

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОТСЫПКИ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕСНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

**И.В. Зеньков, В.В. Жукова, В.Н. Вокин, Е.В. Кирюшина,
Ю.А. Анищенко, Т.А. Веретенова, Е.М. Сычева**

**Сибирский федеральный университет, г. Красноярск,
Институт вычислительных технологий СО РАН, г. Новосибирск,
Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика
М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск**

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

The Results of the Study of the Impact of Stacking Technologies of Coal Mine Cuts on the Environmental State of Forest Reclamation

**I.V. Zen'kov, V.V. Zhukova, V.N. Vokin, E.V. Kiryushina, Yu.A. Anishchenko,
T.A. Veretenova, E.M. Sycheva**

**Siberian Federal University, Siberian Federal University, 660041 Krasnoyarsk, Russia,
Institute of Computational Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
630090 Novosibirsk, Russia,
Academician Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 660037 Krasnoyarsk, Russia**

The results of long-term environmental monitoring of the condition of Scotch pine and Siberian spruce, planted on stackings of the Borodinsky coal mine, are presented. The height of pines and spruces at the age of 11-14 years has been established, and the influence of the main technological factors on this indicator has been investigated. The dependences of the height of trees on the composition of rocks laid in the upper layer of the waste dump are presented.

Key words: Borodinsky coal mine, waste dump, restoration of disturbed lands, forest remediation, environmental indicators, technogenic productive mixture, forest ecosystems

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-02-42-47

В последние годы объем добычи энергетических углей в мировой экономике постоянно увеличивается. В Китае ежегодно добывают более 3 млрд т, в странах Восточной Европы и на восточном побережье Австралии суммарный объем добычи угля открытым способом достиг 550 и 700 млн т соответственно. В США и ЮАР объемы ежегодно добываемого угля составляют 800 и 250 млн т соответственно. Анализ российских тенденций изменения объемов добываемого угля откры-

тым 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 мировой практике недропользования экобаланс на отработанных участках угольных месторождений восстанавливают путем проведения работ по рекультивации нарушенных земель. Российские и зарубежные

экологи-исследователи решают прикладные задачи в области рекультивации территорий горно-промышленных ландшафтов, созданных при разработке угольных месторождений открытым способом, с представлением результатов в специальной литературе [3–8, 13–16]. Обзор этих источников и других аналогичных работ подтвердил актуальность и целесообразность исследований авторов, поскольку до сих пор не изучено состояние лесной рекультивации на отвалах угольных разрезов Кан-

ско-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, послойной отсыпке породных отвалов. В технологиях отвалообразования не предусмотрена отдельная отсыпка вскрышных пород, в результате которой вертикальный 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: алевриты, 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 обрабатываются 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



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

Fig. 1. Fragment of the space image with the application of the boundaries of the studied sites (August, 2017)

возраста, горные породы, вынесенные из глубины карьера — алевриты, песчаники и др., а также горные породы четвертичного возраста в смеси с алевритами 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 исследований был выбран не случайно, поскольку здесь накоплен многолетний опыт в проведении работ по лесной рекультивации. На поверхности отвалов в апреле-мае 2008 г. были выполнены работы по горнотехнической рекультивации с использованием мощного бульдозера Komatsu D275A. Проведено выполаживание откосов породных отвалов железнодорожной вскрыши. 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, были проведены работы, составляющие основу биологического этапа, — высадка саженцев сосны и ели.

На начальном этапе полевых исследований, в ходе визуального осмотра поверхности отвалов с

лесной рекультивацией в целом было отмечено экологически приемлемое состояние искусственного соснового бора. Это не соответствует действительности, поскольку высота сосен, входящих в исследуемую совокупность, различалась между собой в разы, что было установлено в дальнейшем при измерении годовых темпов прироста ствольной части деревьев. Высота большинства елей оказалась весьма далекой от аналогичного показателя деревьев, произрастающих на природных ландшафтах, прилегающих к угольному разрезу. Контуры территории отвала с посадками сосен площадью 6,7 га обведены линией красного цвета, а с посадками елей на участке площадью 5,6 га — линией желтого цвета (рис. 1).

Далее исследовательский потенциал авторского коллектива 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, а также структуру поселившихся деревьев в результате их саморасселения с территории природных ландшафтов. Такие ландшафты расположены в непосредственной близости от исследуемой территории.



Рис. 2. Фрагмент лесной рекультивации с использованием сосны на породных отвалах угольного разреза "Бородинский" (август 2018 г.)

Fig. 2. Fragment of forest reclamation using pine on the rock dumps of the Borodinsky open-pit coal mine (August 2018)

При изучении состояния сосны обыкновенной, использованной в лесной рекультивации, в качестве основного показателя был 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.

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 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, составляющие группу с диапазоном прироста 10,1–15 см, были высажены на участках, в поверхностный слой которых уложены крупнофракционные горные породы, вынесенные 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, прирост которых составил 15,1–20 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, образующие группу с диапазоном прироста 20,1–25 см, находятся на микроучастках, сложенных обломочными горными породами размером 27×27 см и менее.

На участках отвала, сложенных техногенной смесью из горных пород четвертичного возраста, обследовано 182 сосны. В этом ряду выделено четыре груп-

пы. Минимальный и максимальный прирост составляет 31 и 48 см (см. рис. 3). Значение моды в этом ряду смещено вправо от центра распределения и находится в диапазоне 40,1–45 см. Сосны, прирост которых находится в диапазоне 30,1–35 см, произрастают на откосе отвала, обращенном на юг, а в диапазоне 45,1–50 см в 77 % случаев растут на откосах, обращенных на север. Остальные сосны равномерно распределены в двух группах с диапазоном 35,1–45 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 (см. рис. 3). Значение моды в этом ряду смещено вправо от центра его распределения в интервале с диапазоном 30,1–35 см. Сосны с диапазоном прироста 20,1–25 см были высажены на участках, поверхностный слой которых на 60–66 % состоит из крупнофракционных горных пород — алевролитов, вынесенных из глубины месторождения, а с диапазоном 25,1–30 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, что основным фактором, оказывающим решающее влияние на этот показатель, является качественный состав горных пород в месте произрастания группы деревьев, а на участках, сло-

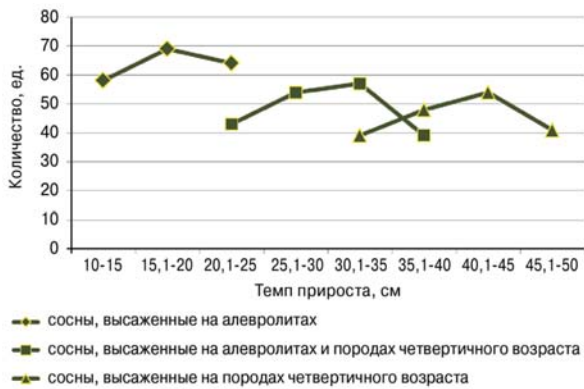


Рис. 3. Зависимость высоты сосен от состава горных пород в поверхностном слое породного отвала
Fig. 3. The dependence of the height of the pines on the composition of rocks in the surface layer of the rock dump

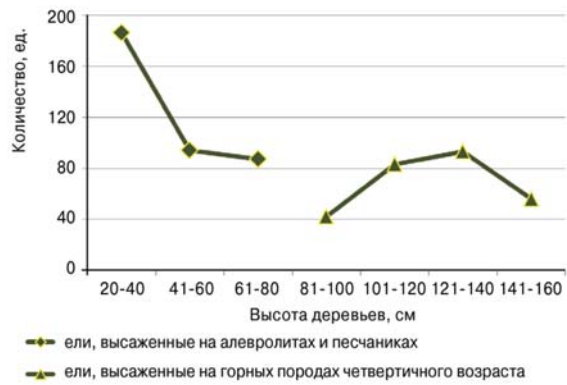


Рис. 4. Зависимость высоты ели сибирской от состава горных пород в поверхностном слое породного отвала
Fig. 4. Dependence of the height of Siberian spruce on the composition of rocks in the surface layer of the rock dump

женных алевролитами, — фракционный состав горных пород 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 (641 ель) 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.

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

откосах отвала, обращенных на запад и восток.

На участках отвала, сложенных алевролитами, обследовано 367 елей. Минимальное и максимальное значение прироста составляет 26 и 78 см (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 хвоя 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 2,5 м и более.

Достоверно установлено, что ели, прирост которых составил 20–40 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 70×70 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 прироста 41–60 см, произрастают на микроучастках, сложенных горными породами фракции 30×30 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, прирост которых составил 61–80 см, произрастают на микроучастках, сложенных мелкообломочными горными породами фракции 10×10 см и менее.

Для большей наглядности состояния исследуемых елей представлены фрагменты участков отвала, отсыпанных горными породами с разными качественными характеристиками (рис. 5). На рис. 5, а на переднем плане видны 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



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

Fig. 5. Fragments of forest remediation using Siberian spruce on the waste dump of the Borodinsky open-pit coal mine (August 2018):

a – spruces were on a heap dumped mostly by rocks of quaternary age; b – spruces on the dump dumped with siltstone

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.

При сопоставлении полученных замеров высоты елей на участках породных отвалов был сделан вывод, что основным фактором, оказывающим решающее влияние на этот показатель, является качественный состав горных пород в месте произрастания группы деревьев. Еще одним фактором, влияющим на высоту деревьев, высаженных на участках, сложенных алевролитами, является фракционный состав горных пород в точке произрастания отдельно взятого дерева. Действие этого

фактора на высоту деревьев практически не проявляется на участках, сложенных техногенной смесью из горных пород четвертичного возраста.

Статистическая обработка показала 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 проводилась высадка саженцев сосны обыкновенной и ели сибирской.

В период подготовительных работ к проведению полевых исследований, в ходе дистанционного мониторинга на снимках высокого разрешения внимание авторов было обращено на весьма положительное обстоятельство в ситуации формирования лесной экосистемы на породных отвалах — 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 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.) подхватывается 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. Авторы исследовали структуру лесной растительности, формирующейся в результате ее саморасселения на исследуемой территории (рис. 6). Различности 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, использованных в лесной рекультивации.

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".



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

Fig. 6. The structure of forest vegetation during its self-restoration in areas of waste dump with plantings of pine and spruce, units/ha

Литература

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., Шерemet 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 горно-технической рекультивации в целях левосстановления на Крутокачинском щебеночном карьере. Уголь. 2018. № 4. С. 75–77.
7. Харионовский А.А., Франк Е.Я. Обоснование горно-технической 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., Юронен Ю.П., Анищенко Ю.А. 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., Заяц В.В., Юронен Ю.П. 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., Заяц В.В., Юронен Ю.П. 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., Ганиева И.А., Морини А.С. 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.

References

1. Yanovskii A.B. Osnovnye tendentsii i perspektivy razvitiya ugol'noi promyshlennosti Rossii. Ugol'. 2017. № 8. S. 10–14.
2. Tarazanov I.G. Itogi raboty ugol'noi promyshlennosti Rossii za yanvar'-dekabr' 2017 goda. Ugol'. 2018. № 3. S. 58–73.
3. Androkhonov V.A., Berlyakova O.G. Sostoyanie lesnykh kul'tur i pochvennogo pokrova na rekul'tivirovannom otvale ugol'nogo razreza. Sibirskii lesnoi zhurnal. 2016. № 2. S. 22–31.
4. Safronova O.S., Lamanova T.G., Sheremet N.V. Rezul'taty issledovaniya estestvennogo vosstanovleniya rastitel'nogo pokrova na vskryshnykh otvalakh, voznikshikh v 1990-e gody v Respublike Khakasiya. Ugol'. 2018. № 7. S. 68–77.
5. Safronova O.S., Evseeva I.N. Monitoring tekhnogennogo vozdeistviya razreza "Chernogorskii" OOO "SUEK-Khakasiya" na territoriyu sanitarno-zashchitnoi zony. Ugol'. 2018. № 9. S. 95–98.
6. Kharionovskii A.A., Frank E.Ya. Obosnovanie gornotekhnicheskoi rekul'tivatsii v tselyakh levosstanovleniya na Krutokachinskoy shchebenochnom kar'ere. Ugol'. 2018. № 4. S. 75–77.
7. Kharionovskii A.A., Frank E.Ya. Obosnovanie gornotekhnicheskoi rekul'tivatsii po sozdaniyu kul'turnogo landshafta v kar'ere po razrabotke gliezhei. Ugol'. 2018. № 2. S. 100–102.
8. Shchadov I.M., Frank E.Ya. O rezul'tatakh i perspektivakh ispol'zovaniya resursov DZZ v reshenii prikladnykh zadach ugle-dobyvayushchei otrasli v formate mirovoi ekonomiki. Ugol'. 2018. № 7. S. 58–61.
9. Zen'kov I.V., Yuronen Yu.P., Anishchenko Yu.A. i dr. Informatsionnoe obespechenie monitoringa formirovaniya rastitel'nogo pokrova na territorii narushennykh zemel' ugol'nymi razrezami Primorskogo kraja. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2017. № 9. S. 22–27.
10. Zen'kov I.V., Zayats V.V., Yuronen Yu.P. i dr. Rezul'taty monitoringa ekologicheskogo sostoyaniya narushennykh zemel' ugol'nymi razrezami Sakhalina s ispol'zovaniem resursov distantsionnogo zondirovaniya. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2017. № 9. S. 28–34.
11. Zen'kov I.V., Zayats V.V., Yuronen Yu.P. i dr. Rezul'taty distantsionnogo zondirovaniya sostoyaniya narushennykh zemel' i puti resheniya ekologicheskikh problem na ugol'nykh razrezakh Magadanskoj oblasti. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2017. № 9. S. 35–41.
12. Zen'kov I.V., Ganieva I.A., Morini A.S. i dr. Kosmicheskie tekhnologii v otsenke proizvodstvennogo potentsiala gornykh rabot i ekologicheskogo sostoyaniya narushennykh zemel' ugol'nymi razrezami Kemerovskoi oblasti. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2018. № 2. S. 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.

И.В. Зеньков – д-р техн. наук, профессор, Сибирский федеральный университет, 660041 Россия, г. Красноярск, пр. Свободный 79, e-mail: zenkoviv@mail.ru ● В.В. Жукова – инженер, Институт вычислительных технологий СО РАН, 630090 Россия, г. Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева 6 ● В.Н. Вокин – канд. техн. наук, профессор, Сибирский федеральный университет, Россия, 660041 Россия, г. Красноярск, пр. Свободный 79 ● Е.В. Киришина – канд. техн. наук, доцент ● Ю.А. Анищенко – канд. экон. наук, зав. кафедрой, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва, 660037 Россия, г. Красноярск, проспект им. газеты Красноярский рабочий 31 ● Т.А. Веретенова – доцент, Сибирский федеральный университет, 660041 Россия, г. Красноярск, пр. Свободный 79 ● Е.М. Сычева – ст. преподаватель, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва, 660037 Россия, г. Красноярск, проспект им. газеты Красноярский рабочий 31

I.V. Zen'kov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Siberian Federal University, Siberian Federal University, 660041 Russia, Krasnoyarsk, Svobodny prospect 79, e-mail: zenkoviv@mail.ru ● V.V. Zhukova – Engineer, Institute of Computational Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 630090 Russia, Novosibirsk, Academician Lavrentiev prospect 6 ● V.N. Vokin – Cand. Sci. (Eng.), Professor, Siberian Federal University, 660041 Russia, Krasnoyarsk, Svobodny prospect 79 ● E.V. Kiryushina – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor ● Yu.A. Anisichenko – Cand. Sci. (Econ), Head of Department, Academician Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 660037 Russia, Krasnoyarsk, Krasnoyarsky Rabochy Av. 31 ● T.A. Veretenova – Associate Professor, Siberian Federal University, 660041 Russia, Krasnoyarsk, Svobodny prospect 79 ● E.M. Sycheva – Senior teacher, Academician Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 660037 Russia, Krasnoyarsk, Krasnoyarsky Rabochy Av. 31