

УДК 630*232.22

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАСАЖДЕНИЙ НА ОТВАЛАХ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ

Р. Т. Мурзакматов, А. С. Шишкин, А. Н. Борисов

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок 50/28*

E-mail: takcator_m@mail.ru, shishikin@ksc.krasn.ru, alnik_borisov@mail.ru

Поступила в редакцию 23.03.2017 г.

Отвалы горных пород угольных разрезов обладают высокими лесорастительными свойствами и экологической емкостью, которые определяются технологией рекультивации и свойствами техногенных почвогрунтов. В исследованиях использовались традиционные лесоводственные методы получения основных критериев оценки биологических показателей древесной растительности: грунтовая всхожесть семян, модельная посадка саженцев, состав и прирост древостоев, строение корней, рубка ухода за подростом, биотопическая классификация. Естественное зарастание отвалов определяется наличием семян, условием их прорастания и последующего роста. Большинство зональных видов деревьев и кустарников способны заселять и произрастать на отвалах угольного разреза. Минерализованность поверхности отвалов без плодородного слоя почвы, рыхлость верхнего горизонта литостратов и низкое содержание питательных веществ (азота) дают преимущества в зарастании и последующем формировании насаждений березы, сосны и облепихи. Лесозаращивание – наиболее дешевый и эффективный способ биологической рекультивации. Анализ искусственного возобновления показывает возможность целевого плантационного выращивания различных древесных пород. Использование широкого спектра древесно-кустарниковых видов позволяет создать биологически разнообразные интразональные техногенные экосистемы с высокой рекреационной и хозяйственной продуктивностью. Ограничивают зарастание отвалов лесом весенние пожары, которые распространяются по травянистой ветоши. Наблюдается двухлетняя погодная цикличность снижения прироста, обусловленная провокационным весенним потеплением. Существенное значение имеет зоогенный фактор лесообразовательного процесса, особенно зоохорное распространение ягодных растений. По результатам анализа лесообразования на отвалах разработана ячеисто-бугристая технология горной рекультивации, позволяющая значительно повысить потенциал облесения отвалов, их биологическое посттехногенное разнообразие и продуктивность.

Ключевые слова: *естественное и искусственное лесозаращивание, угольный разрез, отвалы горных пород, постоянные пробные площади, ход роста, строение корней, продуктивность.*

DOI: 10.15372/SJFS20180104

ВВЕДЕНИЕ

Анализ особенностей формирования насаждений на отвалах и возможности их интенсивного использования, включая лесовыращивание – актуальная задача современности, поскольку территории, нарушенные горными работами, продолжают увеличиваться и представляют экологическую опасность для окружающего ландшафта. Карьерная разработка недр и горные отвалы максимально трансформируют наземные экосистемы с изменением рельефа, гидрологического режима, уничтожением растительности

и животного населения. В настоящее время отвалы горных пород воспринимаются как неизбежное зло технического прогресса, а рекультивация заканчивается биологическим этапом, не предусматривающим интенсивное посттехногенное использование нарушенных территорий.

Понятие лесовозобновления (восстановления) не соответствует лесообразовательному процессу, происходящему на отвалах. По определению В. Н. Седых (2009), «...под возобновлением леса следует понимать процесс возникновения леса естественным и искусственным путем на территориях, бывших под лесом и под

пологом древостоев...». На отвалах разрушены все лесообразовательные функции исходного ландшафта. Более того, на отвалах появляется древесная растительность в условиях сухой степи (Чаданский угольный разрез в Республике Тыва), где климатические условия не предполагают ее развитие. В связи с этим для участков с формированием естественных насаждений на отвалах горных пород целесообразно, по нашему мнению, применять термин «лесозаращение», а искусственных – «лесозаращивание». Термин «заращение» широко применяется при характеристике травянистой растительности отвалов, поэтому правомерно ввести термин «лесозаращение» для участков техногенной поверхности, где ранее не произрастала древесная растительность.

На старых угольных разрезах (Бородинский и Назаровский в Красноярском крае) площадь отвалов превышает 60 % от всей нарушенной территории (это несколько тысяч гектаров), при этом постоянно растет, хотя отвалы горных пород могут обладать высокими лесорастительными свойствами и экологической емкостью, которые определяются зональными условиями и особенностями технологии формирования техногенных поверхностей. Одно из основных направлений горной рекультивации – создание благоприятных лесорастительных условий на отработанных поверхностях карьеров (Баранник, 1988; Седых, 2007; Шишкин и др., 2014; Кандрашин и др., 2016). Лесная рекультивация – наиболее дешевый и, как показали исследования, эффективный способ биологического восстановления техногенных ландшафтов (Мурзакматов, Шишкин, 2009; Шорохов, 2013; Уфимцев, 2013, 2016, 2017; Трефилова и др., 2016; Шишкин и др., 2017). В то же время продолжает оставаться дискуссионным вопрос о целесообразности и, самое главное, целевом направлении лесной рекультивации. Она может иметь биологическую и хозяйственную направленность, а также обладать высоким рекреационным потенциалом. В зависимости от опыта исследователей и специфики отвалов существуют различные мнения по поводу формирования техногенных экосистем и насаждений (Курачев, Андроханов, 2002; Андроханов, Курачев, 2010; Куприянов и др., 2010; Андроханов, Берлякова, 2016; Куприянов, Манаков, 2016; Ивакина, Осипов, 2016).

В зарубежной литературе основное внимание уделяется скорости формирования биоценозов на отвалах, их функциональным особенностям

и сходству формируемых посттехногенных экосистем с естественными климаксовыми сообществами (Pecharová et al., 2011; Prach et al., 2011; Wilson-Kokes, Skousen, 2014). Большинство исследователей приходят к мнению, что к тридцати годам на отвалах формируется техногенный вариант естественных формаций со свойствами им сукцессиями (Piekarska-Stachowiak et al., 2014; Avera et al., 2015).

Цель данной работы – анализ условий естественного зарастания и искусственного зарастания древесной растительностью горных отвалов Бородинского угольного разреза для разработки предложений по лесной рекультивации в лесостепной зоне.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Лесоводственные исследования на Бородинском бурогольном разрезе проводятся с 2007 г. (рис. 1).

Проведена экологическая классификация отвалов и дана характеристика биологической активности почв (Богородская и др., 2014; Трефилова, Оскорбин, 2014; Trefilova, Oskorbin, 2014; Шишкин, 2016). По возрасту и сингенетическому развитию подобраны три группы отвалов, отличающиеся стадийным состоянием растительности (пионерные, открытые, сложные) и объединенные в молодые, средневозрастные и старые. По технологии рекультивации отвалов и направлению на них первичных сукцессий выделяются три варианта.

Первый вариант – нерекультивированные отвалы с холмистым рельефом и мозаичной структурой степной и лесной растительности (рис. 2, А). При этом рельеф (крутизна, экспозиция, положение на склоне) определяет разнообразие механического состава грунтов и их увлажненность, соответственно формируется и разнообразие растительности в пределах контура с одинаковой технологией рекультивации (Кандрашин и др., 2016; Куприянов, Манаков, 2016). Естественное сочетание степных, кустарниковых и лесных участков в контрастных условиях северной и южной экспозиций рельефа, получившее название «Перистепной ВПК», широко представлено в горах юга Сибири (Смагин и др., 1980).

Второй вариант – выровненные отвалы потенциально плодородных грунтов вскрышных горных пород, литостраты – эмбриоземы (Курачев, Андроханов, 2002; Андроханов, Курачев, 2010), пригодные для лесозаращивания

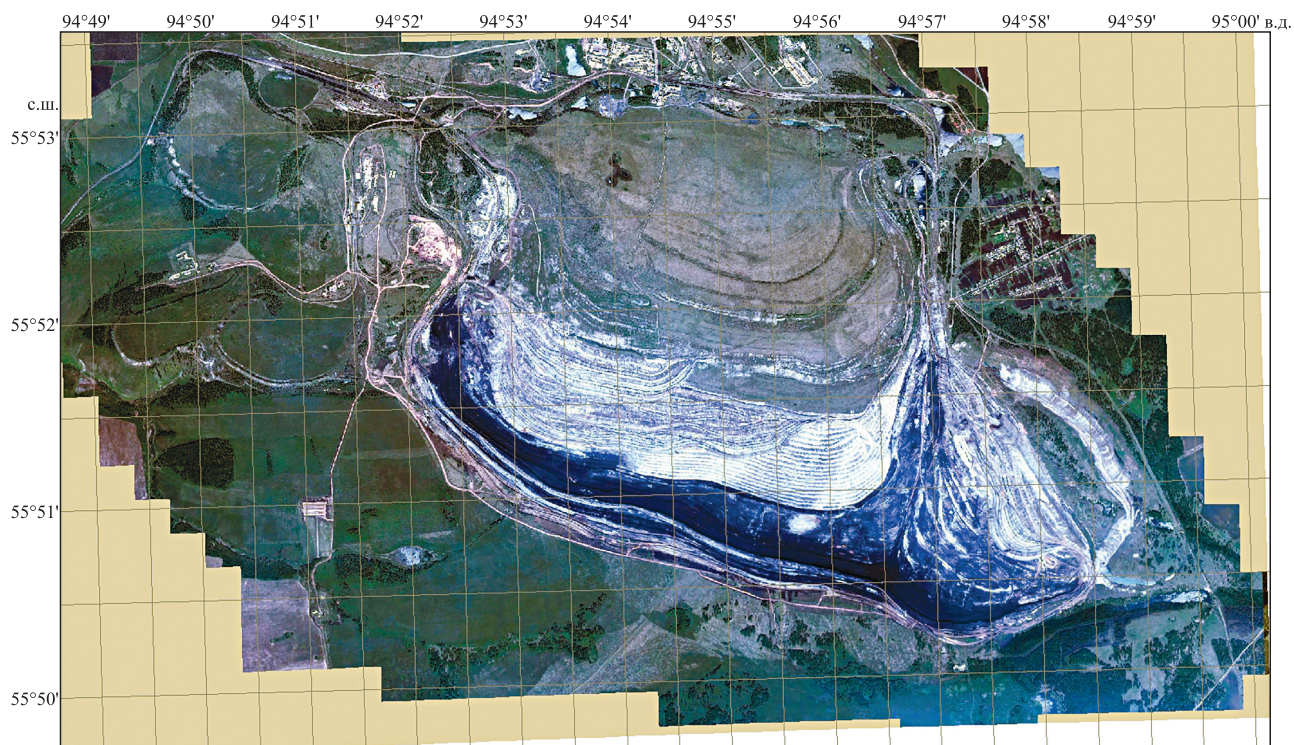


Рис. 1. Спектрозональный спутниковый снимок (RGB True color – истинные цвета) Бородинского бурогоугольного разреза (источник: SAS. Планета. Релиз SAS. Планета 160707 (2016.07.07)).



Рис. 2. Варианты рекультивации отвалов: *А* – нерекультивированные; *Б* – под лесозарращивание; *В* – для сельскохозяйственного использования.

(рис. 2, Б). Природным аналогом служат сосняки лишайниковые на сухих песчаных почвах.

Третий – рекультивированные отвалы с нанесением на литостраты плодородного слоя почвы (ПСП) под сельскохозяйственное использование, реплантоземы – техноземы (Курачев, Андроханов, 2002; Андроханов, Курачев, 2010) (рис. 2, В).

В зависимости от суммы осадков моделируются условия для развития степной растительности. Наблюдения на 10 постоянных пробных площадях разновозрастных отвалов трех вариантов рекультивации в течение 9 лет позволили проследить сукцессионные изменения и провести полную реконструкцию лесообразовательного процесса на протяжении 35 лет.

Количественная оценка отвалов Бородинского разреза проведена по материалам дешифрирования космических снимков высокого разрешения (табл. 1).

В настоящее время лесопокрытая площадь отвалов составляет 40 %, что в 2 раза выше зональной нормы Канско-Рыбинской лесостепи. При этом в 10 раз по сравнению со средневозрастными и старыми возрастает доля молодых отвалов, потенциально ориентированных на лесозарращивание (без ПСП).

Анализ лесорастительных условий отвалов по состоянию насаждений проводился на участках с естественным зарастанием древесными породами и лесными культурами. Лесоводственное описание естественных древостоев мето-

дом круговых площадок выполнено на отвалах трех типов: террасированном склоне без ПСП (1979 г. создания отвала); нерекультивированном отвале с конусовидным рельефом (1989 г.); с бульдозерным планированием горной породы и оставлением гребней высотой 1–1.5 м (1997 г.) (Мурзакматов, Шишкин, 2009).

Лесные культуры, преимущественно чистые сосновые, реже еловые и смешанные сосново-еловые, в процессе биологического этапа рекультивации создавались лесопосадочными машинами по схеме 5 × 1 м, густотой 3–3.5 тыс./га. Последующий уход за посадками не проводился. Основные площади культур заложены в период 2004–2007 гг. на трех типах лесокультурных площадей: выровненной поверхности отвала вскрышных пород, откосах отвалов различной крутизны и каменистых участках рекультивированного железнодорожного полотна. Постоянные наблюдения проводили на первом типе отвалов в лесных культурах 2005 и 2006 гг. закладки. Для оценки условий произрастания лесных культур использовали метод пространственной оценки необходимых ресурсов для жизнедеятельности организмов (Борисов и др., 2014). Данный метод заключается в картировании ствола и периферии кроны с оценкой изменения прироста, отражающего степень конкурентных отношений за свет и почвенное обеспечение влагой и питательными веществами.

Проводили эксперименты с посевом семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. и лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb., посадкой культур сосны сибирской кедровой *Pinus sibirica* Du Tour и верховой рубкой по уходу за подростом сосны обыкновенной, сформировавшимся под пологом лиственных пород. Оценка хода роста лесных культур и подростка после верховой рубки выполнена на маркированных деревьях традиционным методом (Лесные культуры..., 2008). Для учета возобновления и подроста сосны обыкновенной заложили 37 круговых площадок диаметром 2.52 м, на которых учтено 311 экз. сосны. Особенности строения корневой системы и расположения корневой шейки изучали при их раскопке у сосны обыкновенной, березы бородавчатой *Betula verrucosa* Ehrh. и осины обыкновенной *Populus tremula* L. естественного происхождения и в сосновых культурах по общепринятой методике (Калинин, 1983). Сделан анализ влияния изменчивости сезонных погодных условий (высоты снежного покрова, начала и продолжительности снеготая-

Таблица 1. Возрастная структура отвалов

Тип отвалов	Площадь	
	га	%
Старые:		
нерекультивированные незалесенные	206.1	8.2
нерекультивированные залесенные	210.8	8.4
с ПСП	900.1	35.7
незалесенные откосы	126.8	5.0
залесенные откосы	117.4	4.7
отвал ПСП	36.5	1.4
Средневозрастные:		
с ПСП	73.2	2.9
без ПСП с лесозарращиванием	164.5	6.5
Молодые:		
с ПСП	55.3	2.2
без ПСП с лесозарращиванием	503.9	20.0
незалесенные откосы	126.3	5.0
Итого	2520.9	100.0

нения, суммы годовых осадков и сезонных температур весны и лета, ГТК – гидротермического коэффициента Селянинова) на прирост древесных растений.

Таким образом, использовались основные критерии оценки биологических показателей древесной растительности (грунтовая всхожесть семян, модельная посадка саженцев, состав, прирост, строение корней, рубка ухода за подростом, биотопическая классификация), позволяющие оценить условия формирования лесной растительности отвалов угольного разреза.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На отвалах с ПСП, рекультивированных под сельскохозяйственное использование, наблюдается одиночное произрастание сосны, березы и ягодных кустарников зоохорного происхождения. Лесовозобновлению препятствуют мощное развитие травянистой растительности, высокая плотность потребителей семян и периодические весенние пожары. Отсутствие насаждений не позволяет оценить лесорастительный потенциал таких отвалов, но в лесостепной зоне отмечено успешное зарастание заброшенных полей сосной и березой с высокой продуктивностью, что говорит о возможности интенсивного лесовыращивания на отвалах с ПСП. В дальнейшем анализируются только отвалы без нанесения плодородного слоя, успешно заросшие древесной растительностью или лесными культурами.

Лесовозобновление начинается с наличия семян древесных пород и их прорастания в техногенном грунте. Грунтовая всхожесть посевов семян под пологом естественного листовенного возобновления на выровненном старом и свежем отвалах оказалась в 3 раза ниже, чем в лесном питомнике. Сравнение ее с высокой гу-

стотой естественного возобновления позволяет предположить чувствительность появления всходов к срокам посева семян, поэтому следует отдавать предпочтение посадке саженцев на отвалах. Как показали эксперименты с выращиванием модельных овощей (картофеля, моркови, свеклы), в первой половине лета при установлении засушливой погоды образуется корка, которую сложно преодолеть всходам. Кроме того, на глинистой поверхности отвалов длительное время наблюдается поверхностная эрозия, препятствующая укоренению всходов.

Естественное возобновление на отвалах.

Возраст деревьев верхнего полога на спланированном отвале различается незначительно, что свидетельствует о благоприятных стартовых условиях формирования древесной растительности сразу после отсыпки и выравнивания горной породы (табл. 2).

Как правило, пионерные породы на отвалах – береза, редко сосна, затем осина, и под пологом идет возобновление сосны уже из семян первого поколения. Такая динамика породного состава связана с преобладанием березовых насаждений, окружающих отвалы, и с большой летучестью семян березы. На этом фоне сосна демонстрирует высокий потенциал зарастания горной породы. Осина – наиболее требовательная к почве древесная порода, однако она активно заселяется через 10 лет после отсыпки отвалов, что указывает на их высокое плодородие. В третьем классе возраста запас техногенного листовенного древостоя достигает 80 м³/га, что соответствует III классу бонитета лесорастительных условий.

Следует отметить, что в техногенных листовенных насаждениях на литостратах идет быстрый процесс почвообразования и уже через 30 лет образуется собственный слой гумуса толщиной 2–3 см (Гродницкая и др., 2010;

Таблица 2. Лесоводственная характеристика естественных насаждений различных отвалов, 2007 г.

Тип леса, отвал	Состав	Возраст, лет	Полнота	Диаметр, см	Высота, м	Запас, м ³ /га
Березняк хвощево-разнотравный, нерекультивированный	8Б2С + Ос	20	0.6	8	14	78
Лиственный разнотравный, спланированный	5Б5Ос	25	1.0	13	10	80
Березняк разнотравный, спланированный	10Б + С	20	0.7	8	7	35
Осинник мелкотравный, спланированный	7Ос3Б	15	1.0	8	7	60
Березняк разнотравный, гребнистый	6Б3Ос1С	14	1.0	3	4	40
Березняк крупнотравный (контроль)	10Б	47	0.6	26	15	90

Grodnitskaya et al., 2010). Листовой опад березы и осины формирует благоприятный (влажность, питание) напочвенный покров для развития педобионтов (Богородская и др., 2014).

Успешность лесообразовательного процесса определяется наличием жизнеспособного подроста и возможности насаждений формировать сложную устойчивую структуру фитоценоза. При естественном зарастании под пологом первого поколения формируется разновозрастный подрост березы и осины высотой до 4 м, сосны – 0.5–2 м. Вторичный подрост сосны из семян первого поколения начинает формироваться спустя 25 лет после отсыпки отвала. Средние таксационные показатели подроста составляют: возраст – 4.7 лет, высота – 0.63 м, диаметр на уровне корневой шейки – 1.1 см, густота – 10.4 тыс. шт./га. Такое количество подроста в 3 раза превосходит требования по густоте для лесных культур. Высокая сомкнутость верхнего яруса приводит к угнетению напочвенного покрова и снижает жизнеспособность подроста сосны. На 32-летнем отвале сформировался березняк мертвопокровный с пятнами осочки, что соответствует естественному развитию средневозрастных сомкнутых насаждений в лесной зоне. При увеличении возраста насаждений и высокой сомкнутости на отвалах в результате естественного изреживания наблюдается массовый отпад подлесочных пород (ивы) и подроста осины. Несмотря на сомкнутость древесного полога, анализ хода роста подроста сосны показывает его высокую устойчивость и сохранение темпов роста в возрасте 12 лет (рис. 3).

Уход за сосной (верховая рубка лиственных) позволяет сформировать продуктивные сосняки, аналогичные зональным сосновым борам, с минимальными затратами. После осветления прирост деревьев сосны по высоте увеличился в 4 раза и в среднем составил 40 см в год (см. рис. 3).

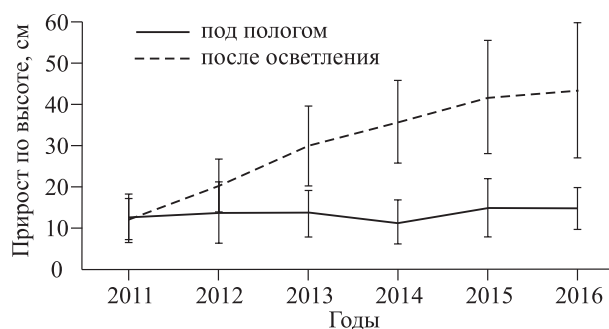


Рис. 3. Динамика прироста деревьев сосны по высоте под пологом и после осветления.

Высокой продуктивностью отличаются древостои нерекультивированных отвалов с конусовидным рельефом. Вариант горной рекультивации с оставлением гребней высотой 1–1.5 м оказался наиболее приемлемым для естественного зарастания деревьями (см. табл. 2).

Средний ежегодный прирост сосны в высоту за 14 лет составляет 27 см, березы – 38.3, осины – 28.6 см. По анализу хода роста на отвале десяти модельных деревьев сосны, березы, осины и ивы первыми появились лиственные породы и только через 3–4 года – сосна.

Среди кустарников наиболее активно отвалы заселяет облепиха, чему способствуют первоначальное введение этого вида в биологическую рекультивацию и последующее расселение ее синантропными птицами, массово обитающими около разреза. Кроме того, поверхностный рыхлый слой литостратов способствует произрастанию облепихи. Занос птицами семян других ягодных кустарников (яблони сибирской, смородины черной и красной, ирги, малины, черемухи и др.) происходит с соседних садовых участков. Эти виды не образуют сплошных зарослей, как облепиха, но демонстрируют высокий потенциал пригодности отвалов для формирования ягодных плантаций, особенно на отвалах с ПСП.

Структура скелетных и питающих корней, а также их размещение характеризуют почвогрунтовые лесорастительные условия (Красильников, 1970). Формы развития корневой системы определяются плотностью почвогрунта, препятствующей проникновению корней, его обводненностью, воздушным режимом в корнеобитаемом слое и наличием питательных веществ. Для техногенных отвалов на первом этапе заселения ведущее значение имеют усадка горной породы, изменение объема поверхностного слоя и горизонтальная подвижность литостратов. В результате этих процессов затрудняется укоренение проростков семян, происходит обрыв мелких и «втягивание» крупных корней и стволика посаженных деревьев (рис. 4, А).

На отвале 1979 г. проведены раскопки корней в разнотравном разреженном сосняке и в подросте сосны под пологом лиственных пород. В первом варианте сосна имеет четко выраженный стержневой якорный корень, характерный для этой породы. Питающие корни расположены в поверхностном слое литостратов. В возрасте 8–11 лет сосна средней высоты 1.7 м имела стержневой корень длиной 30 см и боковые корни 40–50 см, что соответствует соотношению 6 : 1 : 2. Боковые корни расположены не-

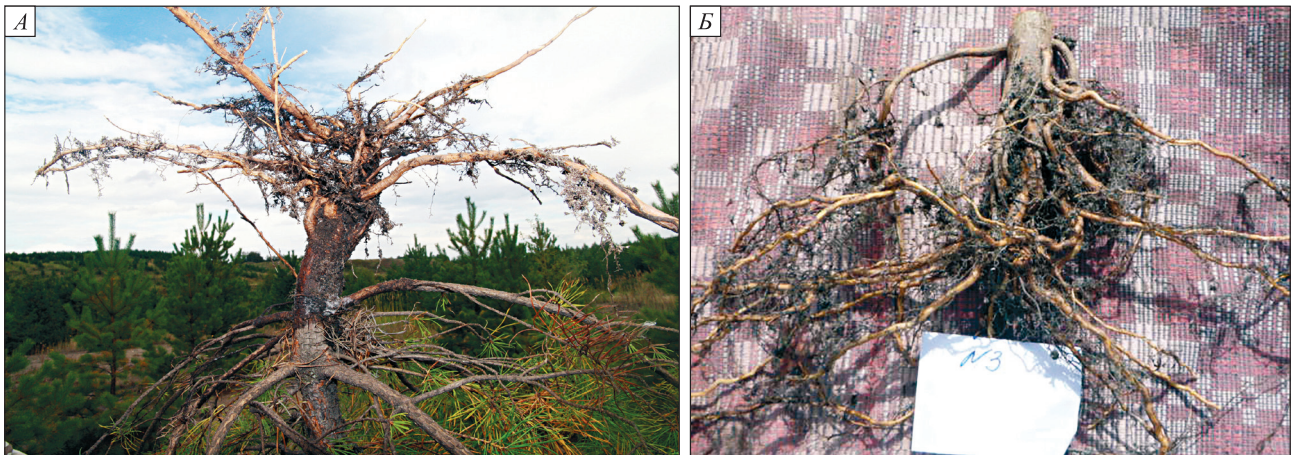


Рис. 4. Строение корневой системы сосны при искусственном (А) и естественном (Б) возобновлении.

сколькими ярусами по длине стержневого корня, указывая на изменение физических свойств верхнего горизонта литостратов с возрастом отвала (рис. 4, Б).

Для подроста сосны характерно резкое увеличение протяженности боковых корней в соотношении 8 : 1 : 28, что свидетельствует о напряженности корневого питания растений. Соотношение стволика и корней березы с редко размещенными на скелетных корнях сосущими корешками отличается большей пропорциональностью – 3 : 1 : 3. Корневая система осины на 3-летнем отвале также не имеет стержневого корня, но в отличие от березы ее мочковатые сосущие корешки расположены в основании стволика. Как корнеотпрысковая порода осина имеет длинные поверхностные боковые корни при соотношении 7 : 1 : 10.

Таким образом, естественное зарастание отвалов определяется наличием семян, условиями их прорастания и последующего роста. Все аборигенные виды деревьев и кустарников способны заселяться и произрастать на отвалах Бородинского бурогольного разреза. В связи с минерализованностью поверхности отвалов без ПСП, рыхлостью верхнего горизонта литостратов и низким содержанием питательных веществ (азота) преимущества в зарастании и последующем формировании насаждений получают береза, сосна и облепиха.

Искусственное возобновление. Лесохозяйственная рекультивация проводилась механизированной посадкой саженцев лесных культур в борозды. Худшее состояние саженцев отмечено в лесорастительных условиях южных откосов отвалов с проходом лесопосадочной машины вдоль склона. В процессе развития линейной эрозии по канавам, образуемым сошником ма-

шины и колесей трактора, происходит обнажение корней саженцев сосны, что приводит к их гибели и вымыванию, о чем свидетельствует их отсутствие (60 %) в посадочных местах. Плоскостная эрозия и засушливые условия южных откосов препятствуют развитию травянистой растительности, способной закрепить верхний горизонт грунта. В результате культуры на склонах имеют плохую приживаемость (38–40 %) и прирост (10–15 см). Эти показатели еще ниже в посадках 2006 г. на каменистом субстрате спланированного железнодорожного полотна, где доля погибших саженцев на второй год составила 85 % (рис. 5).

Лесные культуры на склоне восточной экспозиции с каменистым субстратом в первый год имели приживаемость 54 %, но через год в результате вымывания корневой системы по бороздам доля погибших возросла до 70 %.

Лучшие лесные культуры сосны созданы в 2007 г. на выровненном отвале вскрышных пород. Они отличаются хорошей приживаемостью (90 %) и высокими темпами увеличения годового прироста, который за последние 9 лет увеличился почти в 3 раза и в 2016 г. составил 77 см (рис. 6).

Наблюдаемое снижение прироста культур сосны в 2011 и 2014 гг., а также подроста (см. рис. 3) является следствием сезонных колебаний погоды. Анализ семи использованных факторов погодных условий выявил зависимость продуктивности сосны от раннего схода снега (на 2–3 недели) и высокой температуры весеннего периода (в 1.3–2 раза). В сочетании эти факторы служат предпосылками весеннего иссушения хвои, негативные последствия которого не компенсируются дождливым летом. Так, в 2011 г. с низким приростом количество осадков

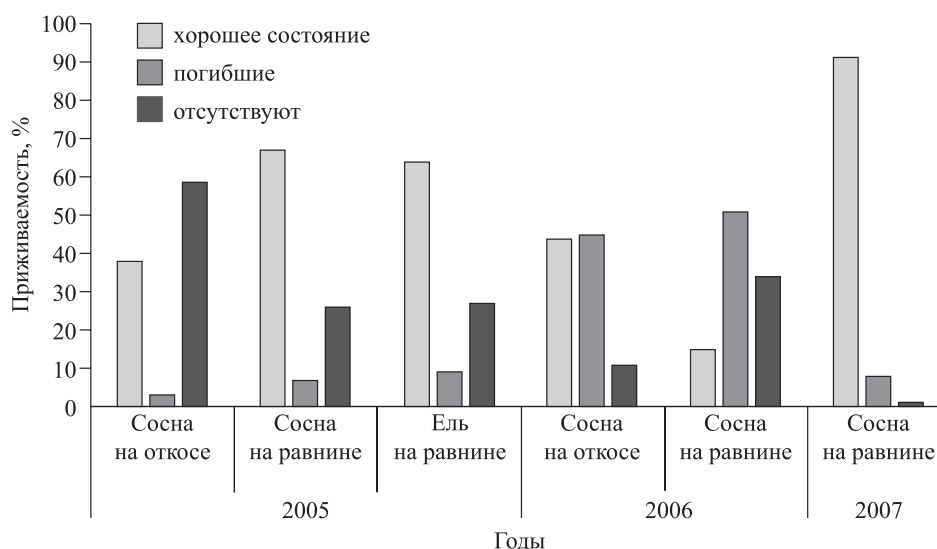


Рис. 5. Состояние и приживаемость лесных культур по породам, лесорастительным условиям и годам посадки.

в первой половине вегетации (май–июль) было в 2 раза выше, а температура – на 30 % ниже среднелетних при самом низком ГТК (0.11) за период роста лесных культур. Во второй половине осадков было меньше на 25 %, а температура была выше нормы на 40 % (ГТК 0.09). Следует отметить, что с 2008 г. весенние провокации вегетации и иссушение хвои повторяются через 2 года.

При перпендикулярном к преобладающим ветрам (восток–запад) расположении рядов посадок наблюдается искривление стволиков лесных культур в возрасте 5–7 лет, вызванное низкой плотностью грунта вокруг посадочного места и, следовательно, слабой устойчивостью деревьев в сочетании с высокой парусностью крон. Ранее нами наблюдался вывал сосны на отвалах гидромеханической добычи золота, где корневая система в рыхлом песчано-гравийном субстрате не могла удерживать 15–20-летние деревья.

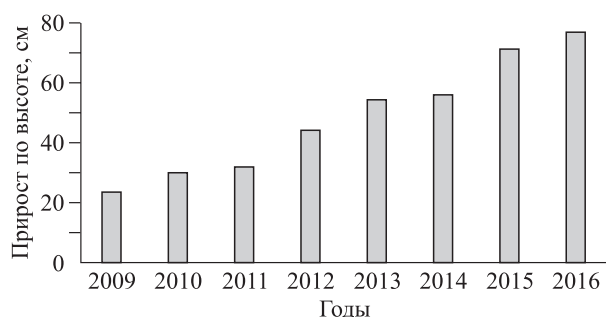


Рис. 6. Динамика прироста по высоте лесных культур сосны 2007 г., созданных в оптимальных условиях.

Анализ различий прироста саженцев сосны показывает процесс селекционной адаптации фенотипических форм посадочного материала. В первые 2 года после посадки связь прироста с высотой саженцев отсутствует (рис. 7, 2009 г.), что обусловлено проявлением эхо-эффекта выращивания саженцев в питомнике и их происхождением. В течение пяти лет происходит процесс адаптации саженцев к условиям произрастания на горной породе (см. рис. 7, 2012 г.), и через восемь лет уже наблюдается тесная связь прироста с высотой (см. рис. 7, 2015 г.). Наблюдается дифференциация деревьев на группы лидеров, хорошего, среднего прироста и угнетенного состояния. Это соответствует естественной структуре фенотипического разнообразия популяции, произрастающей на выравненном агрофоне, и показывает эффективность использования селекционного материала при интенсивном лесовыращивании на отвалах. Реализация фенотипической структуры популяции возможна при низкой конкуренции саженцев. В культурах сосны оценивали пространственное распределение светового и почвенного ресурсов между особями, которые определяются способом и густотой посадки.

Между приростами в высоту и площадью доминирования крон достоверной связи не выявлено, что говорит об отсутствии действия лимитирующих факторов (почвенных, освещенности). Исключение составляют единичные особи, которые из-за нарушения технологии посадки оказались в неблагоприятных условиях или по другим причинам отстают в росте. При широ-

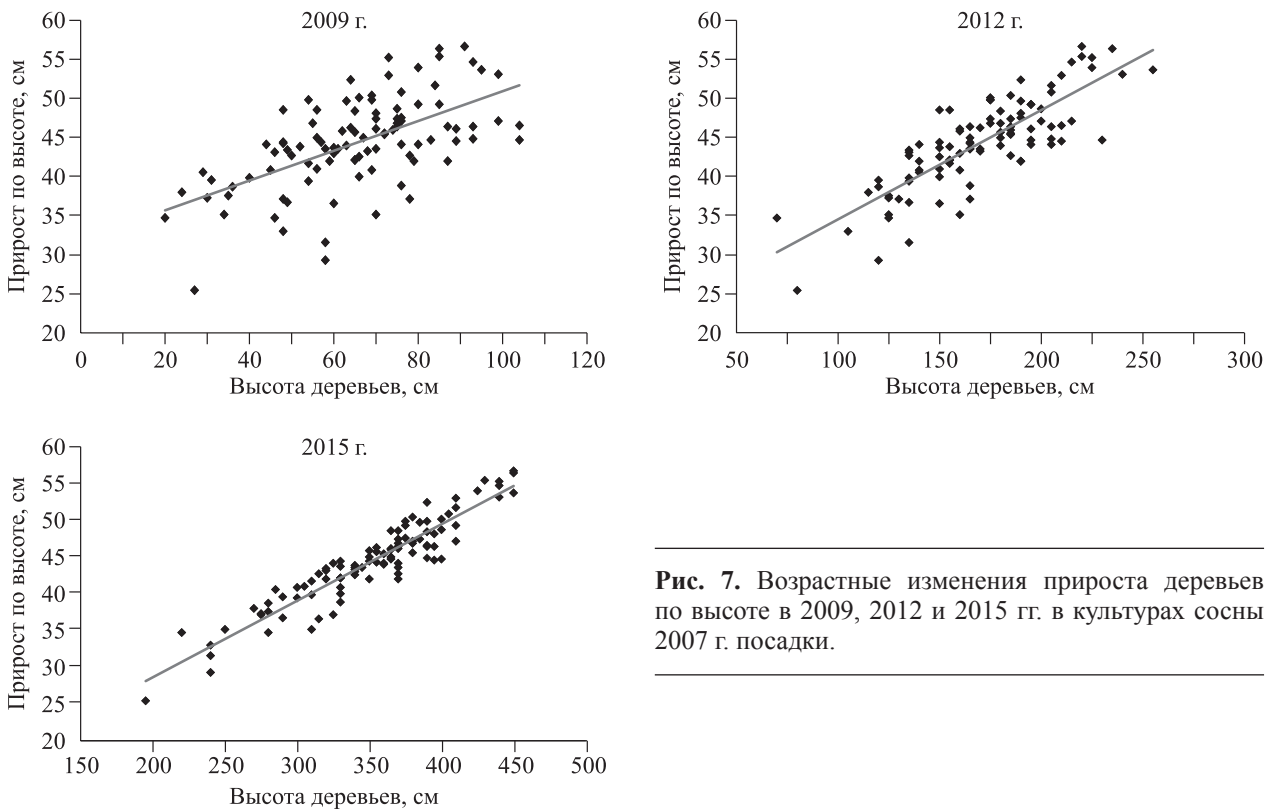


Рис. 7. Возрастные изменения прироста деревьев по высоте в 2009, 2012 и 2015 гг. в культурах сосны 2007 г. посадки.

ких междурядях боковая освещенность достаточная, чтобы формировать хорошо развитые кроны, обеспечивающие эффективный фотосинтез и увеличение прироста.

Посадка культур привлекла птичье население и усилила зоохорное распространение облепихи, что приводит к зарастанию междурядного пространства, снижению боковой освещенности и повышает горимость сосновых культур.

Следует отметить, что, несмотря на низкие затраты на горнотехническую подготовку отвалов под лесозаращивание и создание лесных культур, последующий уход за ними необходим в зависимости от направления использования.

Корневая система сосны в культурах первые 2–3 года имеет мочковатую форму, связанную с рыхлостью грунта вдоль посадочной борозды и низкими лесорастительными свойствами окружающего грунта. В последующие годы активно развивается микоризообразование, что способствует повышению продуктивности лесных культур. На третий год на лесокультурной площади с сосной литостраты были пронизаны мицелиями грибов. На следующий год наблюдался первый слой массового урожая плодовых тел масленка позднего в июне, что не характерно для этого вида, второй – в сентябре. Урожайность маслят достигала 1.5 т/га, что в 50 раз больше, чем в естественных сосновых молод-

няках прилегающих территорий (Ратова, 2014). Причем плодовые тела маслят образовывались «гнездами», что также не характерно для этого вида, и они не были повреждены грибными энтомофагами. Следовательно, можно констатировать, что массовое размножение симбиотических грибов на отвалах без ПСП способствует адаптации и повышению продуктивности сосны.

Через 6 лет после посадки соотношение протяженности ствола, стержневого и боковых корней приближается к строению корней сосны естественного возобновления с доминированием поверхностного горизонта корней в соотношении 8 : 1 : 7. При этом отставшие в росте саженцы имеют корни в верхнем слое почвы длиной 95 см, средние по размеру – 235 см, лидеры – 320 см. В 8-летнем возрасте у лесных культур еще не наблюдается перекрытия поверхностных корней и поэтому отсутствует конкуренция за почвенные ресурсы, но плодовые тела симбиотических грибов встречаются на всем пространстве междурядий.

Смешанные посадки сосны и ели, произведенные в 2005 г., показали хорошую приживаемость и рост обеих пород, но на повышенных элементах микрорельефа отмечался низкий прирост ели (в 3 раза), что свидетельствует о дефиците влаги на отвалах. Разнообразие ле-

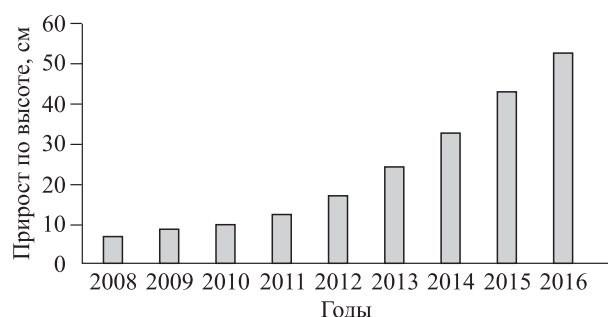


Рис. 8. Динамика прироста по высоте лесных культур ели 2007 г. посадки.

сорастительных условий поверхности отвалов определяет необходимость куртинного распределения посадок одной породы в соответствии с их экологическими требованиями. Лесные культуры ели, посаженные в понижениях и на выровненных поверхностях, не уступают по приживаемости сосне, что свидетельствует об универсальности техногенных почвогрунтов относительно экологических требований древесных пород (рис. 8). Отличие культур ели заключается в большем, чем сосны, адаптационном периоде (7 лет) к лесорастительным условиям отвалов. Через 8 лет прирост ели увеличился почти в 2 раза (40–50 см) и на 1/3 уступал сосне. Для повышения рекреационного потенциала и биологического разнообразия лесных участков техногенных территорий на 14-летнем отвале проведен эксперимент по ручной посадке кедра под полог лиственного естественного возобновления (250 шт.) и в культурах сосны (100 шт.). По результатам осенней инвентаризации приживаемость саженцев первого года роста составила 95 %. В течение трех лет прирост кедра устойчиво увеличивался, что позволяет сделать предварительный вывод о возможности его посадки на отвалах.

Таким образом, анализ искусственного возобновления на отвалах без нанесения плодородного слоя показывает высокую эффективность лесной рекультивации и возможность целевого плантационного выращивания различных древесных пород. При формировании техногенных насаждений ведущее значение имеют свойства и состояние почвогрунтов и второстепенное – зонально-климатические условия. Это позволяет использовать широкий спектр древесно-кустарниковых видов, создавать видовое разнообразие интразональных техногенных экосистем с высокой хозяйственной и рекреационной продуктивностью.

Основным ограничивающим фактором естественного и искусственного формирования на-

саждений являются весенние палы, которые повторяются на отвалах с периодичностью 4–5 лет. Причиной распространения огня служит травянистая ветошь, накапливающаяся на всех вариантах отвалов и увеличивающаяся в результате циклического разрастания донника. Наиболее устойчивы к выгоранию лиственные мертвопокровные насаждения.

Обращает на себя внимание мощный зоогенный фактор формирования древесно-кустарниковой растительности отвалов. Близость городской свалки определяет высокую численность сорок и ворон (более 400 особей). Благодаря разносу птицами семян облепихи образуются локальные кустарниковые заросли вокруг водоемов, по вершинам склонов и в посадках лесных культур. Междурадьа, занятые облепихой, препятствуют разрастанию травы и выполняют роль «подгона» для сосны, но, обладая высокой горимостью, способствуют выгоранию лесных культур (Баранник, 1988).

На основании анализа лесообразовательного процесса на отвалах разработана технология горнотехнической рекультивации, направленная на создание мозаичных почвенно-грунтовых условий, способствующих естественному лесозарастанию и формированию продуктивных и разнообразных насаждений (Шишкин и др., 2014). На способ горнотехнической рекультивации противоэрозионных отвалов высокой экологической емкости получен патент на изобретение (Шишкин и др., 2017). Горнотехническая технология включает отсыпку верхнего слоя отвала потенциально плодородными грунтами и формирование западинно-бугристой ячеистой структуры, обеспечивающей разнообразие механического состава почвогрунтов и режима увлажнения, определяющей успешное естественное зарастание растительностью с различными экологическими требованиями и исключающей поверхностный сток осадков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отвалы горных пород угольных разрезов лесостепной зоны обладают высоким лесорастительным потенциалом, который проявляется в успешном зарастании древесной растительностью нерекультивированных поверхностей и высокими темпами роста лесных культур при зарастании подготовленных отвалов без нанесения ПСП. Анализ хода роста различных древесных пород разного происхождения (сосны, ели, кедра сибирского, березы, осины), строения

их корневой системы и использования рубок ухода позволяет сделать заключение о возможности формирования посттехногенных насаждений высокой экологической, рекреационной и хозяйственной продуктивности.

Используемые в настоящее время селективная отсыпка горной породы и плоскостное выравнивание отвалов под лесозаращивание имеют негативные последствия и большие затраты на рекультивацию. Применяемая технология способствует развитию эрозии, препятствует естественному зарастанию и требует создания лесных культур путем посадки саженцев. Разработанная технология формирования ячеистой бугристой поверхности отвалов значительно повышает потенциал естественного зарастания древесной растительностью с различными экологическими требованиями. Это создает длительные почвогрунтовые условия для образования высокого биологического разнообразия и устойчивости техногенных экосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андроханов В. А., Берлякова О. Г.* Состояние лесных культур и почвенного покрова на рекультивированном отвале угольного разреза // Сиб. лесн. журн. 2016. № 2. С. 22–31.
- Андроханов В. А., Курачев В. Н.* Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
- Баранник Л. П.* Биоэкологические принципы лесной рекультивации. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 89 с.
- Богородская А. В., Трефилова О. В., Шишикин А. С.* Процессы первичного почвообразования в техногенных экосистемах на отвалах Бородинского бурогольного месторождения (восточная часть КАТЭК) // Вестн. Томск. гос. ун-та. Биол. 2014. № 382. С. 214–220.
- Борисов А. Н., Иванов В. В., Екимов Е. В.* Метод оценки пространственного распределения ресурса в экологической нише // Сиб. лесн. журн. 2014. № 5. С. 113–121.
- Гродницкая И. Д., Трефилова О. В., Шишикин А. С.* Агрехимические и микробиологические свойства техногенных почв отвалов (Канско-Рыбинская котловина) // Почвоведение. 2010. № 7. С. 867–878.
- Ивакина Е. В., Осипов С. В.* Естественное и искусственное лесовосстановление в горнопромышленных ландшафтах Дальнего Востока России // Сиб. лесн. журн. 2016. № 2. С. 6–21.
- Калинин М. И.* Формирование корневой системы деревьев. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 152 с.
- Кандрашин Е. Р., Баранник Л. П., Андроханов В. А.* Биологический этап рекультивации, его хозяйственная и экологическая оценка, проблемы освоения // Избранные труды лаборатории рекультивации почв ИПА СО РАН: сб. мат-лов / Ред. В. А. Андроханов. Новосибирск: Изд-во Окарина, 2016. С. 69–102.
- Красильников П. К.* Классификация корневых систем деревьев и кустарников // Лесоведение. 1970. № 3. С. 35–43.
- Куприянов А. Н., Манаков Ю. А.* Закономерности восстановления растительного покрова на отвалах Кузбасса // Сиб. лесн. журн. 2016. № 2. С. 51–58.
- Куприянов А. Н., Манаков Ю. А., Баранник Л. П.* Восстановление экосистем на отвалах горнодобывающей промышленности Кузбасса. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2010. 160 с.
- Курачев В. Н., Андроханов В. А.* Классификация почв техногенных ландшафтов // Сиб. экол. журн. 2002. № 3. С. 255–262.
- Лесные культуры и защитное лесоразведение: учебн. для студ. вузов / Г. И. Редько, М. Д. Мерзленко, Н. А. Бабич, Ю. Н. Данилов; под ред. Г. И. Редько. М.: Изд. центр «Академия», 2008. 400 с.
- Мурзакматов Р. Т., Шишикин А. С.* Лесообразовательный процесс на отвалах Бородинского бурогольного разреза // Лесн. таксация и лесоустройство. 2009. № 1(41). С. 29–32.
- Ратова М. Р.* Экологическая приуроченность съедобных грибов лесных насаждений Красноярской лесостепи: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2014. 20 с.
- Седых В. Н.* Леса юга гор Аппалачи. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2007. 80 с.
- Седых В. Н.* Лесообразовательный процесс. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2009. 164 с.
- Смагин В. Н., Ильинская С. А., Назимова Д. И., Новосельцева И. Ф., Чередникова Ю. С.* Типы лесов гор Южной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 334 с.
- Трефилова О. В., Ефимов Д. Ю., Оскорбин П. А., Мурзакматов Р. Т.* Фитомасса растительных сообществ на отвалах угольных разрезов юга Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2016. № 6. С. 38–48.
- Трефилова О. В., Оскорбин П. А.* Биологическая активность почвогрунтов отвалов угольных разрезов восточной части Канско-Ачинского бассейна // Почвоведение. 2014. № 2. С. 210–216.

- Уфимцев В. И. Современное состояние лесонасаждений и проблемы лесной рекультивации на отвалах угледобычи в Кузбассе // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Биол. Экол. 2013. Т. 6. № 3. С. 63–69.
- Уфимцев В. И. Естественное возобновление и соотношение сосновых насаждений на отвалах угольной промышленности Кузбасса // Сиб. лесн. журн. 2016. № 6. С. 84–93.
- Уфимцев В. И. Опыт и современное состояние лесной рекультивации в Кузбассе // Сиб. лесн. журн. 2017. № 4. С. 12–27.
- Шишикин А. С. Организация исследований техногенных территорий // Сиб. лесн. журн. 2016. № 2. С. 102–119.
- Шишикин А. С., Мурзакматов Р. Т., Ефимов Д. Ю. Формирование экологических отвалов // Эко-системы Центральной Азии: исследования, сохранение, рациональное использование. XII Убсунурск. Междунар. симп., посвящ. 20-летию создания госзаповедника «Убсунурский бассейн», 15–18 июля 2014 г., Улаангом, Монголия: сб. тр. Улаан-Баатар: WWF Монголия, 2014. С. 42–45.
- Шишикин А. С., Ефимов Д. Ю., Мурзакматов Р. Т. Способ горнотехнической рекультивации противозерозионных отвалов высокой экологической емкости. Патент на изобретение № 2615533. Дата гос. рег. в Гос. реестре изобретений РФ 05 апреля 2017 г. // Изобретения, полезные модели. Официальный бюл. Федеральной службы по интелект. собств. (Роспатент). М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2017.
- Шорохов В. П. Стратегические аспекты решения проблем рекультивации нарушенных земель на угольных разрезах ОАО «СУЭК-Красноярск» // Уголь. 2013. № 1(1042). С. 66–68.
- Avera B. N., Strahm B. D., Burger J. A., Zipper C. E. Development of ecosystem structure and function on reforested surface-mined lands in the Central Appalachian Coal Basin of the United States // *New Forests*. 2015. V. 46. Iss. 5–6. P. 683–702.
- Grodnitskaya I. D., Trefilova O. V., Shishikin A. S. Agrochemical and microbiological properties of technogenic soils on dumps in the Kansk-Rybinsk Depression // *Euras. Soil Sci.* 2010. V. 43. Iss. 7. P. 810–821 (Original Russian Text © I. D. Grodnitskaya, O. V. Trefilova, A. S. Shishikin, 2010, publ. in *Pochvovedenie*. 2010. N. 7. P. 867–878.).
- Pecharová E., Broumová-Dušáková H., Novotná K., Svoboda I. Function of vegetation in new landscape units after brown coal mining // *Int. J. Mining, Reclamation & Environ.* 2011. V. 25. Iss. 4. P. 367–376.
- Piekarska-Stachowiak A., Szary M., Ziemer B., Besenyei L., Woźniak G. An application of the plant functional group concept to restoration practice on coal mine spoil heaps // *Ecol. Res.* 2014. V. 29. Iss. 5. P. 843–853.
- Prach K., Řehounková K., Řehounek J., Konvalinková P. Ecological restoration of Central European mining sites: a summary of a multi-site analysis // *Landscape Res.* 2011. V. 36. Iss. 2. P. 263–268.
- Trefilova O. V., Oskorbin P. A. Biological activity of waste dump substrates in the eastern part of the Kansk-Achinsk coal field // *Euras. Soil Sci.* 2014. V. 47. Iss. 2. P. 96–101 (Original Russian text © O. V. Trefilova, P. A. Oskorbin, 2014, publ. in *Pochvovedenie*. 2014. N. 2. P. 210–216).
- Wilson-Kokes L., Skousen J. Nutrient concentrations in tree leaves on brown and gray reclaimed mine soils in West Virginia // *Sci. Total Environ.* 2014. V. 481. P. 418–424.

SPECIFICS OF STAND FORMATION AT COALMINE DUMPS IN FOREST-STEPPE ZONE

R. T. Murzakmatov, A. S. Shishikin, A. N. Borisov

*Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

E-mail: takcator_m@mail.ru, shishikin@ksc.krasn.ru, alnik_borisov@mail.ru

Rock dumps of coalmines have high potential for forest regeneration and environmental capacity, which are dependent on the technology of reclamation and the properties of technogenic soils and grounds. Traditional forestry methods for obtaining the main criteria of biological indicators of woody vegetation were used in the study as follows: ground seed germination, seedling planting technology, composition and increment of tree stands, root structure, care harvesting of undergrowth, biotopic classification. Natural overgrowing of dumps is dependent on the availability of seeds and conditions for their germination and subsequent growth. Most of the zonal tree and shrub species are able to colonize and grow on the coalmine dumps. Mineralization of the dumps surfaces without rich soil stratum, porosity of the upper horizon of lithostratum, and low nutrient content (nitrogen) give benefits in the growth and subsequent formation of birch, pine and sea-buckthorn stands. Afforestation is the cheapest and most effective method of biological reclamation. The analysis of artificial reforestation shows the probability of targeted plantation cultivation of various tree species. The use of a wide range of tree and shrub species make it possible to create biologically diverse intrazonal technogenic ecosystems with high recreational and economic productivity. Wildfires spreading out in spring season on herbaceous rags limit the overgrowth of the dumps by forest vegetation. Two-year cyclical increment decline of trees due to provocative spring warming takes place. The zoogenic factor, especially zoo chores distribution of berry plants, has essential value for forest forming process. By the results of forest formation analysis at rock dumps, alveolate-hilly technology of mine reclamation was developed, which allows to significantly improve dumps' afforestation capacity, their biological posttechnogenic diversity and productivity.

Keywords: *natural and artificial afforestation, coalmine, rock dumps, permanent sample plots, growth trend, root structure, productivity.*

How to cite: *Murzakmatov R. T., Shishikin A. S., Borisov A. N. Specifics of stands formation at coalmine dumps in forest-steppe zone // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2018. N. 1: 37–49 (in Russian with English abstract).*