

**Экология и промышленность России 02 2019**  
**Результаты исследования влияния технологий отсыпки отвалов**  
**угольных разрезов на экологическое состояние лесной рекультивации**

Зеньков Игорь Владимирович, доктор технических наук, Заслуженный эколог РФ, профессор Сибирский федеральный университет (Россия, 660041, г. Красноярск)

Жукова Валентина Владимировна, магистрант, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва

Вокин Владимир Николаевич, профессор, кандидат технических наук, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (Россия, 660041, г. Красноярск)

Кирюшина Елена Васильевна, доцент, кандидат технических наук, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (Россия, 660041, г. Красноярск)

Анищенко Юлия Анатольевна, зав. кафедрой, кандидат экономических наук, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва (Россия, 660037, г. Красноярск)

Веретеннова Татьяна Анатольевна, доцент, Сибирский федеральный университет

Сычева Елена Михайловна, старший преподаватель, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва (г. Красноярск)

В последние годы объем добычи энергетических углей в мировой экономике постоянно увеличивается. В Китае ежегодно добывают более 3,0 млрд., в странах Восточной Европы и на восточном побережье Австралии суммарный объем добычи угля открытым способом достиг 550 и 700 млн. т соответственно. Не исключением из этого списка являются США и ЮАР с объемами ежегодно добытого угля на уровне 800 и 250 млн. т соответственно. Анализ российской тенденции в изменении объемов добываемого угля открытым способом показывает, что этот показатель в ближайшие годы будет только увеличиваться [1]. Растущая динамика производственных показателей также просматривается в деятельности угольных разрезов, работающих на месторождениях Канско-Ачинского бассейна [2]. В мировом недропользовании на отработанных участках месторождений угольные разрезы восстанавливают экобаланс путем проведения работ по рекультивации нарушенных земель. Прикладные задачи в области рекультивации территорий горнопромышленных ландшафтов, созданных при разработке угольных месторождений открытым способом, решают российские и зарубежные экологи-исследователи с представлением результатов в специальной литературе [3-8, 13-16]. Обзор этих источников и других аналогичных работ подтвердил актуальность и целесообразность наших исследований, поскольку до сих пор не исследовано состояние лесной рекультивации на отвалах угольных разрезов Канско-Ачинского бассейна с выявлением факторов, влияющих на формирование и развитие деревьев хвойных пород, свойственных территориям Канско-Ачинской лесостепной географической зоны.

Кратко остановимся на технологических особенностях отсыпки породных отвалов при разработке открытым способом месторождений Канско-Ачинского угольного бассейна. Как показывает многолетняя практика, существующие технологии и организация открытых горных работ, логистика вскрышных карьерных грузопотоков не способствуют селективной, послонной отсыпке породных отвалов. В технологиях отвалообразования также не предусмотрена отдельная отсыпка вскрышных пород, в результате которой вер-

тикальный разрез отвала мог быть максимально схожим с вертикальным разрезом вскрышного борта карьера. Это означает, что в поверхностный слой отвала мощностью 3 м и более, должны быть уложены горные породы четвертичного возраста – глины, суглинки, пески, супеси и т.п., мощность которых на месторождении достигает 20 м, а в тело отвала – горные породы, вынесенные из глубины разрабатываемого месторождения: алевролиты, песчаники, аргиллиты и др. Как показывает практика, отвалы, отсыпанные глубинными горными породами, заселяются растительным сообществом с большой задержкой по времени [9-12]. В открытых горных работах вскрышные породы четвертичного возраста обрабатывают экскаваторами, устанавливаемыми в карьере на нижней площадке верхнего уступа высотой до 15 м. Эти породы обладают высокой продуктивностью и являются пригодными для произрастания на них высших сосудистых растений. Все, что остается ниже 15 м экскавируется совместно с горными породами, обладающими нулевой продуктивностью. Слои горных пород, находящиеся ниже первого уступа, являются непригодными для нормального развития на них всех видов растительного покрова. В существующих технологиях отсыпки отвалов в их поверхностный слой драглайном ЭШ-10/70 могут быть уложены: горные породы четвертичного возраста; горные породы, вынесенные из глубины карьера – алевролиты, песчаники и др.; горные породы четвертичного возраста в смеси с алевролитами и песчаниками.

В ходе полевой экспедиции по исследованию состояния искусственных лесопосадок с использованием саженцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и ели сибирской (*Picea obovata*), проведенной в период с 2015 по 2018 гг. на территории восточного сектора внутренних породных отвалов угольного разреза «Бородинский», коллективом научно-практической школы, созданной Зеньковым И.В., получены следующие результаты.

Отметим, что угольный разрез «Бородинский» для наших исследований был выбран не случайно, поскольку его коллективом накоплен многолетний опыт в проведении работ по лесной рекультивации. На поверхности отвалов в апреле-мае 2008 г. выполнены работы по горнотехнической рекультивации с использованием мощного бульдозера Komatsu D275A. Проведено выполаживание откосов породных отвалов железнодорожной вскрыши [17]. Отвалы, на которых проводились работы по горнотехнической рекультивации, отсыпаны драглайном ЭШ-10/70 в начале 2000-х гг. По окончании работ, включенных в горнотехнический этап, проведены работы, составляющие основу биологического этапа – произведена высадка саженцев сосны и ели.

На начальном этапе полевых исследований, в ходе визуального осмотра поверхности отвалов с лесной рекультивацией в целом отмечено экологически приемлемое состояние искусственного соснового бора. Это явилось в некоторой степени заблуждением, по-

сколькo высота сосен, входящих в исследуемую совокупность, различалась между собой в разы, что было установлено в дальнейшем при измерении годовых темпов прироста стволовой части деревьев. Высота большинства елей оказалась весьма далекой от аналогичного показателя деревьев, произрастающих на природных ландшафтах, прилегающих к угольному разрезу. Контурь территории отвала с посадками сосен площадью 6,7 га обведены линией оранжевого цвета, а с посадками елей на участке площадью 5,6 га – линией желтого цвета (рис. 1).



*Рис. 1. Фрагмент космоснимка с нанесением границ исследуемых участков (август, 2017 г.)*

Далее наш исследовательский потенциал был направлен на выявление и изучение факторов, способствующих, либо препятствующих нормальному формированию и развитию лесной экосистемы на породных отвалах. В этой связи необходимо было изучить: влияние качественных и фракционных показателей горных пород на участках с лесной рекультивацией на высоту деревьев; влияние ориентации откосов отвалов относительно сторон света на высоту сосен и елей, высаженных в ходе проведения работ по лесной рекультивации; структуру поселившихся деревьев, в результате их саморасселения с территории природных ландшафтов. Такие ландшафты расположены в непосредственной близости от исследуемой территории.

В изучении состояния сосны обыкновенной, использованной в лесной рекультивации, в качестве основного показателя выбран годовой прирост стволовой части деревьев. Были выделены три типа участков поверхности отвала, верхний слой которых мощностью до 2 м сложен широким спектром горных пород: алевролитами серого цвета, техногенной смесью горных пород четвертичного возраста – суглинков, глин, супесей, песков, остатков гумуссодержащих почвенных слоев и техногенной смесью алевролитов с горными породами четвертичного возраста с преимущественным соотношением 2:1. В основном на этой территории откосы отвалов ориентированы на север и юг. Также здесь имеются небольшие по площади локальные участки с географической ориентацией на запад и восток. Фрагмент откоса отвала западной экспозиции с посадками сосны показан на рис. 2.



*Рис. 2. Фрагмент лесной рекультивации с использованием сосны на породных отвалах угольного разреза «Бородинский», август 2018 г.*

Вся генеральная совокупность исследуемых деревьев, включающая 566 сосен в возрасте 14 лет, была условно поделена на три части. В основу такого деления положен состав горных пород, находящихся в верхнем слое отвала. На участках первого типа обследована 191 сосна, а на участках второго и третьего типа 182 и 193 соответственно.

Каждая из трех частей совокупности представлена в виде самостоятельного вариационного ряда. Совокупности в каждом ряду были разбиты дополнительно на группы, значения признаков в которых были объединены в интервалы. В каждом ряду определены значения моды, модального интервала, а также установлен средний уровень ряда.

На участках отвала, сложенных алевролитами, минимальный и максимальный прирост деревьев составили 11 и 24 см (рис. 3). Значение моды в этом ряду находится в центре его распределения в интервале с диапазоном 15,1-20 см. Сосны, входящие в группу с диапазоном от 10,1 до 15 см, были высажены на участках, в поверхностный слой которых уложены крупнофракционные горные породы, вынесенными из глубины месторождения. Достоверно установлено, что корневая система у этих сосен развивается с отклонением от нормы ввиду наличия крепких горных пород размером 90×90 см и более. Сосны, входящие в группу с диапазоном от 15,1 до 20 см, произрастают на микроучастках, сложенных обломочными горными породами размером 50×50 см с отклонением 12-15 % как в большую, так и в меньшую сторону. Под микроучастком в наших исследованиях понимается часть поверхности отвала в форме круга диаметром 2 м, в центре которого растет одна сосна или ель. В глубине таких участков существуют полости в промежутках между крупными кусками. Эти полости забиты мелкокусковыми горными породами, что облегчает формирование и развитие корневой системы деревьев. Сосны, входящие в группу с диапазоном от 20,1 до 25 см, находятся на микроучастках, сложенных обломочными горными породами размером 27×27 см и менее.



*Рис. 3. Изменение высоты сосен в зависимости от состава горных пород в поверхностном слое породного отвала*

На участках отвала, сложенных техногенной смесью из горных пород четвертичного возраста, обследовано 182 сосны. В этом ряду выделено четыре группы. Минимальное и максимальное значение в этом вариационном ряду находятся на уровне 31 и 48 см (рис. 3). Значение моды в этом ряду смещено вправо от центра распределения и находится в диапазоне 40,1-45 см. Сосны, входящие в группу с диапазоном от 30,1 до 35 см, произрастают на откосе отвала, обращенном на юг, а входящие в группу с диапазоном от 45,1 до 50 см в 77 % случаев находятся на откосах, обращенных на север. Остальные сосны равномерно распределены в двух группах с диапазоном от 35,1 до 45 см и произрастают на откосах, обращенных на запад и восток. Причем, связь прироста деревьев с ориентацией склона в этом случае не прослежена.

Как было отмечено выше, часть сосен в количестве 193 находится на участках отвала, сложенных смесью алевролитов с горными породами четвертичного возраста. Минимальный и максимальный прирост деревьев в этом ряду составляют 21 и 38 см (рис. 3). Значение моды в этом ряду смещено вправо от центра его распределения в интервале с диапазоном 30,1-35 см. Сосны, входящие в группу с диапазоном от 20,1 до 25 см, были высажены на участках, поверхностный слой которых на 60-66 % состоит из крупнофракционных горных пород – алевролитов, вынесенных из глубины месторождения. Сосны, входящие в группу с диапазоном от 25,1 до 30 см, развиваются на участках, в поверхностный слой которых уложены алевролиты в объеме 45-55 %, а остальная часть – это горные породы четвертичного возраста. Оставшаяся часть сосен из этого ряда в количестве 96 деревьев находится на участках отвала с минимальным, в сравнении с другими группами ряда, включением алевролитов (25 %) в состав горных пород, отсыпанных в поверхностный слой. В этой группе 57 сосен находится на склоне северной экспозиции, а 39 – произрастают на склоне, обращенном на юг.

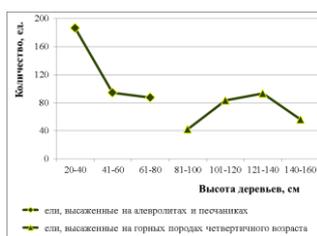
После сопоставления полученных замеров годовых темпов прироста сосен на участках породных отвалов был сделан вывод о том, что основным фактором, оказывающим решающее влияние на этот показатель, является качественный состав горных пород в месте

произрастания группы деревьев. Важнейшим фактором на участках, сложенных алевролитами, является фракционный состав горных работ в месте произрастания отдельно взятого дерева. Действие этого фактора на высоту деревьев практически не проявляется на участках, сложенных техногенной смесью.

Установлено, что в поверхностный слой отвала, на территории которого высажены ели, уложены алевролиты с песчаниками или техногенная смесь из горных пород четвертичного возраста. Поэтому, вся генеральная совокупность исследуемых деревьев из 641 ели поделена на две части. В основу деления положен качественный состав горных пород, уложенных в поверхностный слой отвала. Каждая из двух частей совокупности представлена в виде самостоятельного вариационного ряда. Совокупности в каждом ряду были разбиты дополнительно на группы, значения признаков в которых были объединены в интервалы.

На участках отвала, сложенных техногенной смесью из горных пород четвертичного возраста, обследовано 274 ели. В этом ряду выделено четыре группы. Минимальное и максимальное значение в ряду составляет 84 и 157 см (рис. 4). Значение моды смещено вправо от центра распределения и находится в диапазоне 121-140 см. Ели, входящие в группу с диапазоном от 81 до 100 см, произрастают на южном откосе отвала, а входящие в группу с диапазоном от 141 до 160 в 88 % случаев – на откосах, обращенных на север. Остальные ели равномерно распределены в двух группах с диапазоном от 101 до 140 см и произрастают на откосах отвала, обращенных на запад и восток.

На участках отвала, сложенных алевролитами, обследовано 367 елей. Минимальное и максимальное значение в этом вариационном ряду находятся на уровне 26 и 78 см (рис. 4). Значение моды ряда смещено влево от центра распределения и находится в диапазоне 20-40 см. В этом ряду выделено три группы. Как видно, в совокупности преобладают деревья небольшой высоты. Они имеют все признаки угнетенного состояния – низкие темпы годового прироста, отклонение длины хвои в меньшую сторону от нормы, а также окрас хвои в более светлые оттенки зеленого цвета. Естественно возник вопрос – какие факторы влияют на замедление роста деревьев, входящих в группу с установленным диапазоном высоты, достигнутой за довольно продолжительный период – 11 лет с учетом времени нахождения саженцев в лесопитомнике? Отметим, что на территории ландшафтов, находящихся в естественном природном состоянии, высота деревьев за этот период достигает высоты 2,5 м и более.



*Рис. 4. Изменение высоты ели сибирской в зависимости от состава горных пород в поверхностном слое породного отвала*

Достоверно установлено, что ели, входящие в группу с диапазоном от 20 до 40 см, произрастают на участках, отсыпанных грубообломочными алевролитами. Поэтому, их корневая система развивается довольно скудно ввиду наличия под корнем крепких горных пород – алевролитов или песчаников размером  $70 \times 70$  см и более. Причем центральная часть кусков находится по оси ствола деревьев, либо с небольшим смещением от нее. Отметим, что на отвалах обнаружены полностью высохшие ели, корень которых не мог развиваться ввиду их высадки на крупные обломки горных пород. Ели, входящие в группу с диапазоном от 41 до 60 см, произрастают на микроучастках, сложенных горными породами фракции  $30 \times 30$  см и менее. На таких участках существуют полости, находящиеся в промежутках между крупными кусками, забитые мелкофракционными горными породами четвертичного возраста, что облегчает формирование и развитие корневой системы деревьев. Ели, входящие в группу с диапазоном от 61 до 80 см, произрастают на микроучастках, сложенных мелкообломочными горными породами фракции  $10 \times 10$  см и менее.

Для большей наглядности состояния исследуемых елей на рис. 5 представлены фрагменты участков отвала, отсыпанных горными породами с разными качественными характеристиками. На верхнем снимке (рис. 5 а) на переднем плане мы видим два ряда елей. Существенная разница в высоте деревьев в центральной части относительно деревьев в правом секторе объясняется тем, что между ними проходит граница участков, сложенных разными горными породами. Деревья в центре высажены при проведении лесной рекультивации в техногенную смесь из пород четвертичного возраста, а каждое правое дерево – на участки, поверхностный слой которых сложен крупнообломочными крепкими горными породами – алевролитами или песчаниками. Весьма заметный контраст прослеживается в высоте четырех елей, высаженных на отвале, сложенном алевролитами с включением песчаников (рис. 5 б). Дерево, находящееся в центре достигло в 2018 г. высоты 76 см, а слева от него – всего лишь 33 см. Такая разница объясняется фракционным составом горных пород, находящихся в основании корневых систем отдельно взятого дерева.



*Рис. 5. Фрагменты лесной рекультивации с использованием ели сибирской на породном отвале угольного разреза «Бородинский» (август 2018 г.): а) ели на отвале, отсыпанном преимущественно горными породами четвертичного возраста; б) ели на отвале, отсыпанном алевролитами*

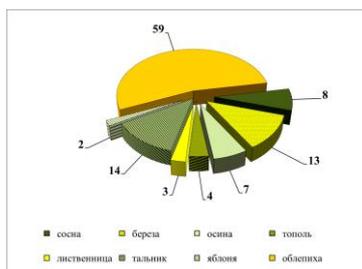
При сопоставлении полученных замеров высоты елей на участках породных отвалов был сделан вывод о том, что основным фактором, оказывающим решающее влияние на этот показатель, является качественный состав горных пород в месте произрастания группы деревьев. Вторым фактором, влияющим на высоту деревьев, высаженных на участках, сложенных алевролитами, является фракционный состав горных пород в точке произрастания отдельно взятого дерева. Как видно, действие этого фактора на высоту деревьев практически не проявляется на участках, сложенных техногенной смесью из горных пород четвертичного возраста.

Статистическая обработка вариационных рядов указала на наличие тесной и весьма тесной связи между высотой деревьев и качественным и количественным составом горных пород в поверхностном слое отвала. Аналогичный вывод сделан о значимости географической ориентации откосов отвалов, на которых производилась высадка саженцев сосны обыкновенной и ели сибирской.

В период подготовительных работ к проведению полевых исследований, в ходе дистанционного мониторинга на снимках высокого разрешения наше внимание было обращено на весьма положительное обстоятельство в ситуации формирования лесной экосистемы на породных отвалах – это наличие в непосредственной близости больших по площади участков смешанных лесов, основа которых представлена соснами, березами, осинами, тополями, яблонями, лиственницей, елями и др. Как известно, такие деревья ежегодно производят продуктивный материал для их размножения в виде семян, снабженных крылом. Это естественный природный семенной материал, который при ветровом воздействии на шишки (сосна, ель, лиственница и др.), сережки (осина, береза и др.) подхватыва-

ваются воздушными массами, и семена, снабженные крылом, переносятся на довольно значительное расстояние. Поэтому, в ходе полевых работ внимание было обращено на молодые деревья и кустарники, появившиеся на отвале в результате их естественного расселения с природных ландшафтов со смешанным лесом, прилегающих к отвалам. Появление молодых деревьев яблони есть результат жизнедеятельности живых организмов – птиц или мелких грызунов. Мы исследовали структуру лесной растительности, формирующейся в результате ее саморасселения на исследуемой территории (рис. 6). Размерности удельных весов в структуре представлены количеством деревьев, находящихся на одном гектаре исследуемых участков.

Таким образом, в ходе проведения полевых работ на поверхности породных отвалов угольного разреза «Бородинский» в центральных районах Красноярского края и последующей статистической обработки полученной информации получены новые знания о развитии на территории горнопромышленного ландшафта сосны обыкновенной и ели сибирской, использованной в лесной рекультивации.



*Рис. 6. Структура лесной растительности при ее самовосстановлении на участках породного отвала с посадками сосны и ели, ед./га*

Итак, на основе анализа результатов многолетних полевых исследований установлена значимость факторов технологического характера, неизбежно присутствующих в открытых горных работах и оказывающих существенное влияние на развитие сосны и ели, саженцы которых использованы в ходе проведения биологического этапа рекультивации на породных отвалах, отсыпанных при работе угольного разреза «Бородинский». Выявленные закономерности должны учитываться при формировании технического задания на проектирование открытых горных работ на угольных месторождениях со схожими горно-геологическим условиями, и в частности, территориально находящихся в границах Канско-Ачинского бассейна в разделах «технология и организация вскрышных работ», «технология отвалообразования», «рекультивация нарушенных земель».

## Список литературы

1. Яновский А.Б. Основные тенденции и перспективы развития угольной промышленности России // Уголь. 2017. № 8. С. 10-14.
2. Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2017 года // Уголь. 2018. № 3. С. 58-73.
3. Андроханов В.А., Берлякова О.Г. Состояние лесных культур и почвенного покрова на рекультивированном отвале угольного разреза // Сибирский лесной журнал. 2016. № 2. С. 22-31.
4. Сафронова О.С., Ламанова Т.Г., Шеремет Н.В. Результаты исследования естественного восстановления растительного покрова на вскрышных отвалах, возникших в 1990-е годы в Республике Хакасия // Уголь. 2018, № 7, С. 68-77.
5. Сафронова О.С., Евсеева И.Н. Мониторинг техногенного воздействия разреза «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия» на территорию санитарно-защитной зоны // Уголь. 2018, № 9, С. 95-98.
6. Харионовский А.А., Франк Е.Я. Обоснование горнотехнической рекультивации в целях левосстановления на Крутокачинском щебеночном карьере // Уголь. 2018. № 4. С. 75-77.
7. Харионовский А.А., Франк Е.Я. Обоснование горнотехнической рекультивации по созданию культурного ландшафта в карьере по разработке глиежей // Уголь. 2018. № 2. С. 100-102.
8. Щадов И.М., Франк Е.Я. О результатах и перспективах использования ресурсов ДЗЗ в решении прикладных задач угледобывающей отрасли в формате мировой экономики // Уголь. 2018. № 7. С. 58-61.
9. Зеньков И.В. и др. Информационное обеспечение мониторинга формирования растительного покрова на территории нарушенных земель угольными разрезами Приморского края // Экология и промышленность России. 2017. № 9. С. 22-27.
10. Зеньков И.В. и др. Результаты мониторинга экологического состояния нарушенных земель угольными разрезами Сахалина с использованием ресурсов дистанционного зондирования // Экология и промышленность России. 2017. № 9. С. 28-34.
11. Зеньков И.В. и др. Результаты дистанционного зондирования состояния нарушенных земель и пути решения экологических проблем на угольных разрезах Магаданской области // Экология и промышленность России. 2017. № 9. С. 35-41.
12. Зеньков И.В. и др. Космические технологии в оценке производственного потенциала горных работ и экологического состояния нарушенных земель угольными разрезами Кемеровской области // Экология и промышленность России. 2018. № 2. С. 28-33.
13. Eßer G., Janz S., Walther H. Promoting biodiversity in recultivating the rhenish lignite-mining area // World of Mining - Surface and Underground. 2017. Vol. 69 (6). P. 327-334.
14. Eyll-Vetter M. Significance of geotechnical boundary conditions in planning and designing residual lakes in the Rhenish lignite mining area illustrated by the example of the Inden opencast mine // World of Mining - Surface and Underground. 2015. Vol. 67(6). P. 371-378.
15. Ngugi M. R., Neldner V. J., Doley D., Kusy B., Moore D., Richter C. Soil moisture dynamics and restoration of self-sustaining native vegetation ecosystem on an open-cut coal mine // Restoration Ecology. 2015. Vol. 23(5). P. 615-624.
16. Boldt-Burisch K., Naeth M. A., Schneider B., Hüttl R. F. Linkage between root systems of three pioneer plant species and soil nitrogen during early reclamation of a mine site in Lusatia, Germany // Restoration Ecology. 2015. Vol. 23(4). P. 357-365.
17. <https://GoogleEarthPro>.

**Аннотация.** В статье представлены результаты многолетнего экологического мониторинга состояния сосны обыкновенной и ели сибирской, высаженных на породных отвалах угольного разреза «Бородинский». Установлена высота сосен и елей в возрасте 11-14 лет, а также исследовано влияние основных факторов технологического характера на

этот показатель. Представлены зависимости высоты деревьев от состава горных пород, уложенных в верхний слой породного отвала.

**Ключевые слова:** угольный разрез «Бородинский», породные отвалы, восстановление нарушенных земель, лесная рекультивация, экологические показатели, техногенная продуктивная смесь, лесные экосистемы.