

Научная статья

УДК [58.009+622.271.45]:622.33(571.17)
DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.10

Особенности сукцессии растительности на примере рекультивированного отвала угольного разреза «Черногорский»

Александр Андреевич Жуков¹

Елена Юрьевна Жукова²

кандидат биологических наук

Аннотация. Представлены результаты исследований сукцессионных процессов растительных сообществ на многолетнем отвале Черногорского угольного разреза. Выявлены 3 стадии сукцессии растительных сообществ: группировки, простые и сложные фитоценозы. Среди наиболее активных видов отмечены *Psathyrostachys juncea*, *Calamagrostis epigeios*, *Ulmus pumila*, *Poa pratensis*, *Galatella punctata*, *Artemisia glauca*, *Cirsium setosum*, *Artemisia annua*. Выявлено 8 инвазивных видов, из них *Ulmus pumila* – самый распространенный. Относительно богатое видовое разнообразие, высокое проективное покрытие – 65 % и выше, а также наличие растительных сообществ, приближенных по видовому составу к степным и остепненным луговым сообществам, и обилие древесно-кустарниковой растительности на исследованном рекультивированном отвале позволяют рассматривать его как перспективную площадку для размещения карбонового полигона с целью изучения секвестирования углерода в условиях семиаридного климата.

Ключевые слова: угольные отвалы, сукцессии, сингенез, инвазивные растения, разрез «Черногорский».

Для цитирования: Жуков А.А., Жукова Е.Ю. Особенности сукцессии растительности на примере рекультивированного отвала угольного разреза «Черногорский». – Текст : электронный // Лесохозяйственная информация. 2022. № 3. С. 114–124. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.10

¹ Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, аспирант (г. Абакан, Республика Хакасия, Российская Федерация), zhukov_aa@khsu.ru

² Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, доцент (г. Абакан, Республика Хакасия, Российская Федерация), biosara@mail.ru

Original article

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.10

Successional Properties of Vegetation on the Example of the Recultivated Open Surface Coal Mine «Chernogorsky»

Alexander A. Zhukov¹

Elena Yu. Zhukova²

Candidate of Biological Sciences

Abstract. Presents the results of studies of successional processes of plant communities on the long-term dump of the open surface coal mine «Chernogorsky». The three stages of community succession have been identified: groupings, simple and complex phytocenoses. Among the most active species are *Psathyrostachys juncea*, *Calamagrostis epigeios*, *Ulmus pumila*, *Poa pratensis*, *Galatella punctata*, *Artemisia glauca*, *Cirsium setosum*, *Artemisia annua*. The eight invasive species have been identified, of which *Ulmus pumila* is the most common one. The relatively rich biodiversity, high projective coverage – 65 % and above, as well as the presence of communities closed in species composition to steppe and settled meadow communities, as well as the abundance of tree and shrub vegetation on the studied recultivated dump allow us to consider it as a perspective site for the placement of a carbon polygon in order to study carbon sequestration in conditions of semiarid climate.

Keywords: coal dumps, successions, syngensis, invasive plants, open surface coal mine «Chernogorsky».

For citation: Zhukov A., Zhukova E. Successional Properties of Vegetation on the Example of the Recultivated Open Surface Coal Mine «Chernogorsky». – Text : electronic // Forestry information. 2022. № 3. P. 114–124. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.10

¹ Katanov Khakass State University, graduate student (Abakan, Republic of Khakassia, Russian Federation), zhukov_aa@khsu.ru

² Katanov Khakass State University, Docent (Abakan, Republic of Khakassia, Russian Federation) biosara@mail.ru

Разрез «Черногорский» – крупнейшее в Хакасии предприятие по добыче угля открытым способом – был сдан в эксплуатацию в 1959 г. Угольный разрез находится на территории Абаканского степного района (Уйбатский равнинно-холмистый солонцеватый) в Южно-Минусинской котловине. Естественный рельеф сочетает обширные выровненные пространства с холмистыми участками. Высота исследованного отвала составляет 408 м над ур. моря, рельеф пересеченный, угол склонов – 7–13°. Интенсивность радиации за теплый период года – 36,0 ккал/см², сумма температур – 1 950°, количество осадков – 250 мм в год. Зональные почвы – черноземные и каштановые. Техногенный элювий отвала в основном представлен песчаниками с примесью аргиллитов и алевролитов. Типичной зональной степной растительностью являются мелкодерновинные четырехзлаковые настоящие степи [1]. Цель работы – выявить особенности сукцессии растительности на примере рекультивированного отвала угольного разреза «Черногорский».

Объекты и методы исследования

Изучение растительности территории осуществляли общепринятыми геоботаническими методами 2–3 раза за вегетационный период 2021 г. (координаты центра отвала – 53°44'35" с.ш. 91°3'43" в.д.) [2–4]. Описания растительности проводили на учетных площадках отвала разной экспозиции с определением основных признаков фитоценозов: проективное покрытие, ярусность, фенофазы (площадки 10×10 м в травянистых сообществах и 25×25 м в фитоценозах лесного типа). Названия сообществ, ввиду их происхождения и особенностей сукцессионных процессов, формулировали по доминантной классификации. Обработку геоботанических данных, в том числе выделение классов постоянства (I–IV), проводили в системе IBIS версии 7.2 [5].

Обсуждение результатов

На основе 131 геоботанического описания в районе исследования выявлено 3 стадии сукцессии растительных сообществ – группировки (13 %), простые фитоценозы (73 %) и сложные фитоценозы (14 %) (табл. 1). На отвалах разнообразие растений является результатом сочетания различных локальных условий – часто экстремальных (засуха и перегрев поверхности, токсичность субстрата, эрозия и т.д.). Абиотический стресс растительности на отвалах – обычное явление. На начальных этапах здесь возникают фитоценозы, небогатые по количеству видов и обычно имеющие доминирующий вид-эдификатор [6]. На пионерной стадии сингенетической сукцессии в условиях данного отвала формируются следующие типы растительных группировок:

1) маловидовые группировки из малолетних рудералов (*Salsola collina* Pall.);

2) многовидовые группировки с участием нескольких рудеральных видов: *Hyoscyamus niger* L. + *Chenopodium album* L. и *Artemisia annua* L. часто в сочетании с *Artemisia sieversiana* Willd. и мхом; *Cynoglossum officinale* L.;

3) группировки с преобладанием корневищных многолетников: *Sisymbrium loeselii* L. + *Psathyrostachys juncea* (Fisch.) Nevski; *Cynoglossum officinale* L. + *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth + *Cannabis sativa* L.; *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth + *Sonchus arvensis* L. + *Cirsium setosum* (Willd.) Besser;

4) группировки с участием древесных видов: *Ulmus pumila* L., *Hippophae rhamnoides* L., в меньшей степени *Acer negundo* L.

Т.Г. Ламанова с соавт. на отвалах разреза «Черногорский» также отмечает наличие маловидовых растительных группировок *Salsola collina* Pall. и *Chenopodium aristatum* L. и многовидовых группировок *Salsola collina* Pall. и *Chenopodium aristatum* L. с участием *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Hordeum jubatum* L., *Erysimum cheiranthoides* L., *Agropyron ramosum* (Trin.) K. Richt., *Leonurus glaucescens* Bunge [7].

Известно, что некоторые рудеральные растения могут адаптироваться к крайне тяжелым

ТАБЛИЦА 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ОТВАЛА

ТИПИЧНОЕ СООБЩЕСТВО	Кол-во видов ¹ , шт.	ОПП ² , %	Экспозиция ³ , %	Зона ⁴ , %	Условия ⁵	ЭМБРИОЗЕМ ⁶
<i>Растительные группировки:</i> полынные и мохово-полынные, солянковые, чернокорневые и сорноразнотравно-чернокорневые, лебедево-беленовые, сорноразнотравно-злаковые	10±1	40±2	С – 35 С-В – 35 С-З – 18 В – 12	АКК – 30 ТР – 35 ЭЛ – 35	Б – 47 Н – 6 У – 47	И – 71 Д – 29
<i>Простые фитоценозы:</i> вейниковые, колосняковые, мятликовые, пырейные, ломкоколосниковые, разнотравно-злаковые, солонечниково-злаковые и полынно-злаково-солонечниковые луга и их закустаренные варианты; насаждения вяза приземистого, облепихи крушиновидной с разнотравно-злаковым, сорноразнотравно-злаковым и моховым покровом	10±1	65±2	В – 11 С – 29 С-В – 17 С-З – 21 Ю – 6 Ю-З – 16	АКК – 20 ТР – 25 ЭЛ – 55	Б – 29 Н – 16 У – 55	И – 2 Д – 35 ОА – 60 ГА – 3
<i>Сложные фитоценозы:</i> насаждения вяза приземистого и березы повислой; открытые луговые участки, в том числе и закустаренные с разнотравно-мятликовым, полынно-мятликовым, полынно-солонечниково-мятликовым покровом	15±1	62±4	З – 22 С-З – 6 С-В – 22 Ю-В – 22 С – 11 В – 17	ЭЛ – 44 АКК – 33 ТР – 23	Б – 33 Н – 22 У – 45	Д – 28 ОА – 22 ГА – 50

¹ Среднее арифметическое и ошибка среднего арифметического.

² Общее проективное покрытие.

³ С – северная, С-В – северо-восточная, С-З – северо-западная, В – восточная, З – западная, Ю – южная, Ю-В – юго-восточная.

⁴ АКК – аккумуляционная зона, ТР – транзитная зона, ЭЛ – элювиальная зона.

⁵ Б – благоприятные, Н – неблагоприятные, У – умеренно благоприятные.

⁶ И – инициальный, Д – дерновый, ОА – органо-аккумулятивный, ГА – гумусово-аккумулятивный.

условиям загрязнения, например сообщества *Cynodon dactylon* (L.) Pers. + *Setaria viridis* (L.) P. Beauv. и *Humulus scandens* (Lour.) Merr. Потенциально исследования их видового состава могут быть полезны для разработки будущих программ восстановления отвалов угольных разрезов [8].

С течением времени видовое разнообразие растительных сообществ увеличилось в среднем с 10 до 15 видов, т.е. отсутствуют моновидовые сообщества (см. табл. 1). Проективное покрытие простых и сложных фитоценозов также оценивается как достаточно высокое (62–65 %). Группировки находились в основном на северной стороне отвала. Это связано, во-первых, с экспозицией места расположения растительных сообществ (свыше 10 %), во-вторых, с каменистым или щебнистым подвижным грунтом или, наоборот, с переуплотненными глинистыми выходами. Следует отметить, что площадь распространения таких участков небольшая, часто их размеры 3×3 м (пятна) или 2×5 м (узкие полосы).

На стадии простого фитоценоза происходило усложнение строения растительного сообщества, смыкание частей растений между собой. В видовом составе появлялись растения с активным семенным и вегетативным размножением, способные осваивать большие территории. Среднее количество видов практически не изменялось, но список видов иной – снижалась доля рудеральных растений и малолетников, появлялись луговые (*Poa pratensis* L., *Geranium pratense* L., *Fragaria viridis* Weston) и степные виды (*Artemisia glauca* Pall. ex Willd., *Phleum phleoides* (L.) H. Karst., *Stipa capillata* L., *Saussurea amara* (L.) DC.).

В ходе исследования на данной стадии сукцессии выявлены:

1) фитоценозы с преобладанием дерновинных многолетников и степного или лугового разнотравья, с небольшой примесью сорных видов: *Poa pratensis* L. с участием *Psathyrostachys juncea* (Fisch.) Nevski, *Fragaria viridis* Weston, *Cirsium setosum* (Willd.) Besser; *Psathyrostachys juncea* (Fisch.) Nevski с преобладанием *Galatella*

punctata (Waldst. & Kit.) Nees, *Artemisia annua* L., *Cirsium setosum* (Willd.) Besser), *Artemisia glauca* Pall. ex Willd., *Artemisia frigida* Willd., *Heteropappus altaicus* (Willd.) Novopokr., *Festuca valesiaca* Gaudin, *Melilotus officinalis* (L.) Pall.; *Elytrigia repens* (L.) Nevski + *Psathyrostachys juncea* (Fisch.) Nevski; *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth с участием *Artemisia glauca* Pall. ex Willd., *Galatella punctata* (Waldst. & Kit.) Nees), *Lactuca sibirica* (L.) Benth. ex Maxim.; *Phleum phleoides* (L.) H. Karst. + *Artemisia glauca* Pall. ex Willd.;

2) древесно-кустарниковые насаждения – *Ulmus pumila* L., *Ribes aureum* Pursh, *Hippophae rhamnoides* L., в меньшей степени *Acer negundo* L., *Armeniaca sibirica* (L.) Lam., *Malus baccata* (L.) Borkh. со злаковым или разнотравно-злаковым покровом.

Стадия простого фитоценоза на территории исследования наиболее широко распространена в элювиальной зоне, с умеренно благоприятными для произрастания условиями. Почвенный покров перешел в органо-аккумулятивную стадию. Увеличивается и доля древесно-кустарниковых видов.

Сложные сообщества в основном представлены древесно-кустарниковыми насаждениями (в основном из *Ulmus pumila* L., реже *Betula pendula* Roth) и разнотравно-злаковыми и полынно-разнотравно-злаковыми сообществами (сходными со второй стадией, но с большим участием видов из естественных сообществ).

В северо-восточном секторе отвалов разреза «Черногорский» в области наиболее активных юго-западных ветров А.Т. Лавриненко с соавт. [9] исследовали участки третьей стадии восстановления – тонконогово-тырсово-ковыльную крупнодерновую степь и змеевково-тонконогово-мятликовую мелкодерновинную степь и второй стадии – мятликово-тырсовую и пырейно-вейниково-тырсово-колосняковую залежь (*Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Leymus ramosus* (Trin.) Tzvelev, *Poa angustifolia* L., *Stipa capillata* L., *Convolvulus arvensis* L., *Poa transbaicalica* Roshev., *Plantago media* L.).

Наибольшим видовым разнообразием характеризуются растительные сообщества на вершине

отвала. Здесь происходит включение в фитоценозы степных видов. Очевидно, это связано с заносом семян ветром, так как виды *Artemisia glauca* Pall. ex Willd., *Artemisia frigida* Willd., *Poa botryoides* (Trin. ex Griseb.) Kom., *Saussurea amara* (L.) DC., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Heteropappus altaicus* (Willd.) Novopokr., *Phleum phleoides* (L.) H. Karst. и *Stipa capillata* L. являются доминантами и содоминантами естественных сообществ на соседних с разрезом территориях.

В целом на территории исследованного отвала обнаружено 102 вида. Это свидетельствует о достаточно высоком видовом разнообразии.

Математическое моделирование эффективности защитных растительных барьеров вблизи мест добычи угля открытым способом показывает, что развитый растительный покров снижает пылевое загрязнение атмосферы [10]. Наиболее активные виды фитоценозов, вносящих наибольший вклад в этот процесс, представлены в табл. 2.

Большинство активных видов (*Psathyrostachys juncea* (Fisch.) Nevski, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Ulmus pumila* L. и *Poa pratensis* L.) были использованы для рекультивации и успешно закрепились на новом местообитании. *Galatella punctata* (Waldst. & Kit.) Nees – заносной вид.

Постепенно утрачивают свои позиции типичные рудералы – *Cirsium setosum* (Willd.) Besser, *Artemisia annua* L., *Artemisia scoparia* Waldst. & Kit., *Lactuca sibirica* (L.) Benth. ex Maxim., что свидетельствует о переходе на следующую стадию сингенеза. Как указывают О.С. Сафронова и др. и В.М. Доронькин и др. [11–12], на отвалах Черногорского разреза распространены виды *Artemisia sieversiana* Willd., *Artemisia tanacetifolia* L., *Erysimum cheiranthoides* L., *Sinapis arvensis* L. (северный склон); *Salsola collina* Pall., *Chenopodium aristatum* L., *Heteropappus altaicus* (Willd.) Novopokr., *Linaria vulgaris* Mill. (восточный склон); *Salsola collina* Pall., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Artemisia glauca* Pall. ex Willd., *Heteropappus altaicus* (Willd.) Novopokr., *Erysimum cheiranthoides* L., *Solanum nigrum* L. (южный склон). Некоторые из вышеупомянутых видов (*Heteropappus altaicus* (Willd.) Novopokr.,

ТАБЛИЦА 2. НАИБОЛЕЕ АКТИВНЫЕ ВИДЫ ФИТОЦЕНОЗОВ ОТВАЛА

№ п/п	ВИД РАСТЕНИЙ (ВСТРЕЧАЕМОСТЬ, %)	КЛАСС ПОСТОЯНСТВА	ДОЛЯ ОТ ОБЩЕГО ЧИСЛА ВИДОВ, %
1	<i>Psathyrostachys juncea</i> (Fisch.) Nevski (11,5)	IV	1
2	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth (7,3), <i>Ulmus pumila</i> L. (6,5), <i>Poa pratensis</i> L. (5,7), <i>Galatella punctata</i> (Waldst. & Kit.) Nees (4,7), <i>Artemisia glauca</i> Pall. ex Willd. (2,7), <i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Besser (2,2), <i>Artemisia annua</i> L. (1,0)	III	7
3	<i>Lactuca sibirica</i> (L.) Benth. ex Maxim. (1,0), <i>Artemisia scoparia</i> Waldst. & Kit. (0,8), <i>Hyoscyamus niger</i> L. (0,8), <i>Poa botryoides</i> (Trin. ex Griseb.) Kom. (0,7), <i>Heteropappus altaicus</i> (Willd.) Novopokr. (0,6), <i>Saussurea amara</i> (L.) DC., <i>Cannabis sativa</i> L., <i>Linaria acutiloba</i> Fisch. ex Rchb., <i>Sonchus arvensis</i> L. (по 0,2)	II	10
4	<i>Hippophae rhamnoides</i> L. и <i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski (по 1,5), <i>Leymus paboanus</i> (Claus) Pilg. (1,3), <i>Ribes aureum</i> Pursh, <i>Armeniaca sibirica</i> (L.) Lam. и <i>Malus baccata</i> (L.) Borkh. (по 0,5), <i>Artemisia sieversiana</i> Willd., <i>Artemisia frigida</i> Willd. и <i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop. (по 0,4), <i>Stellaria dichotoma</i> L., <i>Fragaria viridis</i> Weston, <i>Cynoglossum officinale</i> L., <i>Phleum phleoides</i> (L.) H. Karst., <i>Potentilla tanacetifolia</i> Willd. ex Schltld., <i>Acer negundo</i> L. (по 0,3) и др.	I	88

Chamaenerion angustifolium (L.) Scop.) обнаружены и на данном отвале, но не стали доминантами, кроме *Salsola collina* Pall., *Artemisia sieversiana* Willd., *Artemisia glauca* Pall. ex Willd.

Отдельные виды (*Melilotus officinalis* L., *Psathyrostachys juncea* (Fisch.) Nevski, *Betula pendula* Roth и др.) использовали для биологической рекультивации [13–15].

На обследованных участках обнаружено 8 инвазивных видов (табл. 3) [16].

Обнаруженные инвазивные виды пока не несут прямой угрозы восстановлению биоразнообразия территории (см. табл. 3). *Galium aparine* L. и *Ulmus pumila* L. – виды, активно расселяющиеся и натурализирующиеся в нарушенных полуестественных и естественных местообитаниях. *Malus baccata* (L.) Borkh. и *Acer negundo* L. – чужеродные виды, внедряющиеся в нарушенные экосистемы. *Hordeum jubatum* L. активно внедряется в естественные и полуестественные сообщества и нарушает сукцессионные связи. *Lepidium densiflorum* Schrad. и *Melilotus officinalis* (L.) Pall. – потенциально инвазивные виды. Особое внимание следует уделять распространению *Ulmus pumila* L.

Как показывает анализ научной литературы, значительное видовое разнообразие и большое

проективное покрытие на отвалах приводят к увеличению содержания органического вещества почвы (ускоряется переход к гумусо-аккумулятивной стадии) и макроэлементов, улучшению структуры эмбриозема. Исследования сукцессионных процессов растительности отвалов, расположенных на лёссовом плато в Китае, показали, что в наибольшей степени с течением времени увеличивалось количество питательных элементов в почве, а состав сообществ и их преемственность восстанавливались значительно медленнее. Природоподобная система, по оценкам авторов, может быть создана примерно через 29 лет самовосстановления в соответствии с логистической моделью [17]. При возрасте отвалов около 10 лет количество травянистых видов, проективное покрытие, биомасса, объем мелкозема, общее содержание N, P и органического вещества почвы значительно возрастали (кустарников, наоборот, уменьшалось) [18]. При наблюдениях более длительных сукцессий (23 года и более) отдельные авторы указывают на уменьшение высоты, проективного покрытия и биомассы травянистых растений под моновидовым древесным пологом (обратные U-функции). Вместе с тем накопленная биомасса подстилки с течением времени постепенно

Таблица 3. Инвазивные виды на территории исследования

№ п/п	Вид и семейство	Статус *	Краткая характеристика вида растения	Меры борьбы
1	<i>Acer negundo</i> L. Aceraceae	3	Использовался для рекультивации. Обнаружен в нескольких популяциях	Эффективны меры борьбы при прорастании из семян
2	<i>Lepidium densiflorum</i> Schrad. Brassicaceae	4	Заносной. Встречен единично. Находится в начальной стадии инвазии в Сибири	Меры не разработаны, вероятно гербициды
3	<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall. Fabaceae	5	Использовался для рекультивации. Обнаружен в нескольких популяциях. Степень вредоносности неизвестна. Способен к массовому разрастанию	Агротехнические меры борьбы
4	<i>Hordeum jubatum</i> L. Poaceae	1	Заносной. Влияние незначительное. Обнаружен в нескольких популяциях. Захватывая новые территории, препятствует произрастанию более требовательных видов	Необходим мониторинг, механические, химические и биологические меры борьбы
5	<i>Malus baccata</i> (L.) Borkh. Rosaceae	3	Использовался для рекультивации. Расселяется умеренно, очагов массового заселения не отмечено	Достаточно отслеживать темпы распространения вида
6	<i>Galium aparine</i> L. Rubiaceae	2	Заносной. Обнаружена одна популяция, существование в сообществах нестабильное и недолговременное	Прямой угрозы нет
7	<i>Ulmus pumila</i> L. Ulmaceae	2	Использовался для рекультивации, активно самовозобновляется (присутствует во всех ярусах)	Необходимо препятствовать расширению дикорастущих популяций. Контролировать численность и отслеживать темпы распространения вида на новые территории
8	<i>Lactuca serriola</i> L. Asteraceae	4	Заносной. Обнаружена одна популяция	Не допускать попадания семян в почву (скашивание и выпалывание до плодоношения)

* Статус в Хакасии [16].

снижалась, что способствовало заселению территории местными видами растений. Установлено, что проективное покрытие и биомасса растительности достоверно коррелировали с содержанием N, K и органического вещества почвы [19].

Выводы

На примере исследуемого отвала выявлены 3 стадии восстановления сообществ, из которых наиболее распространены остепненные луговые фитоценозы, слагаемые *Psathyrostachys juncea* (Fisch.) Nevski, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Poa pratensis* L., *Galatella punctata* (Waldst. & Kit.)

Nees и насаждения с *Ulmus pumila* L. Выявлено 8 инвазивных видов. Относительно богатое видовое разнообразие и наличие растительных сообществ, приближенных по видовому составу к степным и остепненным луговым сообществам, а также наличие древесно-кустарниковой растительности на исследованном рекультивированном отвале позволяют рассматривать его как перспективную площадку для размещения карбонового полигона с целью изучения секвестирования углерода. Распространение степных видов подтверждает возможность реинтродукции аборигенных видов, в том числе и редких, так как имеются подходящие экологические ниши. Подобный опыт есть в Кемеровской обл. [20–22].

Благодарности

Выражаем благодарность научному руководителю, профессору, доктору биол. наук, директору Кузбасского ботанического сада Андрею Николаевичу Куприянову, канд. биол. наук Олегу Андреевичу Куприянову и коллективу лаборатории рекультивации Института угля и углехимии СО РАН (г. Кемерово) за помощь в проведении

исследования. Также благодарим за содействие в организации исследования ООО «СУЭК-Хакасия» и лично главного эколога Екатерину Владимировну Маркову и инженера-исследователя лаборатории рекультивации земель ФГБНУ «НИИ аграрных проблем Хакасии» Евгения Александровича Моршнева. Исследование выполнено в рамках программы деятельности НОЦ мирового уровня «Енисейская Сибирь».

Список источников

1. Куминова, А.В. Растительный покров Хакасии / А.В. Кузьмина. – Новосибирск : Наука, 1976. – 127 с.
2. Манаков, Ю.А. Формирование растительного покрова в техногенных ландшафтах Кузбасса / Ю.А. Манаков, Т.О. Стрельникова, А.Н. Куприянов. – Новосибирск : изд-во СО РАН, 2011. – 168 с.
3. Корчагин, А.А. Морфологическое строение растительных сообществ (синморфология) / А.А. Корчагин, Е.М. Лавренко // Полевая геоботаника. – Т. 5. – Москва; Ленинград, 1976. – С. 28–130.
4. Воронов, А.Г. Геоботаника: учеб. пособ. для университетов и педагогических институтов / А.Г. Воронов. – Москва : Высшая школа, 1973. – 384 с.
5. Зверев, А.А. Методические аспекты применения фитоиндикационного анализа в изучении биоразнообразия / А.А. Зверев // Сибирский экологический журнал. – 2020. – Т. 27. – № 4. – С. 401–415.
6. Novak, J. Open-pit coal mines: anthropogenic stressors and vegetation succession. – Текст : электронный / J. Novak, J. Steklova, J. Ceska // Cereal research communications. – 2009. – V. 37. – P. 485–488. – Режим доступа: <https://www.jstor.org/stable/90003465>.
7. Модели распределения видового обилия растительных сообществ на вскрышных отвалах, возникших в 2000-е годы в Республике Хакасия. – Текст : электронный / Т.Г. Ламанова, О.С. Сафронова, В.М. Доронькин, Н.В. Шеремет // Уголь. – 2019. – № 12. – С. 66–68. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-12-66-68>.
8. Vegetation Development on Coal Waste Pile in Panyi Coal Mine / X. Wang, L. Chu, Zh. Chu, Zh. Dong // Asian Journal of Chemistry. – 2013. – V. 25. – № 10. – P. 5778–5780.
9. Некоторые особенности флористического состава спланированных отвалов разреза «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия». – Текст : электронный / А.Т. Лавриненко, Н.А. Остапова, О.С. Сафронова, Г.Н. Шаповаленко, И.Н. Евсеева, Е.А. Моршнев // Уголь. – 2020. – № 9. – С. 68–71. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2020-9-68-71>.
10. Reznicek, H. Impact of vegetation on dustiness produced by surface coal mine in North Bohemia / H. Reznicek, L. Benes // Computers & Mathematics with Applications. – 2019. – V. 78. – № 9. – P. 3175–3186.
11. Сафронова, О.С. Результаты исследования естественного восстановления растительного покрова на вскрышных отвалах, возникших в 1990-е годы в Республике Хакасия. – Текст : электронный / О.С. Сафронова, Т.Г. Ламанова, Н.В. Шеремет // Уголь. – 2018. – № 7. – С. 68–71. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-7-68-71>.
12. Результаты исследования естественного восстановления растительного покрова на вскрышных отвалах, возникших в 2000-е годы в Республике Хакасия. – Текст : электронный / В.М. Доронькин, О.С. Сафронова, Т.Г. Ламанова, Н.В. Шеремет // Уголь. – 2019. – № 11. – С. 94–98. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-11-94-97>.
13. Биологическая рекультивация переуплотненных автомобильных отвалов угледобывающих предприятий. – Текст : электронный / А.Т. Лавриненко, Н.А. Остапова, О.С. Сафронова, А.Б. Килин, И.Н. Евсеева, Е.А. Моршнев // Уголь. – 2020. – № 7. – С. 92–95. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2020-7-92-95>.
14. Лавриненко, А.Т. Инновационные методы рекультивации отвалов угледобывающих предприятий в криоаридных условиях Средней Сибири. – Текст : электронный / А.Т. Лавриненко, Е.А. Моршнев // Уголь. – 2018. – № 10. – С. 94–97. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-10-94-97>.
15. Экологическое состояние почвенно-растительного покрова и атмосферного воздуха в санитарно-защитной зоне разреза «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия». – Текст : электронный / А.Т. Лавриненко, Н.А. Остапова, О.С. Сафронова, В.А. Азев, И.Н. Евсеева, Е.А. Моршнев // Уголь. – 2020. – № 8. – С. 92–95. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2020-8-96-99>.

16. Черная книга флоры Сибири / под ред. Ю.К. Виноградовой, А.Н. Куприянова. – Новосибирск : Гео, 2016. – 439 с.
17. Assessing the naturalness of a restored coal mine area on the Loess Plateau, China. – Текст : электронный / Н. Yao, J. Ma, Yo. Fan, X. Chen, M. Tian // PLoS ONE 14(7): e0219447. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1371/journal>.
18. Vegetation succession and soil infiltration characteristics under different aged refuse dumps at the Heidaigou opencast coal mine / L. Huang, P. Zhang, Yi. Hu, Ya. Zhao // Global Ecology and Conservation. – 2015. – V. 4. – P. 255–263.
19. Reclamation promotes the succession of the soil and vegetation in opencast coal mine: A case study from Robinia pseudoacacia reclaimed forests, Pingshuo mine, China. – Текст : электронный / Y. Yuan, Zh. Zhao, Sh. Niu, X. Li, Ya. Wang, Zh. Bai // Catena. – 2018. – V. 165. – P. 72–79. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.01.025>.
20. Манаков, Ю.А. Система ООПТ Кемеровской области как фактор смягчения воздействия угледобычи на биоразнообразие. – Текст : электронный – Текст : электронный / Ю.А. Манаков, О.А. Куприянов // Уголь. – 2019. – № 7. – С. 89–94. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-7-89-94>.
21. Влияние субстрата на восстановление популяции *Stipa capillata* L. на породных отвалах. – Текст : электронный / А.Н. Куприянов, О.А. Куприянов, Ю.А. Манаков, В.И. Уфимцев // Сибирский экологический журнал. – 2021. – Т. 28. – № 2. – С. 242–251. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.15372/SEJ20210209>.
22. Куприянов, А.Н. Роль ботанических садов в сохранении флористического разнообразия в индустриально развитых регионах / А.Н. Куприянов // Роль ботанических садов в сохранении и обогащении природной и культурной флоры : матер. Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. 20-летию Ботанического сада Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова ; под ред. Н.С. Ивановой, А.В. Кононова, С.З. Борисовой, И.Г. Трофимовой. – Якутск, 2021. – С. 20–24.

References

1. Kuminova, A.V. Rastitel'nyj pokrov Hakasii / A.V. Kuz'minova. – Novosibirsk : Nauka, 1976. – 127 s.
2. Manakov, Yu.A. Formirovanie rastitel'nogo pokrova v tekhnogennyh landshaftah Kuzbassa / Yu.A. Manakov, T.O. Strel'nikova, A.N. Kupriyanov. – Novosibirsk : izd-vo SO RAN, 2011. – 168 s.
3. Korchagin, A.A. Morfologicheskoe stroenie rastitel'nyh soobshchestv (sinmorfologiya) / A.A. Korchagin, E.M. Lavrenko // Polevaya geobotanika. – Т. 5. – Moskva-Leningrad, 1976. – S. 28–130.
4. Voronov, A.G. Geobotanika: ucheb. posob. dlya universitetov i pedagogicheskikh institutov / A.G. Voronov. – Moskva : Vysshaya shkola, 1973. – 384 s.
5. Zverev, A.A. Metodicheskie aspekty primeneniya fitoindikacionnogo analiza v izuchenii bioraznoobraziya / A.A. Zverev // Sibirskij ekologicheskij zhurnal. – 2020. – Т. 27. – № 4. – S. 401–415.
6. Novak, J. Open-pit coal mines: anthropogenic stressors and vegetation succession. – Текст : электронный / J. Novak, J. Steklova, J. Ceska // Cereal research communications. – 2009. – V. 37. – R. 485–488. – Rezhim dostupa: <https://www.jstor.org/stable/90003465>.
7. Modeli raspredeleniya vidovogo obiliya rastitel'nyh soobshchestv na vskryshnyh otvalah, vznikshih v 2000-e gody v Respublike Hakasiya. – Текст : электронный / T.G. Lamanova, O.S. Safronova, V.M. Doron'kin, N.V. Sheremet // Ugol'. – 2019. – № 12. – S. 66–68. – Rezhim dostupa: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-12-66-68>.
8. Vegetation Development on Coal Waste Pile in Panyi Coal Mine / H. Wang, L. Chu, Zh. Chu, Zh. Dong // Asian Journal of Chemistry. – 2013. – V. 25. – № 10. – R. 5778–5780.
9. Nekotorye osobennosti floristicheskogo sostava splanirovannyh otvalov razreza «Chernogorskij» OOO «SUEK-Hakasiya». – Текст : электронный / A.T. Lavrinenko, N.A. Ostapova, O.S. Safronova, G.N. Shapovalenko,

- I.N. Evseeva, E.A. Morshnev // *Ugol'*. – 2020. – № 9. – S. 68–71. – Rezhim dostupa: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2020-9-68-71>
10. Reznicek, H. Impact of vegetation on dustiness produced by surface coal mine in North Bohemia / N. Reznicek, L. Benes // *Computers & Mathematics with Applications*. – 2019. – V. 78. – № 9. – R. 3175–3186.
11. Safronova, O.S. Rezul'taty issledovaniya estestvennogo vosstanovleniya rastitel'nogo pokrova na vskryshnyh otvalah, vznikshih v 1990-e gody v Respublike Hakasiya. – Tekst : elektronnyj / O.S. Safronova, T.G. Lamanova, N.V. Sheremet // *Ugol'*. – 2018. – № 7. – S. 68–71. – Rezhim dostupa: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-7-68-71>.
12. Rezul'taty issledovaniya estestvennogo vosstanovleniya rastitel'nogo pokrova na vskryshnyh otvalah, vznikshih v 2000-egody v Respublike Hakasiya. – Tekst : elektronnyj / V.M. Doron'kin, O.S. Safronova, T.G. Lamanova, N.V. Sheremet // *Ugol'*. – 2019. – № 11. – S. 94–98. – Rezhim dostupa: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-11-94-97>.
13. Biologicheskaya rekul'tivaciya pereplotnykh avtomobil'nykh otvalov ugledobyvayushchih predpriyatij. – Tekst : elektronnyj / A.T. Lavrinenko, N.A. Ostapova, O.S. Safronova, A.B. Kilin, I.N. Evseeva, E.A. Morshnev // *Ugol'*. – 2020. – № 7. – S. 92–95. – Rezhim dostupa: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2020-7-92-95>.
14. Lavrinenko, A.T. Innovacionnye metody rekul'tivacii otvalov ugledobyvayushchih predpriyatij v krioidnykh usloviyah Srednej Sibiri. – Tekst : elektronnyj / A.T. Lavrinenko, E.A. Morshnev // *Ugol'*. – 2018. – № 10. – S. 94–97. – Rezhim dostupa: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-10-94-97>.
15. Ekologicheskoe sostoyanie pochvenno-rastitel'nogo pokrova i atmosfernogo vozduha v sanitarno-zashchitnoj zone razreza «Chernogorskij» OOO «SUEK-Hakasiya». – Tekst : elektronnyj / A.T. Lavrinenko, N.A. Ostapova, O.S. Safronova, V.A. Azev, I.N. Evseeva, E.A. Morshnev // *Ugol'*. – 2020. – № 8. – S. 92–95. – Rezhim dostupa: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2020-8-96-99>.
16. Chernaya kniga flory Sibiri / pod red. Yu.K. Vinogradovoj, A.N. Kupriyanova. – Novosibirsk : Geo, 2016. – 439 s.
17. Assessing the naturalness of a restored coal mine area on the Loess Plateau, China. – Tekst : elektronnyj / N. Yao, J. Ma, Yo. Fan, H. Chen, M. Tian // *PLoS ONE*. – 14(7): e0219447. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219447>.
18. Vegetation succession and soil infiltration characteristics under different aged refuse dumps at the Heidaigou opencast coal mine / L. Huang, R. Zhang, Yi. Hu, Ya. Zhao // *Global Ecology and Conservation*. – 2015. – V. 4. – R. 255–263.
19. Reclamation promotes the succession of the soil and vegetation in opencast coal mine: A case study from Robinia pseudoacacia reclaimed forests, Pingshuo mine, China. – Tekst : elektronnyj / Y. Yuan, Zh. Zhao, Sh. Niu, H. Li, Ya. Wang, Zh. Bai // *Catena*. – 2018. – V. 165. – R. 72–79. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.01.025>
20. Manakov, Yu.A. Sistema OOPT Kemerovskoj oblasti kak faktor smyagcheniya vozdejstviya ugledobychi na bioraznoobrazie. – Tekst : elektronnyj – Tekst : elektronnyj / Yu.A. Manakov, O.A. Kupriyanov // *Ugol'*. – 2019. – № 7. – S. 89–94. – Rezhim dostupa: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-7-89-94>.
21. Vliyanie substrata na vosstanovlenie populyacii *Stipa capillata* L. na porodnyh otvalah. – Tekst : elektronnyj / A.N. Kupriyanov, O.A. Kupriyanov, Yu.A. Manakov, V.I. Ufimcev // *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, – 2021. – T. 28. – № 2. – S. 242–251. – Rezhim dostupa: <http://dx.doi.org/10.15372/SEJ20210209>.
22. Kupriyanov, A.N. Rol' botanicheskikh sadov v sohranении floristicheskogo raznoobraziya v industrial'no razvitykh regionah / A.N. Kupriyanov // *Rol' botanicheskikh sadov v sohranении i obogashchenii prirodnoj i kul'turnoj flory : mater. Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 20-letiyu Botanicheskogo sada Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M.K. Ammosova ; pod red. N.S. Ivanovoj, A.V. Kononova, S.Z. Borisovoj, I.G. Trofimovoj*. – Yakutsk, 2021. – S. 20–24.