УДК 622.8.807.2

Ю.В.ШУВАЛОВ
профессор кафедры безопасности производств и разрушения горных пород
Ю.Д.СМИРНОВ
аспирант кафедры безопасности производств и разрушения горных пород

СНИЖЕНИЕ ПЫЛЕВОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ФОРМИРОВАНИЯ ПЫЛЯЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА КАРЬЕРАХ МЕТОДОМ ЗАПЕНИВАНИЯ

Наиболее перспективными и технологичными являются способы нанесения на рекультивируемую поверхность плодородных слоев на основе сапропеля. Предложен проект снижения пылевыделения с отвалов горных предприятий и повышения его биопродуктивности. Сделан анализ экономической эффективности различных способов биологической рекультивации.

The means of application of fertile layer on the surface on the basis of sapropel is the most perspective and practically feasible.The project of dust decreasing from dump of mining enterprises and an increase in its bioproductivity is offered. The analysis of economical efficiency of the different methods of revegetation has been made.

При добыче и переработке полезных ископаемых образуются значительные пылевые потоки и большие площади нарушенных земель. По приближенным расчетам общая площадь земель России, нарушенных горными работами в результате добычи угля, составляет 190 тыс.га, при добычи черных и цветных руд – около 350 тыс.га, при разработке строительных горных пород – более 290 тыс.га (рис.1). Запыленность воздуха в местах интенсивного пылеобразования (отделения пород от массива, транспортирование, пересыпы и формирование отвалов) достигает 1000 мг/м^3 и более [1].

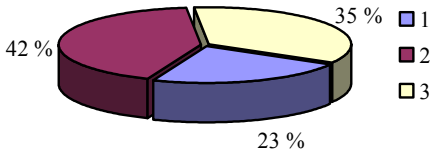


Рис.1. Площади земель, нарушенные различными видами горных работ

1 – добыча угля; 2 – добыча черных и цветных руд; 3 – добыча строительных материалов

Согласно существующим технологиям переработки полезных ископаемых от 30 до 70 % исходного сырья переходит в отвалы. При соответствующих метеорологических условиях эти площади подвергаются ветровой эрозии и становятся интенсивными источниками пылевыделения, так как в них практически не содержатся частицы крупнее 2 мм, а косвенное нарушение окружающей среды проявляется в нескольких десятков километров от центра складирования техногенных образований [9].

Загрязнение окружающей среды вредными веществами наносит непоправимый вред живым организмам. Заболеваемость населения в районах с незащищенными пылящими поверхностями отвалов и хвостохранилищ в 1,5 раза выше, чем в зонах, где они отсутствуют. Значительное пыление приводит также к угнетению растительности. В работе [6] подсчитано, что в сутки с 1 га незащищенной поверхности

отвала может образоваться от 2 до 5 т пыли. Если привнесенное количество пыли превысит 58 кг в месяц на 1 га, наступит деградация всей жизнедеятельности растений и животных этой местности, а при мощности слоя осевшей пыли в 4-5 см отмечается полная гибель всходов сельскохозяйственных культур.

На горных предприятиях нашей страны и в зарубежной практике для снижения интенсивности пылевыделения с открытых поверхностей и для пылеподавления у источников образования применяют определенные способы и средства (табл.1) [2, 8, 12].

Вода, с помощью которой удается снизить поступление пыли в атмосферу на 50-60 %, используется в большинстве случаев для локального пылеподавления. Расчеты показывают, что для борьбы с пылью на площадках или линейных источниках большой протяженности открытого типа (отвалы) расход и эксплутационные затраты воды значительны.

В соответствии с расчетами на обеспыливание 1 га поверхности отвала расход воды за год составляет более 12 тыс.$м^3$. При этом воду нельзя использовать при отрицательных температурах. Таким образом, этот способ можно рекомендовать как вспомогательный, когда орошаемые площади незначительны, а срок их существования непродолжителен.

Более перспективным в горно-добывающей и перерабатывающей промышленности является физико-химический способ борьбы с пылью, сущность которого заключается в закреплении пылящей поверхности с помощью вяжущих или структурообразующих веществ: неорганических, органических, природных, синтетических полимеров и комбинированных связующих веществ. При нанесении закрепляющих веществ на по-

Таблица 1

Основные способы пылеподавления открытых поверхностей

Компоненты		Преимущества	Недостатки
Состав	Расход		
Вода и смачивающие добавки, $м^3$/(га·год)	12000		Нельзя использовать при отрицательных температурах Значителен расход и эксплуатация оборудования
$CaCl_2 + H_2SO_4$, кг/га	40, 30		Невозможность проведения дальнейшей рекультивации из-за наличия серной кислоты
Битумная эмульсия, л/га (при концентрации 15-20 %)	300	Образование тонкой пленки, препятствующей взметыванию пыли в течение 10-12 мес.	Невысокая прочность, недостаточная защита от ветровой эрозии
Сенная мульча, т/га	2,75	В 1,5 раза дешевле закрепления полимерами	
Различные порошковые полимеры, раствор латекса, кг/га	2,5-5	Возникновение водородных связей, за счет которых пылевые частицы связываются в укрупненные агрегаты Частота обработки 1 раз в год	Обработка сухой поверхности Обработка только в солнечную погоду (температура не менее +15 °С, влажность не выше 60 %) Плохая смачиваемость
Цеолит, % Растительный экстракт, % Сине-зеленые водоросли, % Сапропель, % Вода, %	15-33 5-10 0,05 70-35 10-23		Нерациональное использование сапропеля и алюмосиликатов Подверженность ветровой эрозии
Гидропосев трав	–	Быстрый, дешевый, эффективный Питательная среда для семян и защитная пленка	Трудность нанесения на неровные поверхности

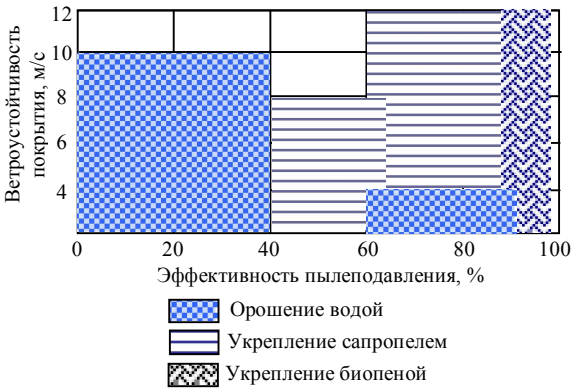


Рис.2. Номограмма для выбора способов предупреждения пылеобразования

верхности образуется тонкая пленка или корка, препятствующая сдуванию пыли.

Пылеподавление орошением сыпучего материала техногенных отложений эффективно при скорости воздушного потока не более 4 м/с (рис.2). Кроме того, орошение диспергированной водой возможно при различных технологических работах на техногенных массивах, например при складировании сыпучего материала. При скорости атмосферного воздуха до 10 м/с рекомендованы комплексные методы укрепления пылящих поверхностей на основе сапропеля, что способствует снижению пылевыделения до 95 %.

Процесс пылеподавления возможно проводить на трех стадиях работы карьера:

- отделение пород от массива;
- транспортировка пустой породы в отвалы;
- формирование пылящих поверхностей (поверхность созданных отвалов).

На первой и второй стадиях предподчительнее использование биопены. На перевозчики устанавливаются пеногенераторы и при проведении съемки пород и ее транспортировки запенивают пройденную поверхность, закрепляя ее и создавая биопродуктивный слой.

В данной работе описан заключительный период работы карьера – этап биологической рекультивации.

Для сравнения методов биологической рекультивации были выбраны три способа:

1) метод нанесения привозного растительного грунта на отвал мощностью 5 см (разравнивание осуществляется бульдозером);

2) обработка пылящей поверхности структурообразователем на основе сапропеля;

3) нанесение на поверхность отвалов биоактивной пены на основе сапропеля и отходов мукомольной и зерноперерабатывающих промышленностей.

Для сравнения методов биологической рекультивации был использован карьер по добычи строительного песка «Малукса-II» Малуксинского месторождения. Малуксинское месторождение находится на территории Ленинградской области (80 км от Санкт-Петербурга). Участок строительных песков «Малукса-II» Малуксинского месторождения расположен в 1,5 км к северо-востоку от железнодорожной станции Малукса.

На карьере предусмотрена рекультивация 141 га земель, нарушенных горными работами. В состав указанной площади входят 104,5 га отрабатываемых площадей в границах карьера (водоем) и 36,5 га береговой зоны, занятой транспортными коммуникациями, отвалами вскрыши, площадками карт намыва.

Расчет выбросов твердых частиц, сдуваемых с поверхности отвала, определяется по формуле [7]:

$$M_0^{\text{c}} = 86{,}4 k_0 k_1 k_2 S_0 W_0 \gamma \left(365 - T_{\text{c}}\right)\left(1 - \eta'\right),$$

где k_0 – коэффициент, учитывающий влажность материала; k_1 и k_2 – коэффициенты, учитывающие скорость ветра и эффективность сдувания твердых частиц соответственно, для действующих отвалов $k_2 = 1{,}0$; в первые три года после прекращения эксплуатации $k_2 = 0{,}2$, в последующие годы до полного озеленения $k_2 = 0{,}1$; S_0 – площадь пылящей поверхности отвала, м^2 (40 га (36,5 га + 3,5 га) – прилегающая территория с деградирующей растительностью); W_0 – удельная сдуваемость твердых частиц с пылящей поверхности отвала, $W_0 = 0{,}1 \cdot 10^{-6}$ кг/м^2; γ – коэффициент измельчения горной массы, $\gamma = 0{,}1$; T_{c} – годовое количество дней с устойчивым снежным покровом; η' – эффективность применяемых средств пылеподавления (при отсутствии средств $\eta' = 0$).

При отсутствии пыления в снежный период года (120 дней) количество выделившейся неорганической пыли ($SiO_2 > 70$ %) составляет в среднем 120 т/год, что свидетельствует о важности мероприятий по пылеподавлению в теплый период года.

Уровень воздействия пыли с данного карьера на состояние лесных экосистем вокруг него можно оценить по среднему приросту древесины на 1 га и сохранности хвои в зависимости от удаленности техногенного массива (рис.3). Анализ показал, что в радиусе до 10 км наблюдается ежегодное снижение прироста древесины по сравнению с фоновым на 75 % с низкой (10-20 %) сохранностью хвои; в радиусе до 20 км на 50-20 % с сохранностью хвои 50-90 %; в радиусе до 30 км менее чем на 15 % с сохранностью хвои более 90 % [1].

Ветровая нагрузка на данный карьер достигает 15 м/с, что указывает на высокую запыленность прилегающей территории и явную деградацию близ растущей растительности.

Для оценки вещественного состава отложений отработанной части карьера был осуществлен отбор проб почвы с последующим качественным и количественным анализом с помощью рентгеноспектрального анализа спектрометром «Spectroscan» (Россия) [10].

Как показала обработка полученных данных, поверхность карьера содержит, по крайней мере, четыре элемента 3 класса опасности с небольшим превышением ПДК (Fe, Cu, Mn, V), что свидетельствует об относительно удовлетворительной экологической ситуации района и о возможности прямого перехода к биологической рекультивации (без экранирования почв и т.п.). Присутствие Mn, V объясняется загрязнением поверхности карьера продуктами сжигания топлива автосамосвалов и железнодорожного транспорта.

Первый способ. Мощность снятого на месте существующего карьера до разработки месторождения почвенно-растительного слоя незначительна или полностью уничтожилась. Поэтому при данном способе рекультивации необходима доставка растительного грунта с ближайших сельскохозяйственных угодий, которых весьма достаточно на расстоянии около 30 км от месторождения. Проектом рекультивации предусмотрено нанесение почвенного слоя мощностью 5 см (125 т/га), полный объем грунта, который необходим, $V = S_0 \cdot 0{,}05 = 18250$ м^3.

Стоимость доставки одной машины грунта объемом 6 м^3 равна 9000 руб.

Количество машин с грунтом: 18250 м^3 / 6 = 3050 машин.

Общая стоимость доставки почвогрунта до строительного карьера «Малукса-II» ориентировочно равна 27,5 млн руб.

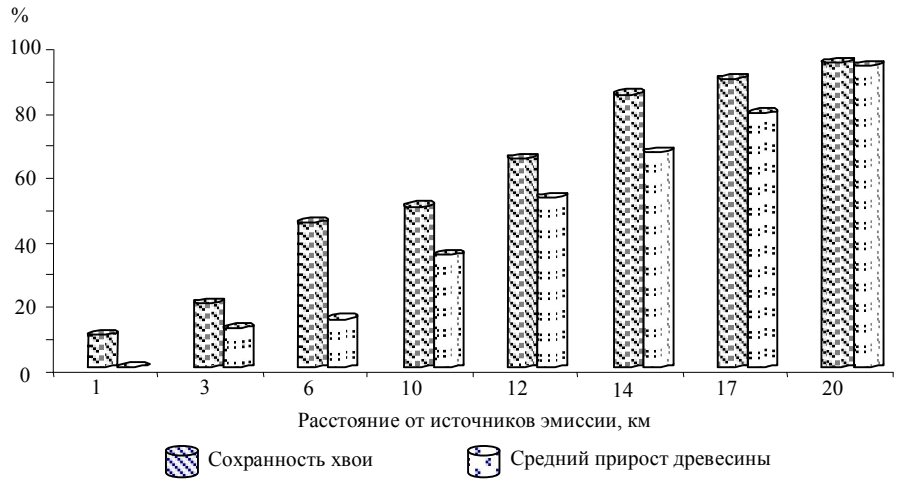


Рис.3. Оценка влияния техногенных массивов на состояние хвойной составляющей лесосистемы на примере территорий Ленинградской области

Также необходимо выравнивание грунта бульдозером. Возможно использование бульдозера Б-170, предназначенного для создания откосов при добычи строительного песка на месторождении. Производительность такого бульдозера 500 м^3/смену, а стоимость машиносмены (включая топливо и амортизацию) 5000 руб.

Число смен (8 ч), необходимых для совершения данных работ, 36,5, а значит, стоимость этих работ 180 тыс.руб.

Общие затраты на оплату труда составят 300 тыс.руб. Накладные расходы (15 % от стоимости работ) и ЕСН (29 %) и «налог на трудность» (3 %) составляют 140 тыс.руб.

Прочие расходы: 100 % от стоимости работ составляют 180 тыс.руб.

Полная стоимость нанесения почвенного слоя мощностью 5 см на территории площадью 36,5 га – 27,8 млн руб.

Также необходимо заметить, что данный способ технически весьма сложен, так как выравнивание почвогрунта будет неравномерным и невозможным при наличии деревьев на пути укладки. Эффективность подавления пыли этим способом мала, поскольку физически не закрепленный тонкий слой почвогрунта после высушивания не предотвращает пыление, а в некоторых случаях (мелкодисперсность земли) и увеличивает его.

Второй способ. Данный способ основан на укреплении верхнего слоя и создании связанной структуры с помощью пропитки сапропелевым раствором с концентрацией до 10 % по массе, обеспечивающей коагуляцию пылящего материала и связывание его в гранулы, а также связывание гранул между собой и с более крупными частицами с одновременным повышением биоактивности массива [11].

Рациональность способа пылеподавления оценивается через технический уровень технологии пылеподавления, ее экономические показатели и экологический эффект. Эффективность подавления пыли, сдуваемой с поверхностей техногенных массивов, по сравнению с орошением водой повышается с 60 до 85 %.

Для долговременного закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ, отвалов и других техногенных образований предложена номограмма (рис.4) [1].

Стоимость добычи, доставки и нанесения 10 % раствора сапропеля с помощью распыляющего устройства, разработанного в СПГГИ (ТУ) под руководством профессора Ю.В.Шувалова, составляет 280 тыс.руб. на 1 гектар поверхности (в стоимость также входит оплата труда, накладные и прочие расходы). В период рекультивации 40 га при равномерном проникновении сапропелевого раствора на глубину 10 см стоимость данного способа пылеподавления с элементом рекультивации будет равна 11,2 млн руб.

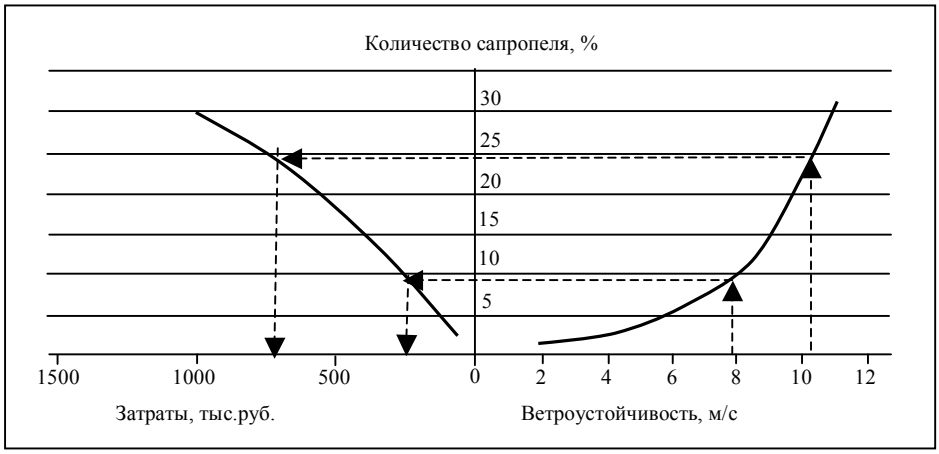


Рис.4. Изменение приведенных затрат на 1 га закрепляемой поверхности от скорости воздуха и расхода сапропеля

Для территории Малуксинского месторождения возможна добыча сапропелей соседних с карьером пресных водоемов естественного происхождения: в непосредственной близости от месторождения находятся естественные озера: Заднее, Долгое, Круглое, Малукса и др. Многие озера в стадии зарастания, дно заилено, глубина не превышает 3 м.

Сапропель – вещество преимущественно биологического происхождения, образующееся под водой, на дне пресноводных водоемов из остатков планктонных и бентосных организмов при большой роли бактериальных процессов, происходящих в поверхностных слоях отложений при малом доступе кислорода.

Сапропелевый фонд по стране изучен недостаточно (около 2,0 %), поэтому можно констатировать только прогнозные запасы, которые установлены из количества озер, среднестатистических данных по толщине отложений и занимаемой сапропелем площади к зеркалу озера. Последнее определение ресурсов сапропеля проводилось СГП «Торфгеология» (Марков, 1994). На 01.01.1990 г. общие предполагаемые ресурсы озерного сапропеля РФ определены в 91,0 млрд т (60 %-ной влажности). По данным этих исследований наибольшие ресурсы сапропеля находятся на территории Северного экономического района – 31,5 млрд т; Западно-Сибирского – 17,2 млрд т; Восточно-Сибирского – 14,5 млрд т; Дальневосточного – 12,8 млрд т; Уральского – 7,9 млрд т. Наибольшая степень изученности сапропелей отмечается в Центральном экономическом районе – 1,5 млрд т; Уральском – 1,0 млрд т; Западно-Сибирском – 0,5 млрд т. В Омской области общие предполагаемые ресурсы сапропеля составляют 1500 млн т, разведанные и предварительно оцененные запасы сапропеля 10,3 млн т (0,7 %) [10].

Сапропель состоит из илового раствора, скелета и коллоидного комплекса. В иловый раствор входит вода и растворенные в ней вещества – минеральные соли, низкомолекулярные органические соединения, витамины и ферменты. Скелет, или состав сапропеля, представляет собой неразложившиеся остатки растительного происхождения, а коллоидный комплекс – сложные органические вещества, которые придают сапропелю желеобразную консистенцию. Типы сапропелей различаются соотношением сухих и органических веществ, минеральных элементов в иловом растворе, скелете и в коллоидном комплексе. Богатство различных соединений в сапропеле создается за счет многочисленных простейших организмов животного и растительного происхождения, а также приносимых в озера веществ [3, 4].

Технология добычи сапропеля возможна для данного месторождения с использованием земснаряда КС 180-60 с производительностью по пульпе 150 $м^3$/ч (в данный момент он служит для добычи строительного песка из искусственного водоема). Добытый сапропель предполагается подавать на места складирования по пульпопроводу. Размер отстойника выбирается в зависимости от необходимых объемов добычи. Так, для добычи 7000 т 10 %-ного сапропеля (при расходе 175 т сапропеля на гектар) (второй способ), размеры отстойника должны быть 25 × 25 × 1,5 м. Вода, поступающая в составе пульпы, фильтруется сквозь толщу намытого сапропеля через основание намытой призмы в озеро. Верхний слой воды, содержащий глинистые частицы во взвешенном состоянии, сбрасывается через шандорный колодец. Крупные частицы грунта (гравий, растительные частицы) задерживаются решеткой пульпопровода [14].

Третий способ. В некоторых случаях в атмосфере на территории расположения техногенных массивов появляются высокодисперсные аэрозоли, иногда не поддающиеся эффективному осаждению за счет орошения с добавлением связующего вещества, или ветровая нагрузка достигает 20 м/с, что способствует выветриванию сапропеля. В этом случае укреплять пылящие поверхности следует биоактивной пеной на основе сапропеля, способного образовывать цепочки (склеиваться). При приготовлении пены сапропель используют в качестве естественного органического удобрения, а также как вещество, имеющее большую степень минерализации, а значит, являющееся стабилизатором пены, создающим своего рода каркас [11].

Для получения пенной смеси применена реакция газообразования на основе алюминиевой пудры [13], которая реагирует с гидратом окиси кальция в водной среде и выделяет водород:

$$2\,Al + 3\,Ca(OH)_2 + 6\,H_2O =$$

$$= Ca_3\left[Al(OH)_6\right]_2 + 3\,H_2\uparrow .$$

Основными компонентами биопены являются сапропели, измельченные отходы мукомольной и зерноперерабатывающей промышленностей (солома, листья, камыш, кора) и дополнительное связующее вещество – карбоксиметилцеллюлоза.

Использование отходов мукомольных и зерноперерабатывающих производств несомненно рационально. Количество вторичных ресурсов в указанных промышленностях достигает 90 % от перерабатываемого сырья. Возможно также использование измельченного торфа (болота Лодвинское, Липево). Установлено, что комбайновая уборка с применение измельчителей резко изменяет физические свойства соломы, облегчая ее заделку в почву и последующее разложение. Остатки растительной массы пшеницы и кукурузы достигают 3 и 12 т/га соответственно. При разложении в почве они обеспечивают прирост гумуса более 1,5 т/га. Внесение органических остатков также влияет на уменьшение смыва почв, снижает энергию капель и увеличивает влажность земель [15].

Эксперименты в лабораториях СПГГИ(ТУ) под руководством проф. Ю.В.Шувалова показали высокую устойчивость и биоактивность полученной биопены. Опытами установлено, что через 3-4 ч реакция газообразования прекращается и полученная пена приобретает максимальную кратность. Пена полностью высыхает в течение 30-45 дней. На поверхности наблюдается плотная корка, которая не разрушается в процессе полива и последующего иссушения, обеспечивая защиту поверхности почвы от пыления и разрушения вследствие осадков. Можно выделить три слоя образованной биопены: нижний – из избытков воды и клея, проникающих в поверхностный слой пылящего отвала, закрепляя его, верхний – слой биопродуктивной пены, а между ними – продукт реакции газообразования – кристаллы алюмината Торвальдсона, которые дополнительно цементируют поверхность отвала.

Всхожесть травы, посаженной в пенный слой мощностью до 3 см в лабораторных условиях, изменяется от 70 до 100 %.

При нанесении биопены мощностью 7 см и кратностью 2,5 необходима добыча 8000 м^3 сапропеля, что при производительности земснаряда 150 м^3/ч, при работе в три смены (8 ч) займет 83 смены (21 день). Для измельчения мукомольной и зерноперерабатывающей промышленностей (до фракции 2-4 мм) необходимо использование, например, измельчителя УИК-4 [4], производительностью 0,5-1 т/ч, стоимостью 87200 руб. Длительность проведения данной рекультивации 140 дней.

В табл.2 представлена расчетная стоимость проведения биологической рекультивации с использованием биопены на основе сапропеля (цены включают в себя доставку, заработную плату, накладные и прочие расходы).

Таблица 2

Расчет биологической рекультивации с использованием биопены

Материал	Расход на 1 га (т)	Расход на 36,5 га (т)	Стоимость на 36,5 га, млн руб.
КМЦ	7,25	73	1,6
Алюминивая пудра	3,6	36,5	3,6
$Ca(OH)_2$	21,6	220	2
Сапропель	11	402,2	4
Отходы мукомольной промышленности	66	2415	3
Итого			14,2

Таблица 3

Сравнительная характеристика способов биологической рекультивации

Метод пылеподавления	Стоимость рекультивации (36,5 га), млн руб.	Удельная стоимость, млн руб./га	Эффект пылеподавления, %
Нанесение почвогрунта	27,8	0,76	–
Пропитка сапропелевым 10 %-ным раствором	10,2	0,28	83-87
Нанесение биопены на основе сапропеля	14,2	0,39	90-95

Укрепление пылящих поверхностей отвалов, хвостохранилищ и других техногенных образований позволит снизить уровень загрязнения атмосферы и почв в районе действия карьера, улучшить экологическую обстановку в прилегающих к техногенным массивам районах.

Очевидна экономическая и экологическая эффективность способа пропитки сапропелевым раствором (табл.3). Но данного способа недостаточно для проведения биологической рекультивации из-за возможной токсичности поверхности отвалов, с которой смешивается сапропелевый раствор и, как следствие, трудность произрастания трав. Для долговременного закрепления пылящих поверхностей и практически полной изоляции техногенных массивов необходимо проведение мероприятий по нанесению биопены, позволяющее создать биопродуктивное покрытие, устойчивое к ветровым нагрузкам.

Работы по пылеподавлению и рекультивации чаще всего проводятся после завершения эксплуатации карьера, а затраты при постадийной рекультивации суммируются и незначительно отличаются от единовременного проведения мероприятий по повышению плодородия и выбросами пыли, но эффективность их намного выше, что позволяет решить проблему локального долгосрочного пылеподавления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бульбашев А.П.* Борьба с пылью на карьерах по добычи строительных материалов / А.П.Бульбашев, Ю.В.Шувалов. МАНЭБ. СПб, 2006.

2. *Беленький П.Г.* Методы борьбы с эрозией нарушенных земель / П.Г.Беленький, Н.Г.Ильина, А.В Мозжухин / Обзор. инф. Сер. «Горнохимическая промышленность». НИИТЭХИМ. М., 1983.

3. Интернет-ресурс http://www.selma.ru/

4. Интернет-ресурс http://sapropek.narod.ru/

5. *Князев М.Р.* Утилизация органической биомассы в системе семеводства // Материалы 10-й Межд. конф. «Экология России и сопредельных территорий. Экологический катализ». Новосибирский гос. ун-т. Новосибирск, 2005.

6. *Коваленко А.И.* Прогнозная оценка воздействия пылевого фактора на окружающую среду // Горный журнал. М., 1990. № 5.

7. Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов. НИПИОТстром. М., 1993.

8. Пат. №2032319 РФ, МПК A01G31/00. Искусственная почва / Р.Р.Кабиров, О.Ф.Садыков, А.Ю.Попков. 1995. Бюл. № 4.

9. *Пашкевич М.А.* Техногенные массивы и их воздействие на окружающую среду / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб., 2000.

10. Программа «PCSpectr», руководство пользователя. ОАО «Спектрон». СПб, 2000.

11. *Шувалов Ю.В.* Система пылеподавления и биопродуктивной рекультивации техногенных массивов на территории карьеров / Ю.В.Шувалов, С.А.Ильченкова, А.И.Бульбашев и др. // Горный информ.-аналит. бюл. МГГИ. М., 2005. № 10.

12. *Шувалов Ю.В.* Предотвращения загрязнения пылью территории в зоне действия горнодобывающих предприятий / Ю.В.Шувалов, А.И.Бульбашев, С.А.Ильченкова // Сб. науч. докладов 7-й Межд. конф. «Экология и развитие Северо-Запада России». МАНЭБ. СПб, 2002.

13. *Шувалов Ю.В.* Экологически чистая биоактивная пена / Ю.В.Шувалов, Ю.Д.Смирнов // Сб. тезисов 1-й Всерос. студен. науч.-техн. интернет-конференции «Экология и безопасность». Тула, 2005.

14. *Штин С.М.* Озерные сапропели и их комплексное освоение / Под ред. И.М.Ялтанца. МГГУ. М., 2005.