

УДК 622.882

**Антонинова Наталья Юрьевна**  
кандидат технических наук,  
заведующий лабораторией экологии  
горного производства,  
Институт горного дела Уро РАН,  
620075, г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58;  
доцент, ФГБОУ «УГГУ»,  
г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30  
e-mail: [natal78@list.ru](mailto:natal78@list.ru)

**Шубина Любовь Андреевна**  
научный сотрудник,  
лаборатория экологии горного производства,  
Институт горного дела Уро РАН,  
e-mail: [las714@mail.ru](mailto:las714@mail.ru)

**Кузнецова Ярослава Артемовна**  
младший научный сотрудник,  
лаборатория экологии горного производства,  
Институт горного дела Уро РАН  
e-mail: [yaroslava.brusnitsyna@mail.ru](mailto:yaroslava.brusnitsyna@mail.ru)

#### **ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА\***

*Аннотация:*

*Открытые горные работы кардинальным образом изменяют ландшафт территории, нарушают поверхностный и подземный гидрологический режим, выносят на поверхность материнские породы. Плодородный почвенный слой при снятии, транспортировании и организации его запасов смешивается с фрагментированными материнскими породами, его пригодность со временем снижается. Цель статьи – оптимизация технических решений при проведении рекультивации.*

*В статье представлены методы экспресс-исследования молодой геоекосистемы, сформированной на техногенной территории угольного месторождения в СибФО, скорости ее воспроизводства, на основе чего можно сделать выводы о способности к природной мелиорации. Результаты позволили зафиксировать наличие интенсивных сукцессионных процессов на территории горного отвода без проведения специализированных мероприятий по землеванию и дальнейшей реабилитации.*

*На основе анализа сукцессий техногенно нарушенных территорий предложен подход к максимальному использованию собственного потенциала экологической системы к самовосстановлению. Время начала и течения восстановительных процессов природно-техногенного комплекса сокращается при использовании приемов инициации и стимуляции вторичных сукцессий.*

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.04.065

**Antoninova Natalia Yu.**  
Candidate of Technical Sciences,  
Head of Laboratory of industrial mining ecology,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
620075 Ekaterinburg, 58  
Mamina-Sibiryaka Str.,  
e-mail: [natal78@list.ru](mailto:natal78@list.ru)

**Shubina Lyubov A.**  
Researcher,  
Laboratory of industrial mining ecology,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
e-mail: [las714@mail.ru](mailto:las714@mail.ru)

**Kuznetsova Yaroslava A.**  
Junior Researcher,  
Laboratory of industrial mining ecology,  
of Mining, Ural Branch of RAS  
e-mail: [yaroslavl.brusnitsyna@mail.ru](mailto:yaroslavl.brusnitsyna@mail.ru)

#### **JUSTIFICATION OF THE DIRECTIONS OF RECLAMATION USING THE ECOLOGICAL POTENTIAL OF THE NATURAL-TERRITORIAL COMPLEX**

*Abstract:*

*Open-pit mining radically changes the landscape of the territory, violates the surface and underground hydrological regime, brings parent rocks to the surface. The fertile soil layer is mixed with fragmented parent rocks during removal, transportation and organization of its reserves, its suitability decreases over time. The paper concerns the issue of optimization of technical solutions during reclamation.*

*The article presents the methods of express research of a young geoecosystem formed on the technogenic territory of a coal deposit in SibFO and the rate of its reproduction, on the basis of which it is possible to draw conclusions about its potential for natural reclamation. The results made it possible to record the presence of intensive succession processes in the territory of the mining allotment without carrying out specialized measures for land use and further rehabilitation.*

*Based on the analysis of the successions of technogenically disturbed territories, an approach to the maximum use of the ecological system's own potential for self-healing is proposed. The time of the beginning and course of the restoration processes of the natural and man-made complex is reduced when using the techniques of initiation and stimulation of secondary successions.*

*The use of the environment-forming potential of plant groupings ("growth points") allows to significantly reduce the intensity of the processes of erosion of tech-*

\* Статья подготовлена в рамках госзадания № 075-00412-22 ПР. Тема 2 (2022-2024) «Разработка геоинформационных технологий оценки защищенности горнопромышленных территорий и прогноза развития негативных процессов в недропользовании» (FUWE-2022-0002), пер. № 1021062010532-7-1.5.1.

Использование средообразующего потенциала растительных группировок («точек роста») позволяет значительно снизить интенсивность процессов эрозии техногенных субстратов, иницировать в них почвообразовательные процессы, запустить и ускорить сукцессию нарушенных ценозов с минимальными экономическими затратами.

*Ключевые слова:* природно-техногенный комплекс, нарушенные земли, техногенный субстрат, рекультивация, сукцессия, потенциал экосистемы, природная мелиорация.

*nogenic substrates, initiate soil-forming processes in them, launch and accelerate the succession of disturbed cenoses with minimal economic costs.*

*Key words:* natural-technogenic complex, disturbed lands, technogenic substrate, reclamation, succession, ecosystem potential, natural reclamation.

### Введение

Исследование сукцессионных процессов на нарушенных территориях стимулировало развитие теории функционирования экосистем [1, 2], взаимного влияния динамики состава растительности в зависимости от окружающих ценозов [3, 5] и дало толчок развитию промышленной ботаники [6] в ее прикладных контекстах (рекультивация, ремедиация) на территории России. Научные школы Урала ведут многолетние наблюдения за процессами естественных сукцессий [7 – 9].

Процессы самовосстановления техногенно-нарушенных территорий, согласно известной геоботанической теории [4], прямо коррелируются со следующими природными факторами: наличием доступных (близкорасположенных) ресурсов для восстановления биоты, наличием/отсутствием и стабильностью техногенной нагрузки на экосистему. При этом одним из решающих факторов при оценке потенциала запуска самостоятельных сукцессионных процессов остается оценка физических свойств грунтов, их химический состав и климатические характеристики территории.

#### Оценка территории и характеристика объекта

Для оценки потенциала восстановления нарушенных территорий их почвенный покров следует разделить на три категории по степени нарушения, представленных в табл. 1.

Таблица 1

#### Категории для оценки потенциала восстановления

Категория	Объем нарушения, %	Характеристика / расположение	Поступление загрязнителей / среда-проводник
Незначительная	менее 30	Органогенные горизонты смяты, уплотнены, частично перемешаны с глеевыми / периферические территории под воздействием транспортных потоков	Постепенное, нерегулярное/воздушная
Средняя	30 – 60	Органогенные горизонты уничтожены или глубоко перемешаны с глеевыми / спланированные поверхности при строительных работах, транспортная инфраструктура	Залповое, периодическое/воздушная, водная
Значительная	60 – 100	На поверхности находятся почвообразующие породы, загрязненные (замененные) техногенными материалами / отвалы, карьерные выемки, промплощадки	Постоянное/воздушная, водная

Первоначальная историческая информация об исследуемом объекте была получена из материалов горнодобывающей компании. Лаборатория экологии горного производства ИГД УрО РАН провела экологическое обследование территории угольного разреза, добыча на котором была исторически остановлена по техническим причинам на 8-летний период.

В результате угледобычи сформирован ландшафт антропогенного типа с образованием аккумулятивных форм рельефа. После расчистки территории площадок вертикальной и горизонтальной планировки произошло изменение структуры, морфологических признаков и функционирования почв и грунтов. Сильноизмененный ландшафт располагается под карьерной выработкой, под отвальным хозяйством, линейными объектами и другими объектами промышленного комплекса предприятия. К внешним границам горного отвода и разновременных отвалов примыкают в основном сельскохозяйственные земли, значительные лесные массивы отсутствуют.

Материал суглинков, распространенных на территории разработки участков горных работ в основном относится к средним и тяжелым суглинкам. Такой гранулометрический состав является наиболее благоприятным для развития почвообразования в лесостепной зоне.

Как известно, тепловой режим почв определяется в первую очередь такими общеклиматическими факторами, как атмосферная циркуляция, радиационный режим, глубина залегания грунтовых вод; кроме этого, значительную роль играют форма рельефа, высота над уровнем моря. В летний период на температуру верхних слоев почвы большое влияние оказывает механический состав, микрорельеф и степень увлажненности почвы; в зимнее время – толщина снежного покрова, тип почвогрунтов и состояние поверхности почвы. В результате сложного сочетания всех факторов, обуславливающих тепловой режим почв, распределение температуры почвы даже на пограничных территориях может отличаться.

Среднегодовая температура воздуха района положительная и составляет 0,8 °С. Характерная особенность термического режима – большие годовые амплитуды, достигающие 80 – 85 °С. Самый холодный месяц – январь, средняя минимальная температура – минус 23,4 °С; самый теплый месяц – июль, средняя максимальная температура которого равна 26 °С. Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха < 0 °С составляет 160 суток. Влажность воздуха имеет ярко выраженный годовой и суточный ход. Средняя месячная относительная влажность воздуха января составляет 80 %, июля – 72 %; средняя годовая относительная влажность воздуха – 74 %. Среднее годовое количество осадков равно 448 мм, из них 128 мм выпадает за ноябрь – март и 320 мм – за апрель – октябрь. За последние пять лет среднегодовое количество атмосферных осадков изменялось в пределах от 430 до 495 мм. Глубокое залегание грунтовых вод исключает их влияние на процессы почвообразования.

Таким образом, климатические условия района с умеренно влажным и теплым летним периодом являются благоприятными для укрепления первичной растительности на техногенных субстратах.

#### *Методы исследования территории*

Физико-химические свойства вскрышных пород зависят от геологических свойств района, отвалы, сформированные при разработке антрацита представляют собой смесь пород палеогенового, неогенового и четвертичного возрастов и весьма неоднородны по гранулометрическому составу и химическим свойствам. Отвалы, сложенные насыпными грунтами, платообразные, террасированные высокие, с откосом яруса – 35°, откосом борта – 20 – 25°. Значительных деформационных процессов в ходе обследования не обнаружено, на основании чего можно сделать вывод о стабилизации поверхности. Ориентировочное время самоуплотнения грунтов составляет 1 – 3 года, принимая во внимание, что отвальные работы практически завершены за 15 лет до начала обследова-

дования, можно считать насыпные грунты самоуплотнившимися и стабилизированными.

Элювиальные грунты слагают древнюю кору выветривания известняков, аргиллитов, алевролитов и песчаников, представляющую собой зону бесструктурного элювия площадной хемогенной коры выветривания. Насыпные крупнообломочные грунты представлены щебенистыми и глыбовыми грунтами средней степени водонасыщения.

Техногенные ландшафты в пределах участка месторождения сформированы на отвалах вскрышных пород и бортах карьерной выемки. Естественный почвенный покров на этих территориях уничтожен, на поверхности почвообразование фактически началось с нуля. При разработке карьера вскрышные и вмещающие породы (смесь песчаников, алевролитов, аргеллитов) были экспонированы на поверхность, где они подвергаются трансформации вследствие воздействия гидротермического и ботанического факторов (табл. 2 – 4).

Таблица 2

**Агрофизическая характеристика отвальных грунтов**

Глубина, см	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Плотность сложения, г/см <sup>3</sup>	Порозность, %	Содержание частиц < 0,01 мм, %	Содержание частиц < 1 мм, %
0 – 10	2,59	1,34	48,3	14,2	10,5
20 – 30	2,68	1,47	45,1	8,8	9,4
30 – 40	2,61	1,80	31,0	11,3	8,9

Таблица 3

**Агрохимическая характеристика серой лесной почвы фоновых участков**

Горизонт	рН	Гумус %	Н <sub>гид</sub>	S=Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	Е <sub>п</sub>	Азот общий	P <sub>2</sub> O <sub>55</sub>	K <sub>2</sub> O
А	6,8	8,8	1,13	49,5	50,6	0,6	96	100
А1 А2	6,7	4,5	0,75	45,5	46,3	0,25	86	105
В	6,4	1,7	0,70	34,5	35,2	ОД 1	96	90

Таблица 4

**Содержание органического вещества (гумус), фосфора и калия в почвах месторождения**

Номер пробы, место отбора	Органич. вещество (гумус), %	рН солевой, ед. рН	Обменный калий (K <sub>2</sub> O)	Подвижный фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), мг/кг
1. Луговая почва	3,4	7,6	134	70
2. Лесная почва (березовый колок)	3,8	7,6	144	70

При анализе почвогрунтов на участке месторождения, выполненном в ИПА СО РАН, использовалась известная систематика техногенных поверхностных образований [Шугалей Л.С].

Ландшафт прилегающей местности представляет собой типичную лесостепь. Растительность представлена обильными березовыми колками, кустарниковыми зарослями, частично хвойными перелесками.

Почвы фоновых ценозов представлены черноземами выщелоченными, темно-серыми лесными (колковый березняк злаково-травяной) и черноземно-луговыми (луг разнотравно-злаковый). По показателям гумусного состояния, содержание гумуса в слое фоновых почв характеризуется как среднее (до 3,8 %).

Для организации вторичных фитоценозов определяющую роль играют агрохимические свойства грунтов, в том числе текстуры субстрата, климатические характеристики (скорость и период увлажнения, прогреваемость), развитие экзогенных процессов.

Для изучения динамики сукцессий (лесных и луговых ценозов) на отвалах и бортах карьера, выработки рекомендаций по направлению и технологии рекультивации проведено маршрутное обследование, аэрофотосъемка и анализ данных дистанционного зондирования (космоснимков) (рис. 1, 2).



а)



б)

Рис. 1. Древесная растительность северо-восточного (а) и восточного (б) бортов карьерной выемки, 2016 г.



Рис. 2. Юго-восточный склон и плато отвала «Нагорный», 2016 г.

Непосредственно на территории участка месторождения произрастают полыни, мать-и-мачеха, одуванчик, клевера, мятлик, подмаренники, горец птичий, ежа сборная и другие виды. Частично – молодые деревья (береза, сосна) и кустарники (ивы, шипов-

ник и ракитник), являющиеся родоначальниками организации лесного сообщества на исследованной территории.

Наибольшим видовым разнообразием отличаются травы, участвующие в образовании луговых сообществ, в основном многолетние травянистые растения, характерные для умеренных флор северного полушария. Богаче других в видовом отношении представлены семейства сложноцветные – *Asteraceae*, злаки – *Poaceae*, крестоцветные – *Brassicaceae*, гвоздичные – *Caryophyllaceae*, зонтичные – *Apiaceae* и розоцветные – *Rosaceae*.

На исследуемых плато отвала преобладают сорные виды растений, значительные сомкнутые сообщества образуют полынь обыкновенная и серебристая (*Artemisia*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), желтушник ястребинколистый (*Erysimum L.*), бедренец камнеломковый (*Pimpinella saxifraga L.*), мятлик (*Poa pratensis*) и др. В то же время на участках, длительное время не подвергавшихся техногенной нагрузке, происходит вытеснение сорных форм луговыми (до 15 %) и лесными (до 10 %) видами.

Восстановление растительного и почвенного покровов, а также естественное лесовосстановление на грубо выровненных поверхностях происходят быстрее, поскольку образующееся органическое вещество не смывается с поверхности. На выровненной поверхности литострата отвала с естественно сформировавшимися древесно-кустарниковыми формами зафиксировано присутствие слаборазложившейся подстилки из листового опада.

Лесовосстановление (укоренение и прорастание семян) на карьерных уступах и на склонах старогодних отвалов, имеющих более неровную поверхность, происходит значительно быстрее, чем на плато. Так, высота выросших на нижних ярусах и откосах отвалов за период 2004 – 2014 гг. берез и осин достигает до 25 м при расстоянии между деревьями до 3,0 м. На Среднем Урале соответствующий пример можно наблюдать на отвалах Асбестовского рудника (г. Асбест), на склонах которых естественным путем, особенно в его верхней части, сформировалось смешанное хвойно-лиственное насаждение, явно предохраняющее отвал от эрозии [11]. Следует отметить, что на рассматриваемой территории, в отличие от Среднего Урала, богатого лесными массивами, незначительные естественные лесные ценозы находятся северо-восточнее территории горного отвала, их площади крайне малы по сравнению с землями, занятыми под сельское хозяйство.

При помощи дистанционного зондирования по визуальной градации [13] была установлена динамика площади общего проективного покрытия территории Горловского участка (табл. 5).

Таблица 5

**Площади проективного покрытия участков Горловский, Ургунский**

Дата	Общее проективное покрытие, %			
	Карьерная выемка (Горловский)	отвал Нагорный	отвал Западный	отвал Восточный
2015	18,1	18,1	26,0	-
2016	24,9	55,7	28,2	-
2017	36,5	75,3	48,7	23,9

На момент 2017 г. около 75 % площади отвала Нагорный было покрыто растительностью, из них около 80 % занято древесными и кустарниковыми формами растений. Отвал Западный на 48 % покрыт растительностью, из которой 77 % составляют

древесно-кустарниковые формы растительности, являющиеся источником семенного материала.

При исследовании Ургунского участка месторождения зафиксированы значительные площади ненарушенных земель с сохранившейся луговой и лесной растительностью, испытывающей угнетающую полевую нагрузку от выемочных, погрузочно-разгрузочных и буровых работ на карьерном поле и при формировании отвала. Доля луговых почв составляет около 40 га (29 % общей площади горного отвода), серых лесных – 3,4 га (2,4 %), лугово-болотных – 4,2 га (3 %). В настоящее время ненарушенные фитоценозы на этих почвах являются источником семенного материала для развития растительности на техногенных субстратах, благодаря чему площадь проективного покрытия действующего отвала уже составляет почти 24 % (табл. 6).

Внешний отвал Ургунского участка находится в зоне продолжающихся горных работ, на периферийной части отвала расположен склад плодородных пород, организованный при вскрытии карьерного поля.

Таблица 6

**Агрофизические свойства ППП Ургунского участка**

№ образца	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Плотность сложения, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	Содержание частиц > 0,01 мм, %	Содержание частиц > 1 мм, %
В естественном сложении	2,69	1,50	44,2	47,2	100,0
Низ уступа 8 – 10 м	2,72	1,83	32,7	44,3	99,2
В отвале после планировки	2,62	1,91	27,1	18,5	20,3

Агрохимические показатели субстрата отвала в зависимости от глубин (от 5 до 40 см): рН<sub>водн.</sub> – от 7,6 до 7,8 ед.; углерод – от 3 до 7 %; валовое содержание азота – от 0,01 до 0,1 %; фосфора – от 0,01 до 0,1 %; калия – от 2 до 2,6 %. Самостоятельно на грунтах с такими показателями, как правило, способно развиваться довольно ограниченное количество растительных видов, достижение полного задернения поверхности без дополнительных агромероприятий растягивается на несколько десятилетий. Для проведения рекультивации законодательством предусмотрено обязательное снятие и складирование плодородного и потенциально плодородного субстрата до начала горных работ, что и было осуществлено на участке разработки. Объем складированного плодородного грунта на момент исследования составлял 449 000 м<sup>3</sup>, период его хранения – около 10 лет.

Вопросы изменения качества (деградация) свойств плодородных грунтов при организации склада и хранении более 10 лет достаточно изучены [12], поэтому целесообразность их использования на конец отработки месторождения (более чем 30-летний период) вызывает сомнения. При этом сомкнутый, разнообразный травяной покров этого участка к моменту исследования уже являлся интенсификатором первичной сукцессии нижних ярусов отвала вскрышных пород, что подтверждается высоким процентом зафиксированного проективного покрытия на бедных с точки зрения агрохимического состава грунтах.

Для расчета интегрального показателя пригодности территории Ургунского участка для рекультивации путем самовосстановления ( $\Sigma i$ ) использовались показатели плотности техногенного элювия и его влажность и результаты проведенного экологического обследования. Согласно [14] общий коэффициент для нижних ярусов отвала Восточный и верхних бортов карьера составляет от 26 до 33, для откосов отвалов (исключая подножие) – 16. Это, соответственно, III и IV классы восстановленности экосистемы, где III класс означает «Экосистема самовосстанавливающаяся, требуется час-

тичная рекультивация на отдельных участках». Поскольку период разработки Ургунского участка составит более 20 лет, сукцессионные процессы за этот период достигнут максимальной стадии, на нарушенных площадях будет достигнуто некоторое разнообразие ландшафтно-фациальных зон и биоценозов.

### Заключение

1. Спустя 7 – 10 лет после формирования при отсутствии восстановительных мероприятий отвалы подверглись природной мелиорации на площади от 48 до 77 %, причем максимально сомкнутое, отличающееся большим биологическим разнообразием покрытие присутствовало на отвале, формирование которого не завершено, но на периферии которого расположены склады плодородного слоя.

2. Образовавшаяся за счет преемственности ландшафтов в период 2008 - 2016 гг. на бортах и уступах карьерной выемки лесная растительность активно способствует (за счет комбинации видов с вертикальной и горизонтальной корневыми системами) закреплению субстратов и резкому замедлению экзогенных процессов.

3. Объекты складирования плодородного слоя, расположенные в непосредственной близости к отвалам вскрышной породы (примыкающие к ним), являются «точкой роста» (интенсификатором) старта и более быстрого развития вторичной сукцессии на территории, подвергшейся значительным техногенным нарушениям.

Результаты исследований позволяют сделать вывод о возможности комплексного использования естественных способностей экосистемы к самовосстановлению непосредственно в процессе производства горно-добычных работ при

– грамотной организации первичных растительных группировок – «точек роста» (самовосстановления), склады снятого плодородного слоя которых расположены по периметру / в центре нарушенных участков с непосредственным прилеганием к отвалам вскрышных и обедненных пород, изъятых при разработке сырья;

– проведении первых этапов горно-технической рекультивации одновременно с формированием отвалов вскрышных пород для создания благоприятного рельефа техногенного субстрата, который в комплексе с естественным развитием средообразующих участков снижает вероятность эрозии поверхностей и инициирует почвообразовательные процессы;

– предварительном исследовании состава фоновых растительных сообществ, в том числе для определения видов, участвующих в сукцессии техногенных поверхностей, в целях оптимального подбора материала при необходимости биологической рекультивации (видов для повторной вегетации).

### Список литературы

1. Drury W.H., Nisbet I., 1973. Succession. *Journal of the Arnold arboretum*, Т. 54, № 3, С. 331 – 368.

2. Borcard D., Legendre P., 1994. Environmental control and spatial structure in ecological communities: an example using oribatid mites (Acari, Oribatei). *Environmental and Ecological Statistics*, Т. 1, №. 1, С. 37 – 61.

3. Wiegand G., Felinks B., 2001. Primary succession in post-mining landscapes of Lower Lusatia—chance or necessity. *Ecological Engineering*, Т. 17, № 2 – 3, С. 199 – 217.

4. Walker L. R. et al., 2003. Primary succession and ecosystem rehabilitation. Cambridge University Press. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Physiological-Ecology-of-Plant-Succession-Bazzaz/b87953cb631467c8e1a7400a5d6abb803ae0f9b0> (дата обращения: 17.11.2023)

5. Bazzaz F.A., 1979. The physiological ecology of plant succession. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol.10, 351 –371.

6. Махонина Г.И., Чибрик Т.С., 1975. Естественное восстановление и вопросы рекультивации отвалов месторождений огнеупорных глин Южного Урала. *Рекультивация*

ция земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых: тез. докл. координац совещ. Тарту: ВАСХНИЛ, Зап. отд-ние, С. 158 – 163.

7. Чибрик Т.С., Елькин Ю.А., 1991. *Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях: (биологическая рекультивация)*. Свердловск: Издательство Уральского университета, 220 с.

8. Тарчевский В.В., Чибрик Т.С., 1970. Естественная растительность отвалов при открытой добыче каменного угля в Кузбассе. *Растения и промышленная среда*. Вып. 2. Свердловск: УрГУ, С. 65 – 77.

9. Моторина Л.В., 1973. Основные направления научных исследований по рекультивации земель в Подмосковном бурoughольном бассейне. *Научные основы охраны природы*. Москва: Наука, С. 86 – 103.

10. Шугалей Л.С. Яшихин Г.И., Дмитриенко В.К., 1996. *Биологическая рекультивация нарушенных земель КАТЭКа*. Красноярск: Изд-во Красноярского университета, 186 с.

11. Хохряков А. В. и др., 2013. Применение интегрального показателя при оценке экологической безопасности породного отвала, подвергнувшегося процессам самозарастания. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 8, С. 88 – 92.

12. Андроханов В.А., Овсянникова С.В., Курачев В.М., 2000. *Техноземы: свойства, режимы, функционирование*. Новосибирск: Наука, 198 с.

13. Воронов А.Г., 1973. *Геоботаника*. Москва: Высшая школа, 384 с.

14. Манаков Ю.А., Куприянов А.Н., Стрельникова Т.О., Куприянов О.А., Казьмина С.С., 2017. *Методические рекомендации по использованию интегрального показателя пригодности нарушенных земель для рекультивации отвалов угольной промышленности Кузбасса*. Федерал. исследовательский центр угля и углехимии СО РАН [под общ. ред. Ю.А. Манакова]. Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 24 с.

## References

1. Drury W.H., Nisbet I., 1973. Succession. *Journal of the Arnold arboretum*, T. 54, № 3, С. 331 – 368.

2. Borcard D., Legendre P., 1994. Environmental control and spatial structure in ecological communities: an example using oribatid mites (Acari, Oribatei). *Environmental and Ecological Statistics*, T. 1, № 1, С. 37 – 61.

3. Wiegleb G., Felinks B., 2001. Primary succession in post-mining landscapes of Lower Lusatia—chance or necessity. *Ecological Engineering*, T. 17, № 2 – 3, С. 199 – 217.

4. Walker L. R. et al., 2003. Primary succession and ecosystem rehabilitation. Cambridge University Press. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Physiological-Ecology-of-Plant-Succession-Bazzaz/b87953cb631467c8e1a7400a5d6abb803ae0f9b0> (дата обращения: 17.11.2023)

5. Bazzaz F.A., 1979. The physiological ecology of plant succession. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol.10, 351 –371.

6. Makhonina G.I., Chibrik T.S., 1975. Estestvennoe vosstanovlenie i voprosy rekul'tivatsii otvalov mestorozhdenii ogneupornykh glin Yuzhnogo Urala [Natural restoration and issues of recultivation of dumps of deposits of refractory clays of the Southern Urals]. *Rekul'tivatsiya zemel', narushennykh pri dobyche poleznykh iskopaemykh: tez. dokl. koordinats soveshch. Tartu: VASKhNIL, Zap. otd-nie, P. 158 – 163.*

7. Chibrik T.S., El'kin Yu.A., 1991. Formirovanie fitotsenozov na narushennykh promyshlennost'yu zemlyakh: (biologicheskaya rekul'tivatsiya) [Formation of phytocenoses on lands disturbed by industry: (biological recultivation)]. *Sverdlovsk: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta*, 220 p.

8. Tarchevskii V.V., Chibrik T.S., 1970. Estestvennaya rastitel'nost' otvalov pri otkrytoi dobyche kamennogo uglya v Kuzbasse [Natural vegetation of dumps during open-pit

coal mining in Kuzbass]. *Rasteniya i promyshlennaya sreda*. Vyp. 2. Sverdlovsk: UrGU, P. 65 – 77.

9. Motorina L.V., 1973. *Osnovnye napravleniya nauchnykh issledovaniy po rekul'tivatsii zemel' v Podmoskovnom burougol'nom basseine* [The main directions of scientific research on land reclamation in the brown coal basin near Moscow]. *Nauchnye osnovy okhrany prirody*. Moscow: Nauka, P. 86 – 103.

10. Shugalei L.S. Yashikhin G.I., Dmitrienko V.K., 1996. *Biologicheskaya rekul'tivatsiya narushennykh zemel' KATEKa* [Biological recultivation of disturbed KATEK lands]. Krasnoyarsk: Izd-vo Krasnoyarskogo universiteta, 186 p.

11. Khokhryakov A. V. i dr., 2013. *Primenenie integral'nogo pokazatelya pri otsenke ekologicheskoi bezopasnosti porodnogo otvala, podvergshegosya protsessam samozarastaniya* [The use of an integral indicator in assessing the environmental safety of a rock dump subjected to self-healing processes]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, № 8, S. 88 – 92.

12. Androkhanov V.A., Ovsiannikova S.V., Kurachev V.M., 2000. *Tekhnozemy: svoistva, rezhimy, funktsirovanie* [Technogrounds: properties, modes, functioning]. Novosibirsk: Nauka, 198 p.

13. Voronov A.G., 1973. *Geobotanika* [Geobotanics]. Moscow: Vysshaya shkola, 384 p.

14. Manakov Yu.A., Kupriyanov A.N., Strel'nikova T.O., Kupriyanov O.A., Kaz'mina S.S., 2017. *Metodicheskie rekomendatsii po ispol'zovaniyu integral'nogo pokazatelya prigodnosti narushennykh zemel' dlya rekul'tivatsii otvalov ugol'noi promyshlennosti Kuzbassa* [Methodological recommendations for the use of an integral indicator of the suitability of disturbed lands for the reclamation of dumps of the Kuzbass coal industry]. *Federal. issledovatel'skii tsentr uglya i uglekhimii SO RAN [pod obshch. red. Yu.A. Manakova]*. Kemerovo: KREOO "Irbis", 24 p.