

**М. В. Пасынкова, В. Н. Белоусов,
Г. С. Плошко**

Биологические методы закрепления откосов — один из способов борьбы с запыленностью в карьерах

Преимущественное развитие и совершенствование открытого способа добычи полезных ископаемых является на современном этапе одним из главных направлений технического прогресса горнодобывающей промышленности СССР.

Карьеры, образующиеся при добыче полезных ископаемых открытым способом, в зависимости от залегания рудного тела имеют определенную форму и глубину. Преобладающей формой карьеров является вытянутая овалообразная с отношением длины и ширины от 1,2 до 4,3; отдельные карьеры имеют чашеобразную форму (Бухман, Козаков, Белоусов, 1976). Открытый способ добычи требует не только ввода в действие новых карьеров, но и интенсификации отработки действующих за счет увеличения их глубины, которая в недалеком будущем составит 400—500 м. В связи с этим в каждом конкретном случае в карьере будет складываться свой микроклимат, влияющий на состояние атмосферы, условия его проветривания, т. е. на санитарную обстановку в карьере. Следовательно, при проектировании карьеров должна быть оценена эффективность их естественного проветривания с целью прогноза состава атмосферы и установления необходимых средств борьбы с пылью и газами.

Карьерный воздух по составу и содержанию основных частей не отличается от атмосферы приземного слоя. Но при работе в карьерах различных машин и механизмов, а также за счет естественных процессов окисления, выветривания и т. п. этот воздух загрязняется целым рядом выделяемых токсических газов и паров, радиоактивных и канцерогенных веществ и пылью. При отсутствии или недостаточной эффективности средств борьбы с этими вредными примесями их концентрации в карьерном воздухе могут превышать предельно допустимые.

Одним из основных факторов, определяющих характер загрязнения атмосферы карьеров, является вид источника выделения вредных примесей. В запылении атмосферы карьеров участвуют все машины и механизмы, так как работа большинства

из них сопровождается выделением пыли. Кроме того, общая атмосфера карьеров запыляется за счет сдувания пыли и заноса ее с поверхности. В районах сухого и жаркого климата, а также в степных в засушливое время года при отсутствии растительного покрова на откосах карьера ветровая эрозия возникает при скорости ветра 3—4 м/с, а в остальных районах 6—7 м/с и более (Никитин, Битколов, 1975).

Основными токсичными газо- и парообразными примесями атмосферы карьеров являются окислы азота, окись углерода, сероводород, сернистый газ и акролеины, а также радиоактивные газы: радон, торон и актинон. Загазованность атмосферы вызывается в основном транспортом и взрывными работами. Значительная часть вредных веществ выносятся из карьера конвективными и динамическими воздушными потоками и поступает на близлежащую территорию и в атмосферу. Отмечаются случаи, когда пылегазовое облако, образовавшееся в результате массовых взрывов пород, угнетало культурную растительность на расстоянии 1 км от карьера и более (Белоусов, Плошко, 1977).

На движение воздуха в карьерах, схемы проветривания и интенсивность естественного воздухообмена существенно влияют климатологические элементы, рельеф местности, расположение отвалов и конфигурация карьера. Основными климатологическими данными, определяющими возможность формирования той или иной схемы естественного проветривания карьера, являются скорость ветра и величина радиационного баланса, которая определяет термодинамику воздушных потоков в карьере (Никитин, Битколов, 1975).

Наиболее отрицательное влияние на состояние загрязненности воздуха оказывает туман, содержащий вредные газы и взвешенные твердые примеси. Этому способствует наличие в карьере слоя инверсии. При этом инверсии возникают в любой период года, различное время суток и могут иметь затяжной характер, если этому не препятствует ветер, облачность и др. факторы. Наиболее часто возникновение инверсий в карьерах наблюдается зимой, что связано с наличием антициклонов, особенно в ночное время.

В загрязнении общей атмосферы карьеров участвуют как внутренние (автотранспорт, экскаваторы, перфораторы и т. п.), так и внешние (отвалы, внешние карьерные дороги, борта карьера и т. п.) источники, причем последние гораздо сильнее загрязняют атмосферу. Так, по данным В. С. Никитина и Н. З. Битколова (1975), общая запыленность атмосферы Сибайского карьера внешними источниками составила 0,84—2,1, а внутренними 0,13—1,85 мг/м³, а по данным В. И. Белоусова и Г. С. Плошко (1977), только за счет сдувания с уступов в карьер поступает 36 000 мг/с пыли. Запыленная атмосфера карьера способствует ряду специфических профессиональных

заболеваний у рабочих. Опасность заболевания возрастает с увеличением содержания свободной двуокиси кремния во взвешенной в воздухе пыли, количество которой в пыли при открытой разработке цветных металлов колеблется от 10 до 60 %. Вредность пыли зависит и от величины частиц и уровня запыленности воздуха. Наиболее опасными считаются частицы, размеры которых не превышают 2 мк (Никитин, Битколов, 1975).

Внешние источники запыления атмосферы можно ликвидировать путем консервации их различными химическими веществами, способными образовывать пленку (хлористый кальций, жидкое стекло, известь, полимеры К-4, К-6, полиакриламид, битумная эмульсия, сульфитно-спиртовая барда и их комбинации).

Наиболее результативным и эффективным способом в закреплении откосов являются биологические методы — посев многолетних трав, ибо растения являются неотъемлемой частью биологического способа очистки атмосферного воздуха.

Биологические методы закрепления поверхностей откосов и уступов помогают, во-первых, уменьшить водную и ветровую эрозию с бортов карьера; во-вторых, снизить шероховатость поверхности прикарьерной и карьерной территории, что позволяет усилить циркуляцию воздуха внутри карьера. Поэтому биологические методы закрепления поверхности откосов и уступов карьера являются частью большого комплекса мероприятий по улучшению санитарных условий работы в карьере.

Программа работ по биологическим методам закрепления бортов Сибайского карьера включала испытание эмульгаторов с посевом многолетних трав.

Работа состояла из двух этапов:

а) лабораторного — выявление влияния сульфитно-спиртовой барды и битумной эмульсии различных концентраций на прорастание семян и дальнейшее развитие многолетних злаковых трав;

б) стационарного — проверка результатов лабораторных опытов с эмульгаторами в полевых условиях и выявление ассортимента многолетних трав пыле- и газоустойчивых, с мощной корневой системой, способной предохранить откосы от водной и ветровой эрозии.

Лабораторный опыт включал посев семян многолетних злаковых трав (волоснеца сибирского, житняка ширококолосого, костра безостого, овсяницы красной, овсяницы луговой и регнерии волокнистой) в ящики размером 20×20×120 см, наполненные грунтом с борта карьера, с последующим поливом 20- и 30 %-ной сульфитно-спиртовой бардой (ССБ) и битумной эмульсией (БЭ). Повторность опыта трехкратная; для сравнения в контроле проводился посев семян без полива эмульгаторами. Посев культур в ящики проведен 19—20 мая.

Развитие растений на первых этапах шло во всех вариантах одинаково, т. е. всходы появились на 5—8-й день после посева

и формирование листьев проходило почти одновременно у всех культур. Первый настоящий лист развернулся через 10—11 дней после посева (1 июня); развертывание последующих листьев шло более медленными темпами, и фаза двух настоящих листьев наступила на 24—29-й день. Из шести испытываемых культур только четыре (регнерия волокнистая, овсяница луговая, овсяница красная, костер безостый) прошли стадии 4—7 листьев,

Таблица 1

Состояние испытуемых растений на конец наблюдений (30 августа)

Культура	20 % ССБ		30 % ССБ		20 % БЭ		30 % БЭ		Контроль	
	высота, см	количество листьев	высота, см	количество листьев	высота, см	количество листьев	высота, см	количество листьев	высота, см	количество листьев
Волоснец сибирский .	6,3	3	9,5	3	—	2	—	3	9,0	3
Житняк ширококолосо- вый	8,0	3	12,7	3	—	2	21,6	3	12,0	3
Костер безостый . . .	13,5	3—4	19,1	7	7,0	2	28,5	7	10,3	3
Овсяница красная . .	15,8	3	20,3	3	—	2	30,9	5	13,0	3
Овсяница луговая . .	17,0	6	19,3	6	11,0	3	21,0	5	14,8	3
Регнерия волокнистая	18,1	4—5	14,7	4	9,7	2	6,7	3	14,1	3

а остальные (житняк ширококолосый, волоснец сибирский) в фазе 2—3 листьев, включая и контрольные растения, начали засыхать. Костер безостый в варианте с 30 %-ной битумной эмульсией начал куститься.

Характеризуя состояние растений по вариантам (табл. 1), следует отметить, что наилучшие результаты по высоте, количеству листьев получены в вариантах с 30 %-ной ССБ и 30 %-ной БЭ. Особенно это отмечается для культур ковра безостого, овсяницы красной, овсяницы луговой. Так, к концу наблюдений высота отдельных экземпляров в вариантах с 30 %-ной ССБ и 30 %-ной БЭ достигала соответственно: ковра безостого 33 и 36 см (при средней высоте травостоя 19,1 и 28,5 см), овсяницы красной 39 и 32 (средняя высота 20,3 и 30,9 см, овсяницы луговой 40,0 и 26,0 (средняя высота 17,0 и 21,0 см). Растения имели по 5—7 хорошо развитых листьев.

Наблюдения за культурами, высевными для получения данных о влиянии различных эмульгаторов на прорастание и дальнейшее развитие растений, показали, что пленка на поверхности грунта из сульфитно-спиртовой барды и битумной эмульсии не препятствует прорастанию семян, способствует сохранению влаги в грунте, что, в свою очередь, благоприятно влияет на состояние растений.

Подобные результаты с испытанием битумной эмульсии и сульфитно-спиртовой барды получены в работах Н. Н. Бонасевича и Н. Г. Захарова (1935, 1940, 1941), В. П. Дубровского (1953), А. Мичурина (1967), С. Я. Сигалова (1971), в которых показана положительная роль эмульгаторов (раннее появление всходов, лучшее прорастание семян и приживаемость сеянцев).

Как уже было отмечено, цель стационарных работ заключалась в проверке лабораторных результатов в полевых условиях. Место стационара было выбрано на западном борту Сибайского карьера, что связано с преобладанием западных ветров в районе расположения карьера.

Изучение свойств грунта, слагающего борта карьера, с точки зрения пригодности его для произрастания растений показало, что механический состав различных слоев грунта колеблется от глины до супеси. Грунт, слагающий откосы, засолен; рН колеблется от 3,73 (средняя берма) до 7,24 (верхний откос), т. е. от очень кислой, неблагоприятной для развития растений, до нейтральной, необходимой для большинства культур. Субстрат беден элементами питания растений. Выращивание на таких субстратах культур возможно только при улучшении их свойств — при внесении полного минерального удобрения.

Геоботаническое обследование бортов карьера показало, что естественное зарастание западного борта карьера происходит довольно медленными темпами, чему, по-видимому, способствуют засоленный 0—2 см слой, плохое обеспечение растений влагой и водная эрозия откосов.

Биологическая группа растений представлена однолетними и двулетними видами с жизненной формой травянистых монокарпиков (61,8 %). В ландшафтно-экологическом отношении преобладает сорная группа (70,6 %), затем идет степная (20,6 %). Экологический тип растений слагают мезофиты (50,0 %) и различные виды ксерофитов (38,4 %). Отмечено наличие галофитных форм (кохия простертая, лебеда лоснящаяся, марь сизая), подтверждающих данные о засоленности субстрата. Естественное зарастание западного борта карьера находится на стадии первичной растительной группировки и недостаточно для укрепления бортов карьера. Поэтому работы по биологическим способам предупреждения срыва и заноса пыли в карьер предусматривают создание на бортах карьера дернового покрова, отвечающего разнообразным требованиям (улучшение газового состава в карьере, задержание пыли, предупреждение водной и ветровой эрозии на откосах карьера и т. п.). Именно создание дернового покрова служит распространенным и надежным средством укрепления устойчивости поверхности разных откосов для предупреждения деформаций оползневого характера. Для обеспечения высокого качества дерновых покрытий необходимо не только географическое, но и экологическое соответ-

стве растений, а также наличие биологических предпосылок (Сигалов, 1971).

Преобладающее значение в культуре дернового покрытия имеют многолетние злаковые травы, среди которых большую роль играют низовые, медленно развивающиеся виды. Преимущество последних заключается в том, что в их травостое преобладают укороченные приземные побеги, сохраняющиеся в таком состоянии в течение двух-трех и даже четырех лет после посева.

Для закрепления откосов применяются простые травосмеси. Обычно их составляют из наиболее распространенных в местных условиях трав, представляющих биологические группы рыхлокустовых и корневищных злаков и бобовых трав (Сигалов, 1971).

Для выполнения поставленной задачи нами были взяты житняк ширококолосый и овсяница красная. Выбор этих культур для посева на откосах карьера обусловлен их биологическими особенностями (нетребовательность к почвам, солеустойчивость, зимостойкость, долголетие, хорошее восстановление структуры почвы, засухоустойчивость), которые немаловажны в условиях засушливого климата Сибая.

До посева семян на выбранном стационарном участке площадью 600 м² проводились планировочные работы по формированию поверхности берм и откосов. После планировки участка проведен разброс минерального удобрения из расчета 5 ц/га (аммиачной селитры 2, суперфосфата 2, калийной селитры 1 ц) и посев (27 июля) многолетних злаковых трав. Как отмечает Б. Я. Сигалов (1971), ускоренное задернение откосов требует повышенных норм высева семян по сравнению с обычными полями. В нашем опыте фактические нормы высева житняка ширококолосого и овсяницы красной составили 66,4 и 62,4 кг/га.

После посева трав откос был полит 30 %-ной сульфитно-спиртовой бардой с нормой полива 1 л/м². На поверхности откоса образовалась пленка в 4—5 мм, которая скрепила частицы грунта, образовав защитный слой. Пленка предохраняет семена от вымывания, уменьшает испарение субстрата, повышая влажность его и создавая благоприятный микроклимат для прорастания семян растений. Так, взятие образцов на влажность с глубины 0—5, 5—10, 10—20 см показало, что под пленкой влажность субстрата колеблется от 9,7 (слой 0—5 см) до 30 % (слой 10—20 см); без покрытия пленкой влажность во всех слоях приближается к критической (3,6—6,5 %).

По литературным данным (Лебедев, Углов, 1961), при благоприятных условиях влажности почвы всходы житняка появляются на 8—10-й день после посева. В первый год жизни он развивается медленно и образует незначительную надземную массу. В год посева, как растение озимого типа развития, генеративных побегов не образует.

Таблица 2

Биометрические показатели развития растений

Вариант опыта	Год	Средняя высота, см	Количество побегов		Фаза развития								
			вегетативных	генеративных	всходы	отрастание	кущение	колошение	цветение	созревание			
30 %-ная ССБ Житняк ширококолосый	1977	6-7	1	—	5-10/VIII	—	16/V	—	10/VI	—	20/VI	—	21/VIII
	1978	20-40	1-3	1	—	—	25/IV	—	10/VI	—	20/VI	—	21/VIII
	1977	6-7	1	—	5-10/VIII	—	—	—	12/VI	—	25/VI	—	21/VIII
	1978	10-24	2-4	1-2	—	—	30/IV	—	20/V	—	—	—	—
Контроль Житняк ширококолосый	1977	6-7	1	—	5-10/VIII	—	—	—	16/V	—	20/VI	—	21/VIII
	1978	25-35	2	1	—	—	25/IV	—	10/VI	—	20/VI	—	21/VIII
	1977	6-7	1	—	5-10/VIII	—	—	—	16/V	—	20/VI	—	21/VIII
	1978	15-20	3	1	—	—	30/IV	—	16/V	—	20/VI	—	21/VIII

Примечание: средняя высота и количество побегов приводятся на 30 августа.

В условиях нашего опыта начало появления всходов отмечено на 9-й день после посева (5 авг.), а массовые всходы на 14-й день (10 авг.). Всходы овсяницы красной появляются одновременно с житняком. Высота растений к 15 авг. составила в среднем 6—7 см. В таком состоянии растения ушли в зиму.

Отрастание растений житняка и овсяницы на второй год отмечено в конце апреля — начале мая. Рост растений происходит очень медленно, сказывается дефицит влаги. В середине мая отмечено кущение растений. В среднем на одно растение приходилось у житняка от 2 до 4 побегов с 3—5 листьями, у овсяницы от 3 до 6 побегов с 3—4 листьями.

По ходу развития в течение вегетационного периода житняк — растение среднеспелое. Продолжительность периода от весеннего отрастания до массового цветения составляет 50—60 дней, а до созревания семян 75—85 дней. Укосной спело-

сти достигает в конце июня, а семена поспевают в конце июля (Лебедев, Углов, 1961).

Овсяница красная принадлежит к группе ранозелующих, скороспелых злаков. Колосится в мае, цветет в первой половине июня; семена созревают в первой половине июля. От начала отрастания до цветения проходит 62 дня, а до созревания в среднем 83 дня. Полного развития достигает на 3—4-й год жизни (Корякина, 1964).

В опытных посевах в июне растения вступили в стадию колошения. Так, 12 июня до 20 % растений житняка и 10 % овсяницы находилось в стадии колошения. В этот период высота растений колебалась у житняка от 15 до 35 см, у овсяницы от 9 до 20 см. На одно растение приходилось 1—2 генеративных побега. Средняя длина колоса составила у житняка 3—4 см с шириной его 0,3—0,6 см, а иногда и до 1,5 см; у овсяницы красной длина метелки колебалась от 2 до 4 см.

В конце июня отмечено цветение выколосившихся растений, а 21 июля отмечено созревание семян. Состояние посевов удовлетворительное. Высота травостоя у житняка 20—40 см, у овсяницы — 10—24 см. Увеличение количества листьев и новых побегов отмечено не было. Биометрические показатели роста и развития растений сведены в табл. 2.

Известно, что урожай надземной массы многолетних трав обуславливается интенсивностью их побегообразования и мощностью побегов — показателями, изменяющимися под влиянием экологических факторов среды.

В нашем опыте ввиду маломощности растений, слабого побегообразования урожай надземной массы в сыром состоянии 0,2, а в сухом — 0,08 кг/м², что в переводе на гектар составит 8,0 ц сена.

При выращивании на откосах значительно возрастает роль подземных органов, и в первую очередь, корневой системы. Густое переплетение корней, корневищ, подземных частей стеблей скрепляет отдельные частицы почвы и грунта в единую массу, способную лучше противостоять факторам эрозии и деформации. Углубленное распространение корней делает более прочной вертикальную связь дернины с нижележащим горизонтом, одновременно улучшая условия водоснабжения растений. Образующая главным образом многолетними злаковыми травами дернина обладает значительной связностью, оказывает большое сопротивление на разрыв в горизонтальном направлении, хорошо противостоит размыву атмосферными осадками (Сигалов, 1971). Кроме того, подземным органам многолетних трав принадлежит основная роль в повышении плодородия почвы (накопление органического вещества и создание структуры), предотвращении эрозионных процессов, что имеет огромное значение при закреплении откосов.

По литературным данным (Лебедев, Углов, 1961; Ларин,

1964), корневая система житняка ширококолосого, мощно развита, размещается в пахотном горизонте почвы, проникая в глубину почвы редко свыше 100 см. Но на черноземах корни житняка могут углубляться до 250 см. У овсяницы красной основная масса корней и короткие корневища также находятся в верхнем слое почвы. По наблюдениям С. П. Смелова (1940), корни овсяницы красной ко времени колошения достигают глубины 50 см, в период фазы цветения 65 см, фазы плодоношения 80 см и к периоду отмирания 125 см.

В нашем опыте учет массы корней проводился в фазу созревания семян растений. Корни житняка и овсяницы на второй год жизни в основном расположены в верхнем (0—5 см) слое грунта. Некоторые корни углубляются до 10 см. Вес корней в сыром состоянии в среднем 0,1, в сухом 0,05 кг/м², что составляет 5 ц сухой массы корней с гектара.

Таким образом, озеленение бортов карьера с помощью посева семян многолетних злаковых трав и использования для укрепления откосов и закрепления семян 30% -ной ССБ способствует ускоренному формированию сомкнутого растительного покрова и ликвидации одного из источников загрязнения атмосферы в карьере, что способствует обеспечению нормальных условий труда в глубоких карьерах.

ЛИТЕРАТУРА

Белоусов В. И., Плошко Г. С., 1977. Загрязнение окружающей среды при открытых горных работах в цветной металлургии и пути его устранения.— В сб.: Рекультивация земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых. М.

Бонасевич Н. Н., Захаров Н. Г., 1935. Новый способ закрепления песков. Опыт применения битумной пленки на песчаных массивах полупустыни. М.

Бонасевич Н. Н., Захаров Н. Г., 1940. Закрепление песков битумной эмульсией.— Советская агрономия, № 10.

Бонасевич Н. Н., Захаров Н. Г., 1941. Закрепление песков битумной эмульсией.— Сб. трудов по агрономической физике. М., вып. 3.

Бухман Я. З., Козаков Л. А., Белоусов В. И., 1976. Техническое руководство по проветриванию карьеров цветной металлургии СССР. М.

Дубровский В. П., 1953. Рост и развитие растений на песках при скреплении битумной эмульсией.— Бот. журн., т. 38, № 5.

Корякина В. Ф., 1964. Особенности роста и развития многолетних кормовых растений. М.— Л.

Ларин И. В., 1964. Луговодство и пастбищное хозяйство. Л.

Лебедев П. В., Углов Н. П., 1961. Биология и агротехника лугопастбищных трав. Свердловск.

Мичурин А., 1967. Вместо одерновки.— Цветоводство, № 1.

Никитин В. С., Битколов Н. З., 1975. Проветривание карьеров. М.

Сигалов Б. Я., 1971. Долголетние газоны. М.

Смелов С. П., 1940. Закономерности вегетативного возобновления луговых злаков и проблема рационализации использования пастбищ.— В кн.: Кормодобывание. М., вып. 1.