

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2024, Том 11, № 3 / 2024, Vol. 11, Iss. 3 <https://resources.today/issue-3-2024.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/04NZOR324.pdf>

DOI: 10.15862/04NZOR324 (<https://doi.org/10.15862/04NZOR324>)

1.6.21. Геоэкология (географические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Кузнецов, А. Д. Роль данных аэрофотосъемки в принятии управленческих решений для проведения биологической рекультивации техногенно-нарушенных территорий / А. Д. Кузнецов, Р. Е. Зверев, М. А. Осинцева // Отходы и ресурсы. — 2024. — Т. 11. — № 3. — URL: <https://resources.today/PDF/04NZOR324.pdf>
DOI: 10.15862/04NZOR324

For citation:

Kuznetsov A.D., Zverev R.E., Osintseva M.A. The role of aerial photography data in making management decisions for biological reclamation of technogenically disturbed territories. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2024;11(3): 04NZOR324. Available at: <https://resources.today/PDF/04NZOR324.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/04NZOR324

Работа ведется в рамках Распоряжения Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. № 1144-р, комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» («Чистый уголь — зеленый Кузбасс»), мероприятие 3.1 «Экополигон мирового уровня технологий рекультивации и ремедиации». При финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2022-1200 от 28.09.2022 г.)

УДК 574:579.083+581.133

Кузнецов Александр Дмитриевич

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия
Директор центра геодезии, аэрофотосъемки кадастровых работ
E-mail: adkuz@inbox.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1986-3039>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1020779

Зверев Роман Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия
Аспирант, специалист по управлению беспилотными летательными аппаратами центра геодезии, аэрофотосъемки кадастровых работ
E-mail: r.zverev@i-digit.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9856-9358>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=724493

Осинцева Мария Алексеевна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия
Начальник управления проектной деятельности
Кандидат технических наук
E-mail: stas-asp@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4045-8054>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=634693

**Роль данных аэрофотосъемки в принятии
управленческих решений для проведения биологической
рекультивации техногенно-нарушенных территорий**

Аннотация. В настоящее время необходим поиск новых эффективных альтернативных методов восстановления техногенно-нарушенных земель после угледобычи. Таким методом является биологическая рекультивация. В частности, рекультивация, основанная на контроле вегетации растений новыми цифровыми методами. Целью работы являлось изучение роли данных аэрофотосъемки в принятии управленческих решений для проведения биологической рекультивации техногенно-нарушенных территорий и земель. Материалом для проведения исследований являлись многолетние растения, высаженные на экспериментальном участке в летний период 2023 года. Наблюдения за вегетацией посаженного материала проводили визуальным методом и посредством аэрофотосъемки с оценкой нормализованного относительного вегетационного индекса с периодичностью один раз в две недели с использованием беспилотного воздушного судна DJI Phantom 4 Pro+. С помощью аэрофотосъемки установлено, что площадь наиболее глубоких эрозий грунта исследуемого участка составляет менее 10 %. Также в рамках работы установлен систематический прирост биомассы растений с момента посадки до момента окончания периода вегетации. При этом пик прироста травосмеси приходится на последнюю дату наблюдений. В то время как в секторе с использованием в качестве посадочного материала деревьев и кустарников, пик вегетации приходился на более ранний период. Доказано, что данные аэрофотосъемки имеют важное значение, которые помогут принять управленческие решения для проведения биологической рекультивации техногенно-нарушенных территорий.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты; аэрофотосъемка; ортофотопланы; нормализованный относительный вегетационный индекс; биологическая рекультивация; техногенно-нарушенные земли; промышленные территории

Введение

Кузнецкий угольный бассейн является одним из крупнейших в мире месторождений высококачественного угля. Объемы добычи угля продолжают расти, причем для этого все больше используют открытый способ¹, характеризующийся низкой стоимостью и негативным воздействием на ландшафт района добычи угля и сопутствующие территории. Поэтому тема восстановления нарушенных почв и ландшафтов приобретает существенное значение и актуальность [1; 2]. В этой связи требуется поиск эффективных методов восстановления земли [3; 4].

Лесовосстановление на сегодняшний день является актуальным вопросом², однако классические технологии при возделывании семян лесобразующих пород с открытой корневой системой (ОКС) в условия Западносибирского региона не дают нужного эффекта, поэтому вопросы, связанные с производством и применением инновационных технологий при возделывании посадочного материала лесобразующих пород в специализированных питомниках, не теряют актуальности [5].

Планирование рекультивационных мероприятий — технически сложный процесс, требующий комплексного анализа объема и характера нарушенной земной поверхности. При

¹ Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области — Кузбасса в 2022 году. Администрация Правительства Кузбасса Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса. 2023. — 468 с.

² О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. — М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2022. — 684 с.

этом в каждом конкретном случае необходимо основываться прежде всего на данные о геометрических характеристиках объекта, планируемого к рекультивации.³

Современные технические возможности и тенденции цифровизации угольной отрасли позволяют осуществить сбор необходимой информации в дистанционном режиме с помощью беспилотных летательных аппаратов, не подвергая специалистов рискам нахождения на отработанной территории и, в сравнении с полевыми методами, позволяя им выполнять работы в разы быстрее.⁴ Кроме того, получение цифровых геопространственных данных (ортофотопланов, карт нормализованного относительного вегетационного индекса, цифровых моделей рельефа) по участкам биологической рекультивации в динамике и их последующий анализ способствуют наиболее эффективной оценке процессов, протекающих в результате рекультивационных мероприятий [6; 7].

Целью работы являлось изучение роли данных аэрофотосъемки в принятии управленческих решений для проведения биологической рекультивации техногенно-нарушенных территорий.

1. Материалы и методы исследований

Работы по закладке участка рекультивации проводились 25.07.2023. Участок представлял собой два экспериментальных сектора. Подготовка участка перед началом экспериментальных работ по биологической рекультивации заключалась в чистовой планировке поверхности, нанесении слоя потенциально плодородных пород мощностью не менее 1 м и плодородного слоя почвы мощностью не менее 0,5 м.

Материалом для проведения исследований являлись растения: овсяница красная, кострец безостый, донник желтый, пырей, фестулолиум, тимopheевка луговая, житняк гребенчатый, ежа сборная, клевер белый, люпин многолетний, эспарцет песчаный, вика яровая, люцерна синегибридная, карагана древовидная, сосна обыкновенная, тополь пирамидальный, ива желтокорая, арония черноплодная, барбарис тунберга. Растения были высажены на экспериментальном участке и его сопредельных территориях в летний период 2023 года. Часть посевов производили с использованием биопрепарата «Биава» (б/п).⁵

Оценку вели по таким показателям как приживаемость растений, прирост биомассы и проективное покрытие участков. Наблюдения за вегетацией посаженного материала проводили визуальным методом и посредством аэрофотосъемки с оценкой NDVI с периодичностью один раз в две недели.

Аэрофотосъемку проводили 7 раз в период с 21.06.2023 г. по 05.10.2023 г.

Определение биомассы растений осуществлялось в соответствии с ГОСТ Р 56881-2016 Биомасса. Определение зольности осуществлялось стандартным методом.

³ Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 N 800 (ред. от 07.03.2019) "О проведении рекультивации и консервации земель" (вместе с "Правилами проведения рекультивации и консервации земель") URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_302235/90e01d185047971fe921b2bb4ea2abe4389a57d5.

⁴ Обработка данных с БПЛА Pix4D URL: https://sovzond.ru/products/software/uav_data_processing/pix4d/ (дата обращения: 08-08-2023 г.).

⁵ Пат. RU 2248255 C1, В 09 С 1/10, А 01 В 79/00, С 12 S 13/00. Авторы: И.Ю. Лимбах, Г.О. Карапетян, К.Г. Карапетян, И.И. Новикова, И.В. Бойкова, В.А. Леднев. Патентообладатели: И.Ю. Лимбах, Г.О. Карапетян, К.Г. Карапетян. Заявка: 2003127826/12, 05.09.2003, опубликовано: 20.03.2005, Бюл. № 8.

Для визуального определения проектного покрытия на опытных делянках применяли метод квадрата-сетки. Прямоугольник размером 2×5 см разделяли белой нитью на десять квадратных клеточек размером 1 см² (ячеек). Далее рассматривали травостой через сетку и затем определяли, проекцию растительности.

На рекультивируемых участках проводили фотофиксацию на расстоянии 0,30–0,45 м. После проведения фотофиксации проводили срез травостоя для определения густоты. Также снимали биометрические параметры растительного покрова [8].

Для визуального определения приживаемости растений использовали шкалу оценки качества приживаемости (табл. 1).

Таблица 1

Шкала оценки качества приживаемости

Оценка	Приживаемость, %	Последующие действия
Отлично	более 85 %	Улучшение лесных культур путем их дополнения может не проводиться
Хорошо	50–85 %	Предусматривается улучшение лесных культур путем их дополнения в объеме, соответствующем приживаемости
Удовлетворительно	25–50 %	
Неудовлетворительно	менее 25 %	Лесные культуры считаются погибшими. Возможно принятие решения о целесообразности их дополнения и повторного обследования

Составлено авторами

Для обеспечения сходимости результатов аэрофотосъемок, а также контроля точности получаемых в ходе камеральной обработки геопространственных материалов выполняли геодезические измерения с целью создания планово-высотного обоснования. Геодезические измерения проводили с применением поверенных спутниковых мультисистемных двухчастотных геодезических приемников PrinCE i90, каждый из которых прошел метрологическую поверку.

Первым этапом геодезических измерений было создание опорного геодезического обоснования. Для этого на 3-х выбранных на объекте работ точках были проведены геодезические измерения, замыкающие данные точки треугольником. Полученные в ходе измерений данные уравнивали с применением абсолютного метода определения координат. Таким образом, были созданы 3 точки базовых станций, поименованные Ecotbs 1, 2 и 3, каждая из которых при выполнении работ могла быть использована для измерения контрольных точек и геодезического сопровождения выполнения аэросъемок.

Вторым этапом геодезических измерений было создание контрольных опознаков, используемых для проведения контроля точности получаемых материалов. Минимально необходимое количество контрольных опознаков было определено равным 3. Для получения их координат и высот использовались измерения с пунктов опорного геодезического обоснования (точек базовых станций Ecotbs 1, 2 и 3). Работы выполняли в системе координат WGS-84, эллипсоидальная высота.

По мере выполаживания территории, часть пунктов планово-высотного обоснования (точек базовых станций и контрольных опознаков) уничтожалась техникой, в связи с чем в каждый день проведения аэросъемок восстанавливали необходимое количество пунктов планово-высотного обоснования, а также создавали дополнительные контрольные опознаки. Максимальное число контрольных опознаков на даты проведения съемок было равным 6.

Аэрофотосъемка с применением Red, Green, Blue камеры (RGB-камеры) выполнялась с применением беспилотных воздушных судов (БВС) модели DJI Phantom 4 Pro+ с установленным бортовым Global Navigation Satellite System (ГНСС) приемником.

Проектирование полетного задания производили в программном обеспечении FLY Teofly (программное обеспечение производителя наборов модернизации Teokit). Полет выполнялся с огибанием рельефа. Проектная высота полета — 100 м. Перекрытие фотоснимков: 79 % (продольное) × 60 % (поперечное). Проектное пространственное разрешение фотоснимков: 2,6 см/пиксель. Спроектированное полетное задание импортировалось в программное обеспечение для выполнения полетов Litchi.⁶

Обработку данных геодезических измерений, выполненных в целях создания планово-высотного обоснования работ, проводили в программном обеспечении Trimble Business Center [3]. Результатом обработки были точные центры проекций аэрофотоснимков, обеспечивающие высокую точность результатов при фотограмметрической обработке и исключающие необходимость применения опорных опознаков для геопривязки результатов работ.

На основе аэрофотоснимков с RGB-камеры выполняли построение цифровых ортофотопланов, карт высот, цифровых моделей местности (рельефа) в виде плотных облаков точек. На основе мультиспектральных снимков выполняли построение карт нормализованного относительного вегетационного индекса (NDVI).

NDVI представляет собой числовой показатель актуального качества и количества растительности на заданном участке, который определяется путем сравнения интенсивности поглощения красного света и отражения ближнего инфракрасного света растениями. Здоровые растения имеют свойство поглощать красный свет и отражать ближний инфракрасный свет [9; 10].

Возможные значения индекса лежат в диапазоне от -1 до +1:

- от -1 до 0 — это объекты неживой природы;
- от 0 до 0,2 — характерны для открытой почвы;
- от 0,2 до 0,5 — разряженная растительность;
- выше 0,5 — густая растительность.

Работы по созданию геопространственных материалов (за исключением карты внутриполевых уклонов) выполняли в программном комплексе Agisoft Metashape Professional. Исходными материалами для обработки являлись фотоснимки, а также координаты и высоты центров проекций аэрофотоснимков.

Контроль точности полученных геопространственных материалов производили по контрольным опознакам в программе Agisoft Metashape Professional [3]. Контроль планово-высотных положений контрольных опознаков, полученных в результате фотограмметрической обработки, выполняли по разности координат и высот опознаков на ортотрансформированных фотоснимках и их значений, полученных в результате обработки спутниковых геодезических измерений.

Среднеквадратическая погрешность определения координат и высот, определенная по каждому контрольному опознаку, для геопространственных материалов, полученных на основе фотоснимков с RGB-камеры, не превышала 5,76 см в плане и 5,23 см по высоте, а для геопространственных материалов, полученных на основе мультиспектральных снимков, не превышала 7,1 см в плане и 23,78 см по высоте.

⁶ Шереметова С.А. Флора бассейна реки Томь: состав, структура, трансформация, пространственная организация: Дис. ... докт. биол. наук. Томск, 2016. — 776 с.

2. Результаты и их обсуждение

На секторе 1 участка (рис. 1) произведен гидропосев смеси трав: овсяница красная, кострец безостый, донник желтый, пырей, фестулолиум, тимopheевка луговая, житняк гребенчатый, ежа сборная, клевер белый, люпин многолетний, эспарцет песчаный, вика яровая, люцерна синегибридная. Период наблюдения составил 72 дня.



Рисунок 1. Обзорная схема участка

(источник: коллекция Кемеровского государственного университета)

Средний уклон сектора составил $9,4^\circ$. Как видно из рисунка 2, перепад высот на местности лежит в диапазоне от 275 до 282 м.

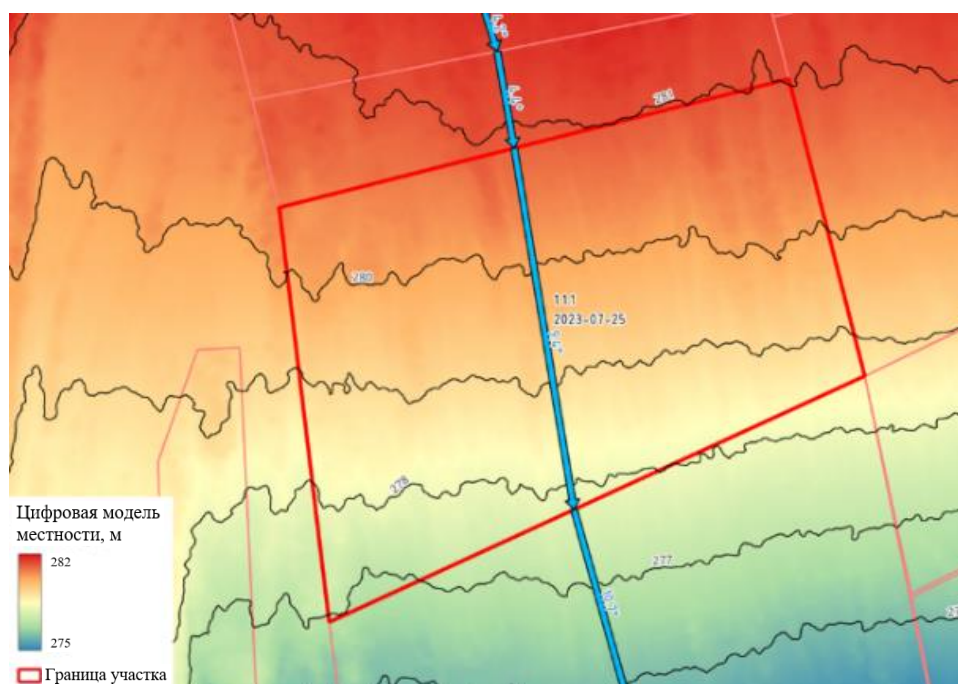


Рисунок 2. Цифровая модель местности с горизонталями и средним уклоном сектора 1 (источник: коллекция Кемеровского государственного университета)

Наличие относительно ровной поверхности после проведения планировочных работ позволяет прогнозировать более низкий процент выпада растений в результате паводковых явлений следующего сезона.

В секторе 1 наблюдается наличие областей эрозивного процесса (рис. 3).

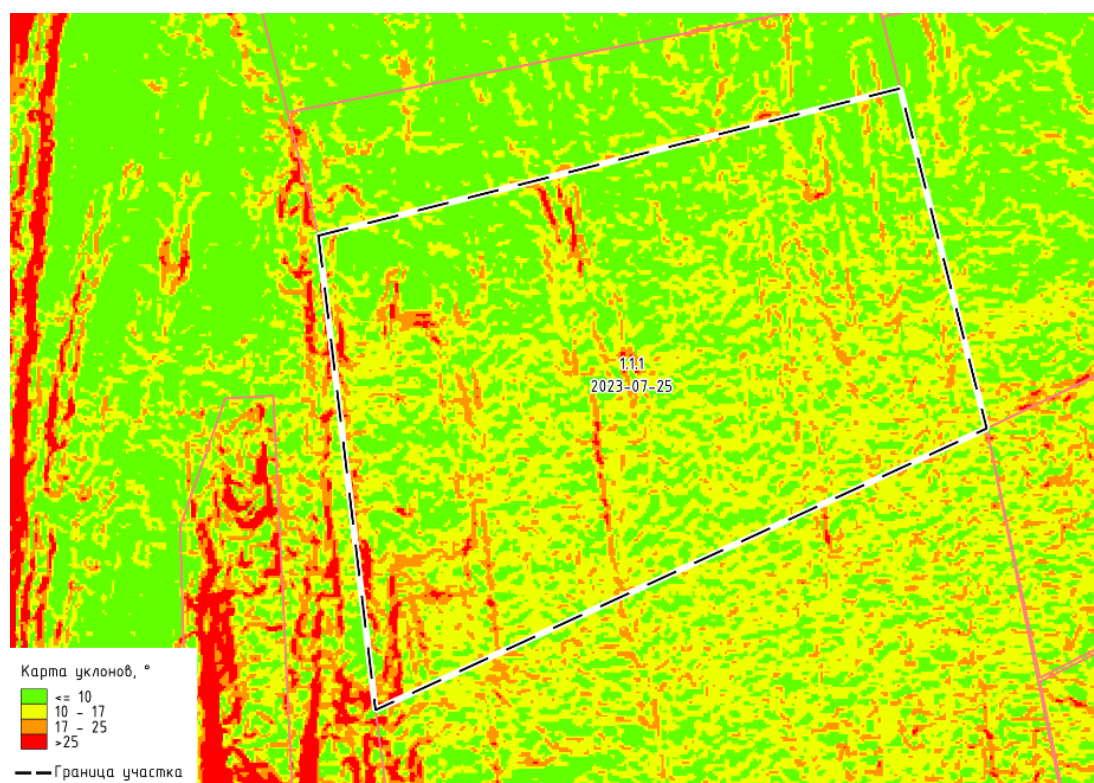


Рисунок 3. Карта внутриполевых уклонов сектора 1
(источник: коллекция Кемеровского государственного университета)

Наличие данных областей обусловлено проступлением на поверхность экспериментального сектора грунтовых вод с последующим размытием верхних слоев грунта. Следует отметить, что общая площадь областей, подвергшихся эрозивным процессам, невелика (рис. 4).

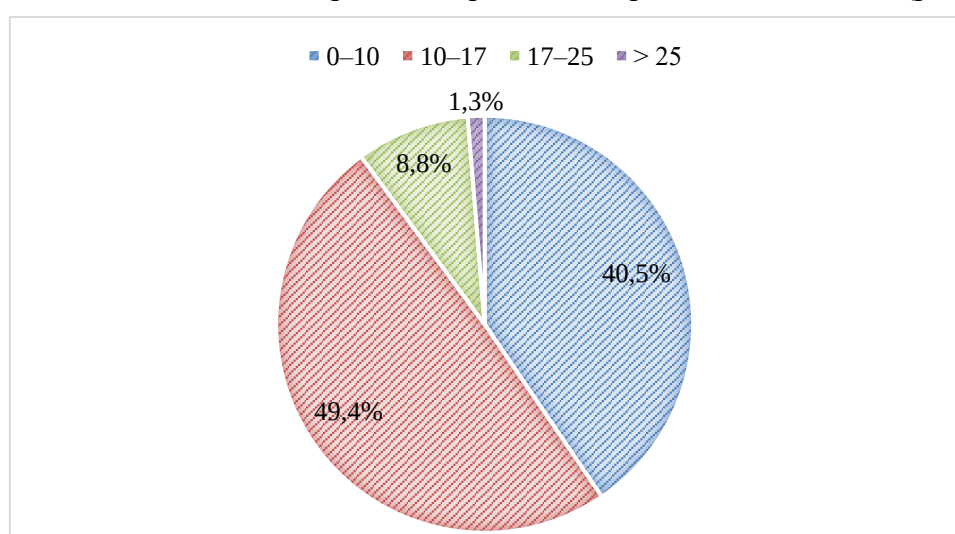


Рисунок 4. Диаграмма распределения
внутриполевых уклонов сектора 1 (автор: Кузнецов А.Д.)

Таким образом, учитывая, что площадь наиболее глубоких участков эрозии грунта составляет менее 10 %, можно спрогнозировать незначительные потери покрытия.

В секторе 2 (рис. 5) произведена посадка следующих культур: карагана древовидная, сосна обыкновенная, тополь пирамидальный, ива желтокорая, арония черноплодная, барбарис тунберга. Период наблюдения составил 72 дня.



Рисунок 5. Обзорная схема сектора 2
(источник: коллекция Кемеровского государственного университета)

Средний уклон сектора 2 составил $10,7^\circ$. Как видно из рисунка 6 перепад высот на местности лежит в диапазоне от 265 до 283 м.

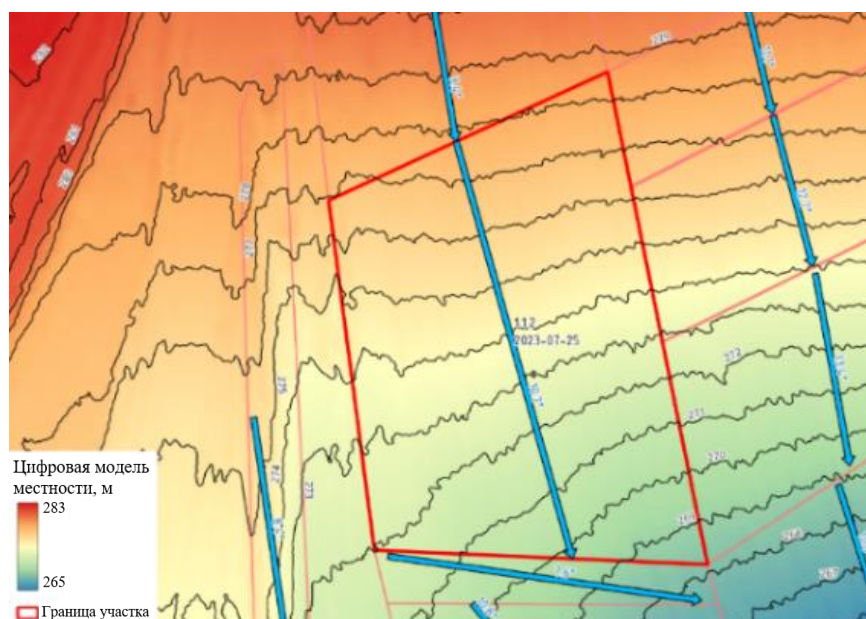


Рисунок 6. Цифровая модель местности с горизонталями и средним уклоном сектора 2 (источник: коллекция Кемеровского государственного университета)

Наличие относительно ровной поверхности после проведения планировочных работ позволяет прогнозировать более низкий процент выпада растений в результате паводковых явлений следующего сезона.

На участке наблюдается наличие областей эрозивного процесса (рис. 7).

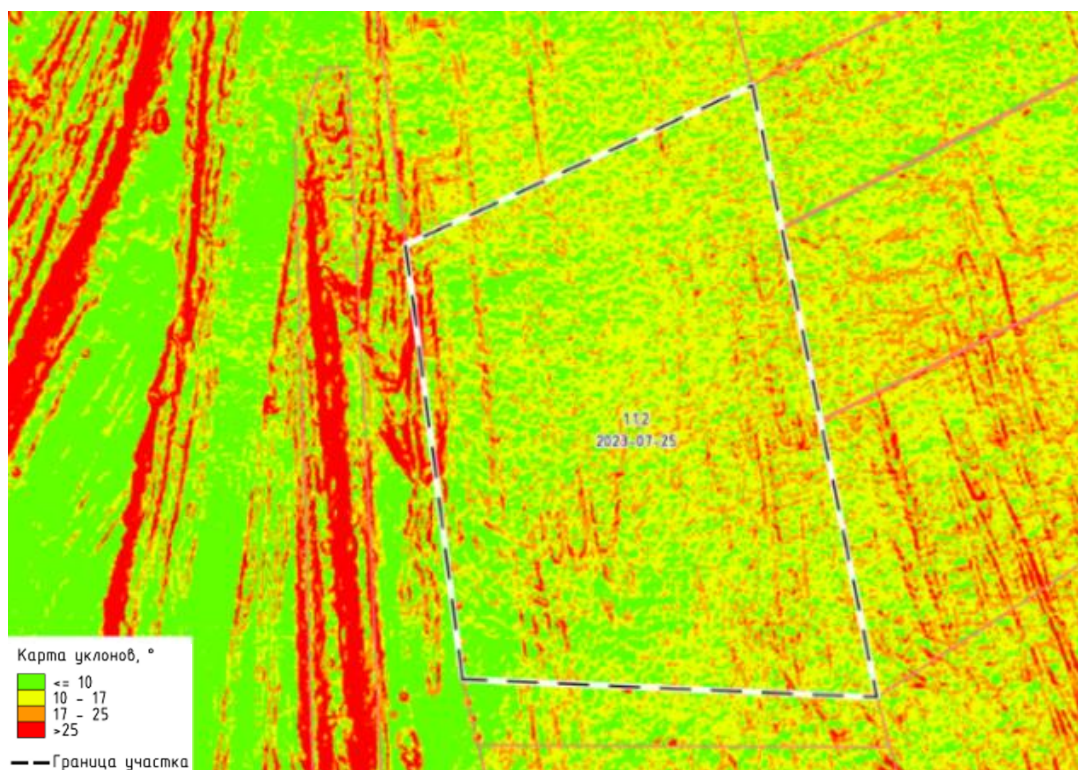


Рисунок 7. Карта внутриполевых уклонов сектора 2
(источник: коллекция Кемеровского государственного университета)

Наличие данных областей обусловлено проступлением на поверхность экспериментального сектора грунтовых вод с последующим размывом верхних слоев грунта. Следует отметить, что общая площадь областей, подвергшихся эрозивным процессам, больше, чем на секторе 1 (рис. 8).

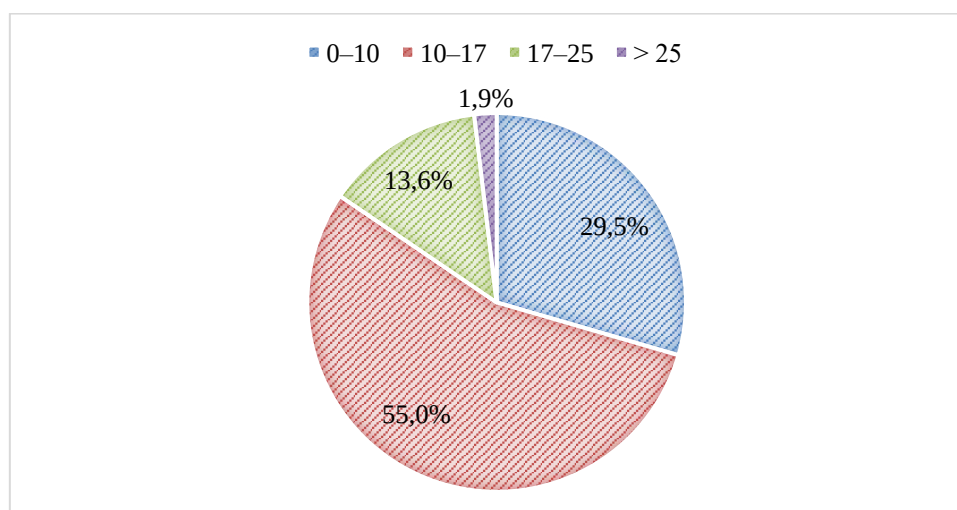


Рисунок 8. Диаграмма распределения
внутриполевых уклонов сектора 2 (автор: Кузнецов А.Д.)

Площадь участков эрозии грунта составляет порядка 15 %, что позволяет спрогнозировать незначительные потери проективного покрытия.

Результаты визуального определения приживаемости растений всего исследуемого участка представлены в таблице 2. Результаты оценивались с учетом внесения в ½ общего количества посадочного и посевного материала биопрепарата «Биава» (б/п).

Таблица 2

Общие данные приживаемости растений на исследуемом участке

Кол-во рядов	Высаженные породы	Кол-во (шт., кг, м ²)	Приживаемость, %	Расстояние между растениями в ряду, м	Оценка приживаемости культур
—	Смесь трав с б/п	0,5	75	—	Хорошо
—	Смесь трав	0,5	65	—	Хорошо
6	Сосна обыкновенная	75	70	2×2	Хорошо
	Сосна обыкновенная с б/п	75	85	2×2	Отлично
4	Тополь пирамидальный	45	75	2×2	Хорошо
	Тополь пирамидальный с б/п	45	85	2×2	Отлично
4	Ива желтокорая	40	65	1,5×1,5	Хорошо
	Ива желтокорая б/п	40	70	1,5×1,5	Хорошо
3	Карагана древовидная	30	50	1,5×1,5	Хорошо
	Карагана древовидная с б/п	30	55	1,5×1,5	Хорошо
2	Арония черноплодная	40	40	1,5×1,5	Удовлетворительно
	Арония черноплодная с б/п	40	55	1,5×1,5	Хорошо
2	Барбарис тунберга	60	75	1,5×1,5	Хорошо
	Барбарис тунберга с б/п	60	80	1,5×1,5	Хорошо

Составлено авторами

Как видно из рисунка 9 на исследуемом участке для сосны обыкновенной отмечена приживаемость 85 %.

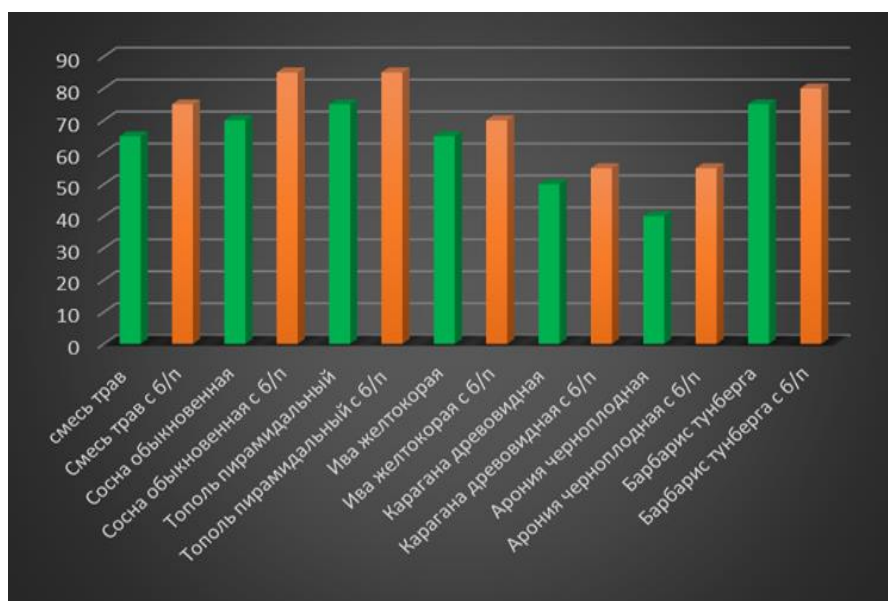


Рисунок 9. Приживаемость растений на исследуемом участке (автор: Кузнецов А.Д.)

Данный факт объясняется тем, что сосна обыкновенная — светолюбивая, быстрорастущая, малотребовательная к плодородию почв порода деревьев. Растет на бедных и сухих глубоких песках, на каменисто-щебнистых осыпях, на мелах, супесчаных, суглинистых и даже глинистых почвах разной степени влажности и плодородия, что связано с высокой пластичностью ее корневой системы. Сосна — одна из самых засухоустойчивых пород.

Широкая экологическая амплитуда местообитаний сосны делает ее наиболее распространенной древесной породой при лесной рекультивации техногенных земель все эти показатели и обусловлены хорошей приживаемостью данного вида на техногенно- нарушенных почвах.

Тополь пирамидальный — порода не требовательная к условиям произрастания, особенно — к плодородию и влажности почвы. Все виды тополей плохо переносят застойное увлажнение. Тополя светолюбивы, что проявляется уже на ранних стадиях их роста и развития (при недостатке света они резко снижают скорость роста). С добавлением биопрепарата приживаемость тополя увеличилась на 10 % и показала хорошую приживаемость, как и у сосны на данном участке.

Самая низкая приживаемость наблюдалась у аронии черноплодной без добавления биопрепарата. Для черноплодной рябины не принципиален выбор почвы. Кустарник одинаково хорошо растет как на сухих песчаных, так и кислых почвах. Тем не менее черноплодная рябина предпочитает влажные суглинистые почвы. Главное, чтоб они были не тяжелыми. Т. к. при посадке отмечалась засуха, это и обусловлено низкой приживаемостью аронии черноплодной, на данном участке. С добавлением биопрепарата приживаемость увеличилась на 15 %.

Всхожесть трав отмечалась лучше с добавлением биопрепарата и составляла 75 %. Высота трав без добавления биопрепарата была в среднем 10–12 сантиметров, с добавлением биопрепарата равнялась в среднем 15–20 сантиметров.

На рисунках 10–17 представлена динамика развития биомассы секторов 1 и 2 в видимом диапазоне (ортофотоплан) и посредством оценки индекса NDVI.



Рисунок 10. Ортофотоплан на 02.08.2023 г. (сектор 1)
(источник: коллекция Кемеровского государственного университета)



*Рисунок 11. Карта вегетационного NDVI на 02.08.2023 г. (сектор 1)
(источник: коллекция Кемеровского государственного университета)*



*Рисунок 12. Ортофотоплан на 05.10.2023 г. (сектор 1)
(источник: коллекция Кемеровского государственного университета)*

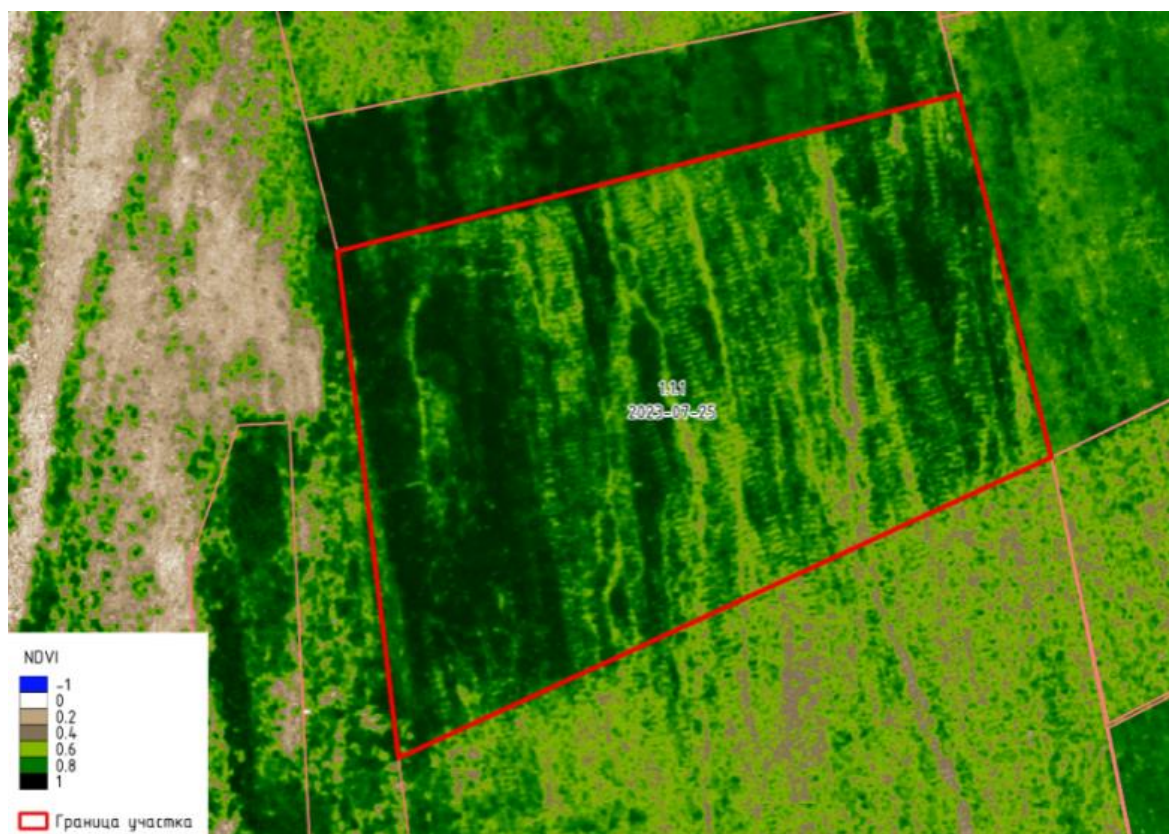


Рисунок 13. Карта вегетационного NDVI на 05.10.2023 г. (сектор 1)
(источник: коллекция Кемеровского государственного университета)



Рисунок 14. Ортофотоплан на 02.08.2023 г. (сектор 2)
(источник: коллекция Кемеровского государственного университета)



Рисунок 15. Карта вегетационного NDVI на 02.08.2023 г. (сектор 2)
(источник: коллекция Кемеровского государственного университета)



Рисунок 16. Ортофотоплан на 05.10.2023 г. (сектор 2)
(источник: коллекция Кемеровского государственного университета)

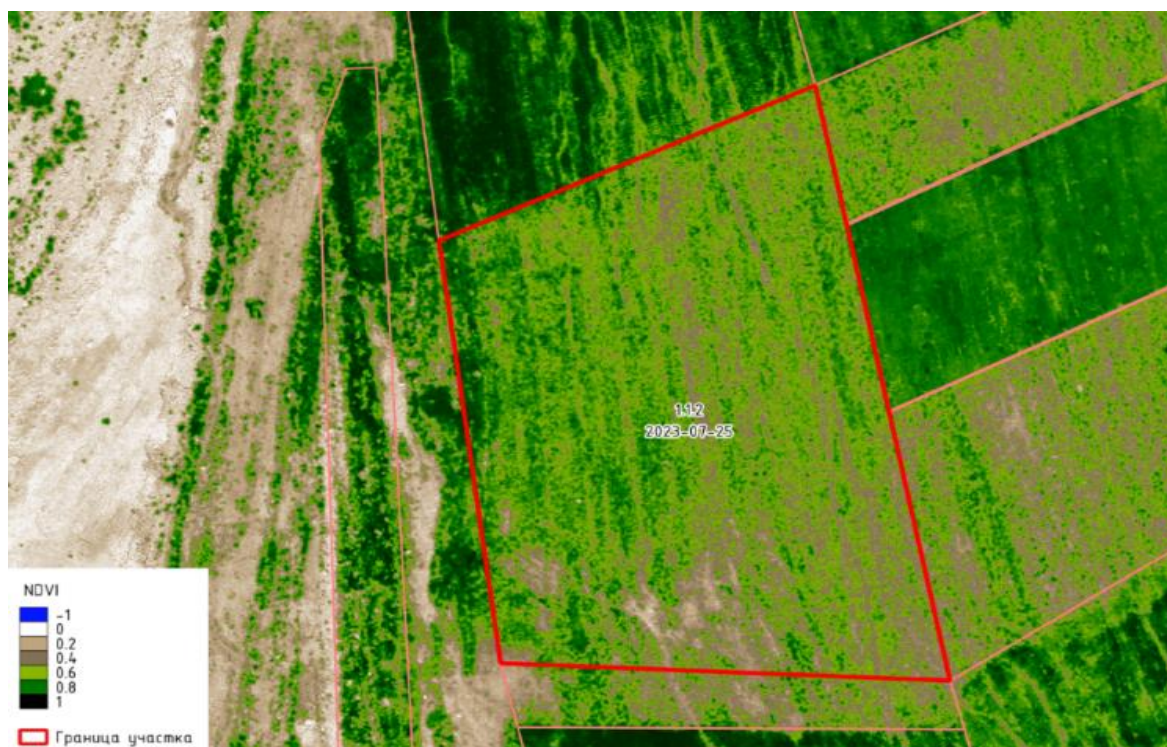


Рисунок 17. Карта вегетационного DVI на 05.10.2023 г. (сектор 2)
(источник: коллекция Кемеровского государственного университета)

При сравнении данных ортофотоплана в динамике можно проследить развитие областей, подверженных эрозивному процессу за счет проступания грунтовых вод. При соотношении координат таких областей с картами индекса NDVI получили подтверждение гипотезы о потерях площади проективного покрытия.

Исследование динамики распределения индекса NDVI на исследуемом участке представлено на рисунках 18, 19.

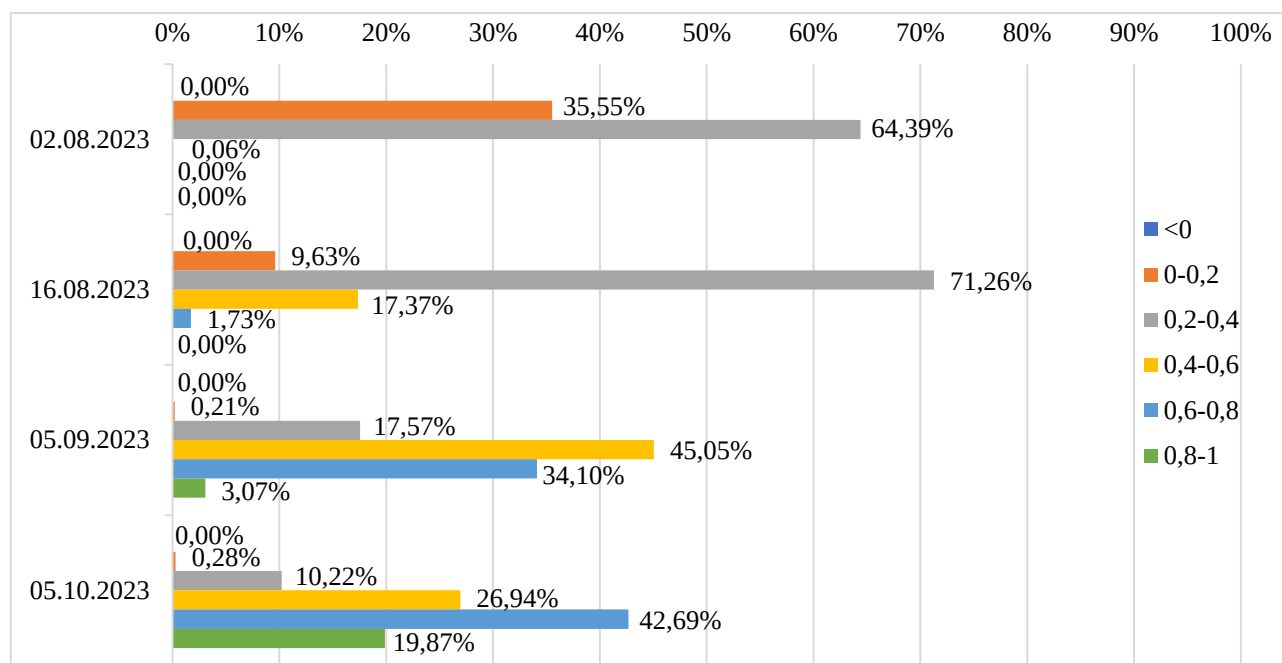


Рисунок 18. Динамика распределения значений индекса NDVI в секторе 1 (автор: Кузнецов А.Д.)

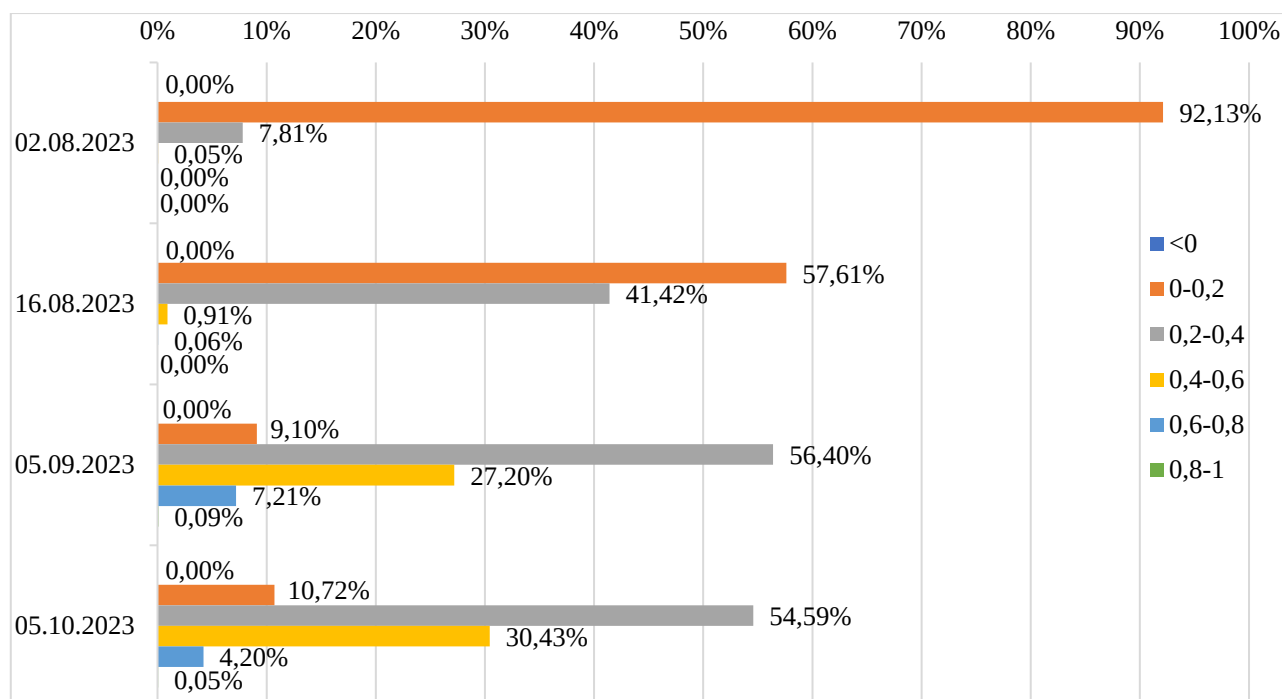


Рисунок 19. Динамика распределения значений индекса NDVI в секторе 2 (автор: Кузнецов А.Д.)

Исходя из данных рисунков 18 и 19 о динамике распределения значений индекса NDVI, установлен систематический прирост биомассы с момента посадки до момента окончания периода вегетации. При этом пик вегетации на секторе 1 (травосмесь) приходился на последнюю дату наблюдений, то есть прирост биомассы травосмеси происходило вплоть до окончания периода вегетации, обусловленного установкой минусовых температур воздуха и промерзанием грунта. В то же время пик вегетации на секторе с посадочным материалом (деревья, кустарники) приходился на более ранний период — в последний месяц наблюдений наблюдается заметное снижение площади густой растительности.

Выводы

При сравнении результатов эксперимента на двух участках с разной степенью подготовки в рамках горнотехнического этапа рекультивации видно, что наибольшую эффективность по приживаемости и приросту биомассы имеет сектор с гидропосевом смеси трав с использованием биопрепарата «Биава». Установлено также, что высадка деревьев и кустарников замедляет процесс вегетации растений в связи с более долгим этапом адаптации растений, но не имеет большого влияния на приживаемость растений. Большое влияние на снижение степени проективного покрытия техногенно-нарушенных земель растениями имеют эрозивные процессы и общий уклон участков со смесью потенциально плодородного слоя почвы и плодородного слоя почвы (ППСП + ПСП).

Таким образом, установлено, что данные аэрофотосъемки играют важную роль в принятии управленческих решений для проведения биологической рекультивации техногенно-нарушенных территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петренко И.Е. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2022 года // Уголь. — 2023. — № 3(1165). — С. 21–32. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/itogi-raboty-ugolnoy-promyshlennosti-rossii-za-yanvar-dekabr-2022-goda> (дата обращения: 11.08.2023).
2. Юрченко Ю.В. Требования к рекультивации нарушенных земель // Экология Производства. — 2020. — № 2. — С. 100–108.
3. Зеньков И.В. Информационное обеспечение оценки экологии нарушенных земель в горнодобывающем секторе Кузбасса / И.В. Зеньков, Б.Н. Нефедов, Ю.А. Анищенко, О.О. Стукова, Г.И. Юрковская, Е.В. Кирюшина, С.Н. Скорнякова // Уголь. — 2020. — № 6. — С. 62–66.
4. Удодов Ю.В. Геолого-Геоморфологическая характеристика и полезные ископаемые Кемеровской области / Ю.В. Удодов, Н.Д. Егорова, Г.Н. Багмет // Вестник КемГУ. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле. — 2017. — № 1. — С. 53–59.
5. Копытов А.И. Направления совершенствования стратегии развития угольной отрасли Кузбасса / А.И. Копытов, С.В. Шаклеин // Уголь. — 2018. — № 5 — С. 80–87.
6. Миронов А.Б., Терешкин А.В. Проблемы и перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в сфере ландшафтной архитектуры // Материалы IV национальной конференции по итогам научной и производственной работы преподавателей и студентов в области лесного дела, мелиорации и области лесного дела в саратовском ГАУ (1922–2022 гг.) / Саратов, 2022. С. 150–155. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_48648166_38054635.pdf (дата обращения: 08-08-2023 г.).
7. Podurets O.I., Osintseva, M.A. Ecological aspect of the development of soil-forming processes at the post-technogenic stage. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2021. Vol. 937. № 2. p. 022008. doi: 10.1088/1755-1315/937/2/022008.
8. Ren H., Xiao W., Zhao Y. Examining the effect of spontaneous combustion on vegetation restoration at coal waste dumps after reclamation: Taking *Medicago sativa* L. (alfalfa) as an indicator // Science of The Total Environment. 2023. (901). С. 165668.
9. Abramowicz A. Vegetation as an indicator of underground smoldering fire on coal-waste dumps // Fire Safety Journal. 2021. (121). С. 103287.
10. Бадмаева, Ю.В. Направления рекультивации нарушенных земель при добычных работах / Ю.В. Бадмаева // Вестник КрасГАУ. — 2023. — № 4(193). — С. 114–118. — DOI 10.36718/1819-4036-2023-4-114-118. — EDN DJJHXL.

Kuznetsov Aleksandr Dmitrievich

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

E-mail: adkuz@inbox.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1986-3039>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1020779

Zverev Roman Evgen'evich

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

E-mail: r.zverev@i-digit.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9856-9358>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=724493

Osintseva Mariya Alekseevna

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

E-mail: stas-asp@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4045-8054>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=634693

The role of aerial photography data in making management decisions for biological reclamation of technogenically disturbed territories

Abstract. Currently, it is necessary to search for effective alternative methods of restoring technogenically disturbed lands after coal mining. Such a method is reclamation with control of vegetation of plants by digital methods. The aim of the work was to study the role of aerial photography data in making management decisions for biological reclamation of technogenically disturbed territories. The material for the research was plants planted at the experimental site in the summer of 2023. Observations of the vegetation of the planted material were carried out by visual method and by means of aerial photography with an assessment of the normalized relative vegetation index at a frequency of once every two weeks using an unmanned DJI Phantom 4 Pro+ aircraft. Using aerial photography, it was found that the area of the deepest soil erosion of the studied area is less than 10 %. A systematic increase in biomass has been established from the moment of planting to the end of the growing season. At the same time, the peak of the growth of the grass mixture falls on the last observation date. While in the sector using trees and shrubs as planting material, the peak of vegetation occurred at an earlier period. It is proved that aerial photography data are important in making management decisions for the biological reclamation of technogenically disturbed territories

Keywords: unmanned aerial vehicles; aerial photography; orthophotoplanes; normalized relative vegetation index; biological recultivation; technogenically disturbed lands; industrial territories