

EDN: TMGWOL

УДК 504.062.4 (571.513)

Natural Revegetation in 40-Year-Old Spoil Tips of the Chernogorsky Opencast Coal Mine in the Republic of Khakassia

Tatyana G. Lamanova^{a*},
Natalia V. Sheremet^a, Olga S. Safronova^b,
Vladimir M. Doronkin^a and Mikhail S. Sheremet^c

^aCentral Siberian Botanical Garden SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation

^bResearch Institute of Agricultural Problems of Khakassia
Zelenoe, Russian Federation

^cNovosibirsk State Technical University
Novosibirsk, Russian Federation

Received 09.04.2024, received in revised form 10.03.2025, accepted 20.03.2025

Abstract. Opencast coal mining results in vast areas subjected to intense anthropogenic impact. However, the negative effects can be mitigated through the reclamation of vegetation in disturbed areas. This study aims to reveal the patterns of natural revegetation occurring in opencast coal mine spoil tips in the arid zones of the Republic of Khakassia by analysing the structure and productivity of the resulting plant communities. Research into various elements of mesorelief shows that primary successions on these sites are characterised by a herbaceous type of vegetation comprising 43 species of vascular plants, 39 of which are native to the region. Among findings, the endemic species *Thesium repens* was identified, while the endemic species typical of near-Yenisei steppes, common in the flora of Khakassian stony steppes, were absent from the study area. The predominant species on spoil tips include the forbs *Artemisia sieversiana*, *A. tanacetifolia*, *Cirsium setosum*, *Chenopodium aristatum* and others, as well as some species from the Poaceae family (*Calamagrostis epigeios*, *Setaria viridis*, *Hordeum jubatum* and others); their composition varies depending on the slope aspect. Compared to zonal communities, the proportion of mesophytic group species is almost twice as high. Among life forms, the percentage of restorative species is significant (42 %). The vertical structure exhibits considerable herbage height, while most of the above-ground phytomass is concentrated near the soil surface, similar to the pattern observed in

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: tlamanova@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-6691-3732 (Lamanova T.); 0000-0003-2973-3008 (Sheremet N.); 0000-0003-1181-5224 (Safronova O.); 0000-0001-6344-7588 (Doronkin V.); 0000-0003-0879-4282 (Sheremet M.)

zonal communities. The productivity of plant communities in spoil tips approaches or exceeds that on zonal soils, with maximum values observed on the plateau ($2,8 \pm 0,4$ t/ha). The above-ground phytomass predominates over the under-ground phytomass in all parts of the study site. The significance graphs indicate a complication in community structure during the succession, marked by both an increase in species richness and a greater evenness of their abundances. Overall, it can be noted that after 40 years of natural revegetation, the plant communities on spoil tips differ in the composition and structure from zonal communities, suggesting that they remain in an intermediate stage of restoration.

Keywords: vegetation cover, mesorelief, opencast coal mine spoil tips, natural revegetation, primary successions, productivity, Republic of Khakassia.

Acknowledgements. This work was partially supported by the grant of the Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Republic of Khakassia № 18–44–190006 p_a, within the framework of State Assignment to Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences № AAAA-A21–121011290024–5 and within the framework of State Assignment to Research Institute of Agricultural Problems of Khakassia № 122041100185–5.

Citation: Lamanova T. G., Sheremet N. V., Safronova O. S., Doronkin V. M., Sheremet M. S. Natural revegetation in 40-year-old spoil tips of the Chernogorsky opencast coal mine in the Republic of Khakassia. J. Sib. Fed. Univ. Biol., 2025, 18(1), 45–61. EDN: TMGWOL



Естественное восстановление растительного покрова на 40-летних отвалах угольного разреза «Черногорский» в Республике Хакасия

Т. Г. Ламанова^а, Н. В. Шеремет^а,
О. С. Сафронова^б, В. М. Доронькин^а, М. С. Шеремет^б

^аЦентральный сибирский ботанический сад СО РАН

Российская Федерация, Новосибирск

^бНаучно-исследовательский институт аграрных проблем Хакасии

Российская Федерация, с. Зеленое

^сНовосибирский государственный технический университет

Российская Федерация, Новосибирск

Аннотация. При открытом способе добычи угля огромные территории подвергаются жесткому техногенному воздействию. Снизить негативное влияние можно путем восстановления растительности нарушенных земель. С целью оценки закономерностей формирования растительного покрова при самозарастании вскрышных отвалов в аридных районах Республики Хакасия проведен анализ особенностей структуры и продуктивности растительных сообществ. Первичные сукцессии разных элементов мезорельефа отвалов характеризуются травяным типом зарастания. Выявлено 43 вида сосудистых растений, среди

которых 39 аборигенные. Найден эндемик *Thesium repens*. Эндемичные виды Приенисейских степей, широко представленные во флоре каменистых степей Хакасии, на отвалах отсутствуют. Доминируют на отвалах виды разнотравья *Artemisia sieversiana*, *A. tanacetifolia*, *Cirsium setosum*, *Chenopodium aristatum* и др., а также злаков *Calamagrostis epigeios*, *Setaria viridis*, *Hordeum jubatum* и др.; состав доминирующих видов зависит от экспозиции склона. По сравнению с зональными сообществами процент видов мезофитной группы выше почти вдвое. Среди жизненных форм велика доля видов рестативного типа (42 %). Вертикальная структура характеризуется значительной высотой травостоя. Распределение надземной биомассы на отвалах, как и в зональных сообществах, описывается приземным типом. Продуктивность растительных сообществ близка или превышает показатели зональных фитоценозов, ее значения максимальны на плато ($2,8 \pm 0,4$ т/га). Надземная биомасса на всех участках профиля преобладает над подземной. Анализ кривых значимости видов показал, что в ходе сукцессии происходит усложнение структуры, связанное с увеличением числа видов и выравниваемостью их участия. В целом можно отметить, что после 40 лет самозарастания отвалов растительные сообщества отличаются по составу и структуре от зональных сообществ и находятся только на одной из промежуточных стадий восстановления.

Ключевые слова: растительный покров, мезорельеф, вскрышные породные отвалы, естественное зарастание, первичные сукцессии, продуктивность, Республика Хакасия.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и Правительства Республики Хакасия № 18–44–190006 р_а, в рамках государственного задания Центрального сибирского ботанического сада СО РАН № АААА-А21–121011290024–5, в рамках государственного задания Научно-исследовательский институт аграрных проблем Хакасии 122041100185–5.

Цитирование: Ламанова Т. Г. Естественное восстановление растительного покрова на 40-летних отвалах угольного разреза «Черногорский» в Республике Хакасия / Т. Г. Ламанова, Н. В. Шеремет, О. С. Сафронова, В. М. Доронькин, М. С. Шеремет // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология, 2025. 18(1). С. 45–61. EDN: TMGWOL

Введение

В течение последних 10 лет в Республике Хакасия наблюдается заметное увеличение объемов производства горнодобывающей промышленности. Наибольший вклад в добычу полезных ископаемых приходится на уголь: по прогнозам, угледобывающие мощности могут вырасти к 2030 г. до 46 млн т в год, что сделает республику вторым по значимости угледобывающим регионом России (Плаkitкина, 2016; Лысенко и др., 2019).

Наращивание темпов добычи угля приводит также к ускоренному увеличению площади нарушенных территорий, которая, по данным

Росприроднадзора, на конец 2021 г. составила для Хакасии 11306 га (что соизмеримо по площади с Абаканом – столицей и крупнейшим городом республики). Темпы восстановления нарушенных земель в республике невысокие: за 2021 г. их площадь по сравнению с предыдущим годом увеличилась на 506 га, а рекультивировано было 143 га (13,3 %). По данным И. В. Зенькова и др. (2017), средний коэффициент восстановления природной экосистемы (учитывающий и рекультивацию, и самовосстановление) в этом угледобывающем регионе достиг уровня 0,44, что является невысоким показателем для климатических условий Хакасии.

Высокая концентрация угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий вокруг городов в сочетании с аридным климатом и регулярными сильными ветрами создают в регионе сложную экологическую обстановку. Не далее 42 км от густонаселенной столицы республики расположены семь действующих угольных разрезов, и промышленные выбросы в виде пыли наносят вред здоровью людей и окружающей среде. В настоящее время ведутся исследования по изучению восстановления растительного покрова на отвалах вскрышных пород, который позволяет снизить негативные воздействия антропогенных загрязнений. Практическая значимость исследований связана с повышением эффективности технологий рекультивации нарушенных территорий Республики Хакасия, а также восстановлением благоприятной для проживания человека среды. С точки зрения современной экологии изучение состава, структуры и особенностей формирования растительных сообществ техногенных местообитаний является одной из важнейших актуальных задач.

Целью данной работы было изучение процессов формирования растительного покрова при естественном зарастании 40-летних вскрышных отвалов в аридных районах Республики Хакасия. В статье представлен сравнительный анализ видового состава, особенностей структуры, продуктивности растительных сообществ вскрышных отвалов в сравнении с аналогичными показателями мелкодерновинных злаковых степей, которые преобладали на территории отвалов до проведения вскрышных работ. В условиях Хакасии мы опирались на исследования Т.Г. Ламановой (1978) и А.В. Куминовой и др. (1976). Разница между составом и структурой зональных и серийных сообществ должна стать одним из основных критериев эффективности

восстановления растительного покрова на отвалах.

Результаты данных исследований использованы при создании технологий биологической рекультивации (Патент RU № 2498069 C2, RU № 2779159 C1), которые в дальнейшем внедрены при восстановлении нарушенных земель на разрезе «Черногорский» ООО «СУЭК Хакасия».

Материалы и методы

Исследования проводили на самом первом и старом в Хакасии разрезе «Черногорский», добыча угля на котором была начата в 1961 г. и продолжается до настоящего времени. Объектами исследований являются растительные сообщества, приуроченные к различным элементам мезорельефа отвалов вскрышных пород, созданных в 70-е годы прошлого столетия. По техногенному рельефу отвал считается внутренним, платообразным, террасированным с конической вершиной. Крутизна склонов не превышает 35–37° с высотой от 10 до 80 м. Выделены четыре элемента мезорельефа на отвалах: северный склон, восточный склон, западный склон и плато. Наблюдения за особенностями микроклимата на разных участках мезорельефа показали, что оптимальные условия для восстановления растительности создаются на плато и северном склоне. Затем, по мере ухудшения экологических условий, идут восточный и западный склоны. В состав горных пород, покрывающих угольные пласты Черногорского месторождения, входят алевролиты, углистые аргиллиты и песчаники, которые, в свою очередь, перекрываются четвертичными отложениями (Щербатенко, Кондрашин, 1977).

Район исследований расположен в степной зоне, его климат является резко континентальным – лето сухое и жаркое, зима холодная

и малоснежная. Среднегодовая температура воздуха обычно находится в пределах от $-1,0$ до $+1,8$ °C. Экстремальные значения температур отмечались $-40,6$ °C в январе и $+35,6$ °C в июне. Общее годовое количество осадков составляет 300 мм, из которых 270 мм выпадает в теплый период. Мощность снежного покрова небольшая, от 11 до 18 см, снег накапливается на склонах отвалов и в их понижениях. Сильные ветры в апреле и мае приводят к появлению «пыльных» бурь. Почвенный покров района достаточно разнообразный, среди зональных степных почв преобладают южные черноземы (Куминова и др., 1976).

По геоботаническому районированию А.В. Куминовой и др. (1976), территория разреза отнесена к Приабаканскому (Центрально-Хакасскому) степному округу Минусинской котловины. Наиболее свойственны для данной территории настоящие мелкодерновинные злаковые степи в типичном варианте четырехзлаковой степи. В их травостое доминируют виды дерновинных злаков: *Stipa krylovii* Roshev., *Festuca valesiaca* Gaudin, *Koeleria cristata* (L.) Pers., *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng. Мелкодерновинные злаковые степи преобладали на территории разреза «Черногорский» до проведения вскрышных работ.

Полевые исследования на разрезе проводили ежегодно в период с 2008 по 2012 гг. Сбор материала проходил по общепринятым геоботаническим методам (Полевая геоботаника, 1959–1976). Для изучения видового состава сообществ на всех элементах мезорельефа собран гербарий, и в фазу максимального развития травостоя выполнены геоботанические описания этих территорий (Воронов, 1973). Геоботанические описания проводили в пятикратной повторности на пробных площадках 10×10 м², которые закладывали на участках с относительно однородным рас-

тительным покровом. Название фитоценозов дано по совокупности доминирующих видов. Латинские названия видов растений приведены согласно последним номенклатурным сводкам (Конспект..., 2012).

За основу классификации ареалов видов растений были взяты положения, разработанные М.А. Альбицкой (1946) и А.В. Положий (1965). Система классификации жизненных форм, принятая для анализа видового состава породных отвалов, основана на подходах Г.М. Зозулина (1961, 1968).

Под фитомассой мы понимаем суммарную массу живых и отмерших частей растений, таким образом, фитомасса – это биомасса плюс мортмасса (Онипченко, 2013). Оценка общей величины надземной биомассы, а также долей участия отдельных видов, проводилась согласно методикам Л.Н. Алексеенко (1964) и Г.Г. Павловой (1980). Ежегодно в июле–начале августа на каждом участке мезорельефа на площадках размером 0,25 м² в 4-кратной повторности проводили повидовой отбор надземной биомассы. Укосные площадки выбирались в наиболее типичных для данной территории местах в пределах геоботанических описаний. Растения каждого из видов, присутствующих на площадке, срезали ножницами у самой поверхности субстрата. После срезания собирали подстилку. Срезанную надземную зеленую биомассу и ветошь доводили до воздушно-сухого состояния и взвешивали на электронных лабораторных весах. Общую массу травостоя рассчитывали суммированием масс отдельных видов. Всего взяли 80 укосов.

В травостое были выявлены доминирующие виды, общее число видов, участие хозяйственно-ботанических групп.

Для установления вертикального сложения травостоя в период полного развития растений в каждом из пяти изучаемых сооб-

ществ проводили учет надземной биомассы по горизонтам в 10 см, начиная от основания растений. В характерных местах травостой срезали под корень (с площади суммарно не менее одной укосной площадки) и собирали в пучок так, чтобы сохранить его естественное положение. Затем пучок разрезали на высоту 0–10 см, 10–20 см, 20–30 см и т.д. и взвешивали в сыром виде (Корчагин, 1976).

Пробы подземной биомассы отбирали параллельно с надземной биомассой в 2009 г. методом выемки почвенных монолитов объемом 10 см³ из слоев глубиной 0–10, 10–20 см (отбор проб из более глубоких слоев был невозможен). Подземная биомасса отмывалась от почвы с использованием почвенного сита с отверстием 0,5 мм, затем полученные образцы высушивали и взвешивали на электронных лабораторных весах. Повторность взятия проб трехкратная, всего брали шесть монолитов с пробной площадки.

Для каждой пробной площадки из четырех повторностей для надземной и трех повторностей для подземной биомассы определяли средние величины, после чего продуктивность растительных сообществ выражали в тоннах на гектар.

Значимость влияния экспозиции склона на величину надземной биомассы и мортмассы проверяли с помощью однофакторного дисперсионного анализа.

Выравненность относительного распределения особей среди видов сосудистых растений оценивали с помощью кривых относительной значимости видов: по оси абсцисс располагали виды, ранжированные от наиболее к наименее обильным, а по оси ординат откладывали долю каждого вида в выборке в логарифмическом масштабе (Уиттекер, 1980; Песенко, 1982; Мэггаран, 1992). В качестве показателя значимости для сравнения популяций растений между собой использо-

вали воздушно-сухую надземную биомассу. Соответствие кривых значимости теоретическим распределениям проверяли с помощью критерия согласия Пирсона.

Результаты и обсуждение

Заселение вскрышных породных отвалов идет за счет ресурсов местной флоры, участки которой сохранились вблизи техногенных местообитаний. Общий список видов, отмеченных на 40-летних отвалах, включает 43 вида сосудистых растений из 39 родов и 17 семейств, что составляет 12,0 % от показателя каменистых степей Хакасии. Ведущее место по числу видов на изучаемых отвалах занимает семейство Asteraceae, и относительно большое число видов принадлежит семейству Poaceae.

Большинство видов, найденных на отвалах, являются аборигенными – 39 (91 %). Четыре вида являются адвентивными: *Hordeum jubatum* L., *Lactuca serriola* L., *Melilotus officinalis* (L.) Pall. и *Ulmus pumila* L. и включены в список инвазивных видов «Черной книги флоры Сибири» (2016).

Особенностью флоры мелкодерновинных степей Республики Хакасия является широкое распространение эндемичных видов Приенисейских степей, среди которых велика роль представителей семейств бобовых и злаковых. Представители этой группы насчитывают около 15 % от всего состава флоры каменистых степей Хакасии (Ламанова, 1978). В качестве примера можно привести следующие виды: *Koeleria thoni* Domin, *Festuca jennisseensis* Reverd., *Poa krylovi* Reverd., *Astragalus palibinii* Polozhij, *A. ionae* Palib., *Oxytropis bracteata* Basil., *O. chakassiensis* Polozhij, *O. nuda* Basil., *Hedysarum minussinense* Fedtsch., *Erodium tataricum* Willd., *Artemisia martjanovii* Krasch. ex Poljakov и др. Эндемичные виды обычно оказываются наиболее

уязвимыми элементами региональной флоры, в видовом составе изучаемых растительных сообществ эти эндемики отсутствуют. На отвалах поселился эндемик Южной Сибири и Монголии – Ленец ползучий (*Thesium repens* Ledeb., сем. Santalaceae).

Растительные сообщества на отвалах в основном состоят из травянистых многолетников (24 вида) и одно-, двулетников (14 видов) (табл. 1). Незначительным числом в видовом составе представлены древесные растения (4 вида), а также кустарники (1 вид). Сравнение видового состава изучаемых сообществ и видового состава каменистых степей Хакасии показывает, что основное отличие в соотношении жизненных форм заключается в том, что на отвалах более чем в три раза в процентном отношении больше одно-, двулетних травянистых растений; кроме того, вдвое ниже число кустарников, а группа кустарничков и полукустарничков вовсе отсутствует.

В целом можно отметить, что первичные сукцессии на вскрышных отвалах, созданных в 70-х гг. прошлого века, характеризуются травяным типом зарастания. Деревья, которые растут на территории отвалов, представлены, как правило, всходами или одиночными экземплярами.

Состав и соотношение географических элементов раскрывают особенности и специфику исследуемой ценофлоры. Все найден-

ные виды можно отнести к 4 типам ареала: плюрирегиональному, голарктическому, евразийскому и азиатскому. Евразийский тип разделен на собственно евразийский и евро-сибирский. В группе видов азиатского типа были выделены следующие подтипы: восточноазиатский, монголо-южно-сибирский, южно-сибирский, эндеми. Большая часть видов, представленных на 40-летних отвалах, имеет широкий евразийский ареал (39,6 %), плюрирегиональный (20,9 %) и голарктический ареалы (20,9 %), в меньшем объеме представлены виды с монголо-южно-сибирским ареалом (9,4 %), южно-сибирским (4,6 %), восточноазиатским (2,3 %) и эндеми Южной Сибири и Монголии (2,3 %).

Учитывая специфику произрастания растений на отвалах, большой интерес представляет принадлежность растений к определенным экологическим группам. Т. Г. Ламанова (1978а) для Хакасии приводит следующие данные об экологическом составе флоры мелководновинных злаковых степей: мезоксерофиты – 34,0 %, ксеропетрофиты – 26,1 %, ксерофиты – 22 %, петрофиты-психрофиты – 5,8 %, мезофиты – 5 %, мезопетрофиты – 4,6 %, галофиты – 2,1 % и ксерогигрофиты – 0,4 %. Экологический спектр растительных сообществ на 40-летних отвалах разреза «Черногорский» следующий: мезофитов – 49,0 %, ксерофитов – 21,0 % и мезоксерофи-

Таблица 1. Биологические группы в составе степной флоры Хакасии и ценофлоры разреза «Черногорский»

Table 1. Biological groups of the Khakassian steppe flora and the coenoflora of the Chernogorsky Coal Mine spoil tips

Флора	Деревья	Кустарники	Кустарнички и полукустарнички	Многолетники	Одно-двулетники
Отвалы: число видов (доля в %)	4 (9)	1 (2)	0 (0)	24 (56)	14 (33)
Каменистые степи: число видов (доля в %)	0 (0)	18 (5)	48 (13)	256 (72)	36 (10)

тов – 23,1 %, мезопетрофитов – 2,3 %, ксерогигрофитов – 2,3 % и гигрофитов – 2,3 %. Видовой состав изучаемых сообществ характеризуется преобладанием мезофитной группы, доля которой почти вдвое выше таковой для зональных мелкодерновинных злаковых степей. Высокое участие мезофитов связано с тем, что большая каменистость субстрата породных отвалов и резкие колебания температур способствуют конденсации влаги. В пустынных и засушливых областях кроме атмосферных осадков на общий водный баланс значительно влияет конденсация влаги, которая служит источником воды в почве (Благовещенский, 1954; Свешникова, 1962).

При освоении нарушенных территорий растениям необходимо закрепиться и сохранить за собой на возможно более длительный срок местообитания. С целью выяснения приспособлений растений для удержания и разрастания по поверхности отвала проведен анализ жизненных форм, основанный на подходах Г.М. Зозулина (1961, 1968). По возможностям восстановления особи при уничтожении по какой-либо причине ее надземной части различают: 1) реддитивные растения – многолетники, не возобновляющиеся при уничтожении надземной части; 2) рестативные растения – многолетники, возобновляющиеся в случае уничтожения надземной части; 3) ирруптивные растения – многолетники, не только возобновляющиеся в случае уничтожения их надземной части, но имеющие надземные или подземные побеги, функционирующие как органы вегетативного разрастания и размножения; 4) вагативные растения – однолетние или двусезонные виды; особи не удерживают площади обитания, размножаются только семенами.

Распределение видов по группам жизненных форм отражает тенденцию рас-

пространения растений в формирующихся техногенных местообитаниях. По данным Т.Г. Ламановой (1978), состав травостоя мелкодерновинных степей Республики Хакасия такой: преобладают 78,8 % – рестативные виды, 12,0 % – ирруптивные и 9,2 % – вагативные. На 40-летних отвалах разреза «Черногорский» встречаются следующие жизненные формы: 41,9 % – рестативные виды, 32,4 % – вагативные и 25,7 % – ирруптивные.

Растения рестативного типа возникли и получили преобладание в климатических условиях, характеризующихся резко различными по температуре или увлажнению сезонами года (Зозулин, 1961). В серийных сообществах на отвалах к ним относятся типичные степные виды, особи которых удерживают площадь путем увеличения количества наземных побегов за счет компактного нарастания вокруг начального побега – *Koeleria macrantha* (Ledeb.) Schult., *Stipa krylovii* Roshev., *Festuca valesiaca* Schlecht. ex Gaudin и др. Кроме того, среди представителей этой группы можно встретить виды со стержневым корнем (*Medicago falcata* L.) и виды, у которых стержневой корень обладает многочисленными боковыми корнями, например *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC. На угольных разрезах Кузбасса, по данным Т.О. Стрельниковой и Ю.А. Манакова (2010), способностью к вегетативному размножению во флоре растений обладают $\frac{3}{4}$ видов, а вегетативно неподвижные виды являются редкими. Тогда как на 40-летних отвалах в Хакасии мы наблюдаем преобладание видов рестативного типа, что может быть связано с большой плотностью и каменистостью субстрата.

Вагативный тип рассматривается как крайняя приспособительная форма для нарушенных местообитаний, для которого характерен уход от активной конкуренции за площадь произрастания. В изучаемых серийных

сообществах встречается большое число ко-
чующих по поверхности отвала одно-, двулет-
ников (*Anagallidium dichotomum* (L.) Griseb.,
Erysimum cheiranthoides L., *Panicum miliaceum*
L., *Setaria viridis* (L.) P. Beauv. и др.). Ирруп-
тивные виды являются наиболее конкуренто-
способными, приспособленными к совмест-
ному обитанию в ценозах и отличаются тем,
что особи их не только возобновляют свои
надземные побеги, но и обладают активны-
ми приспособлениями, позволяющими им
расширять площадь обитания и разрастаться
по ней. На отвалах встречаются такие пред-
ставители этой группы, как *Calamagrostis*
epigeios L., *Cirsium setosum* (Willd.) Besser,
Linaria vulgaris Mill., *Veronica incana* L. и др.
Способность растений к вегетативному раз-

множению играет существенную роль в осво-
ении техногенных экотопов, поскольку делает
эти растения более конкурентоспособными
по сравнению с видами, размножающимися
только семенами. На отвалах фертильность
семян может быть существенно снижена,
либо у зрелых растений они не образуются
вовсе (Стрельникова, Манаков, 2010).

Анализ состава хозяйственно-
ботанических групп показал, что на всех
участках мезорельефа на протяжении изучае-
мого периода основной вклад в надземную био-
массу растительных сообществ вносят виды
синантропного разнотравья и на плато злаки
(рис. 1). Среди разнотравья на северном склоне
доминируют полыни: *Artemisia sieversiana*, *A.*
tanacetifolia, *A. vulgaris*; на восточном склоне –

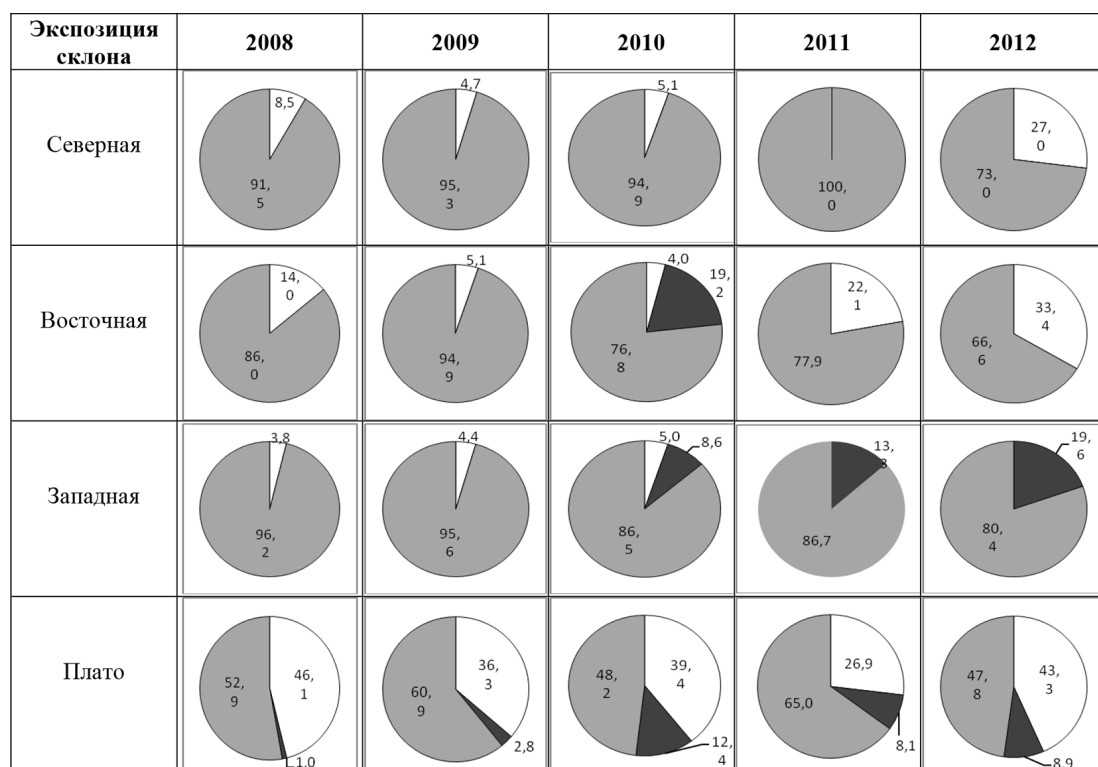


Рис. 1. Состав хозяйственно-ботанических групп (%) травостоя при естественном зарастании 40-летних вскрышных отвалов разреза «Черногорский»: – злаки, – бобовые, – разнотравье

Fig. 1. The composition of economic groups of herbaceous plants in 40-year-old spoil tips of the Chernogorsky Coal Mine (%): – poaceae, – legumes, – forbs

Cirsium setosum, *Pteridium aquilinum*, *Sonchus arvensis*; на западном склоне – полынь пижмолистная, п. Сиверса, *Chenopodium aristatum*, *Solanum dulcamara*. Последний вид вместе с полынью Сиверса в отдельные годы входят в число доминантов на плато.

Бобовые на всех участках профиля (кроме северного склона, где данная группа отсутствует) чаще представлены одним видом – *Melilotus officinalis*, только на плато в небольшом количестве встречается *Onobrychis arenaria*.

Наибольшее участие злаков отмечено на плато, где к числу доминантов среди них относятся *Calamagrostis epigeios* и *Setaria viridis*; на восточном склоне доминируют вейник совместно с *Hordeum jubatum*, который в отдельные годы является ценозообразователем; на склоне северной экспозиции в ряде лет доминирует *Panicum miliaceum*.

Вертикальное распределение надземной биомассы относится к характерным элементам структуры сообществ и является показателем, который отражает состав компонентов, условия среды, характер воздействия человека на растительное сообщество и прошлое ценоза (Павлова, 1980). Вертикальная структура растительных сообществ на отвалах разреза «Черногорский» отличается от структуры зональных сообществ по следующим показателям. Во-первых, высота травостоя нарушенных местообитаний превышает высоту травостоя мелкодерновинной злаковой степи, которая, по данным А.В. Куминовой и др. (1976), составляла 40 см (диаграмма «степь», рис. 2). В серийных сообществах значение данного показателя изменяется в разные годы: на северном склоне от 50,0 до 80,0 см (среднее значение $62,0 \pm 4,9$ см), на восточном склоне от 73,0 до 100,0 см ($82,0 \pm 5,8$ см), на западном склоне от 49,0 до 65,0 см ($56,0 \pm 4,0$ см), на плато от 88,0 до 110,0 см ($94,0 \pm 5,1$ см) (рис. 2).

По данным Т.Г. Ламановой и Н.В. Шеремет (2010), высота травостоя в лесостепи Кузнецкой котловины при самозарастании породных отвалов также превышает высоту травостоя суходольных лугов, которые преобладали на этой территории до проведения вскрышных работ. Таким образом, значительные показатели высоты травостоя являются специфической чертой растительности на отвалах.

Вторая особенность вертикальной структуры растительных сообществ на отвалах связана с распределением надземной биомассы по вертикальному профилю. Г.Г. Павлова (1980) выделяет три типа распределения надземной биомассы по вертикальному профилю: 1) приземный тип, при котором 85 % надземной биомассы травостоя сосредоточено на высоте 0–40 см (характерен для степных фитоценозов и пастбищных лугов), 2) при среднем типе распределения основная часть надземной биомассы располагается на высоте 0–50 см от поверхности почвы (характерен для наиболее сложно организованных полидоминантных лугов с доминированием злаков и бобовых), 3) растянутый тип, когда 85 % надземной биомассы сосредоточено на высоте 0–60 см и выше (отмечается на высоко-травных лесных лугах). В зональной мелкодерновинной злаковой степи распределение биомассы по вертикальному профилю описывается приземным типом распределения, таким оно остается и в фитоценозах при естественном зарастании отвалов Черногорского угольного разреза. Исключение составляют: а) фитоценоз на северном склоне (2012 г.) со средним распределением биомассы по вертикальному профилю; б) растительные сообщества на восточном склоне: где в 2008, 2009 и 2012 гг. распределение описывается как среднее, а в 2010 и 2011 гг. является растянутым. Таким образом, распределение надземной биомассы на 40-летних вскрышных

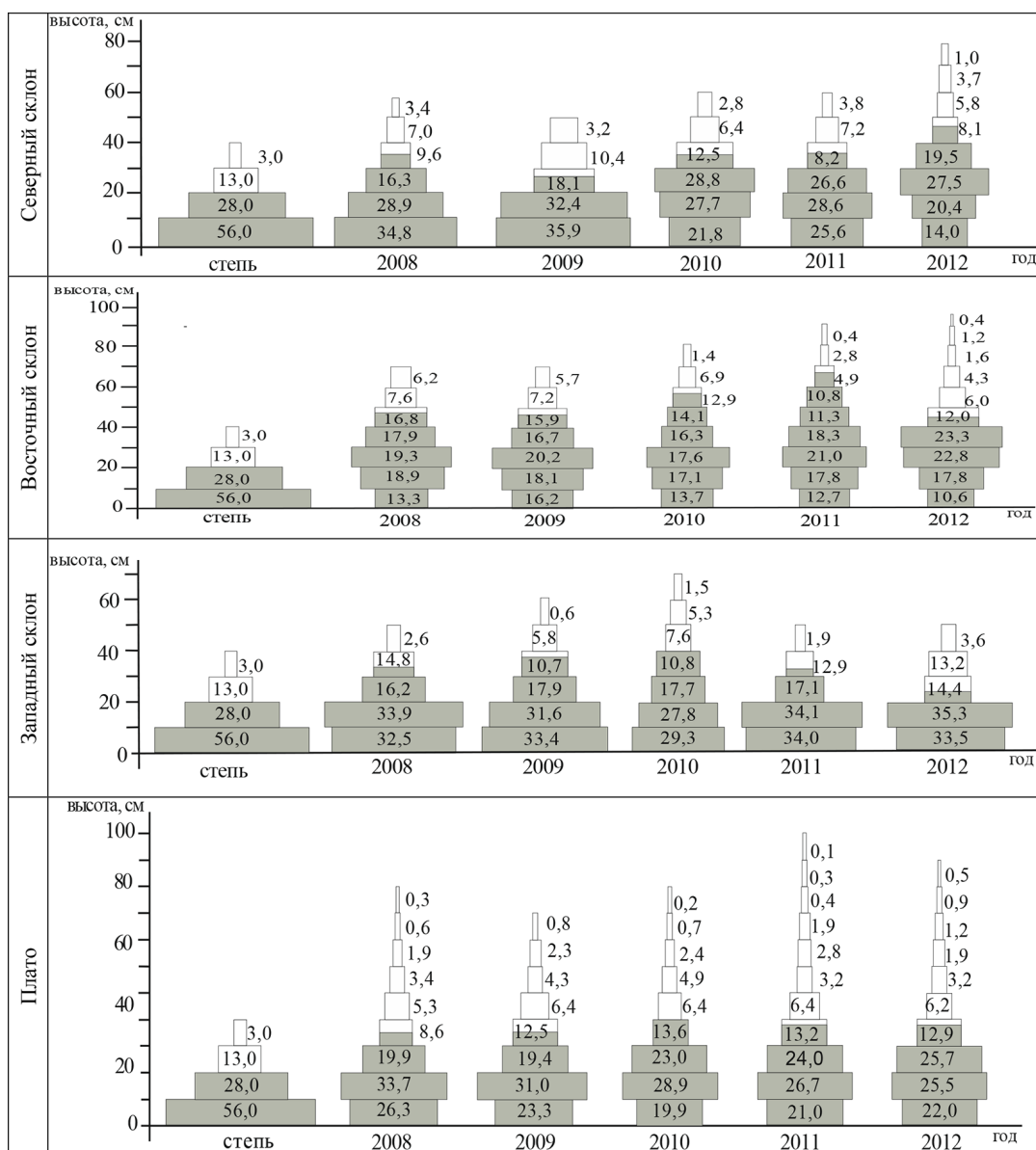


Рис. 2. Вертикальное распределение надземной биомассы (%) в мелкодерновинной злаковой степи и на 40-летних отвалах разреза «Черногорский». Вертикальная ось – высота в см. Серым цветом выделена основная биомасса (85 %)

Fig. 2. Vertical distribution (%) of the above-ground biomass in bunch grass steppes and in the Chernogorsky Coal Mine spoil tips (years 2008–2012). The vertical axis represents height in cm. The grey colouring indicates the main biomass (85 %)

отвалах, как и в зональных сообществах, характеризуется приземным типом. На восточном склоне, где травостой более высокий, основная надземная биомасса сосредоточена на высоте 0–50, 0–60 см.

Продуктивность фитоценоза является важной его характеристикой и универсальным критерием для сравнительной оценки структуры фитоценозов коренных и серийных сообществ. По данным А.В. Кумино-

вой и др. (1976), продуктивность (надземная биомасса) мелкодерновинной злаковой степи составляла 0,8 т/га (минимальная – 0,53, максимальная – 1,59 т/га). Воздушно-сухая надземная биомасса растительных сообществ, появляющихся при естественном зарастании вскрышных отвалов, укладывается в эти значения, за исключением плато ($2,8 \pm 0,4$ т/га), где отмечены самые большие показатели (табл. 2). Также высокие значения надземной биомассы были отмечены и в растительных сообществах при естественном зарастании спланированных вскрышных отвалов в лесостепи Кузнецкой котловины: на четвертичных отложениях $33,3 \pm 8,4$ ц/га (лимиты от 12,5 до 104,9) и на пермских отложениях $10,7 \pm 1,4$ ц/га (лимиты от 2,8 до 18,4) (Ламанова, Шеремет, 2010), а также при зарастании отвалов Каа-Хемского угольного разреза в степной зоне Тувы (Титлянова, Самбуу, 2016). Таким образом, высокие значения воздушно-сухой надземной биомассы являются общими закономерностями растительных сообществ, образующихся при зарастании вскрышных отвалов, расположенных в лесостепной, степной и сухостепной зонах Южной Сибири.

Экспозиция склона отвалов влияет на величину сухой надземной биомассы (доля вли-

яния фактора 66 %, $F = 10,5$; $p < 0,001$) и мортмассы (55 %, $F = 4,2$; $p < 0,024$).

При естественном зарастании вскрышных отвалов Черногорского разреза отмечено высокое накопление отмершей растительной массы, которая на склонах западной и северной экспозиций преобладает над биомассой (табл. 2). На плато, в связи с лучшими условиями увлажнения, отмечена повышенная скорость разложения мортмассы, поэтому здесь преобладает биомасса. Эта же закономерность была обнаружена и на 20-летнем песчаном карьере с травяным зарастанием в северной тайге Западной Сибири, где уменьшение значений мортмассы происходит вниз по катене (Коронатова, 2004). В тундровой зоне горнопромышленных ландшафтов Крайнего Северо-Востока мортмасса преобладала над биомассой на отвалах вскрышных пород на арктофиловом лугу, где этот показатель достигал 5,6 т/га (Пугачев, Тихменев, 2007).

Показатели подземной биомассы на разных элементах мезорельефа на вскрышных отвалах разреза «Черногорский» близки по значениям, за исключением западного склона, где подземная биомасса немногим выше (табл. 2). На всех участках профиля надземная биомасса преобладает над подземной. Таким образом, самые высокие показатели

Таблица 2. Фитомасса растительных сообществ (среднее±ошибка среднего, т/га) на разных участках мезорельефа при самозарастании отвалов разреза «Черногорский»

Table 2. Phytomass of natural revegetation (mean±mean error, t/ha) in different mesorelief elements of the Chernogorsky Coal Mine spoil tips

Компоненты фитомассы	Экспозиция склона			Плато
	Север	Восток	Запад	
Надземная биомасса	$3,4 \pm 0,5$	$1,7 \pm 0,3$	$3,0 \pm 0,7$	$4,0 \pm 0,2$
мортмасса	$1,6 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,1$	$2,8 \pm 0,4$
Подземная	$0,2 \pm 0,02$	$0,2 \pm 0,03$	$0,4 \pm 0,03$	$0,2 \pm 0,03$
Общая	3,6	1,9	3,4	4,2

продуктивности сообществ при естественном зарастании 40-летних вскрышных отвалов в аридных районах Хакасии выявлены на плато и северном склоне, где создаются лучшие микроклиматические условия.

Величина разнообразия биоты часто считается показателем лучшего или худшего состояния экосистемы. При оценке разнообразия принимают во внимание два фактора: видовое богатство – число видов на единицу площади и выравненность – распределение видов по их обилию в сообществе. Разнообразие сообщества тем выше, чем больше видов включает это сообщество и чем больше выравнены виды по участию. Для анализа видового разнообразия сообществ мы использовали четыре модели: геометрический ряд, лог-ряд, лог-нормальное распределение и «модели разломанного стержня» (Уиттекер, 1980; Песенко, 1982; Мэггаран, 1992). Считается, что именно в этой последовательности снижается степень доминирования и растительное сообщество становится более выравненным по обилию.

Сравнение для различных сообществ ранговых распределений обилия (рис. 3) с модельными по критерию согласия Пирсона (при уровне доверия 95 %) дает следующие результаты.

– Гипотеза о распределении обилий по модели разломанного стержня может быть принята для любого из сообществ в 2012 г., а также для северного склона в 2009–2010 гг. и восточного склона в 2010–2011 гг. ($p > 0,43$).

– Гипотеза о лог-нормальном распределении обилий может быть принята для северного склона в 2011 г. ($p > 0,34$), восточного склона в 2008–2009 гг., западного склона и плато в 2009–2011 гг. ($p > 0,86$).

– Гипотеза о распределении обилий по модели геометрического ряда может быть принята во всех остальных случаях: для северного склона, западного склона и плато в 2008 г. ($p > 0,75$).

При этом не подтвердились ожидаемые, исходя из вида графиков, предположения о распределении обилий по модели лог-ряда ($p < 0,035$).

В целом мы можем утверждать, что с увеличением возраста отвала на разных типах склонов отмечается усложнение изучаемых сообществ (рост числа видов и выравнивание их обилия) и по распределению видов структура изучаемых сообществ более или менее сформировалась.

Заключение

На каждом элементе мезорельефа отвала формируются фитоценозы, обладающие определенным набором доминирующих видов и хозяйственно-ботанических групп, вертикальной структурой и продуктивностью. Однако выявлены закономерности, общие для всех изученных сообществ.

1. Первичные сукцессии на вскрышных породных отвалах, сформированных в 70-х гг. в аридных районах Хакасии, характеризуются травяным типом зарастания. Видовой состав обеднен, выявлено 43 вида сосудистых растений, среди которых 91 % относятся к аборигенным. Его основу составляют виды с широкими ареалами: плюрирегиональным (20,9 %) и голарктическим (20,9 %).

2. Эндемичные виды Приенисейских степей, широко представленные во флоре каменистых степей Хакасии, на отвалах отсутствуют. Эндемики Южной Сибири и Монголии представлены одним видом (*Thesium repens*).

3. Доминирующая роль в сообществах принадлежит видам синантропного разнотравья, среди злаков – *Calamagrostis epigeios* и *Setaria viridis*, среди бобовых – *Melilotus officinalis*. В составе растительных сообществ отмечено большое участие мезофитов (49 %), высока доля видов рестаивного типа (41,9 %),

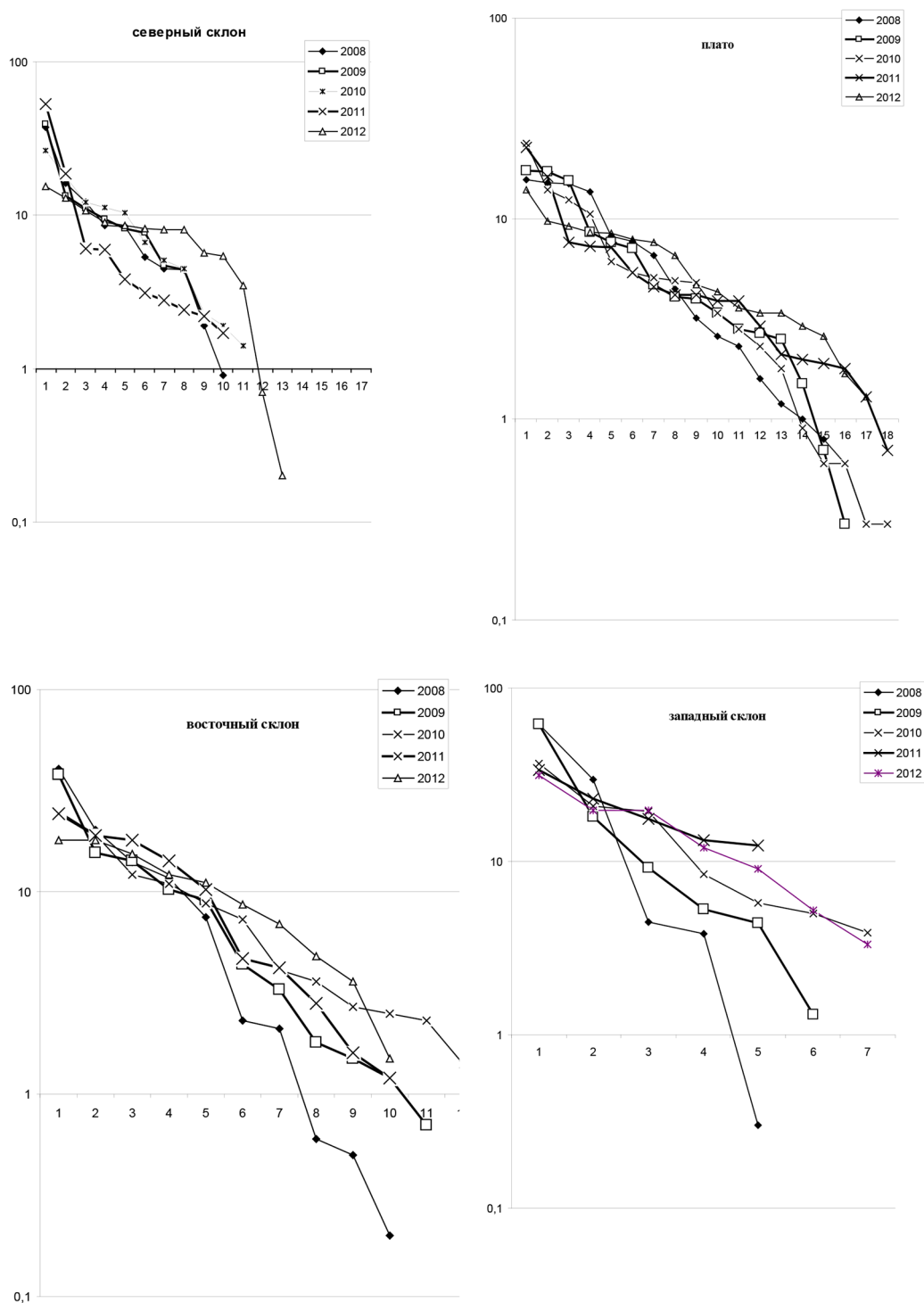


Рис. 3. Кривые значимости видов для серийных сообществ на вскрышных отвалах разреза «Черногорский», сформированных в 70-х гг. Горизонтальная ось – ранги видов по убыванию участия. Вертикальная ось – относительная значимость в %, логарифмическая шкала

Fig. 3. Species significance curves for vegetation on the Chernogorsky Coal Mine spoil tip formed in the 1970s. The horizontal axis represents species ranks in descending order of abundances. The vertical axis represents relative significance on a logarithmic scale (%)

а вегетативно подвижные ирруптивные виды находятся в меньшинстве (25,7 %).

4. Вертикальная структура изучаемых сообществ характеризуется значительной высотой травостоя, основная масса которого, как правило, заключена в слое 0–40 см (приземное распределение).

5. Продуктивность растительных сообществ на 40-летних отвалах близка или превышает (на плато $2,8 \pm 0,4$ т/га) зональные показатели (0,53–1,59 т/га). На всех участках

профиля надземная биомасса преобладает над подземной.

6. Анализ кривых значимости видов показал, что в ходе сукцессии происходит усложнение структуры, связанное с увеличением числа видов и выравниваемостью их обилия.

7. Сообщества, сформированные за 40 лет самозарастания отвалов, находятся на одной из промежуточных стадий восстановления и отличаются по составу и структуре от зональных сообществ.

Список литературы / References

Алексеев Л. Н. (1964) Некоторые проблемы изучения структуры травостоя травянистых фитоценозов. *Ботанический журнал*, 49(1): 65–74 [Aleksenko L.N. (1964) Some problems of studying herbage structure in herbaceous phytocenoses. *Botanical Journal* [Botanicheskii zhurnal], 49(1): 65–74 (in Russian)]

Альбицкая М. А. (1946) Проект классификации географических элементов флоры степей Юго-Восточного Алтая. *Известия Западно-Сибирского филиала АН СССР. Серия Биология*, 1: 27–32 [Albitskaya M. A. (1946) A draft classification of geographical elements in the steppe flora of South-Eastern Altai. *News of the West Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. Biology Series* [Izvestiya Zapadno-Sibirskogo filiala AN SSSR. Seriya Biologiya], 1: 27–32 (in Russian)]

Благовещенский Э. Н. (1954) О конденсации влаги в почвах пустынь. *Пустыни СССР и их освоение. Том 2*. Ильин М. М. (ред.) Москва, Ленинград, с. 508–519 [Blagoveshchensky E. N. (1954) On moisture condensation in desert soils. *Deserts of the USSR and their treatment. Volume 2*. Ilyin M. M. (Ed.) Moscow, Leningrad, p. 508–519 (in Russian)]

Воронов А. Г. (1973) *Геоботаника: Учебное пособие биологических специальностей и географических специальностей университетов и педагогических институтов*. Москва, Высшая школа, 384 с. [Voronov A. G. (1973) *Geobotany: A textbook for biological and geographical profiles in universities and pedagogical institutes*. Moscow, Vysshaya shkola, 384 p. (in Russian)]

Зеньков И. В., Нефедов Б. Н., Юронен Ю. П., Нефедов Н. Б. (2017) Результаты дистанционного мониторинга и полевых исследований экологического состояния нарушенных земель угольными разрезами в Республике Хакасия. *Уголь*, 9: 72–75 [Zenkov I. V., Nefedov B. N., Yuronen Yu. P., Nefedov N. B. (2017) Environmental condition remote sounding and field surveys of the lands, disturbed by coal mining open pits in the republic of Khakassia. *Coal* [Ugol], 9: 72–75 (in Russian)]

Зозулин Г. М. (1961) Система жизненных форм высших растений. *Ботанический журнал*, 46(1): 3–20 [Zozulin G. M. (1961) A hierarchy of higher plant life forms. *Botanical Journal* [Botanicheskii zhurnal], 46(1): 3–20 (in Russian)]

Зозулин Г. М. (1968) Схема основных направлений и путей эволюции жизненных форм семенных растений. *Ботанический журнал*, 53(2): 223–232 [Zozulin G. M. (1968) An outline of major trends in evolution of seed plant life forms. *Botanical Journal* [Botanicheskii zhurnal], 53(2): 223–232 (in Russian)]

Конспект флоры Азиатской России: сосудистые растения (2012) Новосибирск, Издательство СО РАН, 640 с. [*Conspectus Florae Rossiae Asiaticae: Plantae vasculares* (2012) Novosibirsk, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 640 p. (in Russian)]

Коронатова Н. Г. (2004) Развитие почвенно-растительного покрова на песчаных карьерах в северной тайге Западной Сибири: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Новосибирск, 23 с. [Koronatova N. G. (2004) *Formation of soil and vegetation cover in sand pits in the northern taiga in Western Siberia: Abstract of the thesis for the degree of Candidate of Biological Sciences*. Novosibirsk, 23 p. (in Russian)]

Корчагин А. А. (1976) Морфологическое строение сообществ (синморфология). Полевая геоботаника. Том V. Лавренко Е. М. (ред.) Ленинград, Наука, с. 28–130 [Korchagin A. A. (1976) Morphological structure of communities (synmorphology). *Field geobotany. Volume 5*. Lavrenko E. M. (Ed.) Leningrad, Nauka, p. 28–130 (in Russian)]

Куминова А. В., Маскаев Ю. М., Зверева Г. А., и др. (1976) Растительный покров Хакасии. Новосибирск, Наука, 418 с. [Kuminova A. V., Maskaev Yu. M., Zvereva G. A., et al. (1976) *Vegetation cover of Khakassia*. Novosibirsk, Nauka, 418 p. (in Russian)]

Ламанова Т. Г. (1978) Структурная организация каменистых степей Хакасии: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Новосибирск, 24 с. [Lamanova T. G. (1978) *Structure of the rocky steppes of Khakassia: Abstract of the thesis for the degree of Candidate of Biological Sciences*. Novosibirsk, 24 p. (in Russian)]

Ламанова Т. Г. (1978а) Анализ флоры каменистых степей Хакасии. Геоботанические исследования в Западной и Средней Сибири. Новосибирск, Наука, с. 193–209 [Lamanova T. G. (1978a) An analysis of the rocky steppe flora of Khakassia. *Geobotanical studies in Western and Middle Siberia*. Novosibirsk, Nauka, p. 193–209 (in Russian)]

Ламанова Т. Г., Шеремет Н. В. (2010) Агрофитоценозы на отвалах в южной части Кузнецкой котловины. Новосибирск, Офсет, 224 с. [Lamanova T. G., Sheremet N. V. (2010) *Agrophytocoenoses in spoil tips in the southern part of the Kuznetsk Basin*. Novosibirsk, Ofset, 224 p. (in Russian)]

Лысенко Д. П., Акатов Д. И., Скорых Н. Н. (2019) Факторы и тенденции развития угледобывающей промышленности Республики Хакасия. Уголь, 5: 28–30 [Lysenko D. P., Akatov D. I., Skorykh N. N. (2019) Factors and trends in the development of coal mining industry of the Republic of Khakassia. *Coal [Ugol]*, 5: 28–30 (in Russian)]

Мэгарран Э. (1992) Экологическое разнообразие и его измерение. Москва, Мир, 184 с. [Magurran A. E. (1992) *Ecological diversity and its measurement*. Moscow, Mir, 184 p. (in Russian)]

Онипченко В. Г. (2013) Функциональная фитоценология: Синэкология растений. Москва, КРАСАНД, 576 с. [Onipchenko V. G. (2013) *Functional phytocenology: Synecology of plants*. Moscow, KRASAND, 576 p. (in Russian)]

Павлова Г. Г. (1980) Суходольные луга Средней Сибири. Новосибирск, Наука, 213 с. [Pavlova G. G. (1980) *Dry meadows of Central Siberia*. Novosibirsk, Nauka, 213 p. (in Russian)]

Песенко Ю. А. (1982) Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. Москва, Наука, 281 с. [Pesenko Yu. A. (1982) *Principles and methods of quantitative analysis in fauna research*. Moscow, Nauka, 281 p. (in Russian)]

Плаkitкина Л. С. (2016) Анализ и перспективы развития добычи угля на период до 2035 г. в Республике Хакасия. Горная промышленность, 1: 26–27 [Plakitkina L. S. (2016) An analysis and

prospects for coal mining industry in the Republic of Khakassia up to 2035. *Mining Industry* [Gornaya promyshlennost'], 1: 26–27 (in Russian)]

Полевая геоботаника (1959–1976) Т. I–V. Ленинград, Наука [*Field geobotany* (1959–1976) Vol. I–V. Leningrad, Nauka (in Russian)]

Положий А. В. (1965) О значении и методах изучения истории флоры. *Известия Сибирского отделения АН СССР. Серия биолого-медицинских наук*, 8(2): 3–9 [Pologiy A. V. (1965) On the significance and methods of studies into floral history. *News of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. Biomedical Sciences Series* [Izvestiya Sibirskogo otdeleniya AN SSSR. Seriya biologo-medicinskih nauk], 8(2): 3–9 (in Russian)]

Пугачев А. А., Тихменев Е. А. (2007) Восстановление горнопромышленных ландшафтов Крайнего Северо-Востока России. *Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН*, 2: 72–82 [Pugachev A. A., Tikhmenev E. A. (2007) Restoration of post-mining landscapes in the North-East of Russia. *Bulletin of the North-East Scientific Center FEB RAS* [Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN], 2: 72–82 (in Russian)]

Свешникова В. М. (1962) *Водный режим растений и почв высокогорных пустынь Памира*. Душанбе, Издательство АН Таджикской ССР, 245 с. [Sveshnikova V. M. (1962) *Plant and soil water regimes in the high-altitude deserts in the Pamirs*. Dushanbe, Tajik SSR Academy of Sciences, 245 p. (in Russian)]

Стрельникова Т. О., Манаков Ю. А. (2010) Особенности флоры отвалов угольных разрезов Кемеровской области. *Вестник Томского государственного университета. Биология*, 2: 44–57 [Strelnikova T. O., Manakov Yu. A. (2010) Features of coal mines dumps flora of Kemerovo region. *Tomsk State University Journal of Biology* [Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya], 2: 44–57 (in Russian)]

Титлянова А. А., Самбуу А. Д. (2016) *Сукцессии в травянистых экосистемах*. Новосибирск, Издательство СО РАН, 191 с. [Titlyanova A. A., Sambuu A. D. (2016) *Succession in grasslands*. Novosibirsk, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 191 p. (in Russian)]

Уиттекер Р. (1980) *Сообщества и экосистемы*. Москва, Прогресс, 327 с. [Whittaker R. (1980) *Communities and ecosystems*. Moscow, Progress, 327 p. (in Russian)]

Черная книга флоры Сибири (2016) Новосибирск, Академическое издательство «Гео», 440 с. [*Black Book of the flora of Siberia* (2016) Novosibirsk, “Geo” Academic Publishing, 440 p. (in Russian)]

Щербатенко В. И., Кондрашин Е. Р. (1977) Естественная растительность отвальнокарьерных ландшафтов Сибири. *Восстановление таёжно-техногенных ландшафтов Сибири (теория и технология)*. Новосибирск, Наука, с. 65–80 [Shcherbatenko V. I., Kondrashin E. R. (1977) Natural vegetation of waste dump landscapes in Siberia. *Restoration of taiga-technogenic landscapes of Siberia (theory and technology)*. Novosibirsk, Nauka, p. 65–80 (in Russian)]