

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2021, №6, Том 13 / 2021, No 6, Vol 13 <https://esj.today/issue-6-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/53NZVN621.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Петрова, Т. А. Метод оценки эффективности мелиорантов при рекультивации нарушенных земель / Т. А. Петрова, Э. Рудзиш // Вестник евразийской науки. — 2021. — Т. 13. — № 6. — URL: <https://esj.today/PDF/53NZVN621.pdf>

For citation:

Petrova T.A., Rudzisha E. Method for assessing the effectiveness of ameliorants in the reclamation of disturbed lands. *The Eurasian Scientific Journal*, 13(6): 53NZVN621. Available at: <https://esj.today/PDF/53NZVN621.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

Петрова Татьяна Анатольевна

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург, Россия
Доцент кафедры «Геоэкологии»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: Petrova_TA@pers.spmi.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5914-6395>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=738770

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56274551100>

Рудзиш Эделина

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург, Россия
«Горный» факультет

Аспирант кафедры «Геоэкологии»

E-mail: rudzisha@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6728-4576>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1050369

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57216950035>

Метод оценки эффективности мелиорантов при рекультивации нарушенных земель

Аннотация. Для восстановления техногенно-нарушенных земель объектов горной промышленности необходимо восполнение дефицита органического вещества в рекультивируемых землях. Без внесения органических добавок (почвенных мелиорантов) формируемый плодородный почвенный слой быстро истощается и теряет питательные вещества, что приводит к постепенной гибели растительного покрова. Оптимальный баланс органической и минеральной составляющих восстанавливаемого плодородного и потенциально плодородного почвенного слоя обеспечивает формирование устойчивого почвенно-растительного комплекса, что в свою очередь является экологически эффективным завершением рекультивации нарушенных земель. Одна из ключевых проблем — это отсутствие методик и рекомендаций в области оценки применимости мелиорантов, рекультивантов и почвенных добавок для восстановления растительного покрова и рекультивации земель. В статье рассмотрены методики оценки мелиорантов через анализ их воздействия на растительных покров. Целью исследований являлось определение упрощенного метода оценки эффективности органического мелиоранта для рекультивации нарушенных земель путем анализа воздействия на биомассу формируемого растительного покрова. На основе сравнительного анализа методик, авторами предложен упрощенный косвенный метод по анализу биомассы растительного покрова для оценки пригодности органических мелиорантов с использованием цифровых методов обработки данных — RGB-снимков (DIA) и индексом

листовой поверхности (LAI). По результатам оценки мелиорантов через анализ прироста наземной биомассы растительного покрова райграса наилучшие соотношения для внесения в почву для торфосмеси 1:2 и 1:3, для осадка сточных вод 1:3. Результаты сравнительного анализа двух подходов анализа наземной биомассы (классического с измерением биомассы срезов растительного материала и предложенного, основанного на цифровых методах оценки RGB-снимков совместно с LAI) установили взаимосвязь $r^2 = 0,75-0,95$.

Ключевые слова: мелиорация; вегетационный индекс; осадки сточных вод; распознавание изображения; биомасса растений; обработка почвы; цифровые технологии

При рекультивации нарушенных земель в районах расположения горных выработок необходимо восстановление стабильного и устойчиво функционирующего почвенно-растительного покрова [1; 2]. Проект мероприятий по рекультивации составляется с целью скорейшего восстановления растительного покрова, зачастую без учета воссоздания устойчивого грунтовопочвенного слоя способного поддерживать функции почвообразования и самовосстановления.

Техногенно-нарушенные земли характеризуются существенными потерями верхнего плодородного слоя почвы, что сокращает запасы органического вещества в антропогенном биотопе, а также приводит к снижению водоудерживающей способности обнаженных грунтов, изменениям плотности и пористости почвогрунтов, нарушениям грунтовопочвенных режимов (водного, воздушного и питательного), потерям устойчивости к процессам эрозии и негативному воздействию на почвенные микробиологические сообщества [3–5]. Без должного внимания к комплексному восстановлению почвенно-растительного комплекса мероприятия по рекультивации будут экологически малоэффективными [2; 6]. Вследствие этого, при рекультивации нарушенных земель в районах расположения горных выработок требуется рациональный подбор и внесение органических почвенных добавок (мелиорантов), способных улучшить баланс органических и минеральных веществ для формирования органоминерального тела почвогрунтов на восстанавливаемых территориях [7–9].

Таким образом, одним из актуальных вопросов в области рекультивации горнопромышленных земель остается подбор эколого-экономически эффективных органических почвенных добавок (мелиорантов), способных улучшить процесс формирования почвенно-растительного комплекса. Из существующих почвенных добавок активно используются: торфосмеси, сапропель, древесные опилки, перегной, а также другие вещества на основе остатков и продуктов жизнедеятельности растений и животных.

Продолжаются исследования по применимости почвенных добавок (мелиорантов) на основе осадков сточных вод, биогумусов, компостов, вермикомпостов и других мелиорантов [10].

Помимо расширения базы потенциальных органических мелиорантов существует вопрос по определению методики оценки применимости мелиорантов [11]. Применимость почвенных добавок (мелиорантов) определяется составом и физическими характеристиками его составляющих субстратов. Однако, определение всех характеристик мелиоранта трудоемкий и ресурсозатратный метод оценки, что не всегда осуществимо в полной мере.

Альтернативный подход — экспериментальный метод оценки воздействия вносимого мелиоранта на формируемый почвенный покров. Анализ роста и развития растительного покрова проводится для определения мелиорационного потенциала и экологической безопасности мелиоранта и его доз внесения. Анализ роста и развития может проводиться на любой стадии вегетационного периода растений, измеряемыми параметрами могут являться: процент всхожести семян, динамика роста растений, прирост биомассы, урожайность и др.

Биомасса растительного покрова отражает воздействие мелиоранта на рост и развитие растительного покрова в течение всего вегетационного периода растений. Общее количество растительного вещества отражают расчет чистой первичной продукции и темпы прироста растительного покрова [12; 13]. Классические методы анализа биомассы заключаются в деструктивном отборе проб растительного материала и измерением массы растительного веса (в свежем или сухом виде). Деструктивный отбор образцов может производиться на разных стадиях роста растений с пересчетом биомассы на количество растений (г) или единицу площади (г/м²). Такой классический подход к анализу биомассы является трудоемким и ресурсозатратным из-за низкой информативности, расходности по материалам, времени и сложностью повторных измерений [14–16].

В качестве альтернативных подходов к анализу роста и развития растений (без разрушения растительного материала) предлагаются методы цифровой обработки данных с применением различных вегетационных индексов.

Метод цифровой обработки данных широко используется в сельском хозяйстве, агрохимии, биологии и других направлениях [17]. Мониторинг растительного покрова данными методами основывается на анализе изображений в красном, ближнем и (или) инфракрасном диапазонах с использованием красно-зелено-синих (RGB), мульти- и гиперспектральных камер, тепловизоров, датчиков фотосинтеза и флуоресценции, а также лидаров [16; 18]. Этими методами определяется показатель биомассы растительного покрова [19], и ряд других характеристик (прямых и косвенных): фенотипирование сельскохозяйственных культур [20], уровень хлорофилла, дефицит воды, выявление низкого содержания азота, калия [21], оценка качества урожая, плотности растительного покрова [22] и другие [16].

Для анализа некоторых показателей применяются вегетационные индексы, позволяющие осуществить пересчет значений, полученных при цифровых методах обработки данных, в значения определяемых параметров. Часто встречающиеся примеры применяемых вегетационных индексов — это нормализованный относительный вегетационный индекс NDVI [21; 23; 24], индекс зеленой поверхности GA/GAI [18; 21; 25] и индекс листовой поверхности LAI [22; 26; 27]. Расчеты вегетационных индексов основываются на спектральных особенностях растений отражать или поглощать свет.

Проведенный анализ литературных источников ранее проводимых исследований показывают, что данные методы могут быть подходящими для оценки мелиоранта и его воздействия на растительный покров. Кроме того, в связи с тем, что экспериментальное исследование было направлено на поиск наиболее простого и низкзатратного метода оценки, был выбран цифровой метод анализа RGB-изображений (полученных цифровой камерой) с анализом биомассы через индекс листовой поверхности LAI.

1. Материалы и методы

Цель исследования — сравнить два метода измерений показателя биомассы растительного покрова: классического с разрушением растительного материала и альтернативного — без разрушения при оценке эффективности мелиоранта. Задачи исследования:

- формирование почвенно-растительных моделей для оценки внесенных мелиорантов;
- проведение анализа прироста биомассы на сформированных почвенно-растительных моделях (классическим и альтернативным методами);

- сравнение двух подходов анализа биомассы растительного покрова для оценки эффективности органических мелиорантов.

Экспериментальные модели. При формировании моделей почвенно-растительных комплексов были собраны образцы и материалы для трех видов почвенных субстратов — подзолистая почва с антропогенным изменением (в качестве контрольной группы) и две группы с изменением отобранной почвы:

- с добавлением осадка сточных вод от целлюлозно-бумажного комбината (ОСВ) [28];
- с добавлением торфосмеси коммерческого происхождения (просеянного и раскисленного торфа средней степени разложения, смешенного с известью).

Добавление почвенных добавок (мелиорантов) производилось из расчета рекомендуемых соотношений: 1:1, 1:2 и 1:3, выбранных на основе предшествующих исследований и рекомендаций из литературных источников по оценке эффективности добавления ОСВ и торфосмесей. Исследуемые модели были сформированы в 4-кратном повторении.

Для растительного покрова была выбрана травянистая культура — райграс *Lolium perenne* L., как одна из рекомендуемых культур для рекультивации территорий лугов, лесов при условиях холодного и умеренного климата, согласно ГОСТ Р 57446-2017 «Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия».

Экспериментальные модели почвенно-растительных комплексов находились в перфорированных растительных пакетах — 150x150x400 мм объемом 8 литров (рабочая поверхность 15x15 см/модель). Все модели были помещены в лабораторные условия при постоянных микроклиматических условиях (температура, влажность) с равномерным экспериментально рассчитанным поливом (исходя из требуемой для растительного покрова влажности субстратов). Для соблюдения условий освещенности были установлены фитолампы полного спектра свечения 400–800 нм (лампы — 35W) с периодом освещения — 10 часов/день.

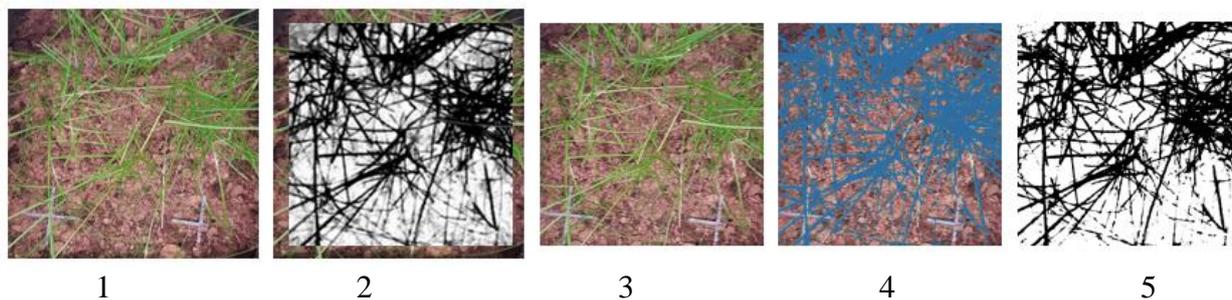
Классический метод анализа биомассы (МЕТОД 1). Через определенные промежутки времени (каждый 2 недели) — 2, 4, 6 недель после прорастания, на этапе экспоненциального роста растений были сделаны срезы наземной части растительного покрова. Свежая наземная биомасса от каждой модели была взвешена (г/м²).

Цифровой метод анализа данных по биомассе (МЕТОД 2). Перед отбором растительного материала (срезом) были сделаны снимки растительного покрова каждой модели на одинаковом расстоянии (40–50 см) от почвенной поверхности. RGB-снимки были сделаны цифровой камерой (с разрешением 10 МП).

Полученные RGB-снимки (в формате JPG) обработаны и проанализированы с помощью программного обеспечения ImageJ 1,40g для получения результатов значений индекса листовой поверхности LAI (leaf area index = площадь листьев / площадь земли, %).

Для получения значений индекса зеленого листа необходимо дифференцировать растровое изображение растительного покрова от пикселей фоновой части изображения (почва, камни и другие включения). Для эффективной дифференциации были определены пороги цвета (зеленого) на основе обработки оттенка, насыщенности и интенсивности цветовой модели. После чего был произведен расчет площади отделённых «зеленых» участков растительного покрова к площади рабочей поверхности. Алгоритм и результаты обработки RGB-снимков (по этапам) представлены на рисунке 1. Для всех снимков были выбраны унифицированные

условия обработки (значения насыщенности, интенсивности и порога при дифференциации) исходя из наибольшей точности обработки.



(1) исходный снимок; (2) определение границ рабочей поверхности и пример дифференциации «зеленого»; (3) исходный снимок после обрезки до площади рабочей поверхности; (4) проверка точности определения при дифференциации; (5) полученные данные после отделения фоновой части изображения

Рисунок 1. Поэтапные результаты обработки RGB-снимков (составлено авторами)

2. Результаты исследования

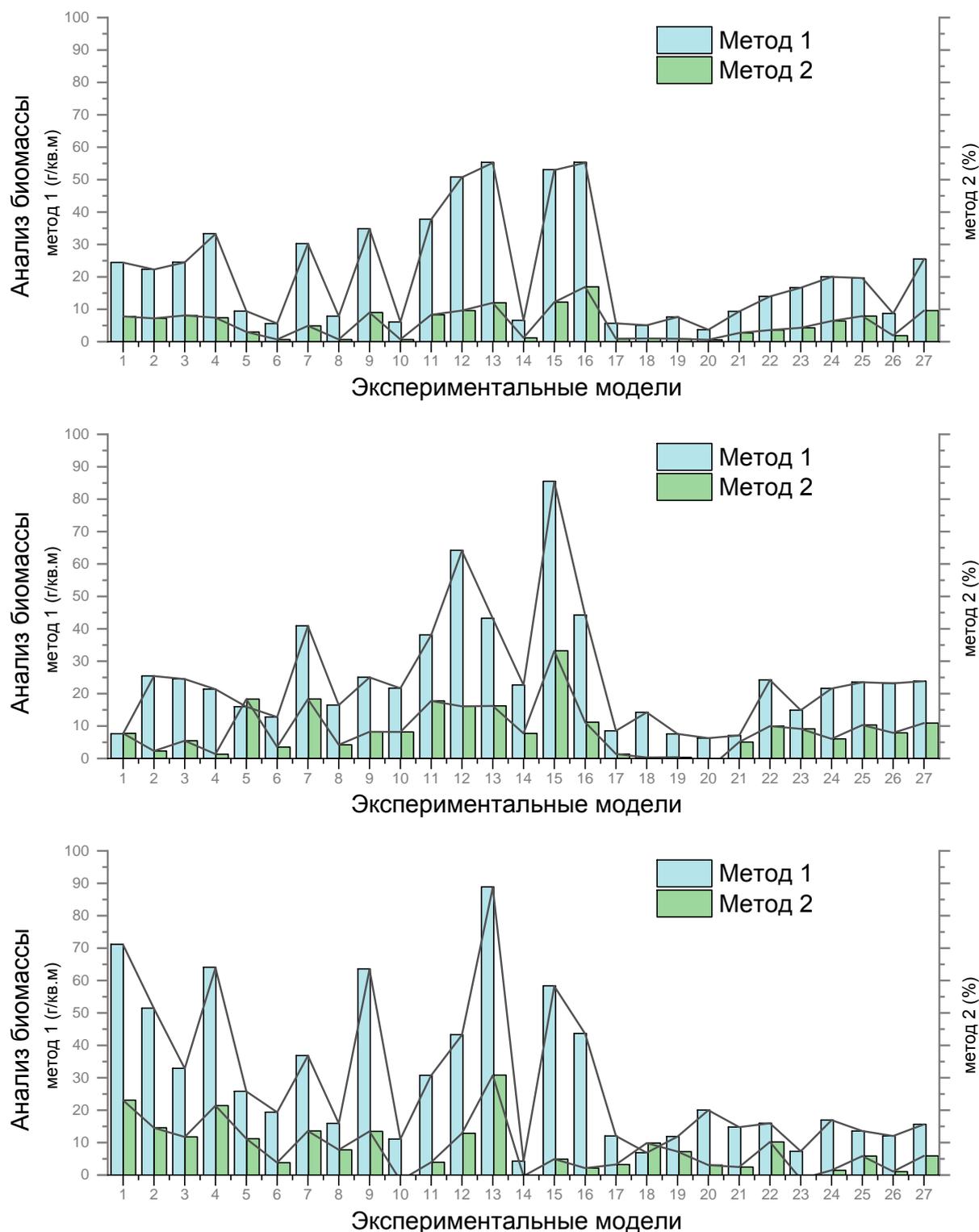
Результаты анализа биомассы растительного покрова как при традиционном методе, так и при альтернативном показали, что почва, улучшенная внесением торфосмеси на первых этапах (вторая и четвертая неделя после прорастания) дает лучший прирост биомассы райграса (на 20–70 %), чем контрольная группа (выращенная на почвенных моделях). В свою очередь, почва, улучшенная ОСВ, в среднем дает меньший прирост биомассы (на 20–60 %) от контрольных моделей.

Общее представление полученных данных по двум методам анализа (традиционному и альтернативному) биомассы растительного покрова, выращенного на различных субстратах изображено на рисунке 2.

Анализ биомассы растительного покрова, выращенного на субстратах при различных соотношениях с почвой (1:1, 1:2 и 1:3) не отразил существенной разницы от количества внесения субстратов. Однако, при добавлении торфосмеси или ОСВ при соотношении 1:1 отмечается торможение прироста биомасса. Значения прироста биомассы (в сравнении с контрольной группой): для торфосмеси (1:1) были в 1–2 раза хуже, для ОСВ (1:1) — в 1–4 раза хуже контрольных моделей. Схожие результаты были ранее получены при исследованиях воздействия ОСВ на почвенно-растительные комплексы [29; 30], что подтверждает непригодность данных субстратов (при соотношении 1:1) для восстановления растительного покрова, посадкой травянистых растений райграса.

Рекомендуемыми соотношениями внесения являются: для торфосмеси– 1:2 и 1:3 (к почве), для осадка сточных вод 1:3. Результаты анализа (на основе усреднения данных 4-кратного повтора) значений прироста биомассы показали:

- при добавлении торфосмеси в соотношениях 1:2 улучшаются показатели прироста биомассы на 20–30 % от контрольной группы, в соотношении 1:3 — на 60–70 %;
- при добавлении ОСВ в соотношении 1:3 — достигаются значения прироста биомассы, схожие с контрольными моделями почвенно-растительных комплексов.



Традиционный метод 1 — срез биомассы; альтернативный метод 2 — с помощью цифровой обработки данных на 27 моделях: 1–4 на почве, 5–16 почва с торфосмесью, 17–27 почва с ОСВ

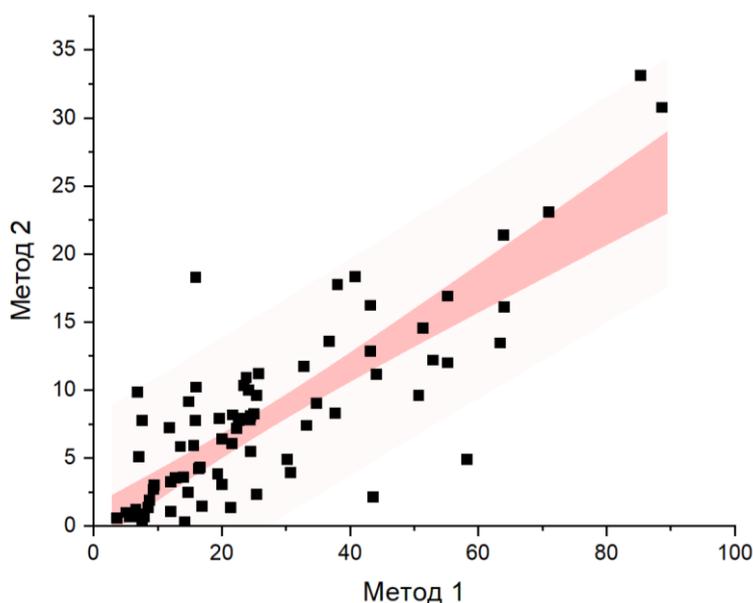
Рисунок 2. Результаты трех серий (на 2, 4, 6 неделю) анализа биомассы двумя методами: (составлено авторами)

Далее, для оценки применимости альтернативного метода анализа биомассы растительного покрова на почвах с добавлениями мелиорантов был проведен сравнительный

анализ двух полученных массивов результатов — цифровым методом с вегетационным индексом LAI и классическим с измерением массы растительного материала.

Сравнительный анализ полученных данных от двух методов анализа биомассы растительного покрова (традиционного и альтернативного) показал корреляцию по всем трем сериям анализов (на 2, 4, 6 неделю от прорастания растительного покрова — $r_1^2 > 0,95$; $r_2^2 > 0,75$; $r_3^2 > 0,75$), что подтверждает пригодность предложенного метода для оценки эффективности мелиоранта и анализа растительного покрова. Корреляцию между результатами анализов биомассы данными методами (взвешиванием растительного материала и цифровыми методами совместно с вегетационными индексами) устанавливали в ранее проводимых исследованиях: при анализе роста бамбука с помощью LAI [19], кустарников на пастбищных угодьях с помощью NDVI [31] и сельскохозяйственных злаков с помощью индекса зеленой поверхности GC [15].

Общий сравнительный анализ данных по всем трем сериям срезов показал большой разброс данных при увеличении биомассы растительного покрова (рис. 3). Существенный разброс при увеличении биомассы можно отнести к погрешности метода расчета из-за наложений листовых поверхностей при съемке.



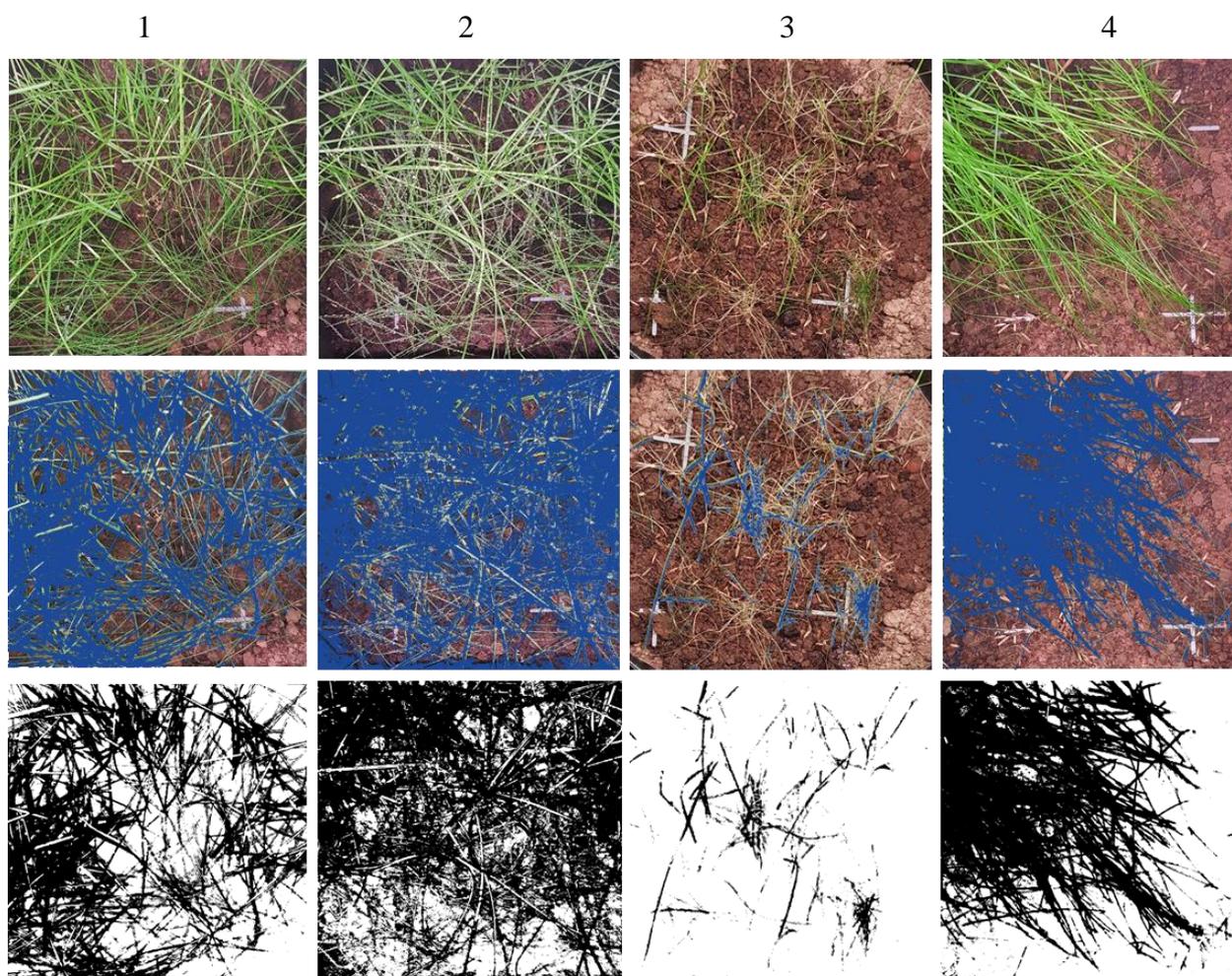
Метод 1 — традиционный метод среза наземной биомассы; метод 2 — метод цифровой обработки при индексе LAI

Рисунок 3. Результаты сравнительного анализа по всем сериям анализов биомассы (составлено авторами)

Кроме того, погрешности метода и отклонения расчетных значений данными методами могут быть объяснены рядом следующих причин и нарушений (визуальные примеры представлены на рисунке 4):

1. факторы поглощения/отражения света: тени, неравномерность освещенности, элементы преломления света каплями воды, элементы затемнения/осветления фонового участка из-за различий почвенной влажности, примесей или других световых отклонений;
2. факторы состояния растений: изменения пигментации, насыщенность цвета листовой поверхности, хлороз, некроз;

3. факторы расположения камеры: отклонения расстояния, угла или ошибки настройки камеры (диафрагмы, светочувствительность ISO, баланса белого и пр.);
4. факторы фона: отсутствие или низкая контрастность почвы и растения, что осложняет дифференцирование растрового изображения растительного покрова от «фона».



(1) отражение света каплями воды с листовой поверхности, что видно при наложении в виде белых или осветлённых участков травы; (2) нарушения отражения и поглощения света каплями воды и участками черных краев растительных пакетов; (3) хлороз и некроз травы; (4) низкий контраст «фона» и растительного покрова (верхний левый угол)

Рисунок 4. Не подходящие условия почвенно-растительных моделей, вызывающие нарушения при цифровой обработке RGB-снимков (составлено авторами)

Для снижения погрешности анализа данных биомассы растительного покрова рекомендуется: устранить все элементы нарушения поглощения/отражения света, установить одинаковую и равномерную освещённость моделей и разработать единый подход съемки и обработки цифровых данных RGB-снимков. Также, по тому же ряду причин данная методика анализа затруднительна для реализации в полевых исследованиях.

Заключение

Результаты оценки мелиорантов через анализ воздействия на биомассу растительного покрова, травянистого растения райграс *Lolium perenne* L показали, что наилучший прирост биомассы был при внесении в почву торфосмеси при соотношениях 1:2 и 1:3 (к почве), также при внесении осадка сточных вод при 1:3. Оценка прироста биомассы основывалась на сравнении с контрольными образцами с неизменной почвой: внесение торфосмеси дает прирост на 20–70 %, внесение ОСВ при 1:3 — сравнимо с контрольными образцами.

Проведенное экспериментальное исследование на моделях почвенно-растительных комплексов (на основе трех серий) показало существенную линейную взаимосвязь ($r_1^2 > 0,95$; $r_2^2 > 0,75$; $r_3^2 > 0,75$), между результатами двух сравниваемых подходов в анализе биомассы растительного покрова — классического с измерением массы наземного растительного материала и предложенного, основанного на цифровой обработке RGB-снимков и расчетом вегетационного индекса LAI.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что предложенный метод оценки эффективности мелиорантов, вносимых для восстановления растительного покрова на нарушенных земельных территориях применим в лабораторных условиях при контролируемых условиях микроклимата и освещенности. Необходимы дальнейшие исследования пределов применимости методики в различных условиях проведения оценки биомассы растительного покрова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alekseenko A.V., Drebenstedt C., Bech J. Assessment and abatement of the eco-risk caused by mine spoils in the dry subtropical climate // *Environmental Geochemistry and Health*. — 2021.
2. Пашкевич М.А., Бек Д., Матвеева В.А., Алексеенко А.В. Биогеохимическая оценка состояния почвенно-растительного покрова в промышленных, селитебных и рекреационных зонах Санкт-Петербурга // *Записки Горного института*. 2020. Том 241, № 1. С. 125–125.
3. Larney F.J., Angers D.A. The role of organic amendments in soil reclamation: A review // *Canadian Journal of Soil Science*. — 2012. — Vol. 92, № 1. — P. 19–38.
4. Soria R., Ortega R., Bastida F., Miralles I. Role of organic amendment application on soil quality, functionality and greenhouse emission in a limestone quarry from semiarid ecosystems // *Applied Soil Ecology*. Elsevier B.V., — 2021. — Vol. 164, № February.
5. Angst G., Mueller C.W., Angst Š., Pivokonský M., Franklin J., Stahl P.D., Frouz J. Fast accrual of C and N in soil organic matter fractions following post-mining reclamation across the USA // *Journal of Environmental Management*. — 2018. — Vol. 209. — P. 216–226.
6. Sarapulova G.I. Environmental geochemical assessment of technogenic soils // *Journal of Mining Institute*. — 2018. — Vol. 234. — P. 658–662.
7. Jordán M.M., Bech J., García-Sánchez E., García-Orenes F. Bulk density and aggregate stability assays in percolation columns // *Zapiski Gornogo instituta*. — 2016. — Vol. 222. — P. 877–881.

8. Matveeva V.A., Smirnov Y.D., Suchkov D. V. Industrial processing of phosphogypsum into organomineral fertilizer // *Environmental Geochemistry and Health* 2021. Springer, — 2021. — P. 1–14.
9. Strizhenok A. V., Korelskiy D.S., Choi Y. Assessment of the Efficiency of Using Organic Waste from the Brewing Industry for Bioremediation of Oil-Contaminated Soils // *Journal of Ecological Engineering*. — 2021. — Vol. 22, № 4. — P. 66–77.
10. Kovshov S. V., Skamyin A.N. Treatment of agricultural wastes with biogas-*vermitechnology* // *Environmental Earth Sciences*. Springer Verlag, — 2017. — Vol. 76, № 19.
11. Smirnov Y.D., Suchkova M. V. Development of the beneficial utilisation of urban sewage sludge using modern analysis methods // *Journal of Physics: Conference Series*. — 2019. — Vol. 1384, № 1. — P. 1–8.
12. Tackenberg O. A new method for non-destructive measurement of biomass, growth rates, vertical biomass distribution and dry matter content based on digital image analysis // *Annals of Botany*. — 2007. — Vol. 99, № 4. — P. 777–783.
13. Kiani M., Raave H., Simojoki A., Tammeorg O., Tammeorg P. Recycling lake sediment to agriculture: Effects on plant growth, nutrient availability, and leaching // *Science of the Total Environment*. The Authors, — 2021. — Vol. 753. — P. 141984.
14. Elsayed S., Barmerier G., Schmidhalter U. Passive Reflectance Sensing and Digital Image Analysis Allows for Assessing the Biomass and Nitrogen Status of Wheat in Early and Late Tillering Stages. — 2018. — Vol. 9, № October. — P. 1–15.
15. Sunoj S., McRoberts K.C., Benson M., Ketterings Q.M. Digital image analysis estimates of biomass, carbon, and nitrogen uptake of winter cereal cover crops // *Computers and Electronics in Agriculture*. Elsevier B.V., — 2021. — Vol. 184, № September 2020. — P. 106093.
16. Jin X. ... Li S. High-Throughput Estimation of Crop Traits: A Review of Ground and Aerial Phenotyping Platforms // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. — 2021. — Vol. 9, № 1. — P. 200–231.
17. Chianucci F., Lucibelli A., Dell'Abate M.T. Estimation of ground canopy cover in agricultural crops using downward-looking photography // *Biosystems Engineering*. Elsevier Ltd, — 2018. — Vol. 169. — P. 209–216.
18. Sarkar S., Ramsey A.F., Cazenave A.B., Balota M. Peanut Leaf Wilting Estimation From RGB Color Indices and Logistic Models // *Frontiers in Plant Science*. — 2021. — Vol. 12, № June. — P. 1–16.
19. Huang W., Su X., Ratkowsky D.A., Niklas K.J., Gielis J., Shi P. The scaling relationships of leaf biomass vs. leaf surface area of 12 bamboo species // *Global Ecology and Conservation*. Elsevier Ltd, — 2019. — Vol. 20. — P. e00793.
20. Rufo R., Soriano J.M., Villegas D., Royo C., Bellvert J. Using unmanned aerial vehicle and ground-based RGB indices to assess agronomic performance of wheat landraces and cultivars in a mediterranean-type environment // *Remote Sensing*. — 2021. — Vol. 13, № 6.

21. Wasonga D.O., Yaw A., Kleemola J., Alakukku L., Mäkelä P.S.A. Red-green-blue and multispectral imaging as potential tools for estimating growth and nutritional performance of cassava under deficit irrigation and potassium fertigation // *Remote Sensing*. — 2021. — Vol. 13, № 4. — P. 1–20.
22. Xiong Y., West C.P., Brown C.P., Green P.E. Digital Image Analysis of Old World Bluestem Cover to Estimate Canopy Development // *Agronomy Journal*. — 2019. — Vol. 111. — P. 1–7.
23. Xu D., Pu Y., Guo X. Non-Photosynthetic Vegetation Cover from RGB Images in Mixed Grasslands. — 2020.
24. Коротаяева А.Э., Пашкевич М.А. Применение данных спектральной съемки для экологического мониторинга водной растительности // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — Том 5. — С. 231–244.
25. Marín J., Yousfi S., Mauri P.V., Parra L., Lloret J., Masaguer A. RGB vegetation indices, NDVI, and biomass as indicators to evaluate C3 and C4 turfgrass under different water conditions // *Sustainability (Switzerland)*. — 2020. — Vol. 12, № 6.
26. Bumgarner N.R., Miller W.S., Kleinhenz M.D. Digital image analysis to supplement direct measures of lettuce biomass // *HortTechnology*. — 2012. — Vol. 22, № 4. — P. 547–555.
27. Gée C., Denimal E., Merienne J., Larmure A. Evaluation of weed impact on wheat biomass by combining visible imagery with a plant growth model: towards new non-destructive indicators for weed competition // *Precision Agriculture*. Springer US, — 2021. — Vol. 22, № 2. — P. 550–568.
28. Pashkevich M.A., Petrova T.A., Rudzisha E. Lignin sludge application for forest land reclamation: feasibility assessment // *Journal of Mining Institute*. — 2019. — Vol. 235, № 1. — P. 106–112.
29. Corrêa R.S., Balduino A.P. do C., Teza C.T.V., Baptista G.M. de M. Vegetation cover development resulting from different restoration approaches of exploited mines // *Floresta e Ambiente*. — 2018. — Vol. 25, № 4.
30. Curci M., Lavecchia A., Cucci G., Lacolla G., De Corato U., Crecchio C. Short-term effects of sewage sludge compost amendment on semiarid soil // *Soil Systems*. — 2020. — Vol. 4, № 3. — P. 1–18.
31. Louhaichi M., Hassan S., Clifton K., Johnson D.E. A reliable and non-destructive method for estimating forage shrub cover and biomass in arid environments using digital vegetation charting technique // *Agroforestry Systems*. Springer Netherlands, — 2018. — Vol. 92, № 5. — P. 1341–1352.

Petrova Tatiana Anatol'evna

Saint-Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

E-mail: Petrova_TA@pers.spmi.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5914-6395>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=738770

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56274551100>

Rudzisha Edelina

Saint-Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

E-mail: rudzisha@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6728-4576>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1050369

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57216950035>

Method for assessing the effectiveness of ameliorants in the reclamation of disturbed lands

Abstract. To restore the technogenically disturbed lands of mining facilities, it is necessary to replenish the deficit of organic matter in the recultivated lands. Without the introduction of organic additives (soil ameliorants), the formed fertile soil layer is quickly depleted and loses nutrients, which leads to the gradual death of the vegetation cover. The optimal balance of the organic and mineral components of the restored fertile and potentially fertile soil layer ensures the formation of a sustainable soil and plant complex, which in turn is an environmentally effective completion of the reclamation of disturbed lands. One of the key problems is the lack of methods and recommendations in the field of assessing the applicability of ameliorants, reclamators and soil additives for revegetation and land reclamation. The article considers methods for assessing ameliorants through the analysis of their impact on vegetation cover. The aim of the research was to determine a simplified method for evaluating the effectiveness of an organic ameliorant for the reclamation of disturbed lands by analyzing the impact on the biomass of the formed vegetation cover. Based on a comparative analysis of methods, the authors proposed a simplified indirect method for the analysis of vegetation cover biomass to assess the suitability of organic ameliorants using digital data processing methods — RGB images (DIA) and leaf area index (LAI). According to the results of the evaluation of ameliorants through the analysis of the increase in the ground biomass of the ryegrass plant cover, the best ratios for introducing into the soil for peat mixture are 1:2 and 1:3, for sewage sludge 1:3. The results of a comparative analysis of two approaches to the analysis of terrestrial biomass (classical with the measurement of the biomass of cuts of plant material and the proposed one based on digital assessment methods RGB images together with LAI) established the relationship $r^2 = 0.75-0.95$.

Keywords: melioration; vegetation index; sewage sludge; image recognition; plant biomass; tillage; digital technologies