

# РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕСНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НА ПОРОДНЫХ ОТВАЛАХ УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА "БОРОДИНСКИЙ"

**И.В. Зеньков, В.В. Жукова, А.В. Агалакова, Г.И. Латышенко, В.Н. Вокин, Е.В. Кирюшина, Т.А. Веретенова**

**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**

Приведены данные исследований лесной рекультивации, проведенной угольным разрезом "Бородинский" на территории породных отвалов. Представлены результаты дешифрирования и обработки космических снимков, по которым установлена динамика формирования и развития растительной экосистемы на участках с лесной рекультивацией.

*Ключевые слова: открытые горные работы, породные отвалы, экологическое обследование, лесная рекультивация, почвенные характеристики, растительные экосистемы, дистанционное зондирование Земли*

## The Results of a Comprehensive Study of Forest Remediation on Waste Heaps of the Borodinsky Open-Pit Coal Mine

**I.V. Zen'kov, V.V. Zhukova, A.V. Agalakova, G.I. Latyshenko, V.N. Vokin, E.V. Kiryushina, T.A. Veretenova**

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

The data of studies of forest reclamation carried out by the Borodinsky open-pit mine on the territory of rock heaps are given. The results of the interpretation and processing of satellite images, which set the dynamics of the formation and development of the plant ecosystem in areas with forest reclamation, are presented.

*Key words: open-cast mining, waste heaps, environmental survey, forest reclamation, soil characteristics, plant ecosystems, Earth remote sensing*

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-04-46-51

В последние годы в России исследовательский сектор "Науки о Земле" представлен большим количеством научных работ, результаты в которых получены в ходе проведения полевых экспедиций либо при использовании информационных ресурсов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [1–7]. В работах российских ученых раскрыт практически весь спектр экологических вопросов, решенных с применением ДЗЗ, но при этом вопросам комплексного изучения экологии нарушенных земель в открытых горных работах путем проведения

полевых исследований с привлечением космоснимков высокого разрешения до сих пор не уделено должного внимания. В зарубежной литературе имеются труды исследователей из разных стран в области решения экологических проблем с использованием только результатов ДЗЗ [8–10].

Получению новых знаний в области исследования экологии нарушенных земель на месторождениях твердых полезных ископаемых, основанных на результатах полевых экспедиций и одновременных ресурсах ДЗЗ, способствует многолетняя работа объединен-

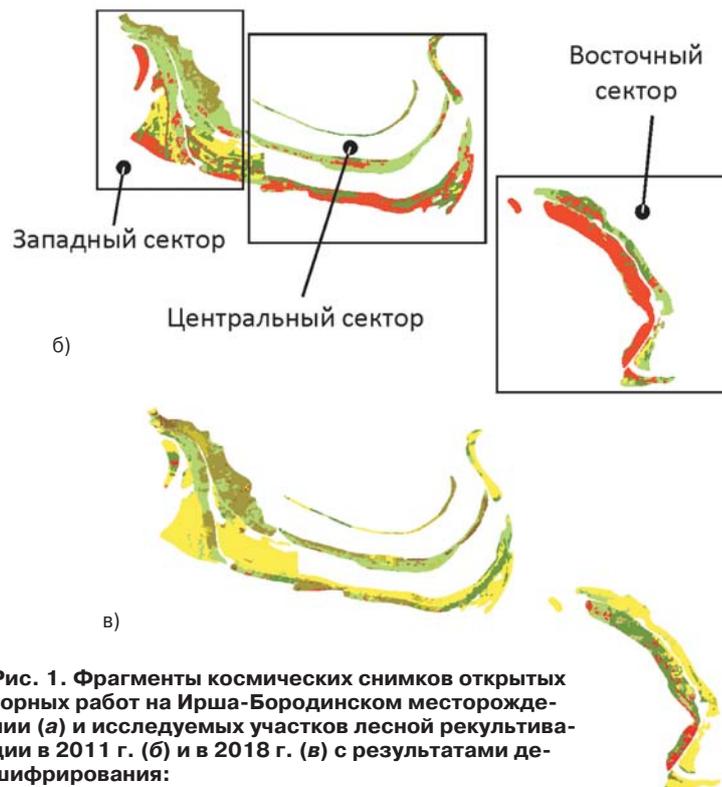
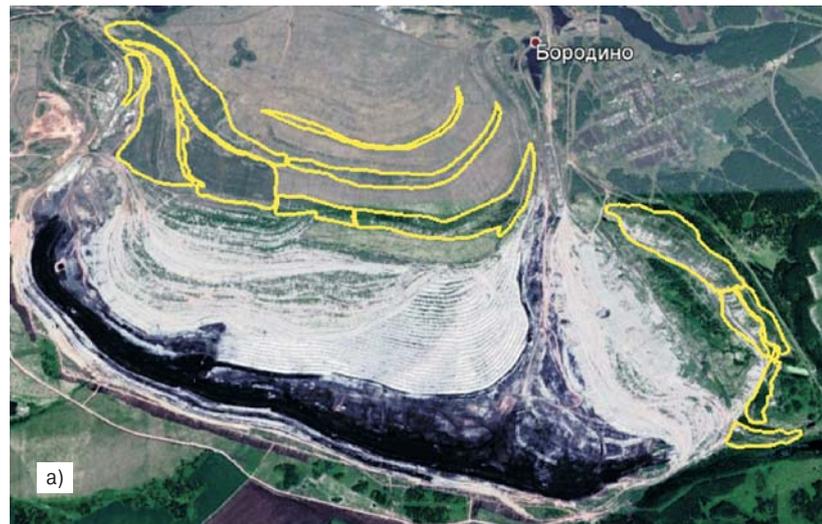
ной научно-практической школы Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва и Специального конструкторско-технологического бюро "Наука" ИВТ СО РАН [5–7]. Исследования с использованием ресурсов ДЗЗ выполняются в соответствии с основными положениями государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу, утвержденной Президентом Российской Федерации от 19 апреля 2013 г., № Пр-906, а также

следуя реализации и ресурсному обеспечению мероприятий Госпрограммы "Космическая деятельность России на 2013–2020 годы", определяющей использование космических средств ДЗЗ в экологическом мониторинге.

На трех крупных угольных разрезах Красноярского края — "Березовском", "Назаровском" и "Бородинском" — в разные годы были выполнены работы по лесной рекультивации в основном с высадкой хвойных пород деревьев — сосны обыкновенной и ели сибирской. Удельный вес разреза "Бородинский" в структуре показателей лесной рекультивации в крае является максимальным. Авторы выдвинули гипотезу о том, что при укладке горных пород с различными качественными характеристиками в поверхностный слой отвалов могут существенно изменяться экологические показатели деревьев, высаженных в ходе лесной рекультивации на этих отвалах. Для проверки этой гипотезы был выбран угольный разрез "Бородинский", где на участках внутренних породных отвалов общей площадью 379,3 га в 2002–2008 гг. проводились работы по лесной рекультивации.

Ирша-Бородинское бурогольное месторождение разрабатывается открытым способом с 1949 г. С 1971 г. по 1991 г. угольный разрез "Бородинский" занимался сельскохозяйственной рекультивацией. Кормовые и пахотные угодья были созданы на внешних и внутренних породных отвалах общей площадью 700 га. По понятным причинам сельскохозяйственные угодья на поверхности отвалов оказались не востребованными предприятиями агропромышленного комплекса Рыбинского района. Вполне естественно возник вопрос — нужно ли заниматься затратной сельскохозяйственной рекультивацией, если рекультивированные отвалы предприятия агропромышленного комплекса в своей работе не используют? Это явилось основной причиной отказа от проведения работ по рекультивации земель для использования в сельском хозяйстве.

В начале 2000 г. было принято решение поменять направление рекультивации на лесное. Лесная рекультивация была выполнена посадкой саженцев сосны, тополя и ели. Тополя высаживали ис-



**Рис. 1. Фрагменты космических снимков открытых горных работ на Ирша-Бородинском месторождении (а) и исследуемых участков лесной рекультивации в 2011 г. (б) и в 2018 г. (в) с результатами дешифрирования:**

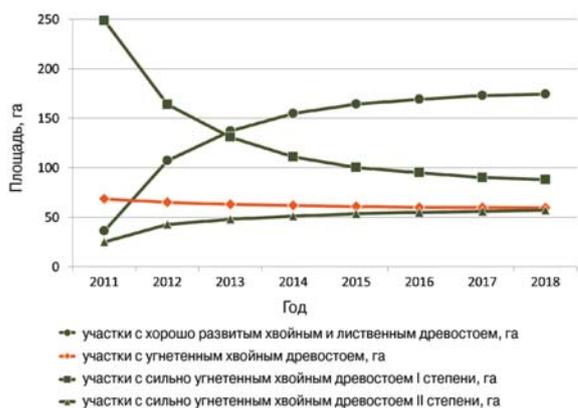
■ — сильно угнетенный хвойный древостой на участках с признаками восстановления растительного покрова; ■ — сильно угнетенный хвойный древостой с травянистой растительностью; ■ — сильно угнетенный хвойный древостой на участках с кустарниковой растительностью; ■ — угнетенный хвойный древостой с травянистой растительностью; ■ — угнетенный хвойный древостой с кустарниковой растительностью; ■ — хорошо восстановившийся хвойный древостой; ■ — лиственный древостой, появившийся при саморасселении

**Fig. 1. Fragments of satellite images of open-pit mining at the Irsha-Borodinsky field (a) and the study sites of forest reclamation in 2011 (b) and in 2018 (c) with the results of interpretation:**

■ — strongly depressed coniferous stand in areas with signs of restoration of vegetation cover; ■ — strongly depressed coniferous stand with grassy vegetation; ■ — strongly depressed coniferous stand in areas with shrub vegetation; ■ — depressed coniferous stand with grassy vegetation; ■ — depressed coniferous stand with shrub vegetation; ■ — well restored coniferous stand; ■ — deciduous forest stand, which appeared during self-dispersal

ключительно на откосах породного отвала в борозды по линии наименьшего расстояния между верхней и нижней бровкой отвала на площади 1,2 га. Аналогичным

способом на откосах было высажено небольшое количество сосен. Основную часть сосен и елей в возрасте 2–3 года высадили на горизонтальной поверхности



**Рис. 2. Изменение площади участков с лесной рекультивацией по результатам ДЗЗ**

**Fig. 2. Changing the area of land with forest remediation based on the results of a remote sensing**

отвалов по сетке с размерами 3×3 и 4×3 м. В настоящее время сосновый бор занимает 92 % площади всех земель, на которых проводили работы по лесной рекультивации.

Авторами был проведен дистанционный мониторинг формирования лесной рекультивации на отвалах, отсыпанных на участке отработанного Ирша-Бородинского бурого угольного месторождения с использованием ресурсов ДЗЗ, находящихся в свободном доступе. Были выполнены полевые исследования состояния деревьев, высаженных при проведении работ по лесной рекультивации; отобраны образцы грунта, на которых находятся искусственные лесопосадки, для определения агрохимических показателей в лабораторных условиях.

На начальном этапе исследований, для того чтобы сократить объем дорогостоящих полевых экспедиций, на космоснимках были выделены границы участков на внутренних отвалах, сложенных горными породами разного морфологического состава, на которых находится сосновый бор, появившийся на исследуемой территории в результате лесной рекультивации. Контуры участков с лесной рекультивацией выделены линиями желтого цвета на рис. 1, а (<https://Google Earth Pro>).

Далее были обработаны космические снимки исследуемого района за 2011–2018 гг. Анализ дешифрованных снимков показал, что на участках с лесной рекультивацией сосны развиваются по-разному. На снимках выделены границы участков, различающихся между собой плотностью и состоя-

нием растительного покрова. Всего можно выделить 7 категорий участков, которые в дальнейшем после проведения полевых экспедиций были объединены в участки с четырьмя категориями. На рис. 1, б и в представлены фрагменты космоснимков с границами участков, сложенных различными горными породами, и показаны результаты дешифрирования, на основании которого была выявлена степень развития хвойного древостоя.

При детальном изучении снимков были выделены участки, сложенные: остатками гумусоносных почвенных слоев (плодородный слой почвы, потенциально плодородный слой почвы) и горными породами четвертичного возраста (глины, супесь, суглинки, пески и т. п.), горными породами, вынесенными в ходе разработки месторождения из глубины — так называемыми глубинными породами — крепкими песчаниками и алевролитами серого цвета; техногенной смесью горных пород четвертичного возраста с глубинными породами в различном соотношении. В исследованиях участка, однородным по морфологическому составу, были присвоены условные категории — № 1 и 4 соответственно. Участкам, в поверхностный слой которых уложена техногенная смесь пород четвертичного возраста с глубинными породами, присвоены категории № 2 и 3 в порядке уменьшения объема пород четвертичного возраста в общем объеме техногенной смеси. Согласно принятой градации, соотношение четвертичных пород с глубинными породами для участков второй категории находится в диапазоне 90/10–65/35, а для участков третьей категории — в диапазоне 50/50–10/90.

Отметим, что работы по лесной рекультивации на разрезе "Бородинский" были закончены в 2008 г. Поэтому ресурсы ДЗЗ были использованы с небольшим временным отступлением от момента завершения периода лесопосадок — с 2011 г. Результаты дистанционного мониторинга изменения площади участков с выявленным состоянием лесной рекультивации и с укрупнением категорий участков с семи до четырех показаны на рис. 2.

Дадим характеристику хвойного древостоя: хорошо развитый

хвойный и лиственный древостой практически не отличается от аналогичного леса, находящегося в непосредственной близости от угольного разреза в естественном природном состоянии; угнетенный хвойный древостой имеет среднегодовой прирост высоты деревьев на 10–15 % меньше, чем хорошо развитые деревья хвойных пород; высота деревьев, входящих в группу сильно угнетенного древостоя I степени, меньше на 20–40 %, чем в группе хорошо развитого леса, общий фон деревьев имеет светло-зеленый окрас с небольшим оттенком желтизны; в группу сильно угнетенных деревьев мы включили деревья хвойных пород с отставанием в росте более 45 % от высоты деревьев из хорошо развитого древостоя, большинство иголок на ветках имеют окрас, переходящий от желтого к светло-серому, что свидетельствует об их частичном усыхании. Степень развития деревьев была детализирована в ходе полевых работ.

В 2011 г. структура лесной рекультивации выглядела следующим образом: хорошо развитый хвойный лес занимал площадь 36,4 га; угнетенный хвойный древостой находился на участках общей площадью 68,7 га; сильно угнетенный хвойный древостой I степени произрастал на участках площадью 249 га, а II степени — соответственно на площади 25,2 га. К 2018 г. структура кардинально изменилась. Хорошо развитый хвойный лес на участках площадью 36,4 га продолжает развиваться экологически приемлемыми темпами, поскольку находится на участках первой категории. Сильно угнетенный хвойный лес I степени на участках породного отвала площадью 69,3 га перешел в категорию хорошо развитый хвойный древостой, поскольку поверхностный слой этих участков идентифицирован со второй категорией. Хвойный лес I степени, произрастающий на участках третьей категории суммарной площадью 59,7 га, перешел в категорию угнетенного древостоя. Сильно угнетенный хвойный древостой I степени, находящийся на участках третьей категории площадью 88,1 га, оставался к 2018 г. без изменений. Сильно угнетенный хвойный древостой I степени, находящийся на участках третьей категории площадью 31,9 га, пополнил

нил группу сильно угнетенного древостоя II степени. Угнетенный хвойный лес, находящийся на участках второй категории площадью 68,7 га, перешел в хорошо развитый хвойный лес. Сильно угнетенный хвойный древостой II степени, находящийся на участках четвертой категории площадью 25,2 га к 2018 г. не изменился.

На основе выявленной динамики состояния лесной рекультивации появился научно-практический интерес — изучить уровни прироста сосны на участках отвалов, сложенных различными вскрышными породами, и выявить морфологию вскрышных пород, находящихся в приповерхностном слое породных отвалов с лесной рекультивацией, на которых прослеживаются максимальные приросты высаженных деревьев.

На втором этапе исследований, в ходе полевых экспедиций были установлены удельные веса горных пород, уложенных в поверхностный слой отвала. На основании этой информации и учитывая показатель продуктивности травянистого покрова и среднегодовые темпы прироста деревьев, находящихся на исследуемых участках, был сделан вывод о том, что деление всех участков с лесной рекультивацией на четыре категории правильное.

Площадь отвалов с лесной рекультивацией была условно разделена на три сектора: западный, центральный и восточный (см. рис. 1, б). В дальнейшем при составлении генеральной совокупности исследуемых сосен были учтены удельные веса площади каждого сектора в структуре земель с лесной рекультивацией. Вся генеральная совокупность, включающая 577 сосен в возрасте 16 лет, была условно поделена на четыре части. В основу такого деления положен морфологический состав горных пород, уложенных карьерными экскаваторами в верхний слой отвала. На участках первой и второй категории обследованы соответственно 137 и 183 сосен, а на участках третьего и четвертого типа — 111 и 146 сосен.

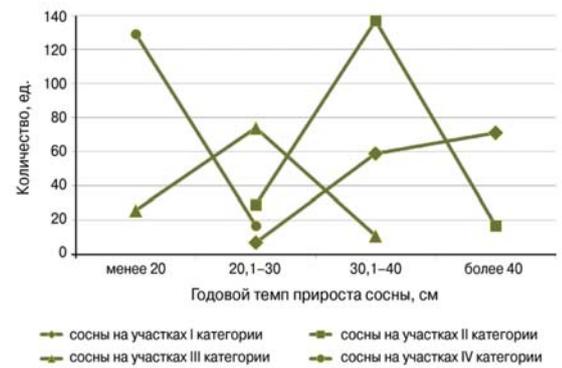
Каждая из четырех частей совокупности представлена в виде самостоятельного вариационного ряда. Совокупности в каждом ряду были разбиты дополнительно на группы, значения признаков в ко-

торых были объединены в интервалы. В каждом ряду определены значения моды, модального интервала, а также установлен средний уровень ряда.

На участках первой категории минимальный и максимальный прирост сосен составили 26 и 48 см (рис. 3). Значение моды в этом ряду смещено вправо от центра его распределения и находится в интервале с открытым диапазоном 40 см и более. Сосны, входящие в группу с диапазоном прироста более 40 см, были высажены на участках, в поверхностный слой которых уложены почвенные слои, содержащие гумус в объемном измерении не менее 2–3 % объема поверхностного слоя. На этих участках отмечена максимальная продуктивность травянистой растительности, произрастающей в междурядьях сосен. Содержание гумуса в 2018 г., по данным ФГБУ Станция агрохимической службы "Солянская", на участках, где выявлены максимальные приросты высоты сосен, составляет 2,5–3,2 %.

Сосны, входящие в группу с диапазоном прироста в границах 30,1–40 см, находятся на участках первой категории, в поверхностный слой которых уложены почвенные слои, содержащие гумус в объемном измерении 0,5–1 % объема поверхностного слоя. Содержание гумуса на участках, где находятся сосны этой группы, составляет 1,8–2,2 %. Сосны, входящие в группу с диапазоном прироста в границах 20,1–30 см, находятся на участках первой категории с содержанием гумуса до 1,6 %. Эта группа самая малочисленная — в ней всего 7 сосен. В среднем на участках первой категории продуктивность травянистого покрова составляет 60–75 ц/га.

На участках второй категории минимальный и максимальный прирост сосен составили 22 и 44 см (см. рис. 3). Значение моды в этом ряду совпадает с центром его распределения и находится в интервале 30,1–40 см. В этом вариационном ряду просматривается нормальное распределение признаков. В модальный интервал входит 74,9 % сосен этой группы. Сосны, входящие в группу с диапазоном прироста 20,1–30 см, находятся на участках, где выявлена продуктивность травянистой рас-



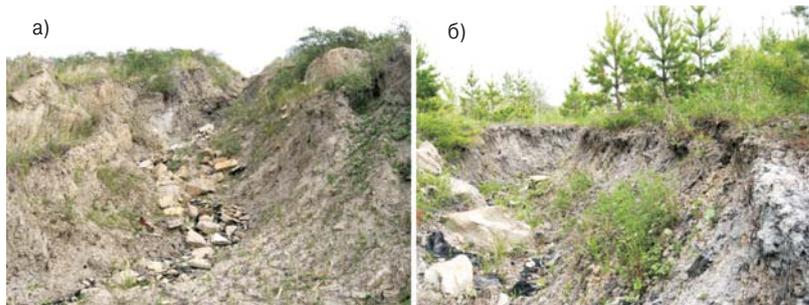
**Рис. 3. Зависимость среднегодового прироста сосен от морфологического состава горных пород в поверхностном слое породного отвала**

**Fig. 3. Dependence of the average annual growth of pines on the morphological composition of rocks in the surface layer of the rock dump**

тельности на уровне 15–18 ц/га, а сосны группы, где отмечены приросты в диапазоне 40 см и более, произрастают на участках с выявленной продуктивностью 35–50 ц/га. На последних отмечено более высокое содержание гумуса относительно участков, где отмечены приросты в диапазоне от 20,1 до 40 см.

Как было отмечено выше, 111 сосен находятся в западном секторе внутренних отвалов на участках третьей категории. Минимальный и максимальный прирост сосен в этом ряду равны 18 и 33 см соответственно (см. рис. 3). Значение моды в этом ряду совпадает с центром распределения признаков и находится в интервале с диапазоном 20,1–30 см. Сосны, входящие в группу с диапазоном прироста менее 20 см, были высажены на участках, поверхностный слой которых до 80 % состоит из крупнофракционных горных пород — алевролитов, вынесенных из глубины месторождения, и на 20 % из горных пород четвертичного возраста. Сосны, входящие в группу с диапазоном 20,1–30 см, развиваются на участках, в поверхностный слой которых уложены крепкие алевролиты и песчаники в объеме  $60 \pm 3$  %, а остальная часть — это горные породы четвертичного возраста. Сосны, входящие в группу с диапазоном 30,1–40 см, развиваются на участках, в поверхностный слой которых уложены крепкие алевролиты и песчаники в объеме 52–55 %, а остальная, большая часть — это горные породы четвертичного возраста.

На участках породных отвалов четвертой категории, поверхностный слой которых сложен только



**Рис. 4. Фрагменты крупнообломочных горных пород, вынесенных с глубины разрабатываемого месторождения:**  
 а – на дне оврага, образованном в откосе отвала; б – на дне оврага в центральной части отвала

**Fig. 4. Fragments of coarse-grained rocks, taken from the depth of the developed field:**  
 a – at the bottom of the ravine, formed in the slope of the blade; b – at the bottom of the ravine in the central part of the dump

горными породами, вынесенными из глубины разрабатываемого месторождения, обследовано 146 сосен. Было выделено две группы. Минимальное и максимальное значение в этом вариационном ряду находятся на уровне 12 и 24 см (см. рис. 3). Значение моды в этом ряду смещено влево от центра распределения и находится в диапазоне прироста менее 20 см. Сосны, входящие в группу с диапазоном менее 20 см, произрастают на участках отвала, в поверхностный слой которых уложены крупнообломочные крепкие горные породы — алевролиты и песчаники, разрабатываемые третьим и четвертым вскрышными уступами в ходе добычи угля на месторождении. Исследование фракционного состава горных пород, на которых произрастают сосны из этой группы, показало, что размеры отдельных кусков достигают 1×1,5 м. В таких условиях, когда формирование корневой системы предполагает ее радиальное развитие, процессы проникновения придаточных корней в глубину и их отхождения от главного корня значи-

тельно замедляются. На участках этой категории темпы прироста сосен зависят от фракционного состава горных пород, непосредственно находящихся под корневой системой отдельно взятого дерева.

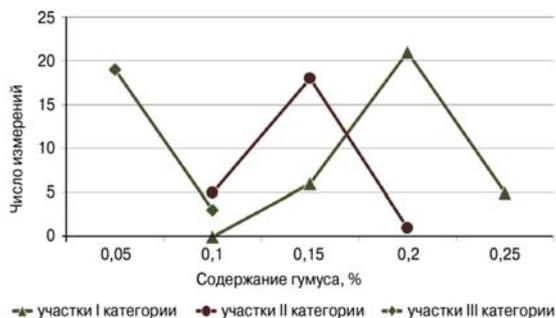
Фрагменты горных пород, вынесенных из глубины разрабатываемого Ирша-Бородинского бурогольного месторождения и уложенных в отвал, показаны на рис. 4.

Анализ данных, представленных на рис. 3, говорит о том, что максимальные приросты сосны наблюдаются на участках с первой категорией, сложенных четвертичными отложениями в смеси с почвенными слоями (вскрышные породы верхнего вскрышного уступа). Также отметим, что продуктивность почвенного слоя по сырой фитомассе составляет 60–75 ц/га, что является довольно высоким показателем. На этих участках хорошо развит третий растительный ярус, что является основой гумусообразования и, как следствие этого, основой для питания развивающихся деревьев. На участках категории № 2 также развит третий растительный ярус, но в меньшей степени, чем на участках категории № 1. Продуктивность почвенного слоя здесь не выше 50 ц/га. На участках с категориями № 3 и 4 третий ярус развит незначительно. На их поверхности произрастают единичные растения (до 20 растений на 1 м<sup>2</sup>). Поэтому питание сосен скудное, и следовательно темпы прироста деревьев являются низкими. Отметим, что поверхностный слой на этих участках образован практически на 100 % алевролитами и углистыми аргиллитами с неболь-

шим включением (0,5–1 %) четвертичных отложений (глины, суглинки, супеси и т.п.). Продуктивность поверхностного слоя породных отвалов является низкой и находится в диапазоне от 5 до 8 ц/га.

Кроме этого, авторами установлено изменение среднегодовых темпов увеличения содержания гумуса в техногенной смеси (рис. 5), что является своего рода дополнительным эталонным показателем в принятии решения относительно параметров проведения горнотехнического этапа рекультивации в ходе отсыпки породных отвалов. Содержание гумуса исследовалось ежегодно на участках породных отвалов с установленными категориям.

На основе информационной базы, созданной за пять лет, определены темпы изменения содержания гумуса на исследуемых участках. Наиболее высокий рост показателя отмечен на участках с первой категорией, и, наоборот, на участках с четвертой категорией содержание гумуса было на уровне 0,1–0,15 %, которое за пять лет осталось практически без изменений. Анализ трендов в изменении площади участков с хвойными деревьями различной степени развития позволяет установить следующую картину результатов лесной рекультивации. За исследуемый период (от начала высадки саженцев до настоящего времени) площадь участков, где произрастает хорошо развитый сосновый лес, увеличилась более чем в 4 раза — с 36,4 до 174,4 га. Площадь участков с угнетенным лесом сократилась с 68,7 до 59,7 га. Площадь участков с сильно угнетенным древостоем I степени сократилась почти в три раза — с 249 до 88,1 га, а площадь участков с сильно угнетенным лесом II степени — наоборот, увеличилась с 25,2 до 57,1 га. Результаты мониторинга высветили положительную тенденцию, заключающуюся в увеличении площади участков с хорошо развитым лесом и в уменьшении площади участков с угнетенным и сильно угнетенным лесом I степени, что, в свою очередь, свидетельствует о восстановлении растительной экосистемы с течением времени и именно на участках отвалов, поверхностный слой которых сложен пре-



**Рис. 5. Изменение содержания гумуса в техногенной смеси, уложенной в поверхностный слой породного отвала**

**Fig. 5. Modification of humus content in the technogenic mixture laid in the surface layer of the rock dump**

имущественно горными породами четвертичного возраста.

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 алеволитами, является фракционный состав

горных пород в месте произрастания отдельно взятого дерева. Действие этого фактора на высоту деревьев практически не проявляется на участках, сложенных горными породами четвертичного возраста, а также на тех участках отвала, где в поверхностном слое наблюдается преобладание этих же горных пород.

В заключение отметим, что в ходе обработки угольных месторождений открытым способом поверхностный слой породных отва-

лов мощностью до 2 м для проведения лесной рекультивации с позиции обеспечения максимальных приростов высаживаемых деревьев необходимо отсыпать горными породами четвертичного возраста, отгружаемыми на отвал с первого вскрышного уступа в смеси с почвенными слоями, что обеспечивает экологически приемлемые показатели породных отвалов, предназначенных для проведения на них работ по лесной рекультивации.

## Литература

1. 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.
2. 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.
3. Харионовский А.А., Франк Е.Я. Обоснование горнотехнической рекультивации в целях левосстановления на Крутокачинском щебеночном карьере. Уголь. 2018. № 4. С. 75–77.
4. 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.
5. Зеньков И.В., Юронен Ю.П., Анищенко Ю.А., Маглинец Ю.А., Латышенко Г.И., Сычева Е.М., Сафронов М.В. Информационное обеспечение мониторинга формирования растительного покрова на территории нарушенных земель угольными разрезами Приморского края. Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 9. С. 22–27.
6. Зеньков И.В., Заяц В.В., Юронен Ю.П., Еремеев Д.В., Ерыгин Ю.В., Логинова Е.В., Агалакова А.В. Результаты дистанционного зондирования состояния нарушенных земель и пути решения экологических проблем на угольных разрезах Магаданской области. Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 9. С. 35–41.
7. Зеньков И.В., Ганиева И.А., Морин А.С., Юронен Ю.П., Анищенко Ю.А., Маглинец Ю.А., Сычева Е.М. Космические технологии в оценке производственного потенциала горных работ и экологического состояния нарушенных земель угольными разрезами Кемеровской области. Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 2. С. 28–33.
8. Meshal M. Abdullah, Rusty A. Feagin, Layla Musawi, Steven Whisenant, Sorin Popescu. The use of remote sensing to develop a site history for restoration planning in an arid landscape. Restoration Ecology. 2016. V. 24(1). P. 91–99.
9. Stephanie B. Borrelle, Rachel T. Buxton, Holly P. Jones and David R. Towns. A GIS-based decision-making approach for prioritizing seabird management following predator eradication. Restoration Ecology. 2015. V. 23(5). P. 580–587.
10. Susan Cordell, Erin J. Questad, Gregory P. Asner, Kealoha M. Kinney, Jarrod M. Thaxton, Amanda Uowolo, Sam Brooks, Mark W. Chynoweth. Remote sensing for restoration planning: how the big picture can inform stakeholders. Restoration Ecology. 2017. V. 25(2). P. 147–154.

## References

1. Safronova O.S., Lamanova T.G., Sheremet N.V. Rezul'taty issledovaniya estestvennogo vosstanovleniya rastitel'nogo pokrova na vskryshnykh otvalakh, vznikshikh v 1990-e gody v Respublike Khakasiya. Ugol'. 2018. № 7. S. 68–77.
2. Safronova O.S., Evseeva I.N. Monitoring tekhnogennoho vozdeistviya razreza "Chernogorskii" OOO "SUEK-Khakasiya" na territoriyu sanitarno-zashchitnoi zony. Ugol'. 2018. № 9. S. 95–98.
3. Kharionovskii A.A., Frank E.Ya. Obosnovanie gornotekhnicheskoi rekul'tivatsii v tselyakh levosstanovleniya na Krutokachinskom shchebenochnom kar'ere. Ugol'. 2018. № 4. S. 75–77.
4. Shchadov I.M., Frank E.Ya. O rezul'tatakh i perspektivakh ispol'zovaniya resurov DZZ v reshenii prikladnykh zadach ugledobyvayushchei otrasli v formate mirovoi ekonomiki. Ugol'. 2018. № 7. S. 58–61.
5. Zen'kov I.V., Yuronen Yu.P., Anishchenko Yu.A., Maglinets Yu.A., Latyshenko G.I., Sycheva E.M., Safronov M.V. Informatcionnoe obespechenie monitoringa formirovaniya rastitel'nogo pokrova na territorii narushennykh zemel' ugol'nymi razrezami Primorskogo kraja. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2017. T. 21. № 9. S. 22–27.
6. Zen'kov I.V., Zayats V.V., Yuronen Yu.P., Eremeev D.V., Erygin Yu.V., Loginova E.V., Agalakova A.V. Rezul'taty distantsionnogo zondirovaniya sostoyaniya narushennykh zemel' i puti resheniya ekologicheskikh problem na ugol'nykh razrezakh Magadanskoi oblasti. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2017. T. 21. № 9. S. 35–41.
7. Zen'kov I.V., Ganieva I.A., Morin A.S., Yuronen Yu.P., Anishchenko Yu.A., Maglinets Yu.A., Sycheva E.M. Kosmicheskie tekhnologii v otsenke proizvodstvennogo potentsiala gornykh rabot i ekologicheskogo sostoyaniya narushennykh zemel' ugol'nymi razrezami Kemeroovskoi oblasti. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2018. T. 22. № 2. S. 28–33.
8. Meshal M. Abdullah, Rusty A. Feagin, Layla Musawi, Steven Whisenant, Sorin Popescu. The use of remote sensing to develop a site history for restoration planning in an arid landscape. Restoration Ecology. 2016. V. 24(1). P. 91–99.
9. Stephanie B. Borrelle, Rachel T. Buxton, Holly P. Jones and David R. Towns. A GIS-based decision-making approach for prioritizing seabird management following predator eradication. Restoration Ecology. 2015. V. 23(5). P. 580–587.
10. Susan Cordell, Erin J. Questad, Gregory P. Asner, Kealoha M. Kinney, Jarrod M. Thaxton, Amanda Uowolo, Sam Brooks, Mark W. Chynoweth. Remote sensing for restoration planning: how the big picture can inform stakeholders. Restoration Ecology. 2017. V. 25(2). P. 147–154.

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 • А.В. Агалакова — канд. экон. наук, доцент, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва, 660037 Россия, г. Красноярск, проспект им. газеты Красноярский рабочий 31 • Г.И. Латышенко — доцент • В.Н. Вокин — канд. техн. наук, профессор, Сибирский федеральный университет, 660041 Россия, г. Красноярск, пр. Свободный 79 • Е.В. Киришина — канд. техн. наук, доцент • Т.А. Веретеннова — доцент

I.V. Zen'kov — Dr. Sci. (Eng.), Professor, Siberian Federal University, 660041 Russia, Krasnoyarsk, Svobodny Pr. 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 Pr. 6 • A.V. Agalakova — Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Academician M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 660037 Russia, Krasnoyarsk, Krasnoyarsky Rabochy Av. 31 • G.I. Latyshenko — Associate Professor • V.N. Vokin — Cand. Sci. (Eng.), Professor, Siberian Federal University, 660041 Russia, Krasnoyarsk, Svobodny Pr. 79 • E.V. Kiriyushina — Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor • T.A. Veretenova — Associate Professor