

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОБЩЕГО И ЧАСТНОГО ПРОЕКТИВНОГО ПОКРЫТИЯ БРИОФИТОВ

И. Ю. Адамович, В. В. Сиваков, Н. Г. Новикова

Брянский государственный инженерно-технологический университет  
Российская Федерация, 241037, г. Брянск, просп. Станке Димитрова, 3  
E-mail: igor\_adamovich@mail.ru, sv@bgitu.ru, nina99smile@yandex.ru

*Проведен анализ существующих способов определения обилия видов растений живого напочвенного покрова в биоценозе, и подобраны наиболее эффективные методы для определения обилия бриофитов. Особое внимание уделялось использованию современных информационных технологий для полной или частичной автоматизации определения общего и частного проективного покрытия живого напочвенного покрова. В нашей работе исследовалась возможность использования графических редакторов, имеющих модуль обработки графики с функцией автовыделения, программ векторизаторов, систем автоматизированного проектирования САПР, показавшие хорошие результаты по точности и эффективности работы. В настоящее время отсутствует единая качественная специализированная программа для полной автоматизации обработки фотоплощадок и определения проективного покрытия. При оцифровке фотоплощадки и выделении блоков площадей отдельных растений на сегодняшний день получить достоверные данные без корректировки оператора невозможно. Но, используя современные информационные технологии, можно автоматизировать многие этапы работы, что значительно сокращает время, потраченное на исследование обилия растений. Также наше исследование показало более высокую точность определения проективного покрытия бриофитов, и, фактически полное устранение субъективности, по сравнению с глазомерными методами. Результаты исследования показали: несмотря на использование нескольких программ, скорость обработки учетных площадок с использованием информационных технологий значительно превышала глазомерные методы. Это дает возможность рекомендовать использование современных информационных технологий при анализе обилия бриофлоры.*

**Ключевые слова:** проективное покрытие, живой напочвенный покров, информационные технологии, учетная площадка, фотоплощадка, бриофиты.

*Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 4, P. 316–324*

## THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN DETERMINING THE TOTAL AND PARTIAL PROJECTIVE COVERAGE OF BRYOPHYTES

I. Yu. Adamovich, V. V. Sivakov, N. G. Novikova

Bryansk State Technological University of Engineering  
3, Stanke Dimitrova Str., Bryansk, 241037, Russian Federation  
E-mail: igor\_adamovich@mail.ru, sv@bgitu.ru, nina99smile@yandex.ru

*We analyzed the existing methods of determining the abundance of plant species of the living ground cover in the biocenosis and selected the most effective methods for determining bryophyte abundance. Special attention was paid to the use of modern information technologies for full or partial automation of determining the total and partial projective cover of the living ground cover. In our work, we investigated the possibility of using graphics editors having a graphics processing module with the function of auto-extraction, vectorizer programs, CAD computer-aided design systems, which showed good results for accuracy and efficiency of work. Currently, there is no single high-quality specialized program for complete automation of photo plots processing and determination of projective coverage. It is currently impossible to obtain reliable data without operator's correction when digitizing a photoplot and allocating blocks of areas of individual plants. But, using modern information technologies, it is possible to automate many stages of work, which significantly reduces the time spent on the study of plant abundance. Also, our study showed a higher accuracy of determining the projective coverage of bryophytes, and, in fact, the complete elimination of subjectivity, compared to the glance-based methods. The results of the study showed: in spite of the use of several programs, the speed of processing of registration sites with the use of information technologies was significantly higher than the glance-based methods. This makes it possible to recommend the use of modern information technologies in the analysis of bryophyte abundance.*

**Keywords:** projective cover, living ground cover, information technologies, recording site, photoplot, bryophytes.

## ВВЕДЕНИЕ

Мохообразные вносят значительный вклад в сложение растительного покрова биоценозов [1]. Одним из основных показателей, определяемых при исследовании растительных сообществ является проективное покрытие – относительная площадь горизонтальной проекции надземных частей, отдельных видов и групп растений на поверхность почвы. Проективное покрытие – основной показатель обилия растений в биоценозе [21]. Учитывая особенности биологии бриофитов, определение проективного покрытия при их изучении играет важную роль. Развитие информационных технологий в настоящее время позволило автоматизировать многие методики исследований, предпринимаются успешные попытки использования современных пакетов программ для автоматизации определения общего и частного проективного покрытия в геоботанике [5; 17; 33].

К концу XIX века среди геоботаников для определения обилия растений использовалась шкала Друде, представляющая собой глазомерную оценку в баллах [34]. Шкала включала следующие баллы: un – единичные (*unicum*); sol. – редкие, малочисленные (*solitariae*); sp. – рассеянные (*sparsae*); sol. gr. – растения, расположенные отдельными, единичными группами (*solitariae gregariae*); sp. gr. – рассеянные группы (*sparsae gregariae*); cop. gr. обильные группы (*copiosae gregariae*); soc – сплошной покров, смыкающиеся (*socialis*) надземной частью растения.

В начале XX века Л.Г. Раменский разработал систему определения обилия по проективному покрытию надземных частей растений учетной площадки в процентах и баллах. [16]. Такая система более точна и удобна для математической обработки, а также позволяет определить столь важную для растений биологическую характеристику – площадь светопользования. Анализ проводился глазомерно, такие методы используются до настоящего времени [29; 24].

Для повышения точности и снижения субъективности исследований были разработаны такие приспособления как масштабная вилочка Раменского и сетка Раменского. Вилочка заводится в живой напочвенный покров учетной площадки, зубья прибора показывают процент покрытия, занимаемый видом растения. Сетка Раменского – пластинка, с прямоугольным отверстием (2×5 или 3×7,5 см.), разделенным на 10 одинаковых квадратных клеток (1 или 1,5 см<sup>2</sup>). На живой напочвенный покров смотрят через сетку и определяют, сколько ячеек занимает площадь покрытия вида растений. Также для этих целей используются провололочные рамки (квадрат-сетки), размером в учетную площадку (чаще всего 1×1 м), разделенные на сегменты. Для повышения точности методики квадрат-сетки использовались поправочные коэффициенты, определенные с использованием компьютерного моделирования в программах Imagej и Matlab [4].

С 1933 года для определения обилия по проективному покрытию применяют метод уколов. Для этого метода используют рамку, на которой через пять сантиметров расположено десять игл. Рамку опускают на учетную площадку, отмечая те виды, которых коснулась игла [27]. У метода уколов есть свои недостатки,

поскольку имеется низкая чувствительность к обнаружению видов [23]. Эта методика была модернизирована с применением информационных технологий [17]. Основой для нее стали фотоплощадки и модифицированный метод уколов (метод фоточечек). Для исследования использовали подпрограмму Cell Counter, входящую в программу Imagej. Проверку точности определения проективного покрытия осуществляли с помощью компьютерных программ Imagej и Matlab. Точность определения обилия растений в биоценозе, показавшая высокие результаты на виртуальных моделях, при практическом применении на учетных площадках оказалась менее достоверна, демонстрируя точность, сопоставимую с глазомерным определением [5]. Однако методика использования фотоплощадок оказалась удачной, и, в модифицированном виде, была применена в нашей работе.

Метод использования снимков высокого разрешения, полученных с БПЛА и последующего автоматизированного анализа их, достаточно успешно применяется для определения видов древесной и кустарниковой растительности в экологии, лесном хозяйстве [26; 28; 35], озеленении [25]. Для этой работы используют спутниковые снимки [39]. При проверке этого способа оценки классическими методиками достоверность составила 84 % [31]. Использование снимков с последующим их анализом успешно используется для анализа биоценозов при мониторинге состояния растительности [20; 22; 32], [37; 41], а также сельскохозяйственных культур [30; 36] и пастбищ [33]. Исследования показали зависимость точности результатов от учета таких факторов, как цветение, засуха, фенологические особенности [38].

В настоящее время существуют системы для автоматизации определения вида растения по фотографии отдельно взятого экземпляра [40]. А с определением проективного покрытия живого напочвенного покрова возникли трудности. Были проведены эксперименты по полной автоматизации определении проективного покрытия. Работа осуществлялась с использованием спектроскопии изображений с близкого расстояния. Применялся датчик AISA+, сканирующий участок, с помощью которого определялись: структура участка, регистрация встречаемости и местоположения видов на участке, точечная сетка плотности для оценки видового покрытия на уровне участка. Метод основан на выделении относительно однородных спектральных областей. Результат проведенных исследований показал неплохие результаты для растительных сообществ, состоящих из небольшого числа видов и малом перекрытии растений. Авторы предлагают для получения данных использовать БПЛА, что является несомненным достоинством метода. Однако при увеличении разнообразия и густоты растительного сообщества эта методика непригодна, поскольку имеет низкую точность и допускает серьезные ошибки [33].

При исследовании проективного покрытия имеют сложности, одна из основных состоит в том, что живой напочвенный покров имеет ярусы, при этом происходит покрытие наземной частью более высоких растений нижнего яруса. Таким обра-

зом, сумма отдельно вычисленных проективных покрытий каждого вида, при наличии ярусов, больше общего проективного покрытия. Современные методики геоботанического исследования советуют «руками или с помощью палки раздвигать растения и оценивать покрытие тех растений, которые были прикрыты другими» [8].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель нашей работы – проанализировать существующие способы определения обилия растений живого напочвенного покрова в биоценозе, и подобрать наиболее эффективные для определения общего и частного проективного покрытия бриофитов. Особое внимание уделялось использованию современных информационных технологий для полной или частичной автоматизации этого исследования.

Поскольку задача нашей работы – изучение проективного покрытия бриофитов, в исследовании внимание акцентировалось на нижнем ярусе мхов и лишайников [15]. Учитывая тот факт, что многолетние бриофиты в зимний период не отмирают, а после зимнего покоя возобновляют активность [6], проблема перекрытия ярусов может во многом решаться выбором времени исследования, когда верхние ярусы живого напочвенного покрова развиты слабо.

Исследования проводились на территории парка природы «Роща Соловьи», расположенного в пределах города Брянска, и в естественных насаждениях на территории учебно-опытного лесничества Брянской области. Пробные площади (ПП) закладывались по стандартной методике (ГОСТ 56-69–83. Пробные площади лесоустроительные) и по методикам, подробно описанным в литературе. На ПП размещали учетные площадки, жесткая рамка размером 1:1 м определяла границы учетной площадки и служила основой для фотоплощадки. После установки рамки, камерой (10 мегапикселей) делался фотоснимок учетной площадки на высоте 1 м (рис. 1, А).

Полученный фотоснимок проходил обработку в редакторе, имеющем модуль обработки графики с функцией автовыделения (рис. 1, В). Для этого подходят инструменты автооцифровки изображения, которые входят в пакеты многих графических редакторов. Наиболее удобны – один из самых распространенных видеоредакторов Adobe Photoshop, пакет программ Adobe Illustrator, имеющие соответствующие функции [7]. В Photoshop входит несколько инструментов, способных к данной работе [18], что позволяет ускорить и частично автоматизировать оцифровку средствами автовыделения на изображении пикселей одного цвета (оттенка) и схожих структурных элементов (рис. 1, С).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показал опыт нашей работы, применение Adobe Photoshop весьма эффективно, пробная площадка с самой сложной конфигурацией обрабатывается за минимальное время. Также стоит отметить, что подобная работа не требует профессиональной подготовки, освоить работу с азами Adobe Photoshop спосо-

бен человек, не имеющий большого опыта работы в графических редакторах.

Выделенные блоки окрашивались по контуру в разные цвета. Для облегчения работы по классификации находящихся на пробной площадке видов растений, каждый цвет соответствует определенному виду (рис. 2). Это помогает быстро идентифицировать площади, занимаемые различными видами.

Уже на этом этапе вполне возможно определить площади, занимаемые растениями разных видов, используя инструменты обработки растровых изображений. Например, в Adobe Photoshop для этих целей легко использовать опцию «Гистограмма» (Image -> Histogram), где по величине (Count) определяется количество пикселей заданного цвета. Но данный способ не особенно удобен при обработке большого количества материала, требует достаточно серьезных знаний редактора и его весьма сложно автоматизировать.

Для определения площадей более эффективно использовать векторную графику. Слой с выделенными разным цветом или контурами разного цвета площадками переводится в векторный формат векторизатором. Программы векторизаторы (трассировщики) – специализированные программы, преобразования растровых изображений в векторный формат, такие как TraceIT, выпущенная Pangolin Laser Systems [3], Inc., RasterVect (RasterVect Software), Vector Eye (Siame Editions), Vextractor [13] и Acme TraceART (DWG TOOL Software), Raster to Vector Conversion Toolkit [19] и Photo Vector [9] (AlgoLab, Inc.).

Отдельно можно выделить программу нового поколения Neuro Tracer, выпущенную Brand Security Systems GmbH. Особенность Neuro Tracer в том, что имеется возможность предварительно провести интеллектуальную обработку полученного изображения перед трассировкой. Это позволяет выделить на изображении нужные области, а также обозначить ненужные фрагменты, которые при трассировке будут игнорироваться. В программу входит адаптивный нейронный фильтр, с помощью которого можно задать алгоритм, определяющий конечный результат обработки определенных фрагментов растрового изображения. Neuro Tracer – обучающаяся программа и запоминает выбранные пользователем закономерности и применить их ко всему объекту. Можно выделить участки с растениями, а отдельно выделить участки с почвой, которые не будут учитываться при расчете проективного покрытия. Выбранные параметры фильтра фиксируются в настройках и могут использоваться для всех пробных площадок, что значительно ускорит обработку фотофиксаций с растениями одного вида. Возможно впоследствии вводить коррекции и полное переобучение фильтра. Также, для наших целей, важным фактором является способность Neuro Tracer разбирать растровые изображения по оттенкам цвета.

Для этих целей могут использоваться и широко распространенные приложения, не требующие долгого времени на освоение, например, CorelTrace, входящая в пакет Corel Graphics Suite [14], или Live Trace из пакета программ Adobe Illustrator [2, 11]. Некоторые

из этих программ обладают дополнительным преимуществом, поскольку в них налажено взаимодействие с растровыми редакторами. Так, Corel DRAW отлично взаимодействует с Corel PHOTO-PAINT [12], оба приложения входят в один пакет программ, а векторный редактор Adobe Illustrator – с другими продуктами фирмы Adobe: Photoshop, PageMaker. Надо отметить и неплохую совместимость приложений с независимыми плагинами, например, Adobe Illustrator хорошо взаимодействует с Panopticum Vectorizer.

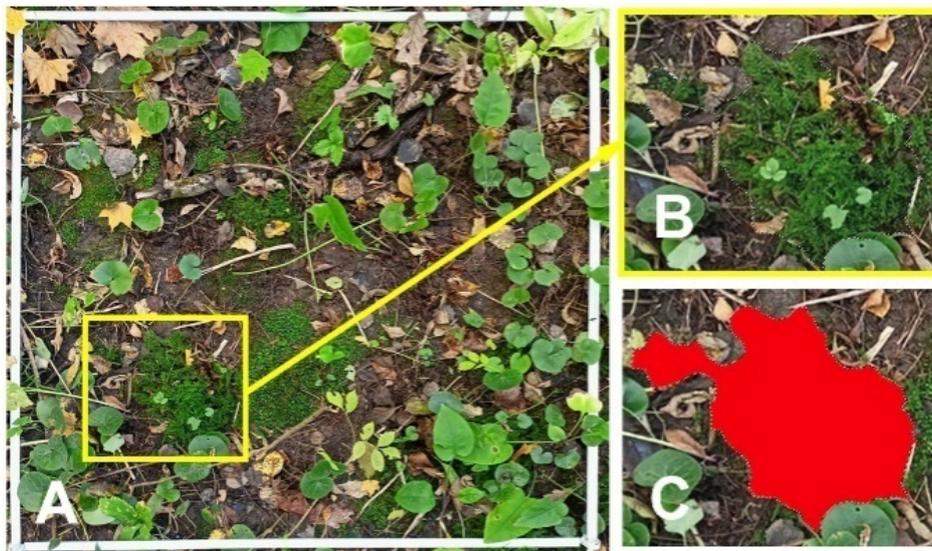
Для перевода полученных при оцифровке объектов в векторный формат подходит любая из перечисленных программ, наибольшее предпочтение следует отдавать векторизаторам, выпущенным той же фирмой, что и графический редактор.

На следующем этапе обработки производят определение площади полученных фигур и общей площади учетной площадки. Некоторые из вышеуказанных программ позволяют произвести эти операции с помощью встроенных модулей. Так, в CorelDraw можно воспользоваться командой GetArea, чтобы рассчитать площадь и периметр путем указания объекта чертежа

или точек, ограничивающих измеряемую площадь, а также осуществить коррекцию путем добавления или вычитания участков площади. Облегчают работу специально созданные для определения площадей скрипты или макросы, такие, как SanM\_Curveinfo.gms, используемый в Corel DRAW.

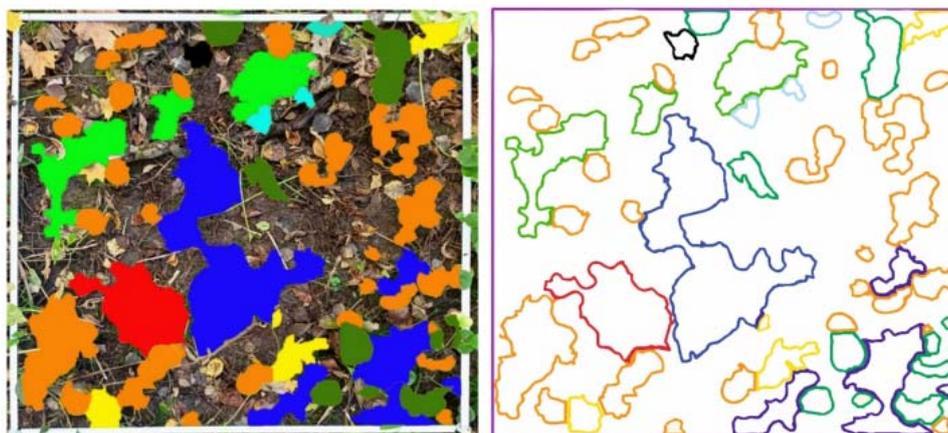
Для определения площадей полученных геометрических фигур можно использовать программы, в которых определения площадей является стандартной функцией. Для этих целей целесообразно использовать системы автоматического проектирования САПР, среди которых наиболее распространены КОМПАС-3D и AutoCAD [10]. Некоторые графические редакторы позволяют сохранять полученное изображение в форматах САПР, что делает их обработку простой и удобной, например, Corel DRAW позволяет сохранить файл в формате DWG, используемый в AutoCAD.

С помощью функции «определение площади» САПР определяются площади блоков бриофитов (рис. 3), площадь проективного покрытия и общую площадь учетной площадки.



**Рис. 1. Фотоплощадка:**

А – фотофиксация учетной площадки; В – выделение блока растений одного вида;  
С – выделение блока растений одного вида



**Рис. 2. Выделение блоков растений по видам**

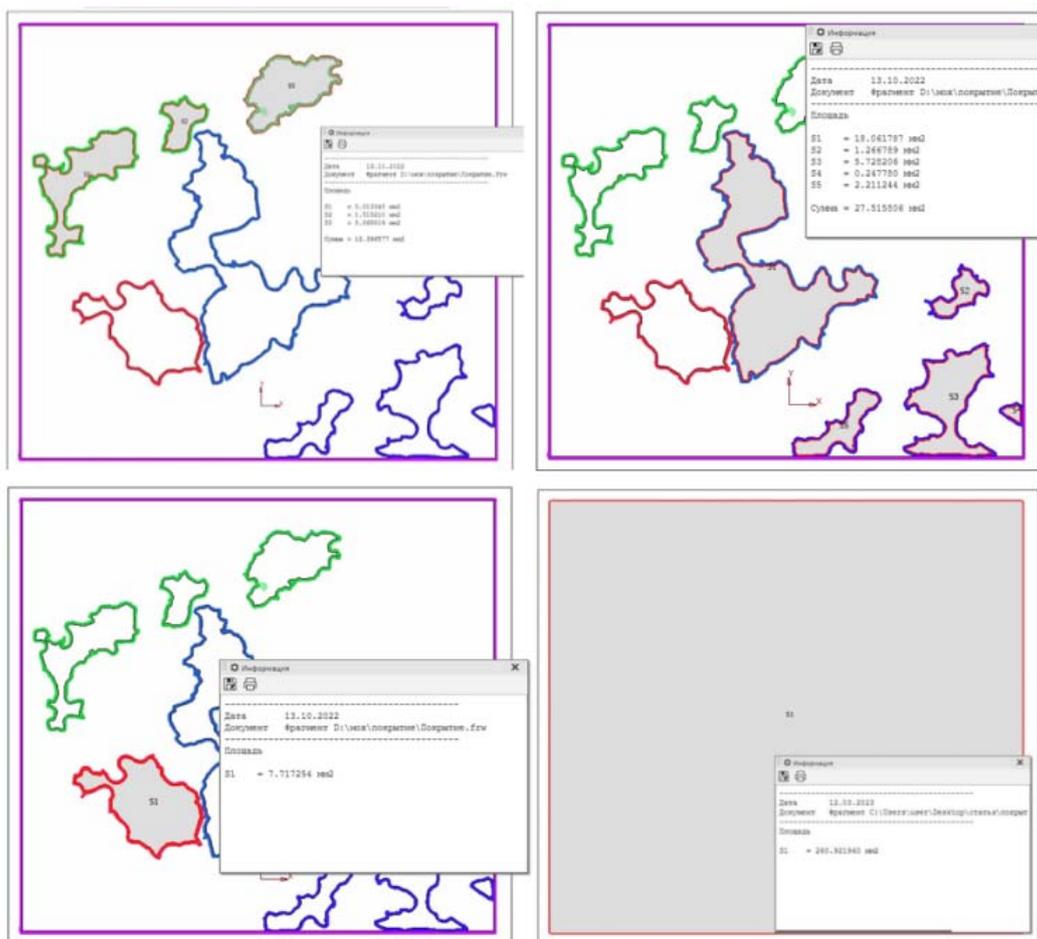


Рис. 3. Оцифровка и определение площади блоков (слой бриофитов) и общей площади учетной площадки

Полученные данные позволяют вычислить площадь проективного покрытия различных видов растений. При этом масштабирование рисунка легко автоматизируется, размеры площадей фигур соотносятся с общей площадью, что позволяет рассчитывать их в процентах.

Можно загрузить растровую фотофиксацию площадки напрямую в САПР в виде фонового рисунка и оцифровать, но это будет более трудоемко и займет гораздо больше времени. В современных пакетах программ имеются модули для автоматической векторизации чертежей, такие как Vecrory 5.1 разработанная Consistent Software, или Autodesk CAD Overlay R14.01, Autodesk CAD Overlay 2000/2000L, созданные для редактирования и векторизации сканированных растровых изображений в среде AutoCAD. Но такие программы ориентированы на оцифровку чертежей и мало пригодны для обработки изображений растений на ПП.

В нашем исследовании использовалась САПР КОМПАС-3D, показавшая хорошие результаты по точности и скорости работы. Особенностью бриофитов является образование относительно однородных подушек, что значительно облегчало работу и увеличивало скорость обработки фотоплощадки. Несмотря на использование нескольких программ, скорость обработки учетных площадок с использованием инфор-

мационных технологий, при наличии навыков работы с программами, позволяет эффективно обрабатывать большой объем материала.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время отсутствует единая качественная специализированная программа для полной автоматизации обработки учетных площадок и определения проективного покрытия. При оцифровке фотоплощадки и выделении блоков площадей отдельных растений на сегодняшний день получить достоверные данные без корректировки оператором невозможно. Но, используя современные информационные технологии, можно автоматизировать многие этапы работы, а также, в перспективе, использовать БПЛА для сбора материала (фотофиксации фотоплощадок), что значительно сокращает время, потраченное на исследование обилия растений. Также наше исследование показало более высокую точность определения проективного покрытия живого напочвенного покрова, и, фактически полное устранение субъективности, по сравнению с глазомерными и механическими методами. Это дает возможность рекомендовать использование современных информационных технологий при анализе обилия бриофлоры.

Информационные технологии непрерывно совершенствуются, расширяются их возможности, в том

числе в области обработки изображений. Использование современных пакетов программ для определения общего и частного проективного покрытия в геоботанике имеет большое будущее.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Анищенко Л. Н. Созологический анализ сообществ мохообразных Брянской области // Вестник Оренбургского государственного университета. 2008; 1: 126-130. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9933632>.
2. Баринаева Е. С., Чернова С. В. Работа с векторной графикой в программе Adobe Illustrator CC // Вестник науки и образования. 2018; 14-2(50): 5-7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36321566>.
3. Бождай А. С., Евсеева Ю. И., Гудков А. А. Разработка самоадаптивного программного обеспечения на основе технологии трассировки вычислительного процесса // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2020; 3(55): 26-35. DOI: <http://doi.org/10.21685/2072-3059-2020-3-3>.
4. Бузук Г. Н., Созинов О. В. Оптимизация точности учета проективного покрытия при использовании квадрата-сетки // Региональные геосистемы. 2013; 3(146): 5-7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20885341>
5. Бузук Г. Н., Созинов О. В. Методы учета проективного покрытия растений: сравнительная оценка с использованием фотоплощадок // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014; 16; 5-5: 1644-1649. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23442771>.
6. Бычков А. Д., Кирина И. Б., Лыгина Н. О. Мхи – древние и важные // Наука и образование. 2022; 5; 2: 354. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mhi-drevnie-i-vazhnye>.
7. Голованова Н. В. Художественная ретушь как неотъемлемая часть высшего профессионального фотографического образования. Символ науки. 2017; 12: 133-136. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30775926>.
8. Голуб В. Б. Л. Г. Раменский: оценка обилия растений по их проективному покрытию. Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2020; 29; 3: 157-163. DOI: <http://doi.org/10.24411/2073-1035-2020-10347>.
9. Дворников Н. С. Метод векторизации растровых изображений // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006; 4; 1: 58-62. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12885584>.
10. Дудко О. Н., Нелюбина А. Д., Кожевникова Н. Ю., Хасанов А. Р. Обзор систем автоматизированного проектирования // Современные материалы, техника и технологии. 2015; 2(2): 51-54. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24393319>.
11. Костюк Ю. Л., Кон А. Б., Новиков Ю. Л. Алгоритмы векторизации цветных растровых изображений на основе триангуляции и их реализация // Вестник Томского государственного университета. 2003; 280: 275-280. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16460252>.
12. Куликова Е. В. Преобразование форматов графических файлов // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. 2014; 4(12): 68-74. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23045465>.
13. Кучуганов А. В. Биоинспирированные алгоритмы выделения информативных признаков изображений // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2012; 321; 5: 141-145. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18783679>.
14. Москаленко С. В. Волновой алгоритм векторизации линейных растровых изображений. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2008; 51: 16-21. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11692147>.
15. Полосухина Д. А., Прокушкин А. С., Мясгина О. В. Биоразнообразие растений нижних ярусов соновых лесов Средней Сибири // Российская Арктика, Спецвыпуск. 2020: 44-50. DOI: <http://doi.org/10.24411/2658-4255-2020-12115>.
16. Раменский Л. Г. Проективный учет и описание растительности (краткое наставление). Бюл. Института луговой и болотной культуры им. проф. В.П. Вильяме. 1929; 1: 3-55. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/l-g-ramenskiy-otsenka-obiliya-rasteniy-po-ih-proektivnomu-pokrytiyu>.
17. Созинов О. В., Бузук Г. Н. Оптимизация геоботанического метода уколов в условиях масштабирования площади учета. Региональные геосистемы. 2014; 17(188): 64-69. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22411753>.
18. Соколова О. В., Городищева А. Н. Семейство продуктов Adobe Photoshop как один из инструментов обработки цифровых фотографий // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2012; 2; 8: 320-321. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22601988>.
19. Сташевский С. Ю. Алгоритм векторизации растровых изображений в общем виде // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2004; 1(9): 124-129. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18082792>.
20. Asner G., Heidebrecht K. Spectral Unmixing of Vegetation, Soil and Dry Carbon in Arid Regions: Comparing Multispectral and Hyperspectral Observations. International Journal of Remote Sensing. 2002; 23: 3939-3958. DOI: <http://doi.org/10.1080/01431160110115960>.
21. Alberdi I., Condés S., Mcroberts R., Winter S. Mean species cover: a harmonized indicator of shrub cover for forest inventories. European Journal of Forest Research. 2018): 137. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10342-018-1110-7>.
22. Bayat B., Tol C., Verhoef W. Remote Sensing of Grass Response to Drought Stress Using Spectroscopic Techniques and Canopy Reflectance Model Inversion. Remote Sensing. 2016; 8: 557. DOI: [10.3390/rs8070557](https://doi.org/10.3390/rs8070557).
23. Brakenhielm, S., Qinghong, L. Comparison of field methods in vegetation monitoring. Water Air Soil Pollut. 1995; 79: 75-87. DOI: <http://doi.org/10.1007/BF01100431>.

24. Carlsson A. L., Bergfur J. M. & Milberg P. Comparison of data from two vegetation monitoring methods in semi-natural grasslands. *Environ Monit Assess.* 2005; 100: 235–248. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10661-005-6510-8>.

25. Fassnacht F., Latifi H., Stereńczak K., Modzelewska A., Lefsky M., Waser L., Straub C., Ghosh A. Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment.* 2016; 186: 64–87. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.013>.

26. Fassnacht F. E., Latifi H., Stereńczak K., Modzelewska A., Lefsky M., Waser L. T., Straub C., Ghosh A. Review of studies on tree species classification from remotely sensed data // *Remote Sensing of Environment.* 2016; 186 (1): 64–87. [https://www.researchgate.net/publication/312283938\\_Review\\_of\\_studies\\_on\\_tree\\_species\\_classification\\_from\\_remotely\\_sensed\\_data](https://www.researchgate.net/publication/312283938_Review_of_studies_on_tree_species_classification_from_remotely_sensed_data) DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.013>.

27. Floyd D. A., Anderson J. E. A comparison of three methods for estimating plant cover. *J. Ecol.* 1987; 75: 221–228. V. 9. 17656. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53797-9>.

28. Aasen H., Burkart A., Bolten A., Bareth G. Generating 3D hyperspectral information with lightweight UAV snapshot cameras for vegetation monitoring: From camera calibration to quality assurance. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.* 2015; 108: 245–259. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.08.002>.

29. Bergstedt J., Westerberg L., Milberg P. In the eye of the beholder: bias and stochastic variation in cover estimates. *Plant Ecol.* 2009; 204: 271–283. <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9590-7>.

30. Kowalski K., Okujeni A., Hostert P. A generalized framework for drought monitoring across Central European grassland gradients with Sentinel-2 time series. *Remote Sensing of Environment.* 2023; 286.113449. ISSN 0034-4257. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113449>.

31. Kattenborn T., Eichel J., Fassnacht F.E. Convolutional Neural Networks enable efficient, accurate and fine-grained segmentation of plant species and communities from high-resolution UAV imagery. *Scientific Reports.* 2019. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41598-019-53797-9>.

32. Kowalski K., Okujeni A., Hostert P. A generalized framework for drought monitoring across Central European grassland gradients with Sentinel-2 time series. *Remote Sensing of Environment.* 2023;286. 113449, ISSN 0034-4257 DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113449>.

33. Lopatin J., Fassnacht F.E., Kattenborn T., Schmidlein S. Mapping plant species in mixed grassland communities using close range imaging spectroscopy. *Remote Sensing of Environment.* 2017;201:12–23. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rse.2017.08.031>.

34. Drude O. *Handbuch der Pflanzengeographie.* Stuttgart: J. Engelhorn, 1890. 582S. <https://lib.ugent.be/catalog/rug01:002186637>.

35. Dmitriev P., Kozlovsky B., Kupriushkin D., Lysenko V., Rajput V., Ignatova M., Tarik E., Kapralova O., Tokhtar V., Singh A., Minkina T., Varduni T., Sharma

M, Taloor A., Thapliyal A. Identification of species of the genus *Acer* L. using vegetation indices calculated from the hyperspectral images of leaves. *Remote Sensing Applications: Society and Environment.* 2022; 25, 100679. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100679>.

36. Thenkabail P., Smith R., De Pauw E. Hyperspectral Vegetation Indices and Their Relationships with Agricultural Crop Characteristics. *Remote Sensing of Environment.* 2000;71;2:158–182. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00067-X](http://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00067-X).

37. Chen Q., Timmermans J., Wen W., van Bodegom P. A multi-metric assessment of drought vulnerability across different vegetation types using high resolution remote sensing. *Sci. Total Environ.* 2022; 832. Article 154970. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154970>.

38. Wang R, Gamon J, Cavender-Bares J. Seasonal patterns of spectral diversity at leaf and canopy scales in the Cedar Creek prairie biodiversity experiment. *Remote Sensing of Environment.* 2022;280. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113169>.

39. Houborg R, Fisher J, Skidmore A. Advances in remote sensing of vegetation function and traits. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.* 2015; 43: 1–6. <http://hdl.handle.net/10754/620951>.

40. Wäldchen J., Rzanny M., Seeland M., Mäder P. Automated plant species identification – Trends and future directions. *PLOS Computational Biology.* 2018; 14(4): e1005993. DOI: <http://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005993>.

41. Tan X., Shan Y., Wang X., Liu R., Yao Y. Comparison of the predictive ability of spectral indices for commonly used species diversity indices and Hill numbers in wetlands. *Ecological Indicators.* 2022;142. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109233>.

## REFERENCES

1. Anishchenko L. N. Zoological analysis of cenoses of bryophyte in Bryansk region. The “Vestnik of the Orenburg State University”. 2008; 1: 126–130. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9933632>.

2. Barinova Ye. S., Chernova S. V. Working with vector graphics in the adobe illustrator CC. *Bulletin of Science and Education.* 2018; 14-2 (50): 5–7. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36321566>.

3. Bozhday A. S., Evseeva Yu. I., Gudkov A. A. Self-adaptive software design based on the computing process's trace technology. *University proceedings. Volga region. Technical sciences.* 2020; 3(55): 26–35. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.21685/2072-3059-2020-3-3>.

4. Buzuk G. N., Sozinov O. V. Calculation accuracy optimization of plant projective cover using grid of squares. *Regional geosystems.* 2013; 3 (146): 5–7. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20885341>.

5. Buzuk G. N., Sozinov O. V. Accounting methods of plants projective cover: comparative evaluation using photo sites. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2014; 16; 5-5: 1644–1649. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23442771>.

6. Bychkov A. D., Kirina I. B., Lygina N. O. Mosses are ancient and important. *Science and education.* 2022;

- 5; 2: 354. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mhi-drevnie-i-vazhnye>.
7. Golovanova N. V. Art retouching as an integral part of higher professional education in photography. *Symbol of science*. 2017; 12: 133-136. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30775926>.
8. Golub V. B. Ramensky: estimating the ability of plants using their projective cover. *Samara Luka: problems of regional and global ecology*. 2020; 29; 3: 157-163. DOI: <http://doi.org/10.24411/2073-1035-2020-10347>.
9. Dvornikov N. S. A method of bitmapped image vectorization. *Bulletin of the Saratov State Technical University*. 2006;4;1:58-62. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12885584>.
10. Dudko O. N., Nelubina A. D., Kozevnikova N. U., Khasanov A. R. The review of systems of the automated design. *Modern materials, equipment and technologies*. 2015; 2(2): 51-54. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24393319>.
11. Kostyuk Yu. L., Kon A. B., Novikov Yu. L. Algorithms for vectorization of a multicolor raster image based on triangulation and their realization. *Tomsk State University Journal*. 2003; 280: 275-280. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16460252>.
12. Kulikova E. V. Converting graphics and text file formats. *Bulletin of the Siberian Institute of Business and Information Technologies*. 2014; 4(12): 68-74. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23045465>.
13. Kuchuganov A. V. Bioinspired algorithms for identifying informative features of images. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2012; 321; 5: 141-145. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18783679>.
14. Moskalenko S. V. Wave vectorization algorithm for linear raster images. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2008; 51: 16-21. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11692147>.
15. Polosukhina D. A., Prokushkin A. S., Masyagina O. V. Plant biodiversity of the lower tiers of pine forests in Central Siberia. *Russian Arctic, Special Issue*. 2020: 44-50. DOI: <http://doi.org/10.24411/2658-4255-2020-12115>.
16. Ramensky L. G. Projective accounting and description of vegetation (brief instruction). *Byul. of the Institute of Meadow and Swamp Culture named after Prof. V.R. Williams*. 1929; 1: 3-55. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/l-g-ramenskiy-otsenka-obiliya-rasteniy-po-ih-proektivnomu-pokrytiyu>.
17. Sozinov O. V., Buzuk G. N. Optimization of geobotanical method of points in terms of scaling the accounting plot. *Regional geosystems*. 2014; 17 (188): 64-69. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22411753>.
18. Sokolova O. V., Gorodishcheva A. N. The Adobe Photoshop family of products as one of the digital photo processing tools. *Actual problems of aviation and cosmonautics*. 2012; 2; 8: 320-321. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22601988>.
19. Stashevsky S. Yu. The vectorizing algorithm of raster images in global case. *Proceedings of TUSUR University*. 2004; 1(9): 124-129. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18082792>.
20. Asner G., Heidebrecht K. Spectral Unmixing of Vegetation, Soil and Dry Carbon in Arid Regions: Comparing Multispectral and Hyperspectral Observations. *International Journal of Remote Sensing*. 2002; 23: 3939-3958. DOI: <http://doi.org/10.1080/01431160110115960>.
21. Alberdi I., Condés S., Mcroberts R., Winter S. Mean species cover: a harmonized indicator of shrub cover for forest inventories. *European Journal of Forest Research*. 2018; 137. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10342-018-1110-7>.
22. Bayat B., Tol C., Verhoef W. Remote Sensing of Grass Response to Drought Stress Using Spectroscopic Techniques and Canopy Reflectance Model Inversion. *Remote Sensing*. 2016; 8: 557. DOI: [10.3390/rs8070557](https://doi.org/10.3390/rs8070557).
23. Brakenhielm, S., Qinghong, L. Comparison of field methods in vegetation monitoring. *Water Air Soil Pollut*. 1995; 79: 75-87. DOI: <http://doi.org/10.1007/BF01100431>.
24. Carlsson A. L., Bergfur J. M. & Milberg P. Comparison of data from two vegetation monitoring methods in semi-natural grasslands. *Environ Monit Assess*. 2005; 100: 235-248. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10661-005-6510-8>.
25. Fassnacht F., Latifi H., Stereńczak K., Modzelewska A., Lefsky M., Waser L., Straub C., Ghosh A. Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*. 2016; 186: 64-87. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.013>.
26. Fassnacht F. E., Latifi H., Stereńczak K., Modzelewska A., Lefsky M., Waser L. T., Straub C., Ghosh A. Review of studies on tree species classification from remotely sensed data // *Remote Sensing of Environment*. 2016; 186 (1): 64-87. [https://www.researchgate.net/publication/312283938\\_Review\\_of\\_studies\\_on\\_tree\\_species\\_classification\\_from\\_remotely\\_sensed\\_data](https://www.researchgate.net/publication/312283938_Review_of_studies_on_tree_species_classification_from_remotely_sensed_data) DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.013>.
27. Floyd D. A., Anderson J. E. A comparison of three methods for estimating plant cover. *J. Ecol*. 1987; 75: 221-228. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53797-9>.
28. Aasen H., Burkart A., Bolten A., Bareth G. Generating 3D hyperspectral information with lightweight UAV snapshot cameras for vegetation monitoring: From camera calibration to quality assurance. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2015; 108: 245-259. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.08.002>.
29. Bergstedt J., Westerberg L., Milberg P. In the eye of the beholder: bias and stochastic variation in cover estimates. *Plant Ecol*. 2009; 204: 271-283. <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9590-7>.
30. Kowalski K., Okujeni A., Hostert P. A generalized framework for drought monitoring across Central European grassland gradients with Sentinel-2 time series. *Remote Sensing of Environment*. 2023; 286:113449. ISSN 0034-4257. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113449>.
31. Kattenborn T., Eichel J., Fassnacht F.E. Convolutional Neural Networks enable efficient, accurate and fine-grained segmentation of plant species and communities from high-resolution UAV imagery.

Scientific Reports. 2019. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41598-019-53797-9>.

32. Kowalski K., Okujeni A., Hostert P. A generalized framework for drought monitoring across Central European grassland gradients with Sentinel-2 time series. *Remote Sensing of Environment*. 2023;286: 113449, ISSN 0034-4257 DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113449>.

33. Lopatin J., Fassnacht F.E., Kattenborn T., Schmidlein S. Mapping plant species in mixed grassland communities using close range imaging spectroscopy. *Remote Sensing of Environment*. 2017;201:12-23. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rse.2017.08.031>.

34. Drude O. *Handbuch der Pflanzengeographie*. Stuttgart: J. Engelhorn, 1890. 582S. <https://lib.ugent.be/catalog/rug01:002186637>.

35. Dmitriev P., Kozlovsky B., Kupriushkin D., Lysenko V., Rajput V., Ignatova M., Tarik E., Kapralova O., Tokhtar V., Singh A., Minkina T., Varduni T., Sharma M, Taloor A., Thapliyal A. Identification of species of the genus *Acer L.* using vegetation indices calculated from the hyperspectral images of leaves. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2022; 25, 100679. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100679>.

36. Thenkabail P., Smith R, De Pauw E. Hyperspectral Vegetation Indices and Their Relationships with Agricultural Crop Characteristics. *Remote Sensing of Environment*. 2000;71;2:158-182. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00067-X](http://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00067-X).

37. Chen Q., Timmermans J., Wen W., van Bodegom P. A multi-metric assessment of drought vulnerability across different vegetation types using high resolution remote sensing. *Sci. Total Environ*. 2022; 832. Article 154970. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154970>.

38. Wang R, Gamon J, Cavender-Bares J. Seasonal patterns of spectral diversity at leaf and canopy scales in the Cedar Creek prairie biodiversity experiment. *Remote Sensing of Environment*. 2022;280. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113169>.

39. Houborg R, Fisher J, Skidmore A. Advances in remote sensing of vegetation function and traits. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2015; 43: 1-6. <http://hdl.handle.net/10754/620951>.

40. Wäldchen J., Rzanny M., Seeland M., Mäder P. Automated plant species identification – Trends and future directions. *PLOS Computational Biology*. 2018; 14(4): e1005993. DOI: <http://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005993>.

41. Tan X., Shan Y., Wang X., Liu R., Yao Y. Comparison of the predictive ability of spectral indices for commonly used species diversity indices and Hill numbers in wetlands. *Ecological Indicators*. 2022; 142. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109233>.

© Адамович И. Ю., Сиваков В. В.,  
Новикова Н. Г., 2023

---

Поступила в редакцию 26.04.2023  
Принята к печати 14.07.2023