91,5
	10	8	5	4,3	300	0,00833	0,0404	2000	80,8
	11	7	4	6	300	0,00833	0,0404	3000	121,2



Продолжение табл. 3

Порода	Номер образца	Размеры образцов, см			Масса образцов Q , г	$\frac{\gamma}{Q}$	$\left(\frac{\gamma}{Q}\right)^{0,67}$	Разрушающая нагрузка P , кгс	Временное сопротивление сжатию $\sigma_{сж}$, кгс
		A	B	C					
Песчаник водонасыщенный	1	10,5	7,5	4	500	0,005	0,02873	5500	158,0
	2	9,5	5	6,5	400	0,0063	0,03354	300	10,0
	3	9,6	4	5	345	0,0072	0,03667	2500	91,6
	4	10	4,2	8	470	0,0053	0,02987	1200	35,8
	5	8,5	3,5	6	500	0,005	0,02873	1500	43,1
	6	8	5,5	4,3	320	0,0078	0,03869	1000	38,7
	7	7	5,6	4,6	400	0,0063	0,03354	5700	191,2
	8	11,5	5,5	5	470	0,0053	0,02987	2200	65,7
	9	9	7	2	400	0,0063	0,03354	4250	142,5
	10	7	4,5	3,5	300	0,0083	0,04034	100	4,0
	11	8,5	4,5	5	380	0,0066	0,03460	2300	79,6
	12	11,5	6	2,5	420	0,0059	0,03209	1350	43,3
	13	9,5	5	4	350	0,0071	0,03634	1800	65,4
	14	7,5	4,2	3,1	300	0,0083	0,04034	3400	137,2
	15	7	6	4	500	0,005	0,02873	1900	54,6
	16	10	5	4	350	0,0071	0,03634	1200	43,6
	17	7	5	3	300	0,0083	0,04034	1200	48,4
Песчаник естественной влажности	1	8	5	4	350	0,00714	0,03647	550	20,1
	2	9	7	6	450	0,00555	0,03062	2250	68,9
	3	9,5	5	4	550	0,00454	0,02693	7200	193,9
	4	7,5	6	3,5	450	0,00555	0,03062	6700	205,2
	5	9	6	3,5	580	0,00431	0,02601	2500	65,0
	6	9,5	5,5	4	470	0,00531	0,02987	4700	140,4
	7	8	6	4	420	0,00595	0,03209	7500	240,7
	8	8	5	4	350	0,00714	0,03647	7600	277,2
	9	9	5,5	4,2	500	0,005	0,02872	2900	83,3
	10	8	7	6	500	0,005	0,02872	5500	157,9
	11	7,5	6	4,5	450	0,00555	0,03062	1150	35,2
	12	8	6,5	4	500	0,005	0,02872	2300	66,0
	13	9	5	3,5	320	0,00781	0,03869	1500	58,0
Песчаник водонасыщенный	1	7	5	5	40	0,00555	0,03062	4300	131,7
	2	9	7	4	400	0,00625	0,03336	2900	96,7
	3	9	4,5	4	400	0,00625	0,03336	2900	96,7
	4	8	5,5	4	500	0,005	0,02872	2400	68,9
	5	10	6	5,5	600	0,00417	0,02544	6700	170,4
	6	8	7	5	575	0,00435	0,02616	4200	109,9
	7	10	4,5	4,5	500	0,005	0,02872	3500	100,5
	8	9	7,5	6	500	0,005	0,02872	2450	70,4
	9	10	6,5	3,5	500	0,005	0,02872	2000	57,4
	10	8	7,5	6	500	0,005	0,02872	4800	137,9
	11	11	6,5	3	400	0,00625	0,03336	1000	33,4
	12	7	6	5	350	0,00714	0,03647	600	21,9
	13	8,5	3	5,5	450	0,00555	0,03062	2750	84,2
	14	9	7	3	500	0,005	0,02872	1000	28,7
	15	10,5	4	3,5	375	0,00666	0,03480	1900	66,1



Временное сопротивление сжатию определялось на образцах неправильной формы по методике, разработанной институтом горного дела Российской академии наук. Согласно этой методике, прочность пород в образцах неправильной формы можно определить по формуле:

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{F} = P \left(\frac{\gamma}{Q} \right)^{0,67}, \quad (2)$$

где P – разрушающая сила; F – площадь поперечного сечения образцов; γ – объемный вес породы; Q – вес образцов.

Как указывается в работе [12], величина $\sigma_{сж.н}$, определенная на образцах неправильной формы, пропорциональна временному сопротивлению сжатию цилиндрических образцов, а именно:

$$\sigma_{сж.н} = 0,19\sigma_{сж}. \quad (3)$$

Испытания образцов проводились на прессе, развивающем усилие 10 тс. Минимальная масса образца составляла 170 г, максимальный – 600 г. Всего было испытано 115 образцов породы. Некоторые результаты испытаний представлены в табл. 3. Объемный вес породы γ всех образцов был равен 2,5 г/см³.

Средние значения временных сопротивлений сжатию сухих и водонасыщенных образцов и коэффициентов размягчаемости коренных пород вскрыши приведены в табл. 4.

Таблица 4

Серия образцов	Временное сопротивление сжатию сухой породы $\sigma_{сж.с}$, кгс/см ²	Временное сопротивление сжатию водонасыщенной породы $\sigma_{сж.в}$, кгс/см ²	Коэффициент размягчаемости K_p
1	651	418	0,64
2	668	388	0,58
3	853	447	0,68
4	387	192	0,50

Исследование водопроницаемости породных отвалов

Исследование водопроницаемости породных отвалов заключалось в определении скоростей фильтрации и коэффициента фильтрации. В связи с тем, что породы отвалов по крупности частиц относятся к грубообломочным, исследования проводились в полевых условиях.

Полевые исследования фильтрационных свойств заключались в определении действительной (истинной) скорости движения воды и последующем определении коэффициента фильтрации.

Действительная скорость движения воды в породных отвалах и скорость фильтрации связаны между собой зависимостью:

$$V' = \frac{V}{n}, \quad (4)$$

где V' – действительная средняя скорость движения воды в порах массива; V – скорость фильтрации; n – пористость фильтрующего массива.

Действительная средняя скорость фильтрации представляет собой отношение расстояния L , пройденного частицей воды, к времени ее движения t , т.е.

$$V' = \frac{L}{t}. \quad (5)$$

В зависимости от размеров пор, физической характеристики их, шероховатости, а также напора, под действием которого происходит движение воды, оно может быть ламинарным или турбулентным. Для грубообломочных пород, галечников характерен турбулентный режим движения подземных вод, и основной закон фильтрации имеет в этом случае следующий вид:



$$V = k\sqrt{J}, \quad (6)$$

где J – гидравлический градиент.

Определение действительной скорости движения подземных вод сводится к запуску тех или иных индикаторов в пусковую скважину или шурф и их обнаружению в наблюдательной выработке. Время прохождения индикатора между двумя точками и расстояние между ними дают возможность определить действительную среднюю скорость движения фильтрующейся воды [13].

Для проведения полевых исследований фильтрационных свойств породных отвалов на разрезе «Томусинский» было выбрано три опытных участка с длиной пути фильтрации 100, 1000 и 200 метров. Выкопировка с планов горных работ по этим участкам представлена на рис. 2-4.

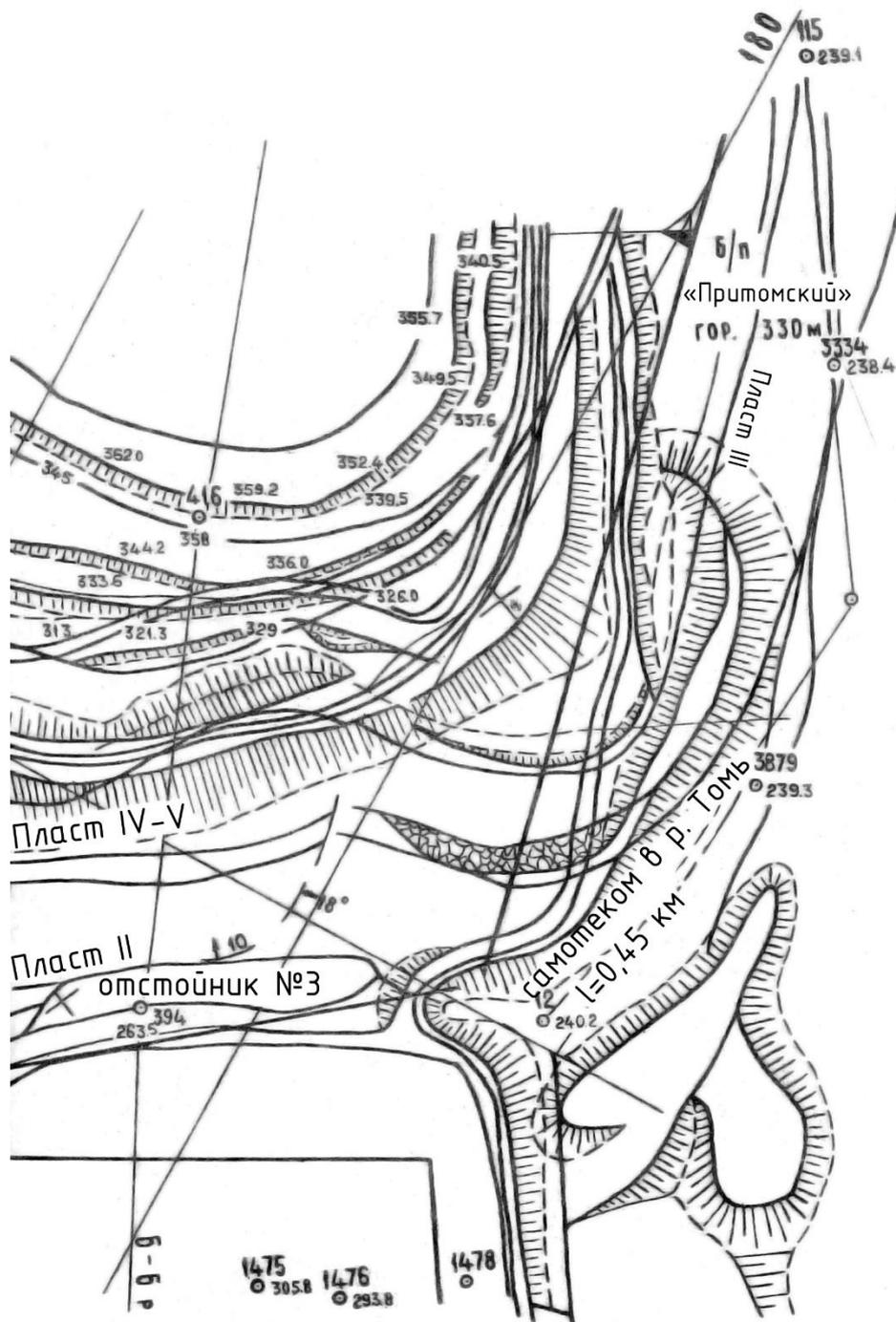


Рис. 2. План горных работ первого опытного участка

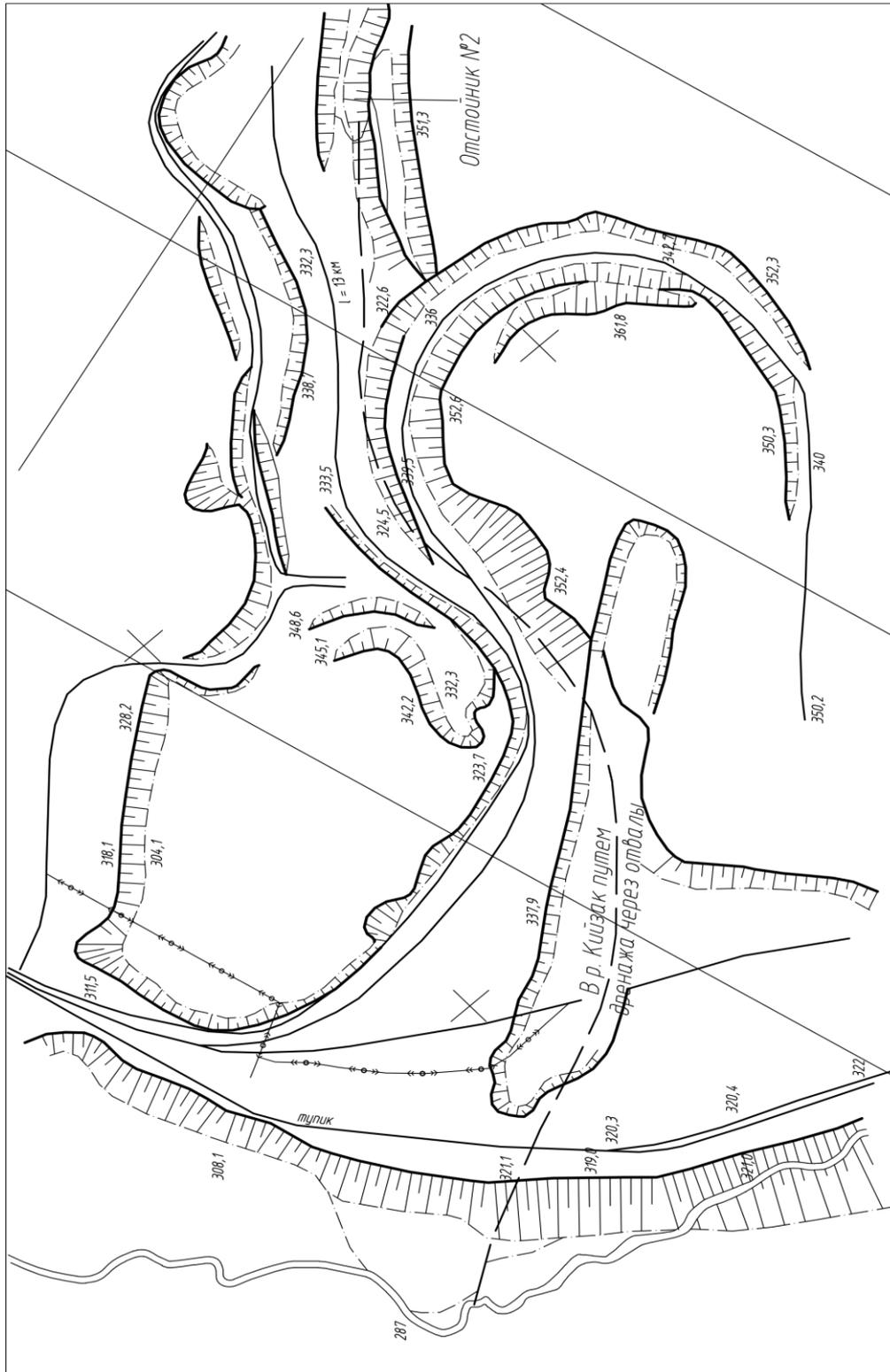


Рис. 4. План горных работ третьего опытного участка

Водопроницаемость поверхностного слоя внешних отвалов в результате уплотнения автомобилями и бульдозерами и физического выветривания отличается от водопроницаемости в откосах и глубине отвала [15]. Коэффициент фильтрации в верхнем, поверхностном слое отвала может быть в десятки раз меньше коэффициента фильтрации пород в нижних слоях отвала.



Условия применения гидронамыва на разрезах Кузбасса

Наиболее целесообразно гидронамыв рекультивационного слоя на породные отвалы в Кузбассе использовать в первую очередь на разрезах, применяющих гидравлическую разработку рыхлых отложений. Это обуславливается тем, что именно на этих разрезах имеются достаточные запасы потенциально плодородных пород, имеется соответствующее оборудование и накоплен значительный опыт гидромеханизационных работ. Следует также учитывать, что гидравлическая разработка наносов применяется на разрезах северной и центральной части Кузбасса, то есть в районах с развитым сельским хозяйством, где острее всего ощущаются потери земли в результате горных работ. Включение гидронамыва слоя потенциально плодородных пород в технические схемы гидровскрышных работ позволит снизить затраты на рекультивацию и сократить потери земли под гидроотвалами.

Ниже рассмотрены возможные в условиях угольных разрезов Кузбасса технологические схемы укладки потенциально плодородных пород на отвалы вскрыши гидравлическим способом.

Схема совместного отвалообразования

Сущность такой схемы заключается в том, что складирование коренных пород вскрыши, разрабатываемых механическими лопатами или доставляемых колесным транспортом, и потенциально плодородных пород, доставляемых гидротранспортом, производится совместно и одновременно. При этом происходит не только создание рекультивационного слоя на поверхности отвала, но и полное заполнение четвертичными породами пространства между кусками коренных пород. Технология совместного отвалообразования показана на рис. 5.

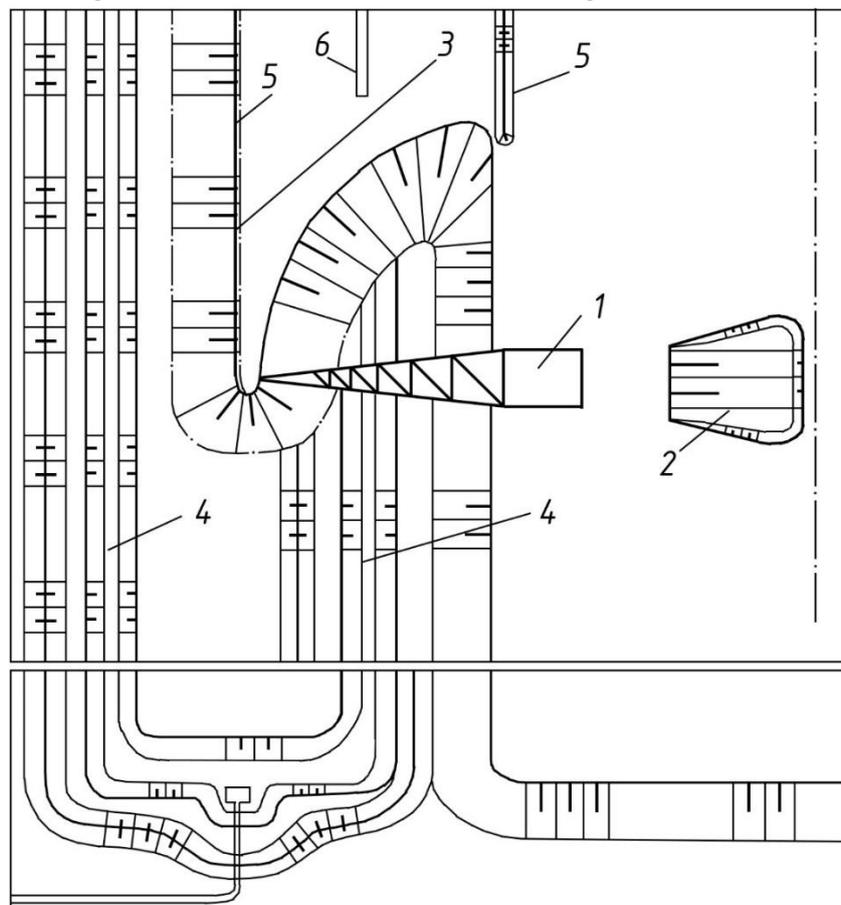


Рис. 5. Схема совместного складирования пород вскрыши



Перед отсыпкой коренных пород экскаватором 1 по радиусу его разворота из приемной ямы 2 параллельно фронту отсыпки отвала 3 в его основании проводят дренажную канаву 4, имеющую уклон к месту сбора воды. После проходки канавы производят отсыпку коренных пород с возведением гребня 5 из указанных пород верхней бровки отсыпаемого отвала. Непосредственно вслед за отсыпкой коренных пород и одновременно с ней осуществляют намыв четвертичных отложений, поступающих в пульпе по трубопроводу 6.

При движении пульпы твердая фаза осаждается между кусками коренных пород. Крупность частиц пород четвертичных отложений в основном не превышает 1 мм, а средний диаметр куса коренных пород равен 200-300 мм, что обеспечивает весьма эффективную сплошность массива. Разделение пульпы на твердую и жидкую фазы при фильтрации значительно лучше, чем при отстаивании ее в гидротовах. Вода из отвала высачивается через откосы, отвод ее от отвала и водосборника производится по дренажным канавам.

При такой схеме отвалообразования потенциально плодородные породы, представленные четвертичными отложениями, замыкаются на всю глубину «сухого» отвала, что значительно ускорит формирование водоносных горизонтов в отвале и облегчит биологическую рекультивацию.

Схема селективной укладки пород в отвал

Один из возможных вариантов технологических схем гидронамыва рекультивационного слоя на внешние породные отвалы представлен на рис. 6. В данной схеме нанесение слоя потенциально плодородных пород на рекультивируемый отвал также включено составным процессом в технологическую схему гидравлической разработки наносов.

Размытые гидромониторами 1 рыхлые отложения поступают в зумпф 2, откуда землесосными агрегатами пульпа по пульповоду 3 перекачивается на отвал вскрыши. На породном отвале территория, подлежащая рекультивации, оконтуривается специальными ограждающими дамбами 4. Дамбы отсыпаются из коренных пород вскрыши при помощи автотранспорта и бульдозеров. Высота ограждающих дамб около 1,5 м. Со стороны высачивания воды из отвала проводятся водосборные канавы 5. Место высачивания воды определяется по рельефу подстилающей поверхности. Улавливаемая канавами вода отводится в водосборник 6. Из водосборника осветленная вода при помощи насосной станции 7 по водоводу 8 подается обратно в гидромониторы.

В некоторых случаях, например, при отсыпке внешних отвалов в оврагах, лощинах, может отпадать необходимость проведения водосборных канав и отсыпки ограждающих дамб. Вода будет высачиваться из откосов отвала и стекать в водосборники по естественным склонам.

При таком раздельном нанесении рекультивационного слоя гидравлическим способом на «сухие» породные отвалы можно выделить три стадии намыва:

В первую стадию поступающая на поверхность отвала пульпа растекается по площади, обеспечивающей дренаж всей воды (рис. 7-а). Насыщенная мелкими частицами четвертичных отложений вода просачивается в толщу отвала. В процессе фильтрации происходит коагуляция породного массива и, соответственно, осветление воды. В первую стадию намыва отложения наносов на поверхности отвала не будет происходить, так как основная часть твердой фазы пульпы будет осажаться в межкусковом пространстве отвала.

Вторая стадия наступает после проилювания отвала в зоне фильтрации. Водопроницаемость массива на этом участке отвала значительно снижается, и поступающая пульпа растекается дальше по поверхности, охватывая новые участки отвала, рис. 7-б. Над полностью проиленным участком происходит формирование откоса намыва. Таким образом, во вторую стадию отложение твердых частичек гидросмеси происходит как на поверхности отвала (на пляже), так и в порах. Во вторую стадию начинает образовываться рекультивационный слой.

Третья стадия характеризуется полной коагуляцией отвала под намываемой поверхностью. Происходит постепенное наращивание мощности слоя потенциально плодородных пород по длине откоса намыва (рис. 7-в). Взвесь из пульпы выпадает частично на пляже и частично на образующемся прудке.

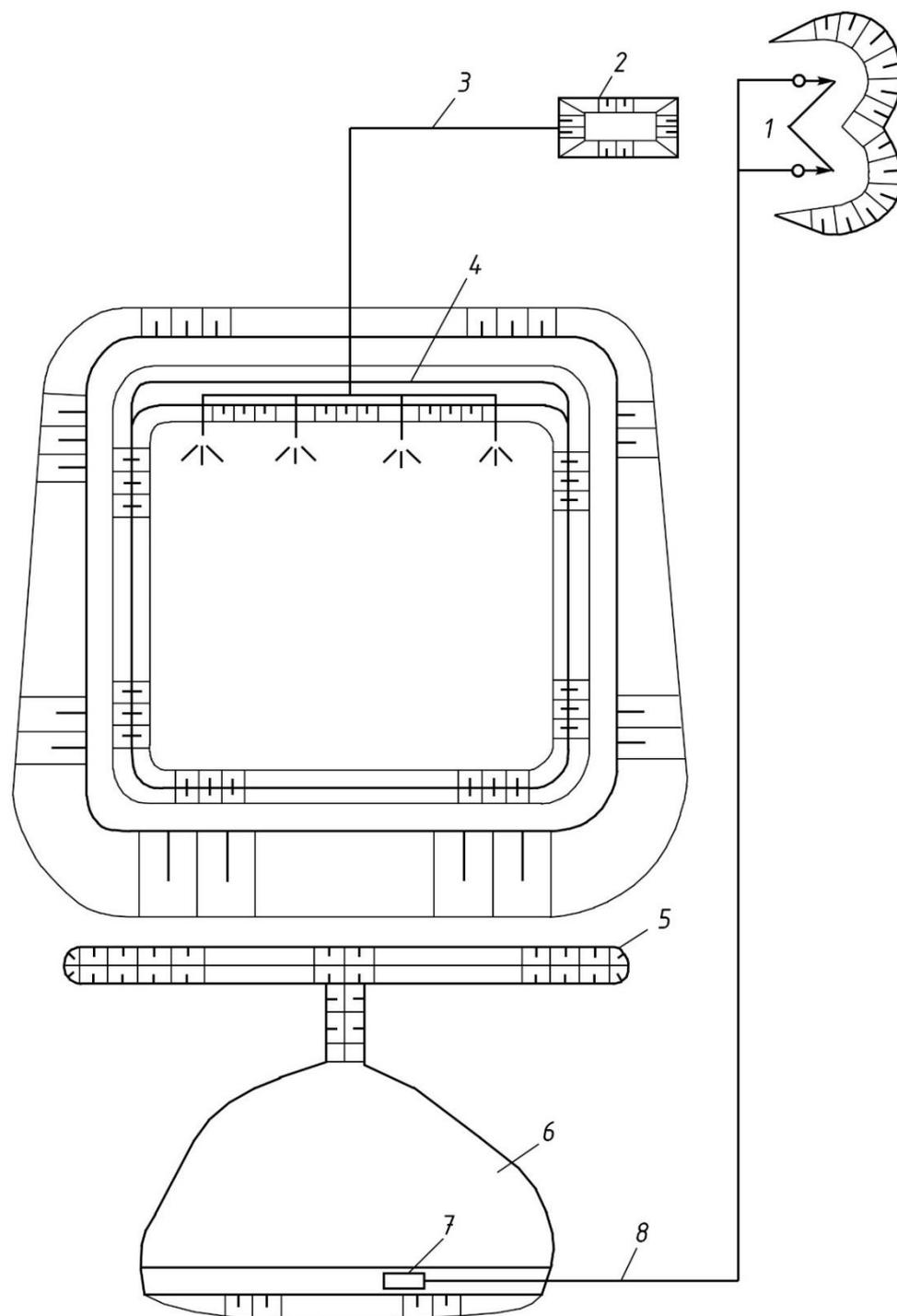
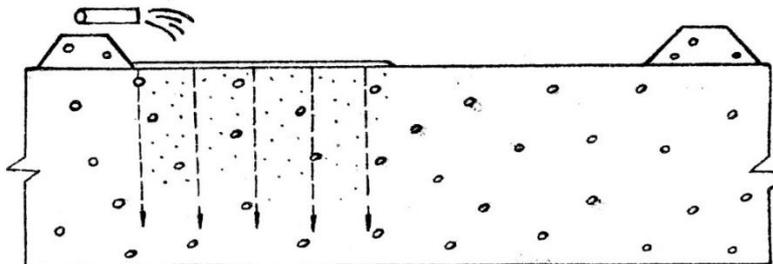


Рис. 6. Намыв потенциально плодородных пород на отвал при гидравлической разработке вскрыши

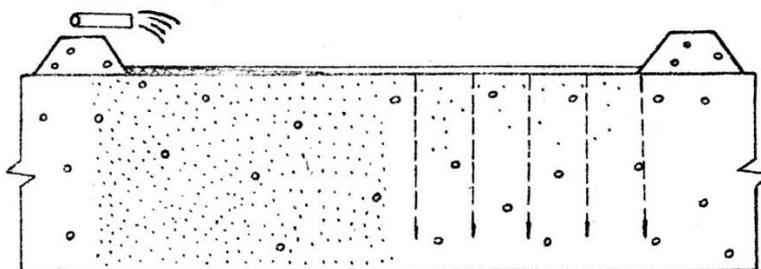
Мощность слоя намываемых четвертичных отложений определяется в зависимости от вида последующей биологической рекультивации. В соответствии с рекомендациями, содержащимися в [7], мощность слоя лёссов или лёссовидных суглинков должна составлять 1-1,5 м при создании сенокосных и пастбищных угодий. Плодородный слой почвы в этом случае не наносится [14]. При нанесении почвенного слоя для создания пахотных угодий мощность слоя потенциально плодородных пород должна составлять 0,7-1 метр.



а



б



в

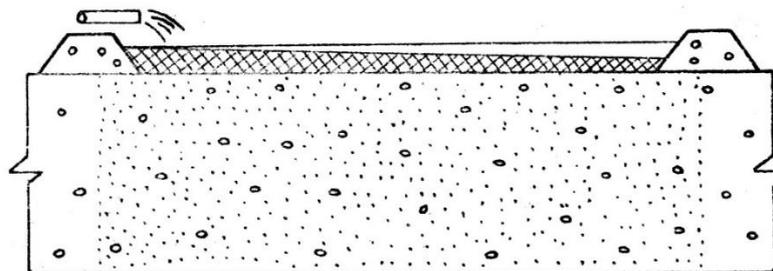


Рис. 7. Стадии намыва рекультивационного слоя

Выводы

1. Рыхлые четвертичные отложения на разрезах Кузбасса представлены в основном лёссовидными суглинками, тяжелыми суглинками и глинами. Установлено, что на этих породах и без нанесения плодородного слоя успешно произрастают кормовые травы и через 8-10 лет эти площади могут быть использованы под пашни. Коренные вскрышные породы, состоящие из песчаников, алевролитов и аргиллитов, характеризуются низким содержанием водорастворимых солей, отсутствием общей и пиритной серы, общей или нейтральной реакцией. Породы в отвале имеют непрерывный гранулометрический состав, практически не размокают и незначительно размягчаются. Водопроницаемость породных отвалов достаточна для дренажа больших объемов воды.

2. Наиболее эффективно применение гидронамыва потенциально плодородных пород на отвалы при включении его составным процессом в технологические схемы гидравлической разработки рыхлых отложений. Предложены схемы формирования рекультивационного слоя при совместном складировании вскрышных пород и при селективной укладке.

3. Для определения параметров и режимов намыва рекультивационного слоя необходимо в первую очередь провести детальные исследования водопроницаемости породных отвалов, особенно его верхних, поверхностных слоев; выявить зависимость фильтрационных свойств от способов механизации отвальных работ и сроков возведения отвалов; установить глубину проилювания и скорость водоотдачи отвала.



Список источников

1. Резников, Л.Н. Добыча угля на разрезах Кузбасса / Л.Н. Резников, В.П. Богатырев // Кемерово: Кемеровское кн. изд-во. – 1975. – 259 с.
2. Красавин, А.П. Научные проработки в области рекультивации земель на открытых горных работах: материалы Всесоюзного семинара «Охрана природной среды на предприятиях Министерства угольной промышленности СССР» // М., 1977. – 101 с.
3. Бирюков, А.С. Рекультивация нарушенных земель на разрезах / А.С. Бирюков, Л.П. Баранник // Уголь. – 1980. – №6. – С. 51-52.
4. Открытые горные работы – XXI век. Справочник. Т. 2. // Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. и др. Под ред. Анистратова К.Ю. // М.: ООО «Система максимум», 2019. – 872 с.
5. Иванова, Л.В. Зарубежный опыт решения проблем рекультивации земель, нарушенных в процессе недропользования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №56. – С. 491-498.
6. Зеньков, И.В. Технологии рекультивации и обустройство нарушенных земель в Западной и Восточной Сибири / И.В. Зеньков, Б.Н. Неведов, И.М. Барадюлин [и др.] // Красноярск: Сибирский федеральный университет. – 2015. – 308 с.
7. Методические указания по проектированию рекультивации нарушенных земель на действующих и проектируемых предприятиях угольной промышленности // Пермь: ВНИИОСуголь. – 1991. – 290 с.
8. Угольная база России. Том 2. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири // М.: Геонформцентр. – 2003. – 604 с.
9. Демин, А.М. Оползни в карьерах: анализ и прогноз // М.: ГЕОС. – 2009. – 77 с.
10. ГОСТ 30416-2012. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 ноября 2012 г. № 707-ст. Дата введения 01.07.2013 г. – М.: Стандартинформ, 2018. – 10 с.
11. ГОСТ 24941-81. Породы горные. Методы определения механических свойств нагружением сферическими инденторами : издание официальное : дата введения 01.07.1982. – М.: ИПК издательство стандартов, 1982. – 15 с.
12. Лысенко, М.И. Состав и физико-механические свойства грунтов // М.: Недра. – 1972. – 320 с.
13. Максимов, В.М. Справочник гидрогеолога : в 2 ч. / В.М. Максимов, В.А. Кирюхин, Б.В. Боровский // М.: Киммерийский центр. – 2013. – 471 с.
14. Жуков, С.П. К методике определения организации и устойчивости фитоценозов в ходе их развития на отвалах угольных шахт // Промышленная ботаника. – 2012. – №12. – С. 19-24.
15. Гальперин, А.М. Методы определения параметров отвалов и технологии отвалообразования на склонах / А.М. Гальперин, Ю.И. Кутепов, Г.М. Еремин // М.: Горная книга. – 2012. – 101 с.

References

1. Reznikov, L.N. Dobycha uglya na razrezakh Kuzbassa / L.N. Reznikov, V.P. Bogatyrev // Kemerovo: Kemerovskoe kn. izd-vo. – 1975. – 259 s.
2. Krasavin, A.P. Nauchnye prarabotki v oblasti rekul'tivatsii zemel' na otkrytykh gornykh rabotakh: materialy Vsesoyuznogo seminaru «Okhrana prirodnoy sredy na predpriyatiyakh Ministerstva ugol'noy promyshlennosti SSSR» // M., 1977. – 101 s.
3. Biryukov, A.S. Rekul'tivatsiya narushennykh zemel' na razrezakh / A.S. Biryukov, L.P. Barannik // Ugol'. – 1980. – №6. – S. 51-52.
4. Otkrytye gornye raboty – XXI vek. Spravochnik. T. 2. // Anistratov Yu.I., Anistratov K.Yu. i dr. Pod red. Anistratova K.Yu. // M.: ООО «Sistema maksimum», 2019. – 872 s.
5. Ivanova, L.V. Zarubezhnyy opyt resheniya problem rekul'tivatsii zemel', narushennykh v protsesse nedropol'zovaniya // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. – 2015. – № S56. – S. 491-498.
6. Zen'kov, I.V. Tekhnologii rekul'tivatsii i obustroystvo narushennykh zemel' v Zapadnoy i Vostochnoy Sibiri / I.V. Zen'kov, B.N. Nefedov, I.M. Baradulin [i dr.] // Krasnoyarsk: Sibirskiy federal'nyy universitet. – 2015. – 308 s.
7. Metodicheskie ukazaniya po proektirovaniyu rekul'tivatsii narushennykh zemel' na deystvuyushchikh i proektiruemykh predpriyatiyakh ugol'noy promyshlennosti // Perm': VNIIOSugol'. – 1991. – 290 s.
8. Ugol'naya baza Rossii. Tom 2. Ugol'nye basseyny i mestorozhdeniya Zapadnoy Sibiri // M.: Geonformtsentr. – 2003. – 604 s.
9. Demin, A.M. Opolzni v kar'erakh: analiz i prognoz // M.: GEOS. – 2009. – 77 s.



10. GOST 30416-2012. Grunty. Laboratornye ispytaniya. Obschie polozheniya : mezhgosudarstvennyy standart : izdanie ofitsial'noe : vveden v deystvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 9 noyabrya 2012 g. № 707-st. Data vvedeniya 01.07.2013 g. – M.: Standartinform, 2018. – 10 s.

11. GOST 24941-81. Porody gornye. Metody opredeleniya mekhanicheskikh svoystv nagruzheniem sfericheskimi indentorami : izdanie ofitsial'noe : data vvedeniya 01.07.1982. – M.: IPK izdatel'stvo standartov, 1982. – 15 s.

12. Lysenko, M.I. Sostav i fiziko-mekhanicheskie svoystva grunтов // M.: Nedra. – 1972. – 320 s.

13. Maksimov, V.M. Spravochnik gidrogeologa : v 2 ch. / V.M. Maksimov, V.A. Kiryukhin, B.V. Borovskiy // M.: Kimmeriyskiy tsentr. – 2013. – 471 s.

14. Zhukov, S.P. K metodike opredeleniya organizatsii i ustoychivosti fitotsenozov v khode ikh razvitiya na otvalakh ugol'nykh shakht // Promyshlennaya botanika. – 2012. – №12. – S. 19-24.

15. Gal'perin, A.M. Metody opredeleniya parametrov otvalov i tekhnologii otvaloobrazovaniya na sklonakh / A.M. Gal'perin, Yu.I. Kutepov, G.M. Eremin // M.: Gornaya kniga. – 2012. – 101 s.

Авторы

Гоголин Вячеслав Анатольевич,

докт. техн. наук, профессор
e-mail: gva.pm@kuzstu.ru
Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева
Кемерово, 650000, ул. Весенняя, 28

Лесин Юрий Васильевич

докт. техн. наук, профессор
e-mail: lyuv.geo@kuzstu.ru
Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева
Кемерово, 650000, ул. Весенняя, 28
Кемеровский государственный университет
Кемерово, 650000, ул. Красная, 6

Литвин Олег Иванович

канд. техн. наук, доцент,
старший научный сотрудник
e-mail: litvinoi@kuzstu.ru
Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева
Кемерово, 650000, ул. Весенняя, 28

Литвин Ярослав Олегович

канд. техн. наук, директор
e-mail: insomnia@list.ru
Филиал АО УК «Кузбассразрезуголь»
«Моховский угольный разрез»
Кемеровская область, Беловский район, дер.
Мохово, 652661

Библиографическое описание статьи

Гоголин В.А., Лесин Ю.В., Литвин О.И., Литвин Я.О. Гидронамыв рекультивационного слоя для восстановления нарушенных земель на разрезах Кузбасса // Техника и технология горного дела. – 2021. – № 1 (12). – С. 69-86.

Authors

Vyacheslav A. Gogolin

Dr.Sc., Professor
e-mail: gva.pm@kuzstu.ru
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
Kemerovo, 28 Vesennyyaya str., 650000,

Yury V. Lesin

Dr.Sc., Professor
e-mail: lyuv.geo@kuzstu.ru
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
Kemerovo, 28 Vesennyyaya str., 650000
Kemerovo State University
Kemerovo, 6 Krasnaya st., 650000

Oleg I. Litvin

Ph.D., Associate Professor
senior researcher
e-mail: litvinoi@kuzstu.ru
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
Kemerovo, 28 Vesennyyaya str., 650000

Yaroslav O. Litvin

Ph.D., Director
Branch of JSC «UK Kuzbassrazrezugol» Mokhovskiy
Open Pit Mine
Mokhovo settlement, Belovsky district, 652661,
Kemerovo region, Russia

Cite this article

Gogolin V.A., Lesin Yu.V., Litvin O.I., Litvin Ya.O. (2021) Hydrofilling of the reclamation layer for recovery of disturbed lands at Kuzbass open pit mines, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 1(12):69.