

Результаты дистанционного мониторинга открытых горных работ и экологии нарушенных земель на Бакальском железорудном месторождении

Зеньков Игорь Владимирович, доктор технических наук, Заслуженный эколог РФ, профессор Сибирский федеральный университет (г. Красноярск, пр-т Свободный, 79)

Вокин Владимир Николаевич, кандидат технических наук, профессор, Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

Кирюшина Елена Васильевна, кандидат технических наук, доцент Сибирский федеральный университет (Россия, 660041, г. Красноярск, пр-т Свободный, 79)

Раевич Ксения Владиславовна, кандидат технических наук, доцент Сибирский федеральный университет (Россия, 660041, г. Красноярск, пр-т Свободный, 79)

Актуальность исследуемой проблемы

В настоящее время на территории Среднего и Южного Урала наблюдается завершение открытых горных работ на многих железорудных месторождениях. Разработка железной руды открытым способом завершена на Магнитогорском, Гороблагодатском, Высокогорском, Бакальском, Туканском месторождениях. Общеизвестным фактом является появление на месте открытых горных работ горнопромышленных ландшафтов в виде карьерных выемок и породных отвалов. Одно из этих месторождений – Бакальское, разрабатываемое более 200 лет, заслуживает отдельного внимания. За весь период разработки этого месторождения площадь нарушенных земель составила более 2000 га. В ходе отработки запасов железной руды на месторождении произошли масштабные нарушения природного ландшафта. В этой связи возник научно-практический интерес к проведению долговременного мониторинга с результативной оценкой эффективности восстановления экологического равновесия на территории горнопромышленного ландшафта, образованного в ходе отработки Бакальского железорудного месторождения в условиях континентального климата Урала.

В последние годы восстановлению экологического баланса на территориях с масштабным производством горных работ уделяется пристальное внимание со стороны специалистов на всех типах разрабатываемых месторождений. Особое внимание уделяется решению вопросов восстановления и рекультивации нарушенных земель, что должным образом отражено в специальной научной литературе [1-16]. Вместе с тем, как показал обзор научной литературы, в настоящее время отсутствуют исследования в области экологии открытых горных работ, выполненные с использованием разновременных ресурсов дистанционного мониторинга. Это является, по сути, основой выявления долговременных трендов в формировании и развитии экосистем на любых территориях Земли, в том числе и в регионах с открытой разработкой месторождений твердых полезных ископаемых.

Закрывает этот пробел в научных знаниях наша научно-практическая школа по исследованию открытых горных работ и экологии нарушенных земель с использованием ресурсов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Результаты исследований

Все известные железорудные месторождения на территории РФ можно условно объединить в несколько групп, среди которых особое место занимают месторождения сидеритовых руд. Промышленные месторождения сидерита известны на западе Челябинской области – Бакальское в Саткинском районе и Ахтенское в Кусинском районе. Бакальское железорудное месторождение находится в 70 м в южном направлении от г. Бакал Саткинского района Челябинской области. Бакальская группа сидеритовых месторождений – крупнейшая в мире в этом классе [19]. Месторождение разрабатывается уже более 200 лет, и поэтому высококачественные бурожелезняковые руды в значительной степени отработаны. Запасы сидеритов составляют около 1 млрд. т., что позволяет включить Бакальское месторождение в группу крупнейших железорудных провинций мира. В рудном поле площадью 150 км² выявлено более 20 самостоятельных месторождений, содержащих более 200 рудных тел. Контуры месторождений выделены по границам крупных тектонических нарушений. Сидеритовые залежи имеют пластообразную и линзовидную форму. Размеры рудных тел достигают длины до 2–3 км, максимальной мощности 80 м, имеют как пологое, так и крутое залегание. Сидерит представляет собой карбонат железа (FeCO₃) с изоморфной примесью магния в количестве 5–12 % (до 19 %) и относится к изоморфному ряду минералов сидероплезит - пистомезит. Примесь серы и фосфора составляет менее 0,05 %. Основным рудным минералом является сидероплезит и пистомезит, в котором кроме Fe (25–40 %) и MgO (7,5–19 %) содержатся CaO (до 1,5–3%) и MnO (до 2 %), которые составляют 80–95 % рудной массы. Оставшиеся 5–20 % приходятся на доломит, анкерит и барит.

Масштабная разработка месторождения началась в 1950–е гг., когда в СССР резко возросла потребность в железной руде. В 1980-1990-е гг. в структуре Бакальского горно-обогатительного комбината (ГОКа) действовала аглофабрика, находилось семь карьеров. Вскрышные породы за весь период ведения горных работ на месторождении транспортировали железнодорожным и автомобильным транспортом. Кроме этого, на двух железнодорожных отвалах были организованы дополнительные ярусы, которые отсыпали с использованием автосамосвалов [17].

За временной период более 50 лет на этом месторождении образовано восемь карьерных выемок, показанных на рис. 1 и обозначенных номерами с 1 по 7 слева направо. Две карьерные выемки (фигура № 2 на рис. 1) объединены в одну фигуру в ходе проведения дистанционного мониторинга [18].

В 2007 году горные работы на Бакальском ГОКе были полностью остановлены. В 2008–2013 гг. добыча железной руды была возобновлена в карьерах № 1 и № 3, а в карьере № 5 – в 2007–2009 гг. В 2011 году горные работы были полностью остановлены, поскольку вскрытые запасы в этих карьерных выемках были отработаны.



Рис. 1. Фрагмент космоснимка с объектами горнопромышленного ландшафта, образованного при ведении открытых горных работ на Бакальском ГОКе

Глубина карьера № 1 на момент его отработки составила 170 м, а с учетом нагорной части – 250 м, глубина карьера № 3 – 230 м, глубина карьера № 5 – 160 м. На последнем этапе разработки Бакальского месторождения (2007–2013 гг.) в этих карьерах вскрышные породы на отвалы, а железную руду на обогатительную фабрику транспортировали в автосамосвалах грузоподъемностью 40–55 т. Горное оборудование было скомплектовано следующим образом: на экскавации горной массы задействованы экскаваторы ЭКГ-5А, на бурении взрывных скважин – буровые станки СБШ-250.

Экология нарушенных земель. Экологическое состояние горнопромышленных ландшафтов с максимальной степенью достоверности можно оценить с использованием разновременных ресурсов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Перед тем, как изложить результаты оценки ДЗЗ, необходимо остановиться на таких факторах, влияющих на экологию, как климат района разработки месторождений, почвы, естественный растительный покров. На территории Саткинского района, где находится Бакальское железорудное месторождение, абсолютный максимум температур равен $+36^{\circ}\text{C}$, абсолютный минимум – 56°C . Таким образом, амплитуда температур равна 92°C . Среднегодовое количество осадков равно 652 мм. Подавляющая доля годовой суммы осадков приходится на теплую часть года (апрель–октябрь). За это время выпадает 84 % осадков годовой суммы, из них 60 % приходится на летние месяцы. Зимой осадки незначительны и колеблются в пределах от 13 до 20 мм. Годовой дефицит влажности невелик, для теплого периода – в пределах 1,2–4,4 мм, для холодного – 0,2–0,9 мм [20].

На исследуемой территории широко распространены хвойные леса, представленные в основном сосной и лиственницей с примесью березы и

осины. Под пологом леса растут малина и кизильник черноплодный. В более влажных, тенистых лесах чаще всего встречаются сплошные заросли папоротников. Кроме этого, в сосняках землю покрывают вейник, мхи и лишайники. В смешанных лесах растут брусника, черника и земляника. Среди трав этих лесов часто встречаются грушанка, зимолобка, овсяница красная, мятлик, перловник. Встречается здесь и таежная лиана – княжик сибирский. В отдельных глухих местах еще сохранились уральские орхидеи, занесенные в Красную книгу – башмачок крупноцветковый, башмачок настоящий, башмачок пятнистый. На лугах и полянах встречаются популярные в народе целебные травы – душица и зверобой. Под хвойными лесами находятся типичные подзолистые почвы.

В ходе проведения пространственно-временного анализа динамики изменения площади выделенных объектов горнопромышленного ландшафта, образованного при разработке Бакальского железорудного месторождения, а также восстановления растительного покрова на породных отвалах и карьерах были использованы снимки со спутников Landsat 5 и 8 за период с 1995 г по 2016 г. Для выделения разных типов горнопромышленного ландшафта, определения структуры земель и их площадных характеристик использовался программный пакет ArcGIS. На предварительном этапе были выделены объекты для проведения на них долговременного мониторинга с использованием ресурсов ДЗЗ.

На территории горнопромышленного ландшафта выделены восемь карьеров, два из которых объединены в одну фигуру, десять внешних породных отвалов (рис. 1). Для общего понимания долговременных тенденций в формировании и развитии растительной экосистемы на породных отвалах и в отработанных карьерах выделено пять классов горнопромышленного ландшафта, на участках которого сформирован растительный покров, отчетливо определяемых на космоснимках: хорошо развитый лес – древостой; молодой лес – молодая древесная поросль, участки с признаками восстановления растительного покрова; участки с травянистым покровом и участки с травянисто-кустарниковой растительностью.

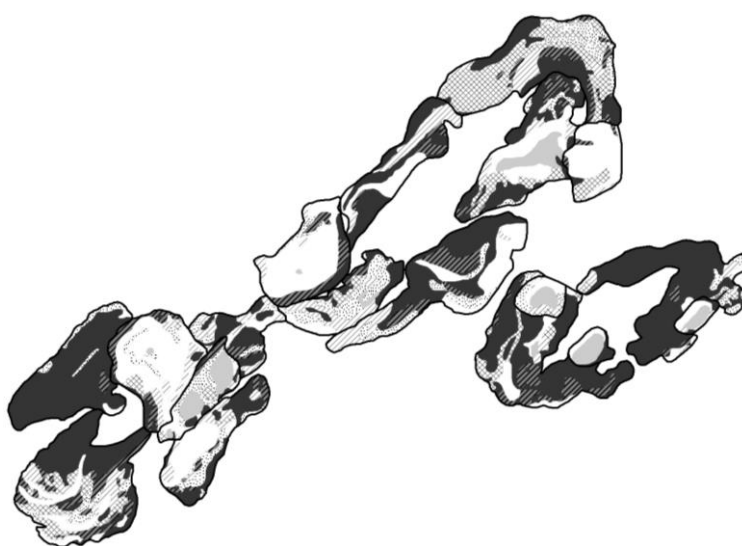
Для определения типов растительности использованы спектральные данные, полученные в ближнем инфракрасном, красном и зеленом диапазонах длин волн, что соответствует комбинации каналов RGB 4 3 2 для Landsat 5 TM и RGB 5 4 3 для Landsat 8 OLI. Выбор этих каналов в Landsat 5 TM и Landsat 8 OLI обоснован значительным отличием в спектральной отражательной способности у разных типов растительности.

На рис. 2 показаны фрагменты космоснимков, полученных в 1995 и 2016 гг. с границами объектов горнопромышленного ландшафта, образованного при работе Бакальского ГОКа, включенными в программу исследований. На них представлены результаты дешифрирования территорий объектов горнопромышленного ландшафта с выделением границ участков в соответствии с установленными классами.

а



б



- техногенные водоемы;
 - участки без растительного покрова;
 - участки с хорошо развитым лесом;
 - участки с молодым лесом;
 - участки с признаками восстановления растительного покрова;
 - участки под травянистой растительностью;
 - участки под травянисто-кустарниковой растительностью

*Рис. 2. Выделенные объекты горнопромышленного ландшафта на Бакальском месторождении на снимках из космоса с результатами дешифрирования:
 а – в июле 1995г.; б – в июле 2016 г.*

Всего на территории отработанных карьеров установлено семь классов горнопромышленного ландшафта: участки без растительного покрова, техногенные водоемы, участки с признаками восстановления растительного покрова, участки с четырьмя видами устойчивого растительного покрова. Суммарная площадь карьеров в ходе добычи железной руды в период мониторинга находилась на стабильном уровне 543,5 га. Площадь участков без растительного покрова систематически сокращалась более чем в 2 раза с 435,3 до 202,8 га. При этом в изменении площади участков с другими классами ландшафта установлены следующие тенденции.

В изменении площади участков с признаками восстановления растительного покрова установлено чередование двух понижательных трендов с одним повышательным. По данным спутниковой съемки площадь этих участков в 1995 году составляла 27,3 га. Начиная с 1996 г., их площадь постоянно сокращается до 20,1 га в 2007 году. Далее, с 2008 года начинается период увеличения этого показателя до 50,5 га в 2010 году. С 2011 года размер площади участков с этим видом растительного покрова сокращается до 43,6 га в 2016 году.

В изменении площади участков с травянистой растительностью установлено чередование понижательного тренда с повышательным. По данным спутниковой съемки в 1995 году площадь этих участков составляла 32,3 га. Начиная с 1996 года, их площадь незначительно сократилась до 32,1 га в 2001 году. Далее, наблюдается постепенное увеличение уровня этого показателя до значения 42,4 га в 2016 году.

В изменении площади участков с молодой порослью смешанного леса выявлено чередование двух повышательных трендов с одним понижательным. Этот вид растительного покрова занимал в 1995 году площадь 6,6 га. Начиная с 1996 г. площадь этих участков начинает увеличиваться практически в пять раз до 30,2 га в 2007 году. Далее, начиная с 2008 года, за небольшой временной период наблюдается резкое почти в два раза сокращение этого показателя до 16,3 га в 2010 году. Но, уже с 2011 года – начала заключительного этапа горных работ начинается резкое увеличение значения этого показателя до 58,2 га в 2016 году.

В изменении площади участков с хорошо развитым смешанным лесом установлен один повышательный тренд. По результатам спутниковой съемки в 1995 году этот вид растительного покрова на территории карьеров занимал площадь 12,6 га. С 1996 года начинается систематическое расширение площади участков с хорошо развитым смешанным лесом. К 2016 году площадь этих участков увеличилась в 6,6 раза и достигла уровня 84,3 га.

В изменении площади участков с травянисто-кустарниковой растительностью установлено чередование повышательного тренда с понижательным. По данным спутниковой съемки в 1995 году площадь этих участков составляла всего лишь 1,7 га. Начиная с 1996 года, их площадь увеличилась более чем в 23 раза до 40,4 га в 2010 году. Далее наблюдается постепенное сокращение площади до значения 32,4 га в 2016 году.

В изменении площади техногенных водоемов установлен один повышательный тренд. По результатам спутниковой съемки в 1995 году площадь техногенных водоемов составляла 27,7 га. С 1996 года начинается систематическое расширение площади зеркала водоемов. К 2016 году общая площадь поверхности водоемов достигла уровня 71,4 га.

Структура нарушенных земель в 2018 году, представляющих собой участки без растительного покрова, с растительной и водной экосистемой на территории отработанных карьеров выглядит следующим образом. Техногенные водоемы занимают площадь 75 га. Участки со всеми видами растительного покрова (без участков с признаками восстановления растительного

покрова) занимают суммарно 223,1 га. Коэффициент самовосстановления растительной экосистемы в карьерных выемках находится на уровне 0,41.

Более подробно остановимся на результатах мониторинга экологического состояния пяти железнодорожных отвалов, отсыпанных в ходе добычи железной руды на карьерах Бакальского ГОКа, поскольку их удельный вес в структуре горнопромышленного ландшафта является максимальным (41 %).

Тренды в изменении площади участков с пятью классами горнопромышленного ландшафта на территории этих отвалов за период мониторинга с 1995 по 2016 г., показаны на рис. 3. Установлено, что площадь нарушенных земель, занимаемых этими отвалами, изменилась незначительно за период мониторинга с 834,9 га до 849,6 га. Кроме этого установлено, что параллельно с отсыпкой вскрышных пород на исследуемой территории происходило восстановление и формирование растительного покрова.

В изменении площади участков с признаками восстановления растительного покрова установлено чередование двух понижающих трендов с одним повышающим. В период с 1995 г. по 2001 г. площадь участков, на которых определяются признаки восстановления растительного покрова, сокращается в размерах с 104,5 до 49,1 га. Далее, с 2002 г. начинается увеличение этого показателя до 146 га в 2010 году. Затем, с 2011 г. площадь этих участков сокращается более чем в два раза до 70 га.44,6

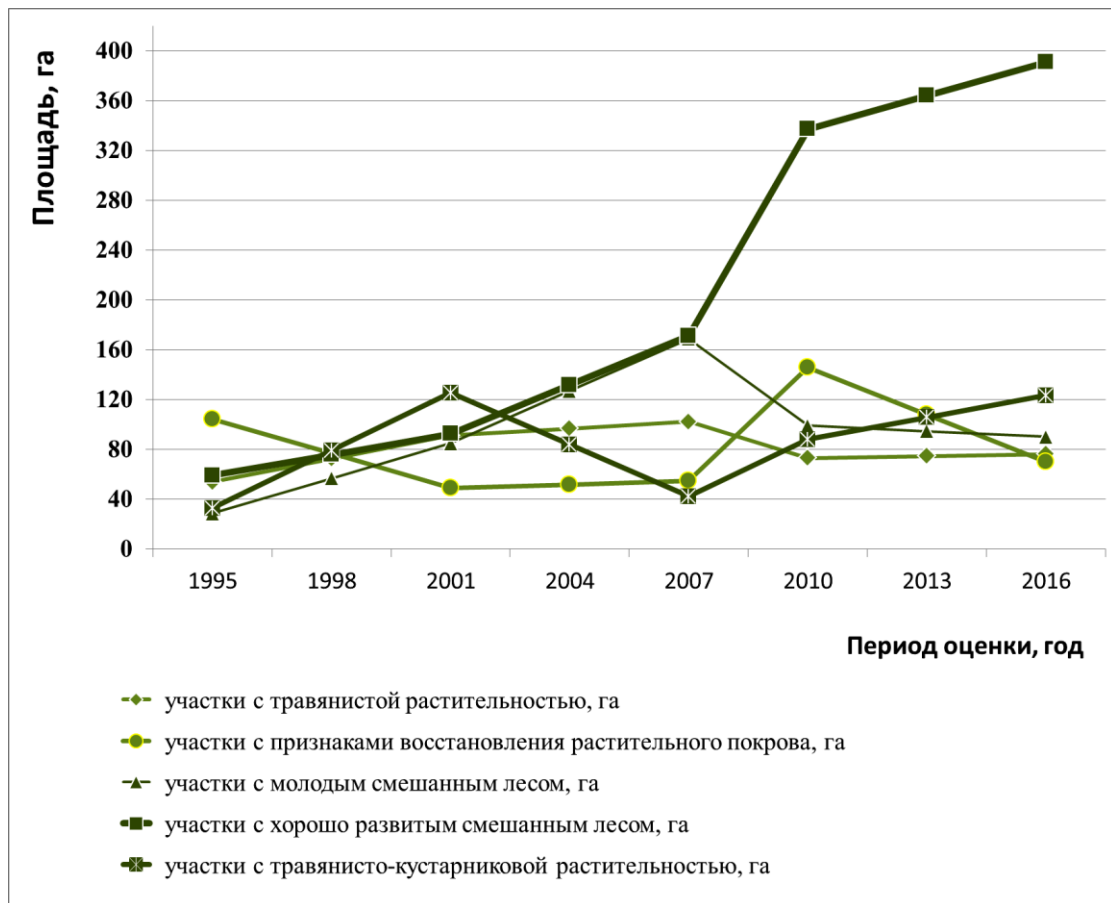


Рис. 3. Результаты космического мониторинга изменения площади участков с растительным покровом на поверхности железнодорожных отвалов

В изменении площади участков с травянистой растительностью установлено чередование двух повышательных трендов с одним понижительным. По данным спутниковой съемки в 1995 г. площадь этих участков составляла 54,1 га. Затем, начиная с 1996 г., произошло систематическое увеличение этого показателя до 102,4 га в 2007 году. Далее, с 2008 года площадь участков сокращается до 73,2 га в 2010 году, а с 2011 года начинается очередной рост показателя до 76,3 га в 2016 году. В изменении площади участков с молодой порослью смешанного леса выявлено чередование повышательного тренда с одним понижительным. Этот вид растительного покрова занимал в 1995 году площадь 28,9 га. Начиная с 1996 г., площадь этих участков увеличивается более чем в шесть раз до 169,1 га в 2007 году. Далее, начиная с 2008 года, установлено сокращение этого показателя до 90,4 га в 2016 году.

В изменении площади участков с хорошо развитым смешанным лесом установлен один повышательный тренд. По результатам спутниковой съемки в 1995 году этот вид растительного покрова на территории железнодорожных отвалов занимал площадь 59,4 га. С 1996 года начинается систематическое расширение площади участков с хорошо развитым смешанным лесом. К 2016 году площадь этих участков увеличилась до уровня 391,1 га.

В изменении площади участков с травянисто-кустарниковой растительностью установлено чередование двух повышательных трендов с одним понижительным. По данным спутниковой съемки в 1995 году площадь этих участков составляла 33,1 га. Начиная с 1996 года, их площадь увеличилась до 125,7 га в 2001 году. Далее, наблюдается сокращение площади до значения 42,5 га в 2007 году, а с 2008 г. начинается увеличение уровня этого показателя до 123,5 га в 2016 году.

Структура нарушенных земель в 2018 году, представляющих собой участки без растительного покрова, с растительной и водной экосистемой на территории железнодорожных отвалов, выглядит следующим образом. Участки со всеми видами растительного покрова (без участков с признаками восстановления растительного покрова) занимают суммарно 710 га. Коэффициент самовосстановления растительной экосистемы на поверхности исследуемых отвалов находится на уровне 0,83.

Тренды в изменении площади участков с выявленными категориями горнопромышленного ландшафта в виде четырех локальных автомобильных отвалов, сформированных при отсыпке вскрышных пород из карьеров, за период мониторинга с 1995 по 2016 г., также были выявлены по результатам дистанционного мониторинга с использованием ресурсов ДЗЗ. Установлено, что площадь земель под автомобильными отвалами за период мониторинга увеличилась незначительно с 420,8 до 425,4 га.

В изменении площади участков без растительного покрова установлен один понижительный тренд. Площадь участков с отсутствием растительного покрова сократилась более чем в 4 раза с 228,9 до 51,6 га в 2016 году. Параллельно с этим на исследуемой территории происходило восстановление и формирование растительного покрова.

В изменении площади участков с признаками восстановления растительного покрова установлено чередование понижительного тренда с повышательным. По данным спутниковой съемки в 1995 г. площадь этих участков составляла 25 га, но, к 2001 г. произошло ее сокращение до 17,7 га. Далее, с 2002 г. начинается систематический рост уровня этого показателя до 62,2 га в 2016 году.

В изменении площади участков с травянистой растительностью установлено чередование двух повышательных трендов с одним понижительным. По данным спутниковой съемки в 1995 г. площадь этих участков составляла 27,9 га. Затем, начиная с 1996 г. произошло систематическое увеличение этого показателя до 50,2 га в 2001 году. Далее, с 2002 года площадь участков сокращается до 34 га в 2007 году, а с 2008 года начинается очередной рост показателя до 62,9 га в 2016 году.

В изменении площади участков с молодой порослью смешанного леса выявлено чередование двух повышательных трендов с одним понижительным. Этот вид растительного покрова занимал в 1995 году площадь 7,9 га. Начиная с 1996 г., площадь этих участков начинает увеличиваться практически в пять раз до 33,3 га в 2007 году. Далее, начиная с 2008 года, за небольшой временной период наблюдается резкое почти в четыре раза сокращение этого показателя до 8,6 га в 2010 году. Но, уже с 2011 года – года начала завершающего периода горных работ начинается резкое увеличение значения этого показателя до 22,6 га в 2016 году.

В изменении площади участков с хорошо развитым смешанным лесом установлен один повышательный тренд. По результатам спутниковой съемки в 1995 году этот вид растительного покрова на территории автомобильных отвалов занимал площадь 121,2 га. С 1996 года начинается систематическое расширение площади участков с хорошо развитым смешанным лесом. К 2016 году площадь этих участков увеличилась до 212,2 га.

В изменении площади участков с травянисто-кустарниковой растительностью установлено чередование двух понижительных трендов с одним повышательным. По данным спутниковой съемки в 1995 году площадь этих участков составляла 9,8 га. Начиная с 1996 года, их площадь сократилась до 6,6 га в 2007 году. Далее, наблюдается постепенное увеличение площади до значения 13,7 га в 2010 году, а с 2011 г. начинается сокращение уровня этого показателя до 11 га в 2016 году.

Структура нарушенных земель в 2018 году, представляющих собой участки без растительного покрова, с растительной и водной экосистемой на территории автомобильных отвалов выглядит следующим образом. Участки со всеми видами растительного покрова (без участков с признаками восстановления растительного покрова) занимают суммарно 318,6 га. Коэффициент самовосстановления растительной экосистемы на поверхности автомобильных отвалов находится на уровне 0,75.

На территории горнопромышленного ландшафта имеются два железнодорожных отвала, на поверхности которых организованы новые отвальные ярусы, отсыпанные с применением автомобильного транспорта. Установле-

но, что площадь нарушенных земель, занимаемых этими отвалами, оставалась в период мониторинга на неизменном уровне 247,4 га. В изменении площади участков без растительного покрова установлен один понижительный тренд. С 1995 г. по 2016 г. площадь этих участков сократилась со 148,2 до 66,9 га.

В изменении площади участков с признаками восстановления растительного покрова установлено чередование двух понижительных трендов с одним повышательным. В период с 1995 г. по 2001 г. площадь участков, на которых определяются признаки восстановления растительного покрова, сокращается в размерах с 19,8 до 16,6 га. Далее, с 2002 г. начинается увеличение этого показателя до 19,1 га в 2007 году. Затем, с 2008 г. площадь этих участков сокращается более чем в десять раз до 1,7 га в 2016 г.

В изменении площади участков с травянистой растительностью установлено чередование двух понижительных трендов с одним повышательным. По данным спутниковой съемки в 1995 г. площадь этих участков составляла 15,1 га. Затем, начиная с 1996 г. произошло сокращение этого показателя до 6,6 га в 2007 году. Далее, с 2008 года площадь этих участков увеличивается до 21 га в 2010 году, а с 2011 года начинается очередное снижение этого показателя до 6,3 га в 2016 году.

В изменении площади участков с молодой порослью смешанного леса выявлено чередование двух понижительных трендов с двумя понижительными. Этот вид растительного покрова в 1995 году занимал площадь 18,7 га. Начиная с 1996 г., площадь этих участков сокращается до 10,7 га в 2001 году, а затем, начиная с 2002 года, происходит увеличение размера площади до 23,2 га в 2007 году. С 2008 г. происходит сокращение этого показателя до 19,5 га, а с 2011 года начинается его увеличение до 31,6 га в 2016 году.

В изменении площади участков с хорошо развитым смешанным лесом выявлен один повышательный тренд. По результатам спутниковой съемки в 1995 году этот вид растительного покрова на территории железнодорожных отвалов, перекрытых автомобильными отвалами, занимал площадь 36 га. С 1996 года начинается систематическое расширение площади участков с хорошо развитым смешанным лесом. К 2016 году площадь этих участков увеличилась до уровня 113,1 га.

В изменении площади участков с травянисто-кустарниковой растительностью установлено чередование двух повышательных трендов с двумя понижительными. По данным спутниковой съемки в 1995 году площадь этих участков составляла 8,6 га. Начиная с 1996 года, их площадь увеличилась до 30 га в 2001 году. Затем, с 2002 года происходит сокращение площади практически в два раза до 18,9 га в 2007 году. Далее, наблюдается резкое увеличение площади до размера 41,9 га в 2010 году, а с 2011 г. начинается снижение уровня этого показателя до 27,7 га в 2016 году.

Структура земель в 2018 году, представляющих собой участки без растительного покрова и с растительной экосистемой на поверхности железнодорожных отвалов, перекрытых автомобильными отвалами, выглядит следующим образом. Участки со всеми видами растительного покрова (без участ-

ков с признаками восстановления растительного покрова) занимают суммарно 179,3 га. Коэффициент самовосстановления растительной экосистемы на поверхности комбинированных отвалов находится на уровне 0,72.

Структура земель, нарушенных в ходе добычи железной руды на Бакальском железорудном месторождении, в виде горнопромышленного ландшафта, представленного восемью карьерными выемками, многочисленными внешними породными отвалами, отсыпанными с применением как железнодорожного, так и автомобильного транспорта, показана на рис. 4.

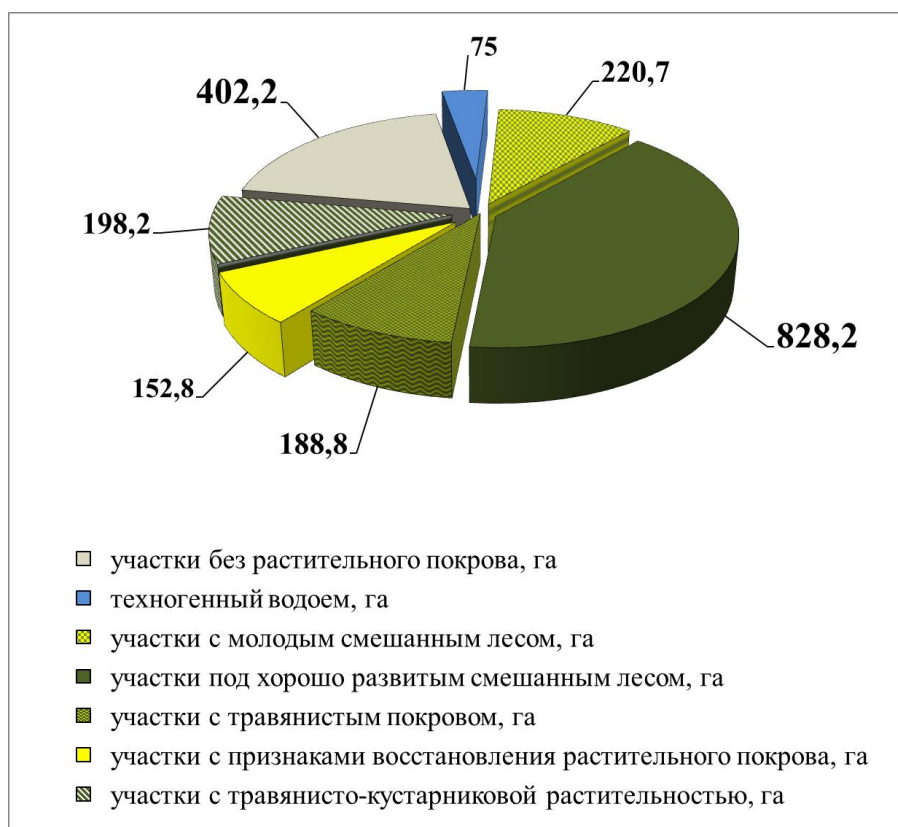


Рис. 4. Структура нарушенных земель и восстановленной экосистемы на территории горнопромышленного ландшафта, сформированного при разработке Бакальского железорудного месторождения в 2018 г.

Общая площадь нарушенных земель под всеми объектами горнопромышленного ландшафта, образованного при разработке Бакальского железорудного месторождения, в 2018 году составила 2065,9 га. Участки со всеми видами растительного покрова, включая участки с признаками восстановления растительного покрова, занимают площадь 1588,7 га. Анализ диаграммы показывает, что на территории нарушенных земель к концу периода мониторинга произошло значительное на уровне 79,8 % восстановление растительного покрова. Также по результатам долговременного мониторинга с использованием объективных средств экологического контроля за состоянием нарушенных земель можно сделать вывод о том, что экологический баланс на этих территориях восстанавливается приемлемыми темпами.

Заключение

Итак, по результатам долговременного мониторинга экологического состояния земель, нарушенных при ведении открытых горных работ на Бакальском железорудном месторождении установлены темпы расширения площади растительной экосистемы на уровне 7,9 га в год. Также установлено, что на породных отвалах при окончании отсыпки вскрыши, через 2-3 года появляются признаки восстановления растительного покрова, а через 5-6 лет на этих же участках сформирован устойчивый травянистый покров. Далее, через 10-12 лет здесь же появляется молодая поросль смешанного леса, переходящая в свою очередь через 16-18 лет в категорию хорошо развитый смешанный лес. Все это говорит об экологически приемлемых темпах трансформации растительной экосистемы при саморасселении представителей аборигенных видов древесно-кустарникового сообщества, находящегося в естественном природном состоянии на землях, граничащих с карьерами и породными отвалами.

Библиографический список

1. Зеньков И.В., Нефедов Б.Н., Юронен Ю.П., Нефедов Н.Б. В.Н. Результаты дистанционного зондирования состояния горных работ и формирования растительной экосистемы на разрезе «Ерковецкий» в Амурской области // Горный журнал. 2017. № 8. С. 78-82.
2. Zenkov I. V., Yuronen YU. P., Nefedov B. N., Zayats V. V. Remote monitoring of ecological state of disturbed lands in the area of Trojanovo open pit coal mine in Bulgaria // Eurasian mining. 2017. Vol. 1. P. 37-40.
3. Чинь Ле Хунг, И.В. Зеньков, Ю.А. Анищенко, М.А. Рагозина, В.А. Федоров. Дистанционные методы в изучении влажности почвы по данным Landsat на территории района Тхась Ха с открытыми горными работами во Вьетнаме / Экология и промышленность России. 2017, Т. 21, С. 42-47.
4. Тимофеева С.С., Луговцова Н.Ю. Анализ экологического состояния горнодобывающей отрасли Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 6, С. 350-361.
5. Ульрих Д.В., Денисов С.Е, Тимофеева С.С. Оценка влияния горно-добывающих и перерабатывающих предприятий на экологическую обстановку в Челябинской области // Горный журнал. 2015. № 5, С. 94-99.
6. Семина И.С., Андроханов В.А. О рекультивации нарушенных земель на разрезах Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 12, С. 307-314.
7. Им С.Т., Харук В.И. Динамика водной массы мерзлотной зоны Средней Сибири по данным гравиметрической съемки спутниками GRACE // Геофизические процессы и биосфера. 2015. Т. 14. № 1. С. 53-69.
8. Naeth M. A., Wilkinson S. R. Establishment of Restoration Trajectories for Upland Tundra Communities on Diamond Mine Wastes in the Canadian Arctic // Restoration Ecology. 2014. Vol. 22(4). P. 534–543.
9. Sena K., Barton C., Hall S., Angel P., Agouridis C., Warner R. Influence of spoil type on afforestation success and natural vegetative recolonization on a surface coal mine in Appalachia, United States // Restoration Ecology. 2015. Vol. 23(2). P. 131–138.
10. Gilland K. E., McCarthy B. C. Microtopography Influences Early Successional Plant Communities on Experimental Coal Surface Mine Land Reclamation // Restoration Ecology. 2014. Vol. 22(2). P. 232–239.

11. 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.
12. Strunk S., Houben B., Krudewig W. Controlling the Rhenish opencast mines during the transition of the energy industry // *World of Mining – Surface & Underground*. 2016. Vol. 68. No. 5. C. 289–300.
13. Abdullah M. M., Feagin R. A., Musawi L., Whisenant S., Popescu S. The use of remote sensing to develop a site history for restoration planning in an arid landscape // *Restoration Ecology*. 2016. Vol. 24. No. 1. P. 91–99.
14. Zweig C. L., Newman S. Using landscape context to map invasive species with medium-resolution satellite imagery // *Restoration Ecology*. 2015. Vol. 23. No. 5. P. 524–530.
15. Borrelle S. B., Buxton R. T., Jones H. P., Towns D. R. A GIS-based decision-making approach for prioritizing seabird management following predator eradication // *Restoration Ecology*. 2015. Vol. 23. No. 5. P. 580–587.
16. Shoo L. P., Scarth P., Schmidt S., Wilson K. A. Reclaiming Degraded Rainforest: A Spatial Evaluation of Gains and Losses in Subtropical Eastern Australia to Inform Future Investment in Restoration // *Restoration Ecology*. 2013. Vol. 21. No. 4. P. 481–489.
17. <https://www.google.com/earth/>.
18. <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
19. <http://mining-enc.ru/>.
20. <http://agrien.ru/reg>.

Ключевые слова: Южный Урал, Бакальское железорудное месторождение, железорудные карьеры, автомобильные и железнодорожные отвалы, дистанционное зондирование Земли, экологический мониторинг, растительные экосистемы.

В настоящее время на территории Среднего и Южного Урала в РФ наблюдается завершение открытых горных работ на многих железорудных месторождениях. Разработка железной руды открытым способом завершена на Магнитогорском, Гороблагодатском, Высокогорском, Бакальском, Туканском месторождениях. Запасы сидеритов на Бакальском месторождении составляют около 1 млрд. т., что является основанием для его включения в группу крупнейших железорудных провинций мира. На последнем этапе разработки Бакальского месторождения (2007–2013 гг.) вскрышные породы на отвалы, а железную руду на обогатительную фабрику транспортировали в автосамосвалах грузоподъемностью 40–55 т. Горное оборудование было скомплектовано следующим образом: на экскавации горной массы задействованы экскаваторы ЭКГ-5А, на бурении взрывных скважин – буровые станки СБШ-250.

По результатам долговременного дистанционного мониторинга экологического состояния земель, нарушенных при ведении открытых горных работ на Бакальском железорудном месторождении, установлены темпы расширения площади растительной экосистемы на уровне 7,9 га в год. Установлено, что на породных отвалах по окончании их отсыпки, через 2-3 года появляются признаки восстановления растительного покрова, а через 5-6 лет на этих же участках сформирован устойчивый травянистый покров. Далее, через 10-12 лет здесь же появляется молодая поросль смешанного леса, переходящая в свою очередь через 16-18 лет в категорию хорошо развитый смешанный лес. Все это говорит об экологически приемлемых темпах восстановления трансформации растительной экосистемы при саморасселении представителей аборигенных видов древесно-кустарникового сообщества, находящегося в естественном природном состоянии на землях, граничащих с карьерами и породными отвалами.

Общая площадь нарушенных земель под всеми объектами горнопромышленного ландшафта, образованного при разработке Бакальского железорудного месторождения, в

2018 году составила 2065,9 га. Участки со всеми видами растительного покрова, включая участки с признаками восстановления растительного покрова, занимают площадь 1588,7 га. На территории нарушенных земель к концу периода мониторинга произошло значительное на уровне 79,8 % восстановление растительного покрова.

