

БОТАНИКА

Научная статья

УДК 504.062.4 (571.513)

doi: 10.17223/19988591/71/5

Естественное восстановление растительного покрова на двадцатилетних отвалах угольного разреза «Черногорский» в Республике Хакасия

Наталья Владимировна Шеремет¹, Ольга Сергеевна Сафонова²,
Татьяна Григорьевна Ламанова³

^{1, 3} Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

² Научно-исследовательский институт аграрных проблем Хакасии,
филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, Зеленое, Республика Хакасия, Россия

¹ <https://orcid.org/0000-0003-2973-3008>, nshеремет@yandex.ru

² <https://orcid.org/0000-0003-1181-5224>, olya_egoshina@mai.ru

³ <https://orcid.org/0000-0001-6691-3732>, tlamanova@yandex.ru

Аннотация. Проанализированы структурные особенности и продуктивность растительных сообществ на землях, нарушенных при добыче угля открытым способом на территории Республики Хакасия. В течение пяти лет мы исследовали растительные сообщества на различных элементах мезорельефа отвалов и установили следующие характерные особенности этих сообществ. Первичные сукцессии характеризуются травяным типом зарастания. Выявлено 42 вида со-судистых растений, среди которых 40 (95,2%) – аборигенные. Доминируют виды разнотравья *Artemisia sieversiana*, *Salsola collina*, *Erysimum cheiranthoides* и др., а также злаков *Calamagrostis epigeios*, *Leymus racemosus*, *Elytrigia repens* и др. В видовом составе отсутствуют эндемичные виды Присибирских степей, широко представленные во флоре каменистых степей Хакасии. Вертикальная структура характеризуется значительной высотой травостоя. Продуктивность близка или превышает показатели зональных фитоценозов, ее значения максимальны на днище ($2,1 \pm 0,7$ т/га) и северном склоне ($2,6 \pm 0,2$). Надземная фитомасса 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 выравненностью их обилия. Сообщества, сформированные за 20 лет самозарастания отвалов, находятся на одной из промежуточных стадий восстановления и отличаются по составу и структуре от зональных сообществ.

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

Источник финансирования: 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 НИИАП Хакасии – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН 122041100185-5.

Для цитирования: Шеремет Н.В., Сафонова О.С., Ламанова Т.Г. Естественное восстановление растительного покрова на двадцатилетних отвалах угольного разреза «Черногорский» в Республике Хакасия // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2025. № 71. С. 101–121. doi: 10.17223/19988591/71/5

Original article
doi: 10.17223/19988591/71/5

Natural revegetation of the 20-year-old “Chernogorsky” spoil dump in the Republic of Khakassia

Natalia V. Sheremet¹, Olga S. Safronova², Tatyana G. Lamanova³

^{1, 3} Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the RAS,
Novosibirsk, Russian Federation

² Research Institute of Agricultural Problems of Khakassia, FRC KSC SB RAS,
Zelenoe, Republic of Khakassia, Russian Federation

¹ <https://orcid.org/0000-0003-2973-3008>, nsheremet@yandex.ru

² <https://orcid.org/0000-0003-1181-5224>, olya_egoshina@mai.ru

³ <https://orcid.org/0000-0001-6691-3732>, tlamanova@yandex.ru

Summary. The natural complexes of the Republic of Khakassia are in the process of anthropogenic transformation as a result of large-scale mining. The volume of anthropogenic pollution can be reduced by forming a vegetation cover on the slopes of spoil dumps, therefore studying the aspects of the formation of plant communities on spoil dumps is of actual importance. The fundamental side of the study is to investigate the problems of plants adaptation to new industry caused environmental factors. The applied side is to develop and improve reclamation technologies for disturbed areas. The purpose of the research is to study the structure and productivity of plant communities on 20-year-old open cut spoil dumps with the aim to estimate processes of natural revegetation of the disturbed lands in the arid zones of the Republic of Khakassia. The objects of the research are formed in the 1990's plant communities on the floor and slopes of different exposures of the “Chernogorsky” open cut spoil dumps ($53^{\circ}44'42''N$, $91^{\circ}02'27''E$) by LLC SUEK-Khakassia.

The climate of the research area is sharply continental with a cold long winter (the absolute minimum temperature is $-40.6^{\circ}C$) and a hot dry summer (the absolute maximum is $+35.6^{\circ}C$), while the average annual precipitation is from 270 to 300 mm per year. The composition of the rocks covering the coal seams of the “Chernogorsky” deposit includes sandstones, siltstones, and carbonaceous mudstones, which, in turn, are overlain by a cover of quaternary deposits. Geobotanical zoning relates the area of the “Chernogorsky” open cut to Near-Abakan (Central Khakassian) district of the Minusinsk basin. Bunch-grass steppes, in the typical form of the four-grass steppe distinguished by V.V. Reverdatto, are the most prevalent for this area. Collection of materials on the “Chernogorsky” open cut was conducted in July-August from 2008 to 2012 according to conventional techniques. To examine the species composition, herbarium material was collected and geobotanical description was carried out. To determine the above-ground phytomass productivity and the economically significant botanical groups composition, mowing and species separation was carried out yearly, fourfold in July–beginning of August. To establish the above-ground phytomass vertical structure the standing parts were cut down to the roots, then cut in layers 0-10, 10-20, 20-30 cm, etc., and then weighed as fresh mass. Under-ground phytomass productivity was determined in 2009 by threefold sampling 10 cm^3 soil monoliths in layers 0-10 and 10-20 cm. Roots were rinsed, then dried and weighed. The species distribution evenness was estimated using species dominance graphs.

The dumps are of external method of formation. On all mesorelief elements (northern, southern, western, eastern slopes, and the floor), primary successions have

a grass type of vegetation. The species composition is depleted and includes 42 species of vascular plants from 36 genera and 20 families, which is 11.7% of the Khakassian stony steppe flora. The most numerous families are Asteraceae and Poaceae, which is vastly typical for boreal flora. The peculiarity of the flora of the bunch-grass steppes of the Republic of Khakassia (which existed on the research area prior to mines) is the wide presence of endemic species of the near-Yenisei steppes, with legumes and Poaceae as dominating families amongst endemics. The absence of those endemics is observed in the species composition of plant communities on spoil dumps. The prevailing economic groups of plants are Poaceae and motley grasses (See Fig. 1). The dominants in the plant communities are synanthropic grasses: *Artemisia sieversiana* Willd., *Salsola collina* Pall., *Erysimum cheiranthoides* L., *Chenopodium aristatum* L. etc. Dominating Poaceae species are *Calamagrostis epigeios* L., *Leymus racemosus* (Trin.) K. Richt., *Elytrigia repens* L., *Agropyron cristatum* (L.) Gaertner. The dominant in legumes is faintly eaten *Melilotus officinalis* L. The plant communities on spoil dump contain a significant part (61.9%) of mesophytic group, which is usually observed in the meadow steppes. Considering life forms, a large part of vegetation is vegetative plants (which roam the surface of the dump and germinate in new places without retaining the habitat area). This contrasts the steppe zonal communities, where prevailing species are of the restative type (capable of living through unfavorable conditions and “resisting” the seizure of their area by other individuals). The vertical structure of spoil dumps plant communities was revealed, which show the herbage to have significant height and be enclosed mostly in a layer 0-40 cm (See Fig. 2). The productivity of above-ground phytomass is higher on spoil dumps than that (0.53-1.59 t/ha) in zonal communities: maximal productivities of air-dry phytomass are observed on the floor (2.1 ± 0.7 t/ha) and the northern slope (2.6 ± 0.2 t/ha) due to better microclimatic conditions (See Table 2). The above-ground phytomass prevails over the under-ground one on all areas of spoil dumps, which indicates the environmental conditions to be generally favorable for plants growth. The significance graphs show the log-normal distribution to be typical for the plant communities on all mesorelief elements, which is characteristic for multi-species zonal plant communities with predominance of species with an average abundance (See Fig. 3). Thus, 20-year-old natural vegetation on spoil dumps of “Chernogorsky” open cut in the arid regions of the Republic of Khakassia prove to be at an intermediate stage of restoration (primary succession), and it differs in composition and structure from the indigenous steppe community.

The article contains 4 Figures, 2 Tables, 37 References.

Keywords: vegetable cover, mesorelief, overburden, natural overgrowth, succession, productivity

Fundings: this work was partially supported by the grant of the Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Republic of Khakassia No. 18-44-190006 p_a, as part of the Project of the State Assignment of Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences No. AAAA-A21-121011290024-5A, as part of the Project of the State Assignment of Research Institute of Agricultural Problems of Khakassia No. 122041100185-5.

For citation: Sheremet NV, Safronova OS, Lamanova TG. Natural revegetation of the 20-year-old “Chernogorsky” spoil dump in the Republic of Khakassia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2025;71:101-121. doi: 10.17223/19988591/71/5

Введение

Природные комплексы Республики Хакасия в результате масштабной добычи полезных ископаемых активно вовлечены в процесс антропогенной трансформации. Площадь нарушенных земель Черногорского каменноугольного месторождения при добыче угля открытым способом за последние 25 лет увеличилась более чем на 50% с 2061 до 3168 га [1]. Успешность и время восстановления нарушенной экосистемы во многом зависят от регенерации растительного покрова. Детальное изучение закономерностей его формирования позволит оценить сложившиеся сообщества и прогнозировать их дальнейшее развитие [2–9]. Полученные знания являются необходимой теоретической основой для повышения эффективности технологий рекультивации отвалов горных пород и восстановления благоприятной для проживания человека среды [10–14]. В аридных районах Хакасии первые исследования в области изучения особенностей естественного зарастания отвалов горнодобывающей промышленности связанны с работами В.И. Щербатенко и Е.Р. Кондрашина [15]. Авторами проанализирована скорость зарастания отвалов угольных разрезов Абакано-Черногорского промышленного района и установлено, что восстановление растительного покрова естественным путем идет очень медленными темпами. Работы А.Т. Лавриненко с соавторами [16] по выявлению особенностей видового состава регенерационных фитоценозов на спланированных отвалах гребневых форм, А.А. Жукова и Е.Ю. Жуковой [17] по изучению сукцессионных процессов на рекультивированном отвале дополнили представления о закономерностях восстановления нарушенных территорий. Однако эти исследования затрагивают в основном стадии формирования растительных сообществ. Структурные особенности и продуктивность серийных сообществ при самозаражании вскрышных отвалов двадцатилетнего возраста в степной зоне Республики Хакасия практически не исследованы.

Целью настоящей работы является оценка процессов формирования растительного покрова при самозаражании нарушенных земель в аридных районах Республики Хакасия на основе изучения структуры и продуктивности растительных сообществ на 20-летних вскрышных отвалах.

Материалы и методики исследования

Объектами исследований являются пять растительных сообществ, сформированных на различных элементах мезорельефа отвалов вскрышных пород Черногорского угольного разреза (отвалы созданы в 1990-е гг., разрез принадлежит ООО «СУЭК-Хакасия»).

Изучаемые отвалы расположены в степной зоне, климат местности резко континентальный, с сухим жарким летом и холодной малоснежной зимой. Среднегодовая температура воздуха изменяется от +1,8 до -1,0°C. Абсолютный минимум температур отмечен в январе -40,6°C, абсолютный максимум – в июне +35,6°C. В теплый период года выпадает 270 мм осадков при общем годовом количестве 300 мм. Снежный покров небольшой

мощности (11–18 см), его накопление происходит на склонах и в понижениях. Сильные ветры в апреле и мае приводят к появлению «пыльных» бурь. Почвенный покров района достаточно разнообразный, среди зональных степных почв преобладают южные черноземы [18].

По геоботаническому районированию А.В. Куминовой [18], территория разреза отнесена к Приабаканскому (Центрально-Хакасскому) степному округу Минусинской котловины. Наиболее типичны для данной территории настоящие мелкодерновинные злаковые степи в типичном варианте четырехзлаковой степи, выделенной В.В. Ревердатто. Основу травостоя создают дерновинные виды: *Stipa krylovii* Roshev., *Festuca valesiaca* Gaudin, *Koeleria cristata* (L.) Pers., *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng. Эти степи преобладали на территории разреза в прошлом до проведения вскрышных работ.

Наши наблюдения, проведенные на вскрышных отвалах угольного разреза «Черногорский», охватывают период с 2008–2012 гг. В ходе исследования применялись общепринятые геоботанические методы [19]. Для изучения видового состава сообществ на всех элементах мезорельефа проведен сбор гербарных материалов и выполнены геоботанические описания существующих группировок согласно А.Г. Воронову [20]. Название фитоценозов дано по совокупности доминирующих видов. Латинские названия видов растений приведены согласно последним номенклатурным сводкам [21]. В работе использована общепринятая классификация экологических групп, уточненная и примененная А.В. Куминовой [18].

Надземную фитомассу и долю участия в ней отдельных видов, состав хозяйствственно-ботанических групп определяли методом укосов [22, 23]. В каждом местообитании ежегодно в период максимального развития травостоя на площадках $0,25 \text{ м}^2$ отбирали растительные пробы. Укосные площадки закладывались в типичных местах, повторность укосов четырехкратная. Растения каждого из видов, присутствующих на площадке, срезали на уровне почвы, доводили до воздушно-сухого состояния и взвешивали. Всего взяли 100 укосов; все обнаруженные виды относятся к одной из трех хозяйствственно-ботанических групп: злаки, бобовые и разнотравье (осоки отсутствовали).

Пробы подземной фитомассы отбирали параллельно с надземной фитомассой в 2009 г. методом выемки почвенных монолитов объемом 10 см^3 из слоев глубиной 0–10 и 10–20 см (отбор на большую глубину был невозможен из-за каменистости). Повторность взятия проб трехкратная. Подземная фитомасса отмывалась от почвы с использованием почвенного сита с отверстием 0,5 мм, затем полученные образцы высушивали и взвешивали на электронных лабораторных весах.

Для установления вертикального сложения травостоя в период полного развития растений в каждом из пяти изучаемых сообществ проводили учет надземной фитомассы по горизонтам в 10 см, начиная от основания растений. Травостой срезали под корень и собирали в пучок так, чтобы сохранить его естественное положение. Затем пучок разрезали на высоту 0–10, 10–20, 20–30 см и т.д. и взвешивали в сыром виде [24].

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 [25–27].

Значимость представляет группу оценок, с помощью которых виды в сообществе могут сравниваться друг с другом. Для сравнения популяций растений между собой использовали вес воздушно-сухой надземной фитомассы на единицу площади.

Для анализа видового разнообразия сообществ использовали четыре модели: геометрический ряд, логарифмическое распределение, лог-нормальное распределение и «модель разломанного стержня». Считается, что именно в этой последовательности снижается степень доминирования и растительное сообщество становится более выравненным по обилию.

Результаты исследования и их обсуждение

Отвал по техногенному рельефу относится к внешним и представляет собой лог, который вытянут с востока на запад и расширяется в западной части, где его перекрывает поперечный отвал гребневидной поверхности. На отвале представлены следующие элементы мезорельефа: днище и склоны северной, южной, западной и восточной экспозиций (рис. 1). Углы склонов – от 31 до 34°, высота – от 22 до 59 м относительно естественной поверхности. Географические координаты отвала 53°44'42"N, 91°02'27"E. В состав горных пород, покрывающих угольные пласты Черногорского



Рис. 1. Элементы мезорельефа вскрышных отвалов разреза «Черногорский»
(фото О.С. Сафоновой)

[Fig. 1. Mesorelief elements of “Chernogorsky” open cut spoil (photo by O.S. Safronova)]

месторождения, входят алевролиты, углистые аргиллиты и песчаники, которые, в свою очередь, перекрываются четвертичными отложениями [15].

Оптимальные условия для восстановления растительности создаются на днище и северном склоне. Затем, по степени ухудшения экологических условий, идут восточный, западный и южный склоны, эта тенденция отмечена нами на отвалах разреза «Черногорский», сформированных в 70-х, 80-х и 2000-х годах.

Процесс формирования растительного покрова на вскрышных отвалах длительный, характеризуется обеднением видового состава травостоя и его нельзя считать приемлемым для реабилитации нарушенных территорий. Общий список видов, отмеченных на 20-летних отвалах, включает 42 вида сосудистых растений из 36 родов и 20 семейств, что составляет 11,7% от числа видов каменистых степей Хакасии.

Большинство видов, которые поселяются на отвалах, являются аборигенными – 40 (95,2%). Найдены три адвентивных вида: *Hordeum jubatum* L., *Melilotus officinalis* (L.) Pall. и *Ulmus pumila* L., которые включены в список инвазивных видов «Черной книги флоры Сибири» [28]. Заметную часть (около 5%) видового состава каменистых степей Республики Хакасия занимают эндемичные виды Приенисейских степей, среди этих видов преобладают представители семейств бобовых и злаковых [29]. Наиболее широко виды этой группы распространены в мелкодерновинных степях Хакасии. Однако в составе растительных сообществ на отвалах данные эндемики отсутствуют.

Растительные сообщества на отвалах состоят в основном из травянистых многолетников (24 вида) и одно- и двулетников (14 видов); незначительным числом представлены древесные растения (2 вида), а также кустарнички и полукустарнички (2 вида). По данным Т.Г. Ламановой [29] в каменистых степях Хакасии встречаются 256 видов травянистых многолетников, 48 видов кустарничков и полукустарничков, 36 видов одно- и двулетников и 18 видов кустарников. Сравнение показывает существенные отличия в распространенности биологических групп (табл. 1).

В целом можно отметить, что первичные сукцессии на 20-летних вскрышных отвалах разреза Черногорский характеризуются травяным типом зарастания. Существуют примеры, когда формирование растительных сообществ на нарушенных землях в аридных районах идет на первых этапах по смешанному типу. В Республике Хакасия в сухой Койбальской степи на Изыхском углеразрезе И.С. Антонов и др. [30] наблюдали зарастание участка отвала «Береговой» *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov за счет переноса семян с островов р. Абакан. По достижении высоты 6–8 м деревья начали суховершинить и в возрасте около 20 лет засохли, так со временем начинает проявляться степной облик сообщества. А.А. Титлянова и А.Д. Самбуу [31] установили, что к 40-му году самозарастания участки отвалов Кая-Хемского угольного разреза в сухой степи Республики Тыва закустарены ивами, достигающими 4 м высотой. Семена и споры некоторых лесных видов попали на отвалы с берегов р. Кая-Хем.

Таблица 1 [Table 1]

**Биологические группы каменистых степей Хакасии и отвалов
разреза «Черногорский»**
[Biological groups for stony steppes of Khakassia and “Chernogorsky” spoil dumps]

Биологические группы [Biological groups]	Деревья [Trees]	Кустарники [Shrubs]	Кустарнички и полукустарнички [Dwarf shrubs and subshrubs]	Много-летники [Perrenials]	Одно- и двулетники [Annials and biennials]
Отвалы: число видов (доля в %) [Spoil dumps: number (percentage) of species]	2 (5)	0 (0)	2 (5)	24 (57)	14 (33)
Каменистые степи: число видов (доля в %) [Stony steppes: number (percentage) of species]	0 (0)	18 (5)	48 (13)	256 (72)	36 (10)

Через какое-то время ивы выпадают и сукцессии медленно с флюктуациями движутся в сторону сухой степи.

Для изучения механизмов восстановления растительных сообществ на нарушенных землях важно установить принадлежность растений к определенным экологическим группам. Для мелкодерновинных злаковых степей Хакасии Т.Г. Ламанова [29] приводит такие данные о численности экологических групп: мезоксерофиты – 34,0%, ксеропетрофиты – 26,1%, ксерофиты – 22,0%, петрофиты-психрофиты – 5,8%, мезофиты – 5,0%, мезопетрофиты – 4,6%, галофиты – 2,1%, ксерогигрофиты – 0,4%. На отвалах разреза «Черногорский» экологический спектр растительных сообществ следующий: мезофиты – 35,7%, ксерофиты – 26,2%, мезоксерофиты – 26,2%, петрофиты – 4,7%, псаммофиты – 4,7%, ксерогигрофиты – 2,4%, галофиты – 2,4%. Можно заметить, что на отвалах процент видов ксерофитной группы уменьшается по сравнению с зональными сообществами, а мезофитной – наоборот возрастает. Увеличение числа мезофитов связано с тем, что большая каменистость субстрата породных отвалов и резкие колебания температур способствуют образованию конденсата влаги. По мнению ряда авторов [32, 33], в пустынных и засушливых областях атмосферные осадки не являются единственным источником воды в почве и конденсация влаги значительно влияет на общий водный баланс. На породных отвалах мезофиты чаще занимают днище отвала, его северный и восточный склоны, так как наиболее высокие температуры воздуха и почвы характерны для южных и западных склонов [34]. Наблюдения за видовым составом отвалов

Каа-Хемского угольного разреза в степи Республики Тыва показали, что с течением времени происходит ксерофитизация растительности [31].

Бедность видового состава петрофитов также отличает серийные сообщества нарушенных территорий от травостоя зональных сообществ. На распространение петрофитов, по данным А.И. Пяка [35], наибольшее влияние могут оказывать специфика самого субстрата (химический состав горных пород), степень их увлажнения, освещенность.

Способность растений закрепляться и сохранять за собой на возможно более длительный срок место обитания играет существенную роль в освоении техногенных экотопов. Система жизненных форм Г.М. Зозулина [36] рассматривает приспособительные признаки, которые позволяют растительным организмам распространяться и удерживаться по поверхности отвала. Типы жизненных форм выделены по возможности восстановления особи при уничтожении по какой-либо причине ее надземной части: 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 которых не удерживают площади обитания, а «блуждают» по площади, прорастая на новых местах.

По данным Т.Г. Ламановой [29], состав травостоя мелкодерновинных злаковых степей Республики Хакасия такой: 78,8% – рестативные виды, 12,0% – ирруптивные и 9,2% – вагативные. На отвалах разреза «Черногорский» распределение жизненных форм отличается от зонального: 41% – рестативные виды, 33% – вагативные и 26% – ирруптивные. Снижение числа видов рестативной группы на отвалах, по сравнению с зональными сообществами, связано со снижением роли петрофитов, большая часть которых являются удерживающими видами. Рестативные виды сохраняют занимаемую площадь, оставаясь на месте без существенного увеличения количества надземных побегов. В серийных сообществах к ним относятся типичные степные виды *Koeleria cristata*, *Stipa krylovi*, *Festuca valesiaca*, *Aster altaicus* Willd. Novopokr и др.

На отвалах встречается большое число вагативных видов, для которых характерен уход от активной конкуренции за площадь обитания. Г.М. Зозулин [36] рассматривает вагативный тип как крайнюю приспособительную форму, характерную для аридных областей, а для гумидных – в нарушенных местообитаниях. По поверхности отвала кочуют, прорастая на новых местах, одно- и двулетники (*Amaranthus retroflexus* L., *Panicum milieum* L., *Salsola collina* Pall., *Sinapis arvensis* L., *Teloxys aristata* (L.) Moq. и др.).

Ирруптивные виды поселяются на разных элементах рельефа там, где со временем образуется слой мелкозема и появляется возможность развиваться длиннокорневищным растениям (*Calamagrostis epigeios* L., *Elytrigia*

repens L., *Elymus racemosus* (Trin.) K. Richt., *Veronica incana* L., *Artemisia frigida* Willd, *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. и др.). Особи этих видов распространяются на небольшие расстояния, что сопровождается значительным увеличением числа надземных побегов и внедрением их на площади, занятые другими растениями. Представители этой жизненной формы являются наиболее конкурентоспособными, приспособленными к совместному обитанию в ценозах, и в сообществах аридных областей в большинстве случаев являются доминантами [36].

Общее проективное покрытие (ОПП) серийных сообществ, формирующихся в ходе первичной сукцессии на вскрыших отвалах, заметно различается в зависимости от экспозиции. На днище отвала сложилось разнотравно-пырейно-вейниковое серийное сообщество (*Calamagrostis epigeios* + *Elytrigia repens* + *Artemisia vulgaris* + *Linaria vulgaris*). Травостой сомкнутый, ОПП 90%. На северном склоне сформировалось разнотравно-житняково-вейниковое серийное сообщество (*Calamagrostis epigeios* + *Agropyron cristatum* + *Erysimum cheiranthoides* + *Artemisia glauca*). Травостой довольно густой, ОПП всех видов составляет 87%. Близкие по значениям показатели ОПП (около 80%) характерны для сообществ мелкодерновинной злаковой степи [18]. На восточном склоне возникновению сомкнутого покрова препятствует периодическое осыпание и размытие почвогрунтов. Здесь возникла разнотравно-маревая открытая группировка (*Chenopodium aristatum* + *Aster altaicus* + *Artemisia tanacetifolia*). Травостой изрежен, растения располагаются на значительном расстоянии друг от друга, ОПП 10%. На западном склоне образовалось солянко-маревое серийное сообщество (*Chenopodium aristatum* + *Salsolla collina*) с ОПП 28%. На южном склоне возникло разнотравно-солянковое серийное сообщество (*Salsolla collina* + *Artemisia sieversiana* + *Erysimum cheiranthoides*) с ОПП 25%.

Для оценки восстановления растительного покрова дополнительную информацию дает нам выявление состава хозяйствственно-ботанических групп и доминирующих видов формирующихся сообществ. В изучаемый период наибольший вклад в надземную фитомассу на всех участках мезорельефа внесли виды синантропного разнотравья, а на северном склоне и днище в отдельные годы – злаки (рис. 2). К числу доминантов в группе разнотравья относятся: на северном склоне – *Erysimum cheiranthoides* L., *Sinapis arvensis*, *Artemisia glauca* Pall.; на восточном склоне – *Chenopodium aristatum* L., *Salsolla collina*, *A. Tanacetifolia* Willd, *A. Tanacetifolia* L., *Aster altaicus*, *Linaria vulgaris* Mill.; на западном склоне – *Salsolla collina*, *Chamerion angustifolium* (L.) Holub, *Artemisia glauca* Pall. ex Willd.; на южном склоне – *Salsolla collina*, *Artemisia sieversiana*, *Erysimum cheiranthoides*, *Aster altaicus*, *Solanum dulcamara* L. На днище доминируют *Artemisia vulgaris* L. *Potentilla acaulis* L. и *Linaria vulgaris*.

Бобовые на отвалах представлены двумя видами медоносов *Melilotus officinalis* и в небольшом количестве на северном и западном склонах – *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC. Среди злаков, способных укреплять поверхность отвала, наибольшим обилием на северном склоне отличаются *Calamagrostis epigeios* и *Agropyron cristatum* (L.) Gaertner. *Elytrigia repens* и

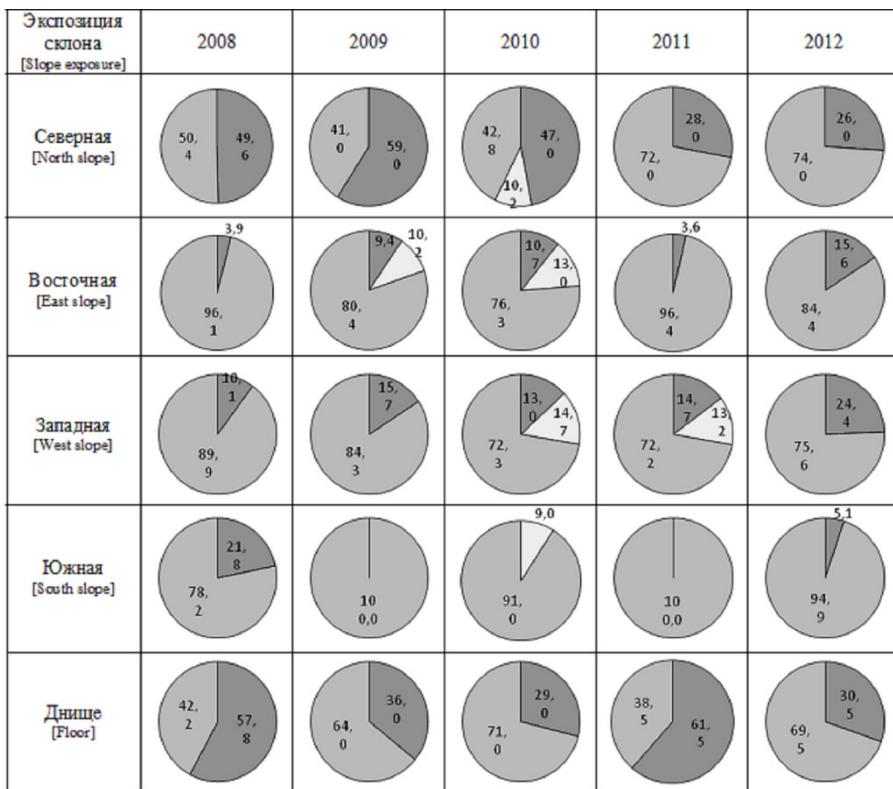


Рис. 2. Состав хозяйствственно-ботанических групп (%) травостоя на вскрытых отвалах разреза «Черногорский»:  – злаки,  – бобовые,  – разнотравье
[Fig 2. The composition, in %, of economical groups of vegetation on “Chernogorsky” open cut spoil dumps:  - poaceae,  - legumes,  - motley grasses]

C. epigeios являются основными ценозобразователями на дне, а вместе с *Panicum miliaceum* встречаются на склонах восточной и южной экспозиций. В 2012 г. на северном и восточном склонах доминировал *Stipa krylovii*.

Важным показателем развития сообщества является его вертикальная структура, которая отражает состав компонентов и условия среды. Г.И. Дохман [37] отмечала, что вертикальная структура травосмеси создает внутри травостоя определенные климатические условия, обуславливающие интенсивность использования солнечной энергии и углекислого газа, совокупно определяющих урожай. Наблюдения за вертикальной структурой растительных сообществ на отвалах разреза «Черногорский» выявили ряд отличий от структурных особенностей зональных сообществ. Во-первых, высота травостоя нарушенных местообитаний превышает высоту травостоя мелкодерновинной злаковой степи, которая, по данным А.В. Куминовой [18], составляет 40–90 см (диаграмма ST на рис. 3). В разные годы в се-рийных сообществах показатель варьирует: на днище от 100 до 118 см (среднее значение $111,2 \pm 3,3$ см), на северном склоне от 60 до 98 см ($80,0 \pm 6,0$), на южном склоне от 63 до 80 см ($69,4 \pm 2,9$), на западном склоне от 53

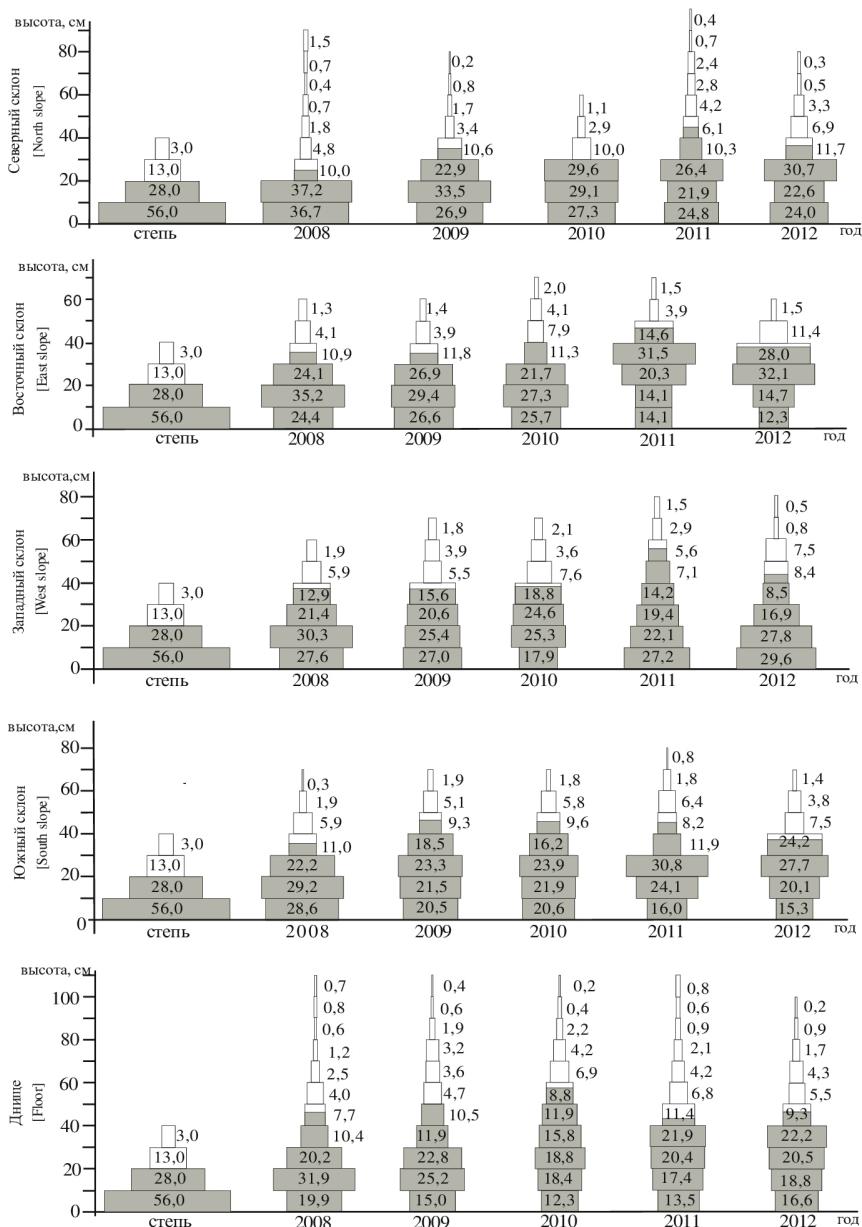


Рис. 3. Вертикальное распределение надземной фитомассы (%) в мелкодерновинной злаковой степи и на отвалах разреза «Черногорский» (2008–2012 гг.).

Вертикальная ось – высота в см. Серым цветом выделены 85%, основная фитомасса
 [Fig. 3. Vertical distribution in % of the above-ground phytomass in bunch grasses steppe and in natural vegetation on "Chernogorsky" spoil dumps (2008–2012). The vertical axis indicates the height in cm. The grey colouring indicates 85%, the main phytomass]

до 85 см ($70,8 \pm 5,5$), на восточном склоне от 51 до 68 см ($60,6 \pm 2,9$) (см. рис. 3). Увеличение высоты травостоя, вероятно, связано с наличием в почвогрунтах окисленного угля, который способствует росту и более мощному развитию растений, образованию гумуса. При изучении процессов самозарастания спланированных породных отвалов в лесостепи Кузнецкой котловины нами установлено, что высота травостоя на данных местообитаниях также превышает высоту травостоя суходольных лугов, которые преобладали на этой территории до проведения вскрышных работ [10]. Можно отметить, что значительные показатели высоты травостоя являются отличительной чертой растительности на отвалах.

Второй особенностью вертикальной структуры сообществ на отвалах является распределение надземной фитомассы по вертикальному профилю. Г.Г. Павлова [23] выделяет три типа распределения по вертикальному профилю: растянутое, при котором основная масса травостоя (85% от общей фитомассы) заключена в слое 0–60 см; среднее – 0–50 см и приземное, когда этот показатель приурочен к слою 0–40 см. Растянутость профиля свойственна лесным вариантам суходольных лесов. Приземным распределением фитомассы отличаются степные фитоценозы и пастбищные луга. Средний тип распределения характерен для наиболее сложно организованных полидоминантных лугов с доминированием злаков и бобовых. Распределение фитомассы по вертикальному профилю травостоя в коренном сообществе описывается приземным типом распределения, таким оно остается и в серийных сообществах при самозарастании отвалов. Исключение составляет фитоценоз, сформировавшийся на днище, где в течение двух лет наблюдался средний тип распределения.

В-третьих, общий вид графика процентного распределения надземной фитомассы мелкодерновинной злаковой степи по слоям в 10 см имеет вид пирамиды [18] (см. рис. 3). Это оптимальная форма распределения фитомассы в травянистых сообществах, при котором происходит максимальное использование поступающей энергии. Графики вертикальной структуры, приближающиеся по конфигурации к графику зональных сообществ, получены на западном склоне в 2008, 2011, 2012 г. На других участках мезорельефа это распределение имело иную конфигурацию.

Продуктивность (надземная фитомасса) мелкодерновинной злаковой степи составляет 0,8 т/га (минимальная – 0,53, максимальная – 1,59 т/га) [18]. Продуктивность серийных сообществ на вскрышных отвалах достигает зонального уровня, максимальная продуктивность отмечена на днище ($2,1 \pm 0,7$ т/га) и северном склоне ($2,6 \pm 0,2$ т/га) (табл. 2). Также высокая продуктивность отмечена ранее при естественном зарастании спланированных вскрышных отвалов в лесостепи Кузнецкой котловины [10] и в степной зоне Республики Тыва [31]. К общей закономерности, выявленной для пионерных сообществ при самозарастании породных отвалов в лесостепной, степной и сухостепной зонах Южной Сибири, следует отнести высокие показатели надземной фитомассы.

На всех элементах мезорельефа отвалов Черногорского разреза надземная фитомасса превышает подземную фитомассу и отмершую растительную

Таблица 2 [Table 2]

Фитомасса (т/га) растительных сообществ на разных участках мезорельефа при самозарастании отвалов разреза «Черногорский»
 [The phytomass of natural vegetation on different mesorelief elements of “Chernogorsky” spoil dumps, t/ha]

Компонент фитомассы [Phytomass component]	Экспозиция склона [Slope exposure]				
	Север [North]	Юг [South]	Восток [East]	Запад [West]	Днище [Floor]
Надземная [Above-ground] фитомасса [phytomass]	2,8 ± 0,7	1,7 ± 0,2	1,4 ± 0,2	2,2 ± 0,2	3,5 ± 0,4
	2,1 ± 0,7	1,0 ± 0,3	0,8 ± 0,1	1,6 ± 0,1	2,6 ± 0,2
	0,6 ± 0,5	0,7 ± 0,2	0,7 ± 0,2	0,6 ± 0,1	1,0 ± 0,2
Подземная [Underground]	0,3 ± 0,05	0,1 ± 0,03	0,2 ± 0,05	0,1 ± 0,02	0,3 ± 0,03
Общая [Total]	3,1	1,8	1,6	2,3	3,8

массу, при этом максимальное значение надземной фитомассы ($1,0 \pm 0,2$ т/га) зарегистрировано на днище (см. табл. 2). Превышение надземной массы над подземной можно объяснить тем, что корневая система растений из-за малого количества мелкозема сформирована недостаточно мощно. Подземная фитомасса находится в процессе формирования, ее значения невелики: максимальные показатели отмечены на днище ($0,3 \pm 0,03$ т/га) и на северном склоне ($0,3 \pm 0,05$ т/га). Самые высокие значения общей фитомассы в сообществах при зарастании 20-летних вскрышных отвалов в аридных районах Хакасии выявлены на днище 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 – распределения видов по их обилию в сообществе. Разнообразие сообщества тем выше, чем больше видов включает это сообщество и чем больше выравнены виды по обилию. Модели видового обилия описывают распределение обилия видов от ситуации с высокой выравненностью до тех случаев, когда численности видов весьма неодинаковы [27].

После 20 лет восстановления растительного покрова на отвалах разреза «Черногорский» отмечено усложнение структуры растительности в ходе сукцессий: постепенно растут число видов и выравненность их обилия, типичным для всех сообществ на разных участках мезорельефа становится лог-нормальное распределение (рис. 4). Данный тип распределения отображает наиболее распространенную в природе ситуацию и характерен для многовидовых зональных фитоценозов, которым свойственно преобладание видов со средним обилием. Распределение, наиболее соответствующее гипотетической кривой «модели разломанного стержня», наблюдалось единственный раз в 2012 г. на склоне северной экспозиции. Обилия видов в этом случае распределены с максимальной возможной равномерностью,

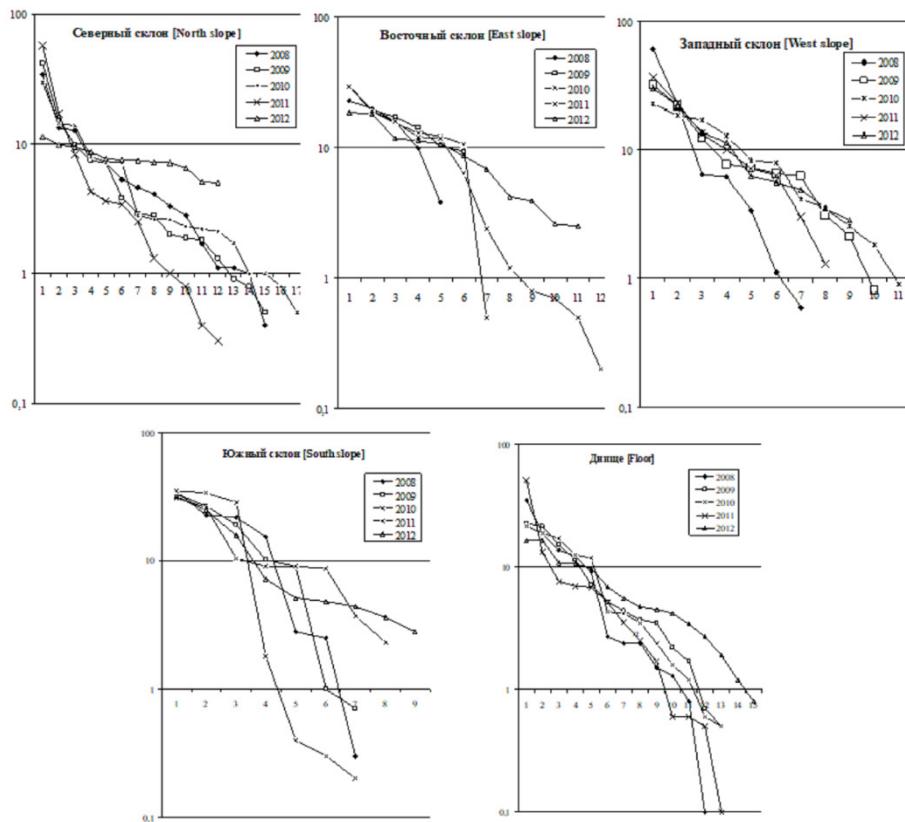


Рис. 4. Кривые значимости видов для серийных сообществ на разных элементах мезорельефа вскрышных отвалов разреза «Черногорский», созданных в 1990-х г. Горизонтальная ось – ранги видов по убыванию обильности. Вертикальная ось – относительная значимость в %, логарифмическая шкала

[**Fig. 4.** Species significance curves for vegetation on different mesorelief elements of “Chernogorsky” spoil dumps formed in the 1990’s. The horizontal axis indicates species ranks in the descending order of abundances. The vertical axis indicates relative significance in %, logarithmic scale)]

что, вероятнее всего, происходит из-за невысокой плотности особей. В составе травостоя преобладают многолетники: *Calamagrostis epigejos*, *Stipa krylovii*, *Artemisia glauca*, *A. sieversiana*, *Linaria vulgaris*, *Sonchus arvensis* L. и др. Высокая выравненность свидетельствует о преобладании в сообществе видов с примерно равной конкурентоспособностью и близко расположеными экологическими оптимумами. В целом анализ кривых значимости видов показал, что структура изучаемых сообществ по данному показателю более или менее сформировалась.

Выводы

1. Первичные сукцессии на вскрышных отвалах в аридных районах Хакасии характеризуются травяным типом зарастания. Видовой состав рас-

тительности обеднен и насчитывает 42 вида сосудистых растений. На отвалах поселяются инвазивные растения, в их числе три вида (*Hordeum jubatum*, *Melilotus officinalis* и *Ulmus pumila*) включены в список издания «Черной книги флоры Сибири».

2. На всех элементах мезорельефа формируются серийные сообщества, которые после 20 лет самозарастания отвалов отличаются по составу и структуре от коренных мелкодерновинных злаковых степей. Находясь на одной из промежуточных стадий восстановления, пионерные сообщества характеризуются значительной высотой травостоя, доминированием видов синантропного разнотравья, высокой долей видов растений мезофитной группы (61,9%) и вагативного типа (33,2%). Эндемичные виды Приенисейских степей, широко представленные во флоре каменистых степей Хакасии, на отвалах отсутствуют.

3. На сближение с зональными сообществами указывает продуктивность растительных сообществ нарушенных территорий ($2,1 \pm 0,7$ т/га на северном склоне и $2,6 \pm 0,2$ т/га на днище), которая близка или превышает зональный уровень (0,53–1,59 т/га). Кроме того, анализ распределения видов по обилию показал, что с увеличением возраста отвала на разных типах склонов отмечаются рост числа видов и выравнивание их обилия, что является характерным для многовидовых зональных растительных сообществ.

Список источников

1. Зеньков И.В., Нефедов Б.Н., Юронен Ю.П., Нефедов Н.Б. Результаты дистанционного мониторинга и полевых исследований экологического состояния нарушенных земель угольными разрезами в Республике Хакасия // Уголь. 2017. № 9. С. 72–75. doi: 10.18796/0041-5790-2017-9-72-75
2. Миронычева-Токарева Н.П. Динамика растительности при зарастании отвалов (на примере КАТЭКа). Новосибирск : Наука, 1998. 172 с.
3. Стрельникова Т.О., Манаков Ю.А. Особенности флоры отвалов угольных разрезов Кемеровской области // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2010. № 2 (10). С. 44–57.
4. Ламанова Т.Г., Каракулов А.В. Естественное зарастание спланированных отвалов четвертичных отложений в лесостепной зоне Кузнецкой котловины (юг Западной Сибири) // Ботанический журнал. 2011. Т. 96, № 3. С. 411–422.
5. Миронова С.И., Кудинова З.А. Зарастание растительности на угольных отвалах Якутии // Вестник Северо-восточного федерального университета. 2012. Т. 9, № 3. С. 61–66.
6. Сумина О.И. Формирование растительности на техногенных местообитаниях крайнего севера России. СПб. : Информ-Навигатор, 2013. 340 с.
7. Lei H., Peng Zh., Yigang H., Yang Zh. Vegetation and soil restoration in refuse dumps from open pit coal mines // Ecological Engineering. 2016. № 94. РР. 638–646. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.06.108
8. Костина Е.Э., Крышень А.М., Геникова Н.В. Анализ видового состава сосудистых растений на отвалах и карьерах на территории Республики Карелия // Ботанический журнал. 2021. Т. 106, № 12. С. 1147–1166. doi: 10.31857/S000681362112005X

9. Мартыненко В.А., Груздев Б.И. Флора техногенных ландшафтов таежной зоны европейского северо-востока (Республика Коми). Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 2021. 122 с.
10. Ламанова Т.Г., Шеремет Н.В. Агрофитоценозы на отвалах в южной части Кузнецкой котловины. Новосибирск : Офсет, 2010. 224 с.
11. Чибрик Т.С., Лукина Н.В., Филимонова Е.И., Глазырина М.А. Экологические основы и опыт биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель. Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2011. 268 с.
12. Лиханова И.А., Арчегова И.Б. Развитие теоретических и практических аспектов процесса восстановления нарушенных земель на севере Республики Коми // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 3. С. 79–85.
13. Chuman T. Restoration practices used on post mining sites and industrial deposits in the Czech Republic with an example of natural restoration of granodiorite quarries and spoil heaps // Journal of Landscape Ecology. 2015. № 8 (2). РР. 29–46. doi:10.1515/jlecol-2015-0007
14. Banaszek J., Leksy M., Rahmonov O. The role of spontaneous succession in reclamation of mining waste tip in area of Ruda Śląska City // 10th International Conference “Environmental Engineering” (ICEE-2017): Proc. of the Sci. Conf (Vilnius, Lithuania, 27–28 April, 2017). Vilnius, Lithuania, 2017. doi: 10.3846/ENVIRO.2017.098
15. Щербатенко В.И., Кондрашин Е.Р. Естественная растительность отвальнокарьерных ландшафтов Сибири // Восстановление таёжно-техногенных ландшафтов Сибири (теория и технология). Новосибирск : Наука, 1977. С. 65–80.
16. Лавриненко А.Т., Остапова Н.А., Сафонова О.С., Шаповаленко Г.Н., Евсевьева И.Н., Моршнев Е.А. Некоторые особенности флористического состава спланированных отвалов разреза «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия» // Уголь. 2020. № 9. С. 68–71. doi: 10.18796/0041-5790-2020-9-68-71
17. Жуков А.А., Жукова Е.Ю. Особенности сукцессии растительности на примере рекультивированного отвала угольного разреза «Черногорский» // Лесохозяйственная информация. 2022. № 3. С. 114–124. doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.10
18. Куминова А.В., Зверева Г.А., Маскаев Ю.М., Павлова Г.Г., Седельников В.П., Королева А.С., Нейфельд Э.Я., Танзыбаев М.Г., Чижикова Н.М., Ламанова Т.Г. Растительный покров Хакасии. Новосибирск : Наука, 1976. 418 с.
19. Полевая геоботаника / под ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. Т. I–V. Л. : Наука, 1959–1976.
20. Воронов А.Г. Геоботаника. М. : Высшая школа, 1973. 384 с.
21. Конспект флоры Азиатской России: сосудистые растения. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2012. 640 с.
22. Алексеенко Л.Н. Некоторые проблемы изучения структуры травостоя травянистых фитоценозов // Ботанический журнал. 1964. Т. 49, № 1. С. 65–74.
23. Павлова Г.Г. Суходольные луга Средней Сибири. Новосибирск : Наука, 1980. 213 с.
24. Корчагин А.А., Лавренко Е.М. Морфологическое строение сообществ (синморфология) // Полевая геоботаника. М. ; Л. : Наука, 1976. Т. 5. С. 28–130.
25. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М. : Прогресс, 1980. 327 с.
26. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М. : Наука, 1982. 281 с.
27. Мэггарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М. : Мир, 1992. 184 с.
28. Черная книга флоры Сибири. Новосибирск : Гео, 2016. 440 с.
29. Ламанова Т.Г. Анализ флоры каменистых степей Хакасии // Геоботанические исследования в Западной и Средней Сибири. Новосибирск : Наука, 1978. С. 193–209.
30. Антонов И.С., Винокурова О.Т., Градобоева Н.А., Игнотенко Л.П., Леоненко А.Н., Лиховид Н.И., Новак Д.Д., Семшов А.Ф., Собецкая Л.С., Чаптыков А.Г., Чарков С.М., Шепелев В.В. Биологическая рекультивация нарушенных земель в Рес-

- публике Хакасия. Рекомендации и технологические схемы. Абакан : Изд-во Хакасского государственного университета, 2003. 68 с.
31. Титлянова А.А., Самбу А.Д. Сукцессии в травянистых экосистемах. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2016. 191 с.
 32. Благовещенский Э.Н. О конденсации влаги в почвах пустынь // Пустыни СССР и их освоение. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1954. С. 508–519.
 33. Свешникова В.М. Водный режим растений и почв высокогорных пустынь Памира. Душанбе : Изд-во АН Таджикской ССР, 1962. 245 с.
 34. Щербаков Ю.А. Из опыта изучения роли экспозиции в ландшафтообразовании // Влияние экспозиции на ландшафты. Пермь : Изд-во Пермского университета, 1970. С. 3–99.
 35. Пяк А.И. Петрофиты Русского Алтая. Томск : Изд-во Томского университета, 2003. 200 с.
 36. Зозулин Г.М. Схема основных направлений и путей эволюции жизненных форм семенных растений // Ботанический журнал 1968. Т. 53, вып. 2. С. 223–232.
 37. Дохман Г.И. Экспериментально-фитоценотические основы исследования злаково-бобовых сообществ. М. : Наука, 1979. 199 с.

References

1. Zen'kov IV, Nefedov BN, Yuronen YuP, Nefedov NB. Environmental condition remote sounding and field surveys of the lands, disturbed by coal mining open pits in the Republic of Khakassia. *Ugol' – Russian Coal Journal*. 2017;9:72-75. In Russian, English summary. doi: 10.18796/0041-5790-2017-9-72-75
2. Mironycheva-Tokareva NP. Dinamika rastitel'nosti pri zarastanii otvalov (na primere KATEKa) [Dynamics of vegetation during overgrowing of dumps (according to the KATEK principle)]. Novosibirsk: Nauka Publ.; 1998. 172 p. In Russian
3. Strel'nikova TO, Manakov YuA. Features of coal mines dumps flora of Kemerovo region. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2010;2(10):44-57. In Russian, English summary.
4. Lamanova TG, Karakulov AV. Natural plant colonization of leveled spoil banks of quaternary deposits in the forest-steppe zone of the Kuznetsk basin (south of West Siberia). *Botanicheskiy zhurnal – Botanical Journal*. 2011;96(3):411-422. In Russian, English summary
5. Mironova SI, Kudinova ZA. Overgrowth of vegetation on mine tips of Yakutia. *Vestnik Severo-vostochnogo federal'nogo universiteta – Vestnik of North-Eastern Federal University*. 2012;9(3):61-66. In Russia, English summary
6. Sumina OI. Formirovanie rastitel'nosti na tekhnogennykh mestoobitaniyakh kraynego severa Rossii [Formation of vegetation in technogenic habitats of the far north of Russia]. St. Petersburg: Inform-Navigator Publ.; 2013. 340 p. In Russian
7. Lei H, Peng Zh, Yigang H, Yang Zh. Vegetation and soil restoration in refuse dumps from open pit coal mines. *Ecological Engineering*. 2016;94:638-646. doi: 10.1016/J.ECOLENG.2016.06.108
8. Kostina EE, Kryshen' AM, Genikova NV. Analysis of vascular plant species composition of dumps and quarries in the Republic of Karelia. *Botanicheskiy zhurnal – Botanical Journal*. 2021;106(12):1147-1166. In Russian, English summary. doi: 10.31857/S000681362112005X
9. Martynenko VA, Gruzdev BI. Flora tehnogennyh landshaftov taezhnoj zony evropejskogo severo-vostoka (Respublika Komi) [Flora of technogenic landscapes of the taiga zone of the European north-east (Komi Republic)]. Syktyvkar: Komi Research Centre of Uralian Branch RAS Publ.; 2021. 122 p. In Russian
10. Lamanova TG, Sheremet NV. Agrofitocenozy na otvalah v juzhnoj chasti Kuzneckoj kotloviny [Agrophytocoenoses on the Spoil Banks in the Southera Part of the Kuznetsk Basin]. Novosibirsk: Ofset Publ.; 2010. 226 p. In Russian

11. Chibrik TS, Lukina NV, Filimonova EI, Glazyrina MA. Ekologicheskie osnovy i opyt biologicheskoy rekul'tivatsii narushennykh promyshlennost'yu zemel' [Ecological foundations and experience of biological reclamation of industrially disturbed lands]. Ekaterinburg: Ural State University Publ.; 2011. 268 p. In Russian
12. Likhanova IA, Archegova IB. An unconventional approach to solving the problem of restoring damaged ecosystems in the Nord. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya – Theoretical and Applied Ecology*. 2014;3:79-85. In Russian, English summary
13. Chuman T. Restoration practices used on post mining sites and industrial deposits in the Czech Republic with an example of natural restoration of granodiorite quarries and spoil heaps. *Journal of Landscape Ecology*. 2015;8(2):29-46. doi: 10.1515/jlecol-2015-0007
14. Banaszek J, Leksy M, Rahmonov O. The role of spontaneous succession in reclamation of mining waste tip in area of Ruda Śląska City. In: *Environmental engineering*. 10th International Conf. (Vilnius, Lithuania, 27-28 April, 2017). Vilnius, Lithuania; 2017. doi: 10.3846/ENVIRO.2017.098
15. Shcherbatenko VI, Kondrashin ER. Estestvennaya rastitel'nost' otval'no-kar'ernykh landschaftov Sibiri [Natural vegetation of waste quarry landscapes in Siberia]. In: *Vosstanovlenie taezhno-tehnogenykh landschaftov Sibiri (teoriya i tekhnologiya)* [Restoration of taiga-technogenic landscapes of Siberia (theory and technology)]. Novosibirsk: Nauka Publ.; 1977. pp. 65-80. In Russian
16. Lavrinenko AT, Ostapova NA, Safronova OS, Shapovalenko GN, Evseeva IN, Morshnev EA. Some features of the floristic composition of the planned dumps of "Chernogorsky" open-pit mine "SUEK-Khakasia" LLC. *Ugol' – Russian Coal Journal*. 2020;9:68-71. In Russian, English summary. doi: 10.18796/0041-5790-2020-9-68-71.
17. Zhukov AA, Zhukova EYu. Successional properties of vegetation on the example of the recultivated open surface coal mine "Chernogorsky". *Lesokhozyaystvennaya informatsiya – Forestry information*. 2022;3:114-124. In Russia, English summary. doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.10
18. Kuminova AV, Zvereva GA, Maskaev YuM, Pavlova GG, Sedel'nikov VP, Koroleva AS, Neyfel'd EYa, Tanzybaev MG, Chizhikova NM, Lamanova TG. Rastitel'nyy pokrov Khakassii [Vegetation cover of Khakassia]. Novosibirsk: Nauka Publ.; 1976. 418 p. In Russian
19. Polevaja geobotanika [Field geobotany]. Lavrenko EM, Korchagin AA, editors. Leningrad: Nauka Publ.; 1959-1976. Vol. I-V. In Russian
20. Voronov AG. Geobotanika [Geobotanika]. Moscow: Vysshaya Shkola Publ.; 1973. 384 p. In Russian
21. Konspekt flory Aziatskoj Rossii: sosudistye rastenija [Conspectus Flora of Russiae Asiaticae: Plantae vasculares]. Novosibirsk: Siberian Branch Publ.; 2012. 640 p. In Russian
22. Alekseenko LN. Certain problems of the sward structure of some herbage phytocoenoses. *Botanicheskiy zhurnal – Botanical Journal*. 1964;49(1):65-74. In Russian, English summary
23. Pavlova GG. Sukhodol'nye luga Sredney Sibiri [Dry meadows of Central Siberia]. Novosibirsk: Nauka Publ.; 1980. 213 p. In Russian
24. Korchagin AA, Lavrenko EM. Morfologicheskoe stroenie soobshchestv (sinmorfologiya) [Morphological structure of plant communities (Synmorphology)]. In: *Polevaya geobotanika* [Field Geobotany]. Moscow, Leningrad: Nauka Publ.; 1976. Vol. 5. pp. 28-130. In Russian
25. Uitteker R. Communities and ecosystems. Mirkin BM, Rosenberg GS, translated from English; Babintseva LB, editor. New York: Macmillian Publishing Co; 1975. 327 p. In Russian
26. Pesenko YuA. Printsipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyakh [Principles and methods of quantitative analysis in faunal studies]. Moscow: Nauka Publ.; 1982. 281 p. In Russian

27. Magurran A. Ecological diversity and its measurement. Matveeva NV, translated from English; Chernova YuI, editor. London: Crom Helm; 1983. 184 p. In Russian
28. Chernaya kniga flory Sibiri [Black book of flora of Siberia]. Novosibirsk: Geo Publ.; 2016. 440 p. In Russian
29. Lamanova TG. Analiz flory kamenistykh stepей Khakasii [Analysis of the flora of the stony steppes of Khakassia]. In: *Geobotanicheskie issledovaniya v Zapadnoy i Sredney Sibiri* [Geobotanical research in Western and Central Siberia]. Novosibirsk: Nauka Publ.; 1978. pp. 193-209. In Russian
30. Antonov IS, Vinokurova OT, Gradoboeva NA, Ignatenko LP, Leonenko AN, Likhovid NI, Novak DD, Semshov AF, Sobetskaya LS, Chaptikov AG, Charkov SM, Shepelev VV. Biologicheskaya rekul'tivatsiya narushennykh zemel' v Respublike Khakasiya. Rekomendatsii i tekhnologicheskie skhemy [Biological reclamation of disturbed lands in the Republic of Khakassia. Recommendations and technological schemes]. Abakan: Khakassian State University Publ.; 2003. 68 p. In Russian
31. Titlyanova AA, Sambu AD. Sukcessii v travjanyh ekosistemah [Succession in Grasslands]. Novosibirsk: Siberian Branch Publ.; 2016. 191 p. In Russian
32. Blagoveshchenskiy EN. O kondensatsii vlagi v pochvakh pustyn' [On moisture condensation in desert soils]. In: *Pustyni SSSR i ikh osvoenie* [Deserts of the USSR and their development]. Moscow, Leningrad: USSR Academy of Sciences Publ.; 1954. pp. 508-519. In Russian
33. Sveshnikova VM. Vodnyy rezhim rasteniy i pochv vysokogornykh pustyn' Pamira [Water regime of plants and soils of the high mountain deserts of the Pamirs]. Dushanbe: Tadzhik SSR Academy of Sciences Publ.; 1962. 245 p. In Russian
34. Shcherbakov YuA. Iz opyta izucheniya roli ekspozitsii v landshaftoobrazovaniya [From the experience of studying the role of exposure in landscape formation]. In: *Vliyanie ekspozitsii na landshafty* [The influence of exposure on landscapes]. Perm: Perm State University Publ.; 1970. pp. 3-99. In Russian
35. Pyak AI. Petrofity Russkogo Altaya [Petrophytes of Russian Altai]. Tomsk: Tomsk State University Publ.; 2003. 200 p. In Russian
36. Zozulin GM. A scheme of the main directions and pathways of the evolution of the life forms of spermatophytes. *Botanicheskiy zhurnal – Botanical Journal*. 1968;53(2):223-232. In Russian, English summary
37. Dokhman GI. Eksperimental'no-fitotsenoticheskie osnovy issledovaniya zlakovo-bobovykh soobshchinitiy [Experimental phytocenotic basis for the study of cereal-legume habitats]. Moscow: Nauka Publ.; 1979. 199 p. In Russia

Информация об авторах:

Шеремет Наталья Владимировна, канд. биол. наук, н.с. лаборатории Гербарий, Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (Новосибирск, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2973-3008>

E-mail: nsheremet@yandex.ru

Сафронова Ольга Сергеевна, м.н.с. лаборатории Рекультивации, Научно-исследовательский институт аграрных проблем Хакасии, филиал ФИЦ КНЦ СО РАН (Зеленое, Республика Хакасия, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1181-5224>

E-mail: olga_egoshina@mail.ru

Ламанова Татьяна Григорьевна, д-р биол. наук, с.н.с. лаборатории Гербарий, Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (Новосибирск, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6691-3732>

E-mail: tlamanova@yandex.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Natalia V. Sheremet, Cand. Sci. (Biol.), researcher of the Herbarium Laboratory, Central Siberian Botanical Garden (Novosibirsk, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2973-3008>

E-mail: nsheremet@yandex.ru

Olga S. Safronova, junior researcher of the Laboratory of Recultivation, Research Institute of Agricultural Problems of Khakassia, FRC KSC SB RAS (Zelenoe, Republic of Khakassia, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1181-5224>

E-mail: olga_egoshina@mail.ru

Tatyana G. Lamanova, Dr. Sci. (Biol.), senior researcher of the Herbarium Laboratory, Central Siberian Botanical Garden (Novosibirsk, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6691-3732>

E-mail: tlamanova@yandex.ru

The Authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 06.02.2023;
одобрена после рецензирования 27.03.2024; принята к публикации 04.09.2025*

*The article was submitted 06.02.2023;
approved after reviewing 27.03.2024; accepted for publication 04.09.2025*