

ФАРМАКОГНОЗИЯ И БОТАНИКА

УДК 581.5

DOI: <https://doi.org/10.52540/2074-9457.2025.4.20>Г. Н. Бузук¹, Е. В. Руденко², Н. А. Кузьмичева²

АНАЛИЗ КРИВОЙ ОСВОЕНИЯ ПРОСТРАНСТВА ДОМИНАНТНЫМИ РАСТЕНИЯМИ: НОВЫЙ ПОДХОД К ИНТЕРПРЕТАЦИИ СТРАТЕГИЙ CSR

¹г. Витебск, Республика Беларусь²Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

В работе предложена методология функциональной оценки ценопопуляций растений, основанная на четырехпараметрической модели Вейбулла и концепции CSR-стратегий Грайма. Подход позволяет интерпретировать жизненные стратегии видов (*C* – конкурентность, *S* – стрессоустойчивость, *R* – рудеральность) на основе анализа кривой освоения пространства, где фитомасса и проективное покрытие рассматриваются как интегральные показатели. Использование производных аппроксимирующей кривой (*MAI*, *RAI*, *POI*) обеспечивает возможность выявления стратегических индексов, независимых от абсолютных значений признаков, и позволяет прогнозировать прогресс или регресс ценопопуляций в многолетнем мониторинге. Методика открывает новые возможности для классификации и визуализации стратегий, анализа сукцессионных процессов и оценки устойчивости растительных сообществ. Практическая значимость заключается в применении подхода для прикладной экологии, инвентаризации биологических ресурсов и прогнозирования динамики биоразнообразия.

Ключевые слова: CSR-стратегии, модель Вейбулла, ценопопуляция, фитомасса, проективное покрытие, *MAI*, *RAI*, *POI*, сукцессия, функциональная экология, мониторинг биоразнообразия.

ВВЕДЕНИЕ

Классификация растительных видов по стратегическим типам – конкурентность (*C*), стрессоустойчивость (*S*), рудеральность (*R*) – является фундаментальной задачей функциональной экологии. Система стратегий Грайма и Раменского классифицирует адаптивные стратегии растений (и других организмов) в зависимости от их реакции на два фактора: стресс и нарушение [1–8].

Выделяют три первичных типа стратегий, расположенных в вершинах «треугольника Грайма»: виоленты (*C*, конкуренты), пациенты (*S*, стресс-толеранты) и эксплеренты (*R*, рудералы). На практике часто встречаются и вторичные, переходные типы стратегий (*CS*, *CR*, *SR*, *CSR*), являющиеся комбинациями первичных.

К первичным типам стратегий относятся:

– конкуренты (*C*) – доминируют в условиях высокой обеспеченности ресурсами и низкого уровня нарушений, име-

ют высокую конкурентную способность и быстро растут, занимая пространство и вытесняя другие виды;

– стресс-толеранты (*S*) – процветают при сильном стрессе (например, недостатке воды или питательных веществ) и низком уровне нарушений. Они характеризуются медленным ростом и высокой устойчивостью к неблагоприятным условиям;

– рудералы (*R*) – успешно развиваются при высоком уровне нарушений (например, при распашке или вытаптывании) и низкой обеспеченности ресурсами. Они обладают быстрой репродуктивной стратегией, давая многочисленное потомство, которое может быстро расселяться на новых, свободных участках.

Ко вторичным типам стратегий относятся:

– конкурент-рудерал (*CR*) – сочетают в себе черты конкурентов и рудералов, например, быстро растут в благоприятных условиях, но также способны к быстрому расселению на нарушенных участках;

– конкурент-стресс-толерант (**CS**) – обладают комбинацией высокой конкурентной способности и устойчивости к стрессу;

– стресс-толерант-рудерал (**SR**) – сочетают в себе устойчивость к стрессу и способность к быстрому расселению.

К переходным типам стратегий относятся CSR-стратегии – являются наиболее сложными и включают в себя черты всех трех основных стратегий, что позволяет им успешно развиваться в широком диапазоне условий. Эти виды часто обладают комбинацией быстрых темпов роста, высокой конкурентоспособности, устойчивости к стрессу и быстрой репродуктивной способности.

В настоящее время предложено несколько подходов к количественному определению CSR-стратегий видов растений.

Расчет CSR-стратегий по модели Hodgson et al. (1999). Основан на использовании следующих признаков растений: CH – высота (мм); LDMC – содержание сухого вещества листа (%); FP – продолжительность цветения (мес); LS – латеральное распространение (1–6); LDW – сухая масса листа (мг); SLA – удельная площадь листа ($\text{мм}^2/\text{мг}$); LFW – свежая масса листа (мг); LA – площадь листа (мм^2); FS – начало цветения (1–6).

Модель Ходжсона не основана на методе главных компонент (PCA), а вместо этого рассчитывает каждую ось напрямую из преобразованных значений признаков, используя два набора алгебраических уравнений – один для злаков, другой для незлаков. Эти уравнения различаются как по включенным признакам, так и по коэффициентам, что влияет на вклад каждого признака в итоговые значения осей. Хотя авторы не объясняют причины такого подхода, вероятно, он обусловлен сходством морфологических и фенологических признаков внутри каждой группы, что требует различного весового учета признаков для точного определения стратегии [9].

Оценка по оси С рассчитывается из квадратов значений CH и LS; в версии для незлаков дополнительно включается квадрат логарифма LDW. Оценка по оси S получается из комбинации квадратов преобразованных LDMC, SLA, CH и LS. В версии для незлаков также включается квадрат преобразованного LDW. Оценка по оси R рассчитывается по линейному

уравнению, включающему FP, логарифм LDW и квадратный корень SLA; в версии для незлаков дополнительно используется FS. Полученные значения осей масштабируются в координатное пространство от -2,5 до 2,5, после чего каждому виду присваивается стратегия, соответствующая ближайшей предопределенной точке.

Расчет CSR-стратегий по модели Novakovskiy et al. (2016) на основе признаков растений: CH – высота (мм); LDMC – содержание сухого вещества листа (%); FP – продолжительность цветения (мес); LS – латеральное распространение (категориально: 1–6); LDW – сухая масса листа (мг); LFW – свежая масса листа (мг); PN – чистая фотосинтетическая активность ($\text{мг CO}_2/\text{г сухого вещества/час}$); RD – скорость дыхания в темноте ($\text{мг CO}_2/\text{г сухого вещества/час}$); LNC – содержание азота в листьях (мг/г); LCC – содержание углерода в листьях (мг/г).

Эта модель также основана на PCA, но здесь она применяется к набору данных признаков, включающему физиологические и морфологические признаки. Модель основана на ординации морфологических и физиологических показателей растений методом главных компонент (PCA). Первоначально показатели трансформируются при помощи натурального логарифма или квадратного корня. Далее на основе линейных комбинаций вычисляется положение вида в первых двух осях PCA ординации (PCA1, PCA2). Затем полученные PCA координаты проецируются на заранее определенные оси, отражающие жизненные стратегии Грайма. Последним этапом является перевод полученных численных значений в буквенные, отображающие один из 19 первичных, вторичных или третичных типов стратегий. В качестве финальной стратегии выбирается та, Евклидово расстояние до которой от полученных C, S, R координат является минимальным [10–12].

Расчет CSR-стратегий по модели StrateFu (Pierce et al., 2017). Основан на использовании следующих признаков растений: LA – площадь листа (мм^2); LFW – свежая масса листа (мг); LDW – сухая масса листа (мг); SLA – удельная площадь листа ($\text{мм}^2/\text{мг}$); LDMC – содержание сухого вещества листа (%).

Глобальная калибровка инструмента CSR включала первоначальный многомер-

ный анализ (PCA) ключевых признаков листьев [13]. Данные LA были стандартизированы с использованием максимального значения, а затем преобразованы в квадратный корень. Данные LDMC были подвергнуты логит-преобразованию, а данные SLA были подвергнуты логарифмическому преобразованию. Преобразованные значения признаков регрессировали относительно значений оси PCA. Это приводило к получению трех коварирующих измерений: «измерение LA» на основе PCA2, «измерение LDMC» на основе положительной изменчивости вдоль PCA1 и «измерение SLA» на основе отрицательной изменчивости вдоль PCA1. Поскольку значения PCA могут быть как отрицательными, так и положительными, затем для каждого признака определялись минимальные (то есть самые отрицательные) значения вдоль осей PCA, которые использовались в качестве константы, добавляемой ко всем значениям каждого признака, чтобы перевести измерения признака в полностью положительное пространство. Для получения троичных координат (то есть трех координат для треугольного графика) была добавлена функция, которая суммировала три измерения и делила на 100, что позволяло определить пропорциональные вклады LA, LDMC и SLA для каждого вида. Таким образом, полученная треугольная ординация видов представляла собой «компромиссный треугольник», с которым можно было сравнивать целевые виды.

При сравнении этих моделей с использованием стандартного набора видов растений была показана четкая разница в назначении стратегии в этих трех моделях. Это расхождение обусловлено различиями в расчетах и выборе входных функциональных признаков между этими моделями [1–12, 14].

Для измерения функциональных признаков отбирают виды, доминирующие по надземной фитомассе в пределах исследуемого растительного сообщества. Доминирование определялось как совокупный вклад видов, составляющих приблизительно 70–80% общей биомассы, оцененной визуально или по данным количественного учета (Cornelissen et al. (2003)). Как правило, отбираются 10 хорошо развитых, не поврежденных, освещенных растений обычно в середине вегетационного сезона

(пик биомассы). Собирают молодые световые листья [15–19] или зрелые листья с середины стеблей как теневые, так и световые [10].

Классическая система Граймса [2–7] и ее количественные реализации [13] основаны на морфометрических и физиологических признаках. Эти показатели отражают адаптационные стратегии растений, однако не учитывают динамику освоения пространства фитомассой и по своей сути остаются статичными.

Актуальной задачей является разработка методов, позволяющих интерпретировать стратегию вида на основе экспериментальных кривых роста, устойчивых к масштабным и типологическим различиям. В данной работе предлагается метод интерпретации CSR-стратегий, основанный на анализе производных аппроксимирующей кривой зависимости покрытия от фитомассы. Такой подход позволяет извлекать стратегические индексы из формы кривой, независимо от абсолютных значений, и использовать их для классификации и визуализации.

Целью настоящего исследования являлась разработка нового способа определения CSR-стратегий доминантных растений посредством анализа кривой освоения пространства с применением четырехпараметрической модели Вейбулла, где фитомасса и проективное покрытие рассматриваются как интегральные функциональные показатели.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве модельных объектов нами были выбраны сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*), живучка ползучая (*Ajuga reptans*), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), седмичник европейский (*Trientalis europaea*) и ландыш майский (*Convallaria majalis*). Работа была выполнена в смешанном лесу в окрестностях г. Витебска, Республика Беларусь. Пробные площади размером 100–400 м² закладывали в фитоценозах с различными условиями произрастания растений.

В пределах пятен исследуемых видов на каждой пробной площади или ключевом участке закладывали 15–20 учетных площадок (УП) размером 48 × 35 см ($S = 0,17 \text{ м}^2$), располагая их систематически вдоль линии, проходящей от одного

края пятна растений до другого через области от минимальной до максимальной плотности побегов растения. Для закладки УП использовали проволочную или деревянную рамку соответствующего размера. Затем делали фото растительного покрова с центром в рамке УП с высоты 0,4–0,5 м с помощью цифрового фотоаппарата или смартфона (размер изображения 2800 × 2000 пикселей, около 2,8 Мб). При необходимости перед получением фото в пределах УП предварительно удаляли другие виды (например, орляк, подрост древесных растений), перекрывающие исследуемый вид. Затем с УП срезали на уровне почвы все побеги исследуемого растения строго по контуру рамки. Срезанное сырье взвешивали в сыром виде на электронных весах с точностью до 0,01 г. В условиях лаборатории на цифровое изображение растительного покрова с помощью подпрограммы Grid программы Imagej (<http://rsbweb.nih.gov/ij>) накладывали сетку из точек в пределах рамки, ограничивающей площадку для срезки. Затем определяли проективное покрытие, как описано ранее [20–21].

1. Аппроксимация кривой покрытия

Как показали наши предыдущие исследования, функция Weibull является лучшей для аппроксимации зависимостей между биомассой и проективным покрытием [22–24].

Регрессия на основе функции Weibull позволяет аппроксимировать как линейные, так и нелинейные зависимости, что придает ей универсальный характер для использования как в прикладных, так и фундаментальных исследованиях [22–25].

Нелинейная зависимость между проективным покрытием и фитомассой растений представляет собой скорее закономерность, чем исключение, особенно в зрелых и высокоплотных растительных сообществах. В большинстве случаев данная зависимость не является строго линейной во всем диапазоне значений.

На ранних этапах формирования ценоза, когда растения еще не полностью закрыли поверхность почвы, наблюдается почти линейная зависимость между увеличением проективного покрытия и ростом фитомассы. Каждый новый побег

или листовой орган вносит пропорциональный вклад в общую биомассу. В этот период проективное покрытие является надежным индикатором количества фитомассы, поскольку свободное пространство между особями остается значительным.

При достижении проективного покрытия порядка 50–60% зависимость приобретает нелинейный характер. Дальнейший прирост биомассы обусловлен не столько увеличением площади покрытия, сколько уплотнением растительного полога, формированием вертикальной стратификации и ростом высоты растений.

По мере развития ценоза листья начинают перекрывать друг друга. Даже при достижении 100% проективного покрытия фитомасса продолжает возрастать за счет увеличения количества листьев и побегов в толще полога.

В зрелых экосистемах прирост биомассы происходит преимущественно в вертикальном направлении. Конкуренция за свет стимулирует удлинение стеблей и формирование верхних ярусов. При этом проективное покрытие остается близким к максимальному значению и перестает быть чувствительным индикатором дальнейшего увеличения фитомассы.

В результате одна и та же степень проективного покрытия может соответствовать различным значениям фитомассы. Для адекватного количественного описания динамики биомассы необходимы более сложные, нелинейные модели, учитывающие вертикальную структуру растительного полога, стратификацию ярусов и морфологические особенности видов.

Нами применялась 4-параметрическая функция Вейбулла:

$$p(m) = a - b \cdot \exp(-c \cdot m^d), \quad (1)$$

где (a, b, c, d) – параметры модели.

Оценка CSR-компонентов основана на расчете первой и второй производных функции $p(m)$.

2. Расчет производных

Первая производная:

$$\frac{dp}{dm} = bcd \cdot m^{d-1} \cdot \exp(-c \cdot m^d). \quad (2)$$

Относительная производная:

$$RAI(m) = \frac{1}{p(m)} \cdot \frac{dp}{dm} \quad (3)$$

Вторая производная:

$$\frac{d^2p}{dm^2} = bcd \cdot \exp(-c \cdot md) \cdot [(d-1) \cdot md - 2 - cd \cdot m^{2d-2}] \quad (4)$$

Точка перегиба:

$$m_{POI} = (1/cd)^{1/d}$$

3. Расчет стратегических индексов CSR

Компонент С – конкурентоспособность:

$$C_{raw} = MAI = \max\left(\frac{dp}{dm}\right), \quad (5)$$

где:

$$\frac{dp}{dm} = bcd \cdot m^{d-1} \cdot \exp(-c \cdot m^d) \quad (6)$$

Компонент R – рудеральность:

$$R_{raw} = RAI_{max} = \max\left(\frac{dp/dm}{p(m)}\right), \quad (7)$$

где:

$$p(m) = a - b \cdot \exp(-c \cdot m^d), \quad (8)$$

$\left(\frac{dp}{dm}\right)$ – как выше (6).

Компонент S – стрессоустойчивость:

$$S_{raw} = \frac{100 - a}{100} \quad (9)$$

4. Нормировка:

$$CSR_{total} = C_{raw} + S_{raw} + R_{raw}, \quad (10)$$

$$C = \frac{C_{raw}}{CSR_{total}} \quad S = \frac{S_{raw}}{CSR_{total}} \quad R = \frac{R_{raw}}{CSR_{total}} \quad (11)$$

После расчета значений С, S и R выполнялась проверка их суммы: она должна составлять 1 (или 100 %), что соответствует полной стратегии вида.

Терндиаграммы получали, используя пакет Ternplot Matlab (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/2299-alchemyst-ternplot>) (рисунок 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты по определению CSR-стратегий на основе анализа кривой освоения пространства доминирующими видами растений на примере ландыша майского представлены графически на рисунке 2.

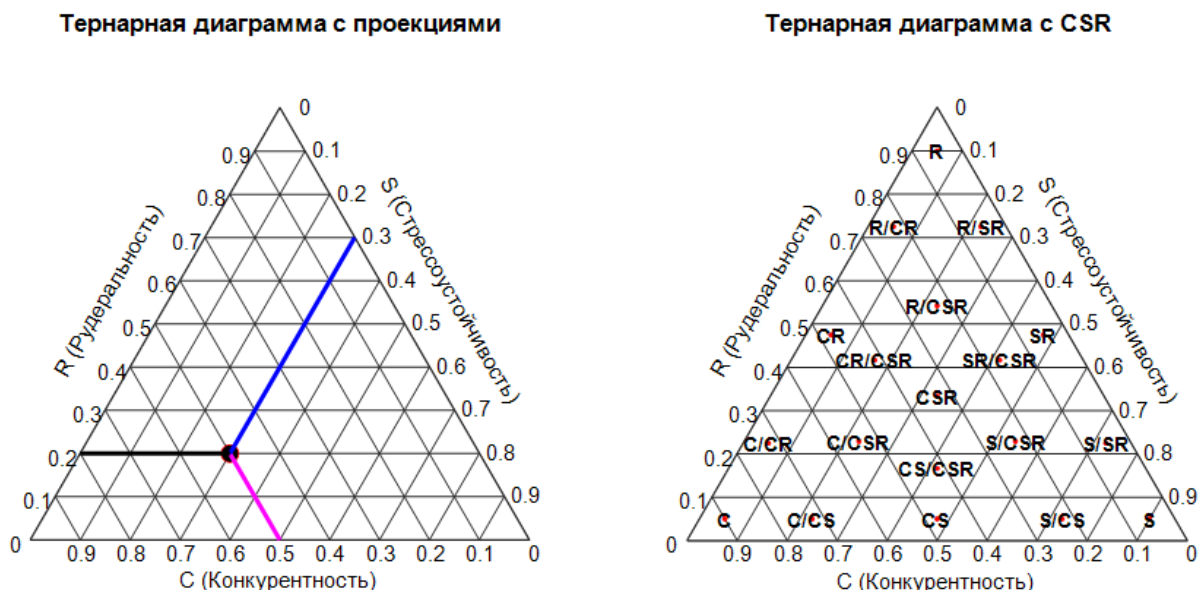


Рисунок 1. – Терндиаграмма точки (вид растения) с проекцией координат на оси (слева) и центроидов CSR-стратегий (справа)

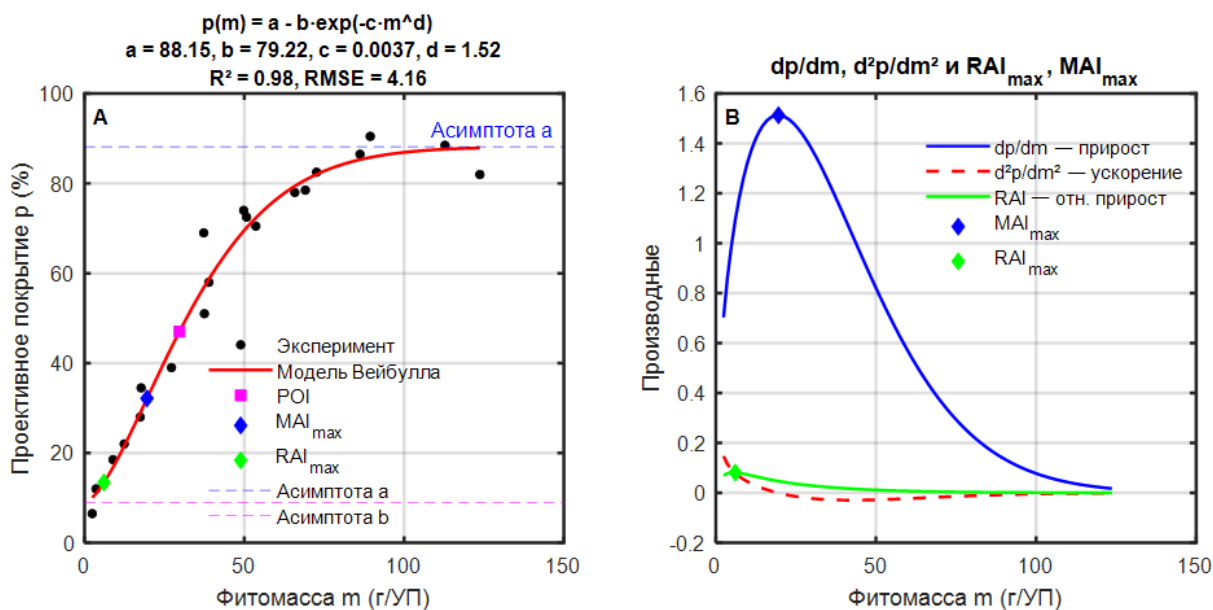


Рисунок 2. – Аппроксимация зависимости проективного покрытия *Convallaria majalis* от фитомассы моделью Вейбулла

Модель Вейбулла (формула 1) описывает зависимость проективного покрытия (p) от фитомассы (m) и, в контексте нашего исследования, отражает динамику пространственного развития растительного покрова – кривую освоения территории. Каждый параметр модели, а также ее производные, имеют четкую биологическую интерпретацию и несут специфическую функциональную нагрузку.

Параметры модели Вейбулла:

a – верхняя асимптота. Максимально достижимое проективное покрытие при насыщении фитомассой. Отражает потенциал сообщества по плотности и сомкнутости, определяется жизненной формой, стратегией роста и условиями среды.

b – масштаб. Разница между начальным и максимальным покрытием. Характеризует исходную разреженность и потенциал прироста. Чем выше значение b , тем более открытой является структура на ранних стадиях развития.

c – скорость. Темп прироста покрытия при увеличении фитомассы. Отражает реакцию ценопопуляции на рост биомассы: быстрое закрытие пространства либо постепенное заполнение. Указывает на фитомассу, при которой происходит переход. Зависит от конкурентоспособности, морфологии и темпов роста.

d – форма. Кривизна зависимости

(крутизна кривой). При $d > 1$ наблюдается задержка покрытия на ранних стадиях, при $d < 1$ – быстрый старт. Отражает стратегию роста: экспансивную либо консервативную.

Показатели динамики покрытия в модели Вейбулла

MAI – максимальный абсолютный прирост (dp/dm). Отражает пик прироста покрытия на единицу прироста фитомассы. Биологически соответствует фазе активного роста, когда растения максимально эффективно используют биомассу для освоения пространства. Связан с оптимальными условиями среды, высокой пластичностью и экспансивной стратегией. Является индикатором эффективности использования биомассы для пространственного захвата.

RAI – максимальный относительный прирост ($dp/dm / p$). Характеризует скорость увеличения покрытия относительно уже достигнутого уровня. Высокие значения типичны для ранних стадий онтогенеза или сукцессии, когда небольшой прирост биомассы дает значительный прирост покрытия. Отражает конкурентоспособность и способность к колонизации.

POI – точка перегиба (максимум d^2p/dm^2). Соответствует моменту перехода от ускоренного к замедленному приросту покрытия. Биологически отражает смену фаз роста – от экспансии к стабилизации,

начало конкуренции за ресурсы и формирование зрелой структуры сообщества.

d^2p/dm^2 – ускорение прироста. Показывает изменение скорости прироста покрытия. Точка перегиба соответствует переходу от ускоренного к замедленному росту – ключевой этап онтогенеза или сукцессии.

$dp/dm / p$ – относительный прирост (RAI). Характеризует темп прироста покрытия относительно текущего состояния. Высокие значения свидетельствуют об активной экспансии, низкие – о стабилизации.

$S = (100 - a) / 100$, где a – асимптота покрытия. Это мера «недостигнутого потенциала». Высокое значение S указывает, что даже при бесконечном увеличении биомассы вид не может достичь 100% покрытия (высокая асимптота a означает низкий S). Это отражает инвестиции в выживание, а не в максимальный рост – укрепление тканей, защиту от травоядных, устойчивость к стрессу. Это прямая характеристика S -стратегии (стресс-толерантной).

Текущая интерпретация CSR-компонентов на основе параметров модели Вейбулла дает результаты, которые не всегда совпадают с классическими представлениями о стратегиях по Граймсу (рисунок 3, таблица 1). Причины могут

заключаться как в методике отбора растительного материала, выборе функциональных признаков, так и в особенностях алгоритма, применённого для расчетов CSR-стратегий.

Использованная в нашей работе модель основана на анализе формы кривой освоения пространства растительными видами с применением четырехпараметрической аппроксимации функцией Вейбулла. На наш взгляд, проективное покрытие и фитомасса выступают интегральными характеристиками, которые аккумулируют большинство функциональных признаков, учитываемых в ранее предложенных моделях.

Подход, основанный на функциональных признаках листа (Pearse et al., 2017), представляет собой косвенный метод анализа экологических стратегий растений, исходящий из предпосылки «форма определяет функцию». Данный метод протоколирован и стандартизирован (например, в рамках инициативы GLOPNET), что обеспечивает возможность массового сбора данных и оперирования тремя ключевыми функциональными признаками.

– LA (Leaf Area, площадь листа) – индикатор ресурсного захвата. Крупные листья отражают стратегию быстрого роста

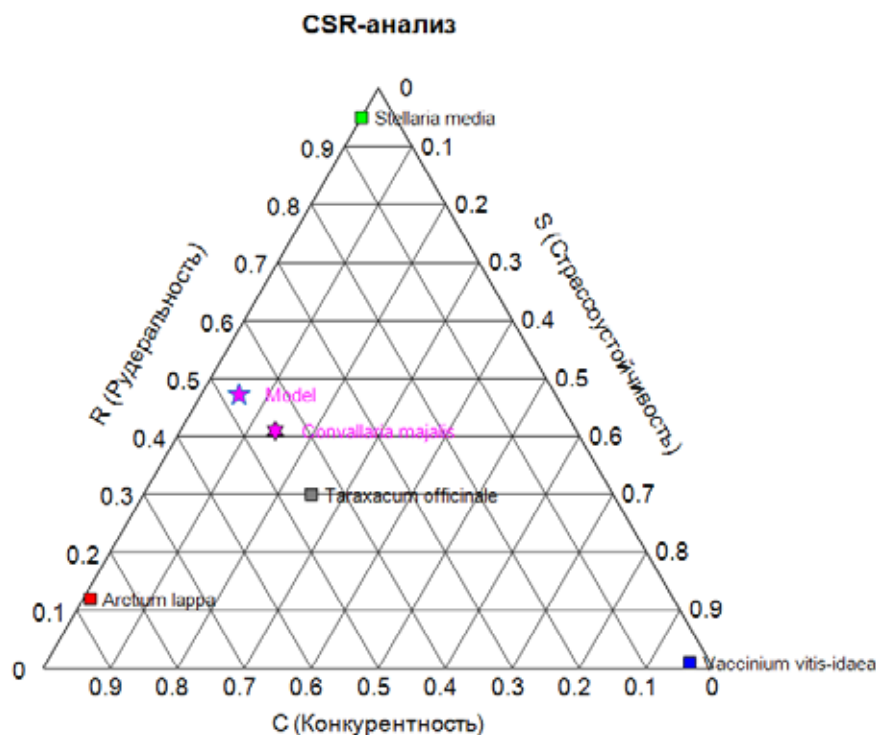


Рисунок 3. – Тернарная диаграмма распределения стратегий (C–S–R) *Convallaria majalis* (Model) в сравнении с референтными видами глобальной базы данных [13]

Таблица 1. – CSR-стратегии доминирующих видов сообществ, определенных предложенным алгоритмом (C_model, S_model, R_model) и референтным Pearse et al., 2017 (C_ref, S_ref, R_ref)

Species	C_model	S_model	R_model	C_ref	S_ref	R_ref	D
Orthilia secunda	0,50	0,00	0,50	0,14	0,61	0,25	0,75
Melilotus officinalis	0,50	0,00	0,50	0,35	0,35	0,30	0,43
Hypericum perforatum	0,50	0,00	0,50	0,08	0,22	0,70	0,51
Tussilago farfara	0,47	0,06	0,47	0,92	0,01	0,07	0,60
Fragaria viridis	0,40	0,20	0,40	0,23	0,57	0,20	0,46
Ajuga reptans	0,39	0,21	0,39	0,24	0,17	0,59	0,26
Oxalis acetosella	0,43	0,15	0,43	0,22	0,00	0,78	0,43
Taraxacum officinale	0,37	0,27	0,37	0,92	0,01	0,07	0,68
Aegopodium podagraria	0,48	0,04	0,48	0,65	0,14	0,21	0,33
Chelidonium majus	0,50	0,00	0,50	0,49	0,18	0,33	0,25
Themus serpyllum	0,36	0,28	0,36	0,00	0,96	0,04	0,84
Polygonum aviculare	0,47	0,07	0,47	0,15	0,30	0,55	0,40
Trientalis europaea	0,48	0,04	0,48	0,11	0,34	0,56	0,48
Plantago major	0,50	0,00	0,50	0,41	0,16	0,44	0,20
Convallaria majalis	0,47	0,06	0,47	0,45	0,14	0,41	0,11

Примечание: D – Евклидово расстояние.

в благоприятных условиях (С-стратегия), тогда как мелкие листья уменьшают площадь транспирации и свидетельствуют либо о вложениях в стресс-толерантность (S-стратегия), либо о быстром обороте биомассы (R-стратегия).

– SLA (Specific Leaf Area, удельная площадь листа) – центральный показатель «экономики растения». Высокие значения SLA (тонкие, «дешевые» листья) соответствуют стратегиям быстрой окупаемости инвестиций, характерным для R- и С-стратегий. Низкие значения SLA (плотные, «дорогие» листья) отражают стратегию консервации ресурсов и долгосрочной устойчивости, присущую S-стратегии.

– LDMC (Leaf Dry Matter Content, содержание сухой массы листа) – тесно коррелирует со SLA. Высокие значения LDMC указывают на плотные, механически защищенные листья, что является маркером S-стратегии.

Преимущества метода заключаются в возможности глобального сравнения растительных сообществ, относительной оперативности сбора данных для большого числа видов и прямой связи стратегий с конкретными морфофизиологическими адаптациями.

Ограничения метода связаны с его косвенным характером: он фиксирует потенциальные стратегии, но не их фактическую реализацию в конкретных условиях ценоза. Так, растение может обладать

признаками С-стратегии, но находиться в угнетенном состоянии вследствие конкуренции или дефицита ресурсов. Дополнительным источником расхождений является усреднение: часто используются средние значения признаков по виду из глобальных баз данных (например, TRY Plant Trait Database), которые не отражают локальную специфику и фенотипическую пластичность.

В отличие от этого, предлагаемый нами метод основан на анализе кривой зависимости проективного покрытия от фитомассы с использованием функции Вейбулла. Он не опирается на прямое измерение морфологических или физиологических признаков, а фиксирует фактическое поведение популяции в конкретном сообществе. Кривая «покрытие–фитомасса» интегрирует влияние множества признаков (плотность тканей, размер листьев, архитектура побегов) на конкурентоспособность и выживаемость вида, что снижает зависимость анализа от выбора отдельных измеряемых характеристик.

Ключевое различие между алгоритмом Pearse et al. (2017) и нашим подходом заключается в том, что они измеряют разные аспекты экологической стратегии.

Метод Pearse et al. (2017) основан на функциональных признаках листа (LA, SLA, LDMC) и отражает врожденный потенциал вида, то есть анатомически закрепленную способность к использованию

ресурсов («экономика листа»). Этот подход статичен (фиксирует относительно стабильные анатомические особенности) и глобален (калиброван на основе международных баз данных признаков, что позволяет сравнивать виды из различных биомов).

Наш алгоритм, напротив, основан на кривой роста (зависимость проективного покрытия от фитомассы) и отражает реализованную стратегию (performance), то есть фактическое поведение вида в конкретных условиях. Этот подход динамичен (учитывает скорость роста – MAI, RAI, пределы роста – асимптоту) и контекстуален (чувствителен к условиям среды – свет, влажность, питание – и к онтогенетическому состоянию растений в момент наблюдения).

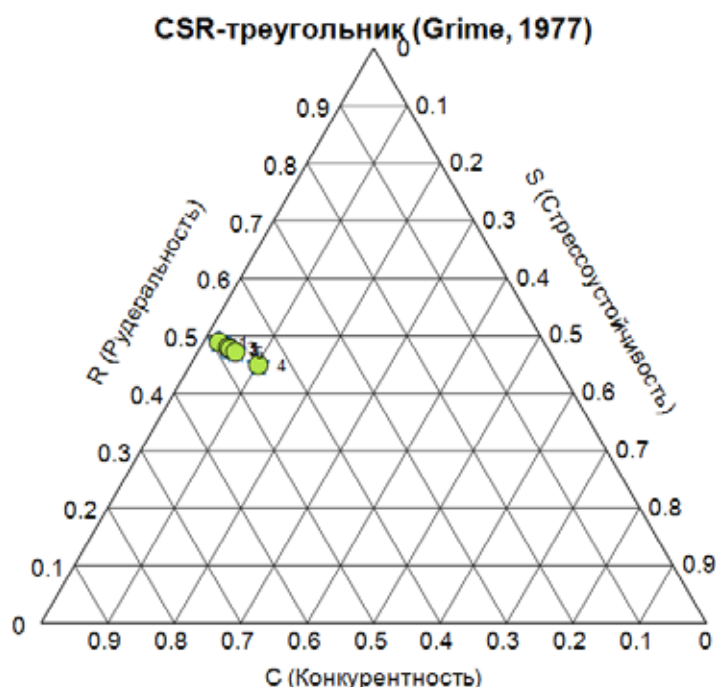
Таким образом, наш метод связывает функциональные признаки, формирующие потенциал, с реализованным поведением (performance). Разница между значениями CSR-стратегий, полученными по алгоритму Pearse et al. (2017), и результатами нашего анализа может служить прямым

количественным показателем фенотипической пластичности вида в ответ на конкретные условия. Это позволяет ответить на вопрос: «Насколько сильно данный вид вынужден отклоняться от своей врожденной стратегии в данных условиях?»

Кроме того, метод интегрирует архитектурные и аллокационные стратегии, которые не охватываются исключительно листовыми признаками. Эффективность конверсии фитомассы в проективное покрытие выступает интегральным показателем способности растения к пространственному доминированию.

Для оценки стабильности получаемых по нашей методике CSR-стратегий нами были рассчитаны для *Convallaria majalis*, произрастающего в различных местообитаниях. Полученные результаты представлены графически на рисунке 4.

Как можно видеть из рисунка 4, CSR-стратегии различных ценопопуляций ландыша майского образуют довольно компактную группу, что указывает на относительную стабильность CSR-стратегии для данного вида (CR).



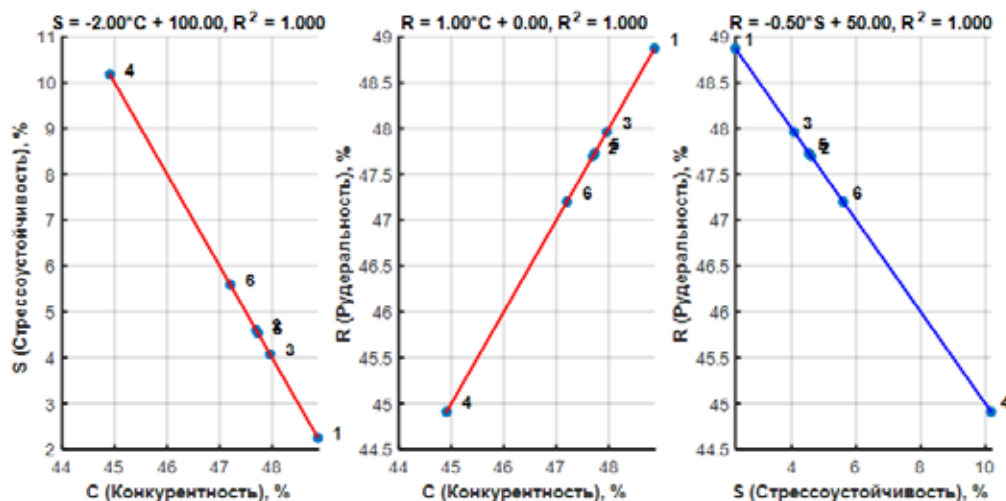
Фитоценозы: 1 – Березняк ландышевый вейниково-ортилиевый (А), 2 – Сосняк злаково-ландышевый (В), 3 – Сосняк ландышевый папоротниково-горичниковый (С), 4 – Сосняк с примесью дуба разнотравный (D), 5 – Ельник ландышево-кисличный (Е), 6 – Сосняк ландышево-кисличный (F)

Рисунок 4. – Тернарная диаграмма распределения стратегий (C–S–R) *Convallaria majalis* различных фитоценозов

При построении линейных зависимостей $S \sim C$, $R \sim C$ и $R \sim S$ для различных фитоценозов с участием ландыша выявлена выраженная ($R^2 = 1$) линейная связь (рисунок 5).

Увеличение C (конкурентность) сопровождается линейным ростом R (руде-

ральность). Линейная тенденция указывает на то, что сообщества с ландышем группируются вдоль узкой «оси компромисса» между конкурентностью и рудеральностью, в то время как стрессоустойчивость выступает в качестве балансирующего фактора.



Фитоценозы: 1 – Березняк ландышевый вейниково-ортилиевый (А), 2 – Сосняк злаково-ландышевый (В), 3 – Сосняк ландышевый папоротниково-горичниковый (С), 4 – Сосняк с примесью дуба разнотравный (D), 5 – Ельник ландышево-кисличный (Е), 6 – Сосняк ландышево-кисличный (F)

Рисунок 5. – Парные зависимости стратегий (C–S–R) *Convallaria majalis* различных фитоценозов

Сравнение продуктивности ландыша в разных фитоценозах (по величине асимптоты) в контексте CSR-стратегий показало, что максимальная продуктивность наблюдается в березняке ландышево-вейниково-ортилиево (А), а минимальная – в сосняке с примесью дуба разнотравном (D). Продуктивность демонстрирует обратную зависимость от S (стрессоустойчивости) и прямую – от C (конкурентности).

Учитывая положительное влияние стрессовых факторов на синтез вторичных метаболитов [26–32], можно предположить, что максимальное накопление биологически активных веществ у ландыша майского будет происходить в сосняке с примесью дуба разнотравном, а минимальное – в березняке ландышево-вейниково-ортилиево. Подобные исследования представляют перспективное направление для дальнейших работ.

Прогноз прогресса (улучшения состояния) или регресса (деградации) ценопопуляции может осуществляться на основе межгодового сравнения ключевых пара-

метров, полученных в одинаковый период вегетации.

Форма кривой отражает стратегию вида:

- крутая кривая с быстрым выходом на асимптоту (а) при высоком значении параметра с характерна для R-стратегов или ранних стадий роста;

- пологая кривая, растянутая по оси m при низком c , типична для S-стратегов.

Пик RAI (рудеральность) всегда наблюдается при низкой биомассе и соответствует этапу «горизонтального развертывания». Пик MAI (конкуренция) возникает при более высокой биомассе, отражая переход к «вертикальной борьбе за свет».

Критерием прогресса ценопопуляции является устойчивый рост параметра a и смещение точки CSR-стратегий в сторону угла C за период наблюдения. Критерием регресса, напротив, служит устойчивое снижение a и смещение точки CSR-стратегий в сторону угла S .

Таким образом, межгодовое сравнение положения точек на CSR-треугольнике по-

зволяет прогнозировать изменения в сообществе. Например, если в течение пяти лет ценопопуляция последовательно смещается из зоны C–R в зону C–S, это свидетельствует о постепенном усилении стрессовых факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методология, основанная на четырехпараметрической модели Вейбулла и концепции CSR, представляет собой довольно эффективный количественный инструмент для функциональной оценки ценопопуляций. Она позволяет не только выявлять текущую жизненную стратегию популяции (C, S, R) на основе морфологических и физиологических параметров, но и объективно отслеживать траекторию ее развития – прогресс или регресс – в многолетнем мониторинге.

Использование производных аппроксимирующей кривой зависимости покрытия от фитомассы обеспечивает возможность интерпретации стратегических индексов независимо от абсолютных значений признаков. Такой подход делает анализ более универсальным и устойчивым к масштабным и типологическим различиям, что особенно важно при сравнении различных фитоценозов и экосистем.

Форма кривой освоения пространства, пики MAI и RAI, а также положение точек на CSR-треугольнике позволяют не только классифицировать стратегии видов, но и прогнозировать изменения в структуре сообществ. Например, смещение ценопопуляции из зоны C–R в зону C–S свидетельствует о постепенном усилении стрессовых факторов и переходе к более консервативным стратегиям. Таким образом, методика открывает новые возможности для анализа сукцессионных процессов, выявления тенденций в динамике растительных сообществ и оценки их устойчивости.

Практическая значимость подхода заключается в его применимости для прикладной экологии, инвентаризации биологических ресурсов, мониторинга биоразнообразия и прогнозирования сукцессионных изменений. Он может быть использован как для фундаментальных исследований экосистемных стратегий, так и для решения задач природопользования, включая оценку продуктивности, устойчивости и потенциала накопления биологи-

чески активных веществ у доминантных видов.

В целом предложенная методология формирует основу для интеграции морфофизиологических данных и динамических моделей роста, обеспечивая более глубокое понимание стратегий растений и их роли в формировании структуры и функционирования сообществ.

SUMMARY

G. N. Buzuk, E. V. Rudenko,
N. A. Kuzmicheva

ANALYSIS OF THE SPACE LEARNING CURVE BY DOMINANT PLANTS: A NEW APPROACH TO INTERPRETING CSR STRATEGIES

This study proposes a methodology for the functional assessment of plant populations based on the four-parameter Weibull model and Grime's CSR strategy concept. The approach makes it possible to interpret species life strategies (C – competitiveness, S – stress tolerance, R – ruderality) based on the analysis of the space learning curve where biomass and projected cover are considered integral indicators. The use of derivatives by the approximating curve (MAI, RAI, POI) enables detection of strategic indices independent of absolute characteristic values and allows forecasting of plant population progression or regression in long-term monitoring. The methodology opens new opportunities for the classification and visualization of strategies, analysis of successional processes, and assessment of plant community stability rating. Its practical significance lies in the approach application to applied ecology, biological resource inventory, and biodiversity dynamics forecasting.

Keywords: CSR strategies, Weibull model, plant population, biomass, projected cover, MAI, RAI, POI, succession, functional ecology, biodiversity monitoring.

ЛИТЕРАТУРА

1. Раменский, Л. Г. О принципиальных установках, основных понятиях и терминах производственной типологии земель, геоботаники и экологии / Л. Г. Раменский // Советская ботаника. – 1935. – № 4. – С. 25–42.
2. Grime, J. P. Plant strategies and vegetation processes / J. P. Grime. – Chichester [et al.] : Wiley and Sons, 1979. – 222 p.
3. Grime, J. P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance

- to ecological and evolutionary theory / J. P. Grime // *American Naturalist*. – 1977. – Vol. 111, N 982. – P. 1169–1194.
4. Grime, J. P. *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties* / J. P. Grime. – 2nd ed. – Chichester : John Wiley and Sons, 2001. – 417 p.
5. Grime, J. P. *The Evolutionary Strategies that Shape Ecosystems* / J. P. Grime, S. Pierce. – Chichester : John Wiley and Sons, 2012. – 240 p.
6. Grime, J. P. The CSR model of primary plant strategies – origins, implications and tests / J. P. Grime // *Plant evolutionary biology* / ed.: L. D. Gottlieb, S. K. Jain. – Dordrecht : Springer Dordrecht, 1988. – P. 371–393.
7. Grime, J. P. *Comparative plant ecology: a functional approach to common British species* / J. P. Grime, J. G. Hodgson, R. Hunt. – [S. l.] : Springer, 2014. – 742 p.
8. Бузук, Г. Н. CSR стратегии сосновых лесов: количественный анализ и индекс специализации / Г. Н. Бузук // *Вестник фармации*. – 2025. – № 3. – С. 24–32. – DOI: 10.52540/2074-9457.2025.3.24.
9. Allocating C-S-R plant functional types: a soft approach to a hard problem / J. G. Hodgson, P. J. Wilson, R. Hunt [et al.] // *Oikos*. – 1999. – Vol. 85, N 2. – P. 282–294.
10. Patterns of allocation CSR plant functional types in Northern Europe / A. B. Novakovskiy, S. P. Maslova, I. V. Dalke, Y. A. Dubrovskiy // *International journal of ecology*. – 2016. – Vol. 2016. – Art. 1323614. – DOI: 10.1155/2016/1323614.
11. Plant CSR types in the north: comparing the morphological and morpho-physiological approaches / A. B. Novakovskiy, Y. A. Dubrovskiy, I. V. Dalke, S. P. Maslova // *Physiology and molecular biology of plants*. – 2021. – Vol. 27, N 4. – P. 665–673. – DOI: 10.1007/s12298-021-00973-9.
12. Изменения функционального статуса растительных сообществ вдоль высотного градиента на Северном и Приполярном Урале / А. Б. Новаковский, Ю. А. Дубровский, Е. Е. Кулюгина, С. В. Дёгтева // *Теоретическая и прикладная экология*. – 2023. – № 3. – С. 160–170. – DOI: 10.25750/1995-4301-2023-3-160-170.
13. A global method for calculating plant CSR ecological strategies applied across biomes world-wide / S. Pierce, D. Negreiros, B. E. L. Cerabolini [et al.] // *Functional ecology*. – 2017. – Vol. 31, N 2. – P. 444–457. – DOI: 10.1111/1365-2435.12722.
14. CSR Calculator: An R package and Shiny application for assigning plant ecological strategies using trait data / T. Gaskin, B. Crick, A. P. Cavanagh [et al.] // *bioRxiv* : the preprint server for biology. – 2025. – URL: <https://doi.org/10.1101/2025.06.06.658218> (date of access: 12.12.2025).
15. Is leaf dry matter content a better predictor of soil fertility than specific leaf area? / J. G. Hodgson, G. Montserrat-Martí, M. Charles [et al.] // *Annals of botany*. – 2011. – Vol. 108, N 7. – P. 1337–1345. – DOI: 10.1093/aob/mcr225.
16. A new practical tool for deriving a functional signature for herbaceous vegetation / R. Hunt, J. G. Hodgson, K. Thompson [et al.] // *Applied vegetation science*. – 2004. – Vol. 7, N 2. – P. 163–170. – DOI: 10.1111/j.1654-109X.2004.tb00607.x.
17. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide / J. H. C. Cornelissen, S. Lavorel, E. Garnier [et al.] // *Australian journal of Botany*. – 2003. – Vol. 51, N 4. – P. 335–380. – DOI: 10.1071/BT02124.
18. Corrigendum to: New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide / N. Perez-Harguindeguy, S. Diaz, E. Garnier [et al.] // *Australian journal of botany*. – 2016. – Vol. 64, N 8. – P. 715–716. – DOI: https://doi.org/10.1071/BT12225_CO.
19. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content / E. Garnier, B. Shipley, C. Roumet, G. Laurent // *Functional ecology*. – 2001. – Vol. 15, N 5. – P. 688–695. – DOI: 10.1046/j.0269-8463.2001.00563.x.
20. Бузук, Г. Н. Определение проективного покрытия и урожайности при использовании фото точек (photo point method) / Г. Н. Бузук // *Вестник фармации*. – 2013. – № 3. – С. 74–80.
21. Бузук, Г. Н. Методы учета проективного покрытия растений: сравнительная оценка с использованием фотоплощадок / Г. Н. Бузук, О. В. Созинов // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2014. – Т. 16, № 5. – С. 1644–1649.
22. Бузук, Г. Н. Применение функций роста и асимптотических функций при определении проективного покрытия и урожайности лекарственных растений / Г. Н. Бузук // *Вестник фармации*. – 2014. – № 1. – С. 59–67.
23. Кузьмичева, Н. А. Линейные и нелинейные связи урожайности и проективного покрытия лекарственных растений / Н. А. Кузьмичева, Г. Н. Бузук, Е. В. Ломако // *Вестник фармации*. – 2015. – № 1. – С. 24–28.
24. Руденко, Е. В. Определение качества аппроксимации зависимостей урожайности и проективного покрытия ландыша майского с помощью функции Weibull и аллометрической / Е. В. Руденко, Г. Н. Бузук, Н. А. Кузьмичева // *Вестник фармации*. – 2017. – № 1. – С. 41–47.
25. Mahanta, D. J. Parameter Estimation of Weibull Growth Models in Forestry / D. J. Mahanta, M. Borah // *International Journal of Mathematics Trends and Technology*. – 2014. – Vol. 8, N 2. – P. 157–163. – DOI: 10.14445/22315373/IJMTT-V8P521.
26. Winkel-Shirley, B. Biosynthesis of flavonoids and effects of stress / B. Winkel-Shirley //

Current opinion in plant biology. – 2002. – Vol. 5, N 3. – P. 218–223. – DOI: 10.1016/s1369-5266(02)00256-x.

27. Bhattacharyya, P. Medicinal Plants Metabolomics in Response to Abiotic Stresses / P. Bhattacharyya, A. Ghosh // Medicinal Plants: Their Response to Abiotic Stress / ed.: A. Husen, M. Iqbal. – Singapore : Springer Nature Singapore, 2023. – P. 109–125.

28. Gershenzon, J. Changes in the levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress / J. Gershenzon // Phytochemical adaptations to stress / ed.: B. N. Timmermann, C. Steelink, F. A. Loewus. – New York : Springer Science, 1984. – P. 273–320.

29. Role of plant secondary metabolites in defence and transcriptional regulation in response to biotic stress / Anjali, S. Kumar, T. Korra [et al.] // Plant stress. – 2023. – Vol. 8. – Art. 100154. – DOI: 10.1016/j.stress.2023.100154.

30. Plant secondary metabolites – Central regulators against abiotic and biotic stresses / A. Khan, F. Kanwal, S. Ullah [et al.] // Metabolites. – 2025. – Vol. 15, N 4. – Art. 276. – DOI: 10.3390/metabo15040276.

31. Li, C. Recent Advancements in Biotic and Abiotic Stress Responses and Regulation Mechanism in Horticultural Plants / C. Li, Y. Wu // Horticulturae. – 2025. – Vol. 11, N 4. – Art. 408. – DOI: 10.3390/horticulturae11040408.

32. Głuchowska, A. Unlocking Plant Resilience: Metabolomic Insights into Abiotic Stress Tolerance in Crops / A. Głuchowska, B. Zieniuk, M. Pawełkowicz // Metabolites. – 2025. – Vol. 15, N 6. – Art. 384. – DOI: 10.3390/metabo15060384.

REFERENCES

1. Ramenskii LG. On the fundamental principles, basic concepts and terms of industrial land typology, geobotany and ecology. Sovetskaya botanika. 1935;(4):25–42. (In Russ.)

2. Grime JP. Plant strategies and vegetation processes. Chichester, UK: Wiley and Sons; 1979. 222 p

3. Grime JP. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. American Naturalist. 1977;111(982):1169–94

4. Grime JP. Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties. 2nd ed. Chichester, UK: John Wiley and Sons; 2001. 417 p

5. Grime JP, Pierce S. The Evolutionary Strategies that Shape Ecosystems. Chichester, UK: John Wiley and Sons; 2012. 240 p

6. Grime JP. The CSR model of primary plant strategies – origins, implications and tests. In: Gottlieb LD, Jain SK, editors. Plant evolutionary biology. Dordrecht, Netherlands: Springer Dordrecht; 1988. p. 371–93

7. Grime JP, Hodgson JG, Hunt R. Compar-

ative plant ecology: a functional approach to common British species. [place unknown]: Springer; 2014. 742 p

8. Buzuk GN. CSR strategies of pine forests: quantitative analysis and specialization index. Vestnik farmatsii. 2025;(3):24–32. doi: 10.52540/2074-9457.2025.3.24. (In Russ.)

9. Hodgson JG, Wilson PJ, Hunt R, Grime JP, Thompson K. Allocating C-S-R plant functional types: a soft approach to a hard problem. Oikos. 1999;85(2):282–94

10. Novakovskiy AB, Maslova SP, Dalke IV, Dubrovskiy YA. Patterns of allocation CSR plant functional types in Northern Europe. International Journal of Ecology. 2016;2016(Art 1323614). doi: 10.1155/2016/1323614

11. Novakovskiy AB, Dubrovskiy YA, Dalke IV, Maslova SP. Plant CSR types in the north: comparing the morphological and morpho-physiological approaches. Physiol Mol Biol Plants. 2021;27(4):665–73. doi: 10.1007/s12298-021-00973-9

12. Novakovskii AB, Dubrovskii IuA, Kuliugina EE, Degteva SV. Changes in the functional status of plant communities along the altitudinal gradient in the Northern and Subpolar Urals. Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2023;(3):160–70. doi: 10.25750/1995-4301-2023-3-160-170. (In Russ.)

13. Pierce S, Negreiros D, Cerabolini BEL, Kattge J, Diaz S, Kleyer M, et al. A global method for calculating plant CSR ecological strategies applied across biomes world-wide. Funct Ecol. 2017;31(2):444–57. doi: 10.1111/1365-2435.12722

14. Gaskin T, Crick B, Cavanagh AP, Huber K, Nikoloski Z, Ferguson JN. CSR Calculator: An R package and Shiny application for assigning plant ecological strategies using trait data. bioRxiv: the preprint server for biology. 2025. URL: <https://doi.org/10.1101/2025.06.06.658218> (date of access: 12.12.2025)

15. Hodgson JG, Monserrat-Martí G, Charles M, Jones G, Wilson P, Shipley B, et al. Is leaf dry matter content a better predictor of soil fertility than specific leaf area? Ann Bot. 2011;108(7):1337–45. doi: 10.1093/aob/mcr225

16. Hunt R, J. Hodgson G, Thompson K, Bunker P, Dunnett NP, Askew AP. A new practical tool for deriving a functional signature for herbaceous vegetation. Appl Veg Sci. 2004;7(2):163–70. doi: 10.1111/j.1654-109X.2004.tb00607.x

17. Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E, Diaz S, Buchmann N, Gurvich DE, et al. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. Aust J Bot. 2003;51(4):335–80. doi: 10.1071/BT02124

18. Perez-Harguindeguy N, Diaz S, Garnier E, Lavorel S, Poorter H, Jaureguiberry P, et al. Corrigendum to: New handbook for standardised

measurement of plant functional traits worldwide. *Aust J Bot.* 2016;64(8):715–6. doi: <https://doi.org/10.1071/BT12225> CO

19. Garnier E, Shipley B, Roumet C, Laurent G. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Funct Ecol.* 2001;15(5):688–95. doi: 10.1046/j.0269-8463.2001.00563.x

20. Buzuk GN. Determination of projective cover and yield using photo point method. *Vestnik farmatsii.* 2013;(3):74–80. (In Russ.)

21. Buzuk GN, Sozinov OV. Methods for accounting for the projective cover of plants: a comparative assessment using photo plots. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk.* 2014;16(5):1644–9. (In Russ.)

22. Buzuk GN. Application of growth functions and asymptotic functions in determining the projective cover and yield of medicinal plants. *Vestnik farmatsii.* 2014;(1):59–67. (In Russ.)

23. Kuz'micheva NA, Buzuk GN, Lomako EV. Linear and nonlinear relationships between yield and projective cover of medicinal plants. *Vestnik farmatsii.* 2015;(1):24–8. (In Russ.)

24. Rudenko EV, Buzuk GN, Kuz'micheva NA. Determining the quality of approximation of the dependencies of yield and projective cover of lily of the valley using the Weibull function and allometric. *Vestnik farmatsii.* 2017;(1):41–7. (In Russ.)

25. Mahanta DJ, Borah M. Parameter Estimation of Weibull Growth Models in Forestry. *International Journal of Mathematics Trends and Technology.* 2014;8(2):157–63. doi: 10.14445/22315373/IJMTT-V8P521

26. Winkel-Shirley B. Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Curr Opin Plant Biol.* 2002;5(3):218–23. doi: 10.1016/s1369-5266(02)00256-x

27. Bhattacharyya P, Ghosh A. Medicinal

Plants Metabolomics in Response to Abiotic Stresses. In: Husen A, Iqbal M, editors. *Medicinal Plants: Their Response to Abiotic Stress.* Singapore: Springer Nature Singapore; 2023. p. 109–25

28. Gershenzon J. Changes in the levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. In: Timmermann BN, Steelink C, Loewus FA, editors. *Phytochemical adaptations to stress.* New York, USA: Springer Science; 1984. p. 273–320

29. Anjali, Kumar S, Korra T, Thakur R, Arutselvan R, Kashyap AS, et al. Role of plant secondary metabolites in defence and transcriptional regulation in response to biotic stress. *Plant stress.* 2023;8(Art 100154). doi: 10.1016/j.stress.2023.100154

30. Khan A, Kanwal F, Ullah S, Fahad M, Tariq L, Altaf MT, et al. Plant secondary metabolites – Central regulators against abiotic and biotic stresses. *Metabolites.* 2025;15(4 Art 276). doi: 10.3390/metabo15040276

31. Li C, Wu Y. Recent Advancements in Biotic and Abiotic Stress Responses and Regulation Mechanism in Horticultural Plants. *Horticulturae.* 2025;11(4 Art 408). doi: 10.3390/horticulturae11040408

32. Głuchowska A, Zieniuk B, Pawełkowicz M. Unlocking Plant Resilience: Metabolomic Insights into Abiotic Stress Tolerance in Crops. *Metabolites.* 2025;15(6 Art 384). doi: 10.3390/metabo15060384

Адрес для корреспонденции:

г. Витебск, Республика Беларусь,

тел. +375-29-715-08-38,

e-mail: buzukg@mail.ru,

профессор, доктор фармацевтических наук,

Бузук Г. Н.

Поступила 12.12.2025 г.

УДК: 615.322

DOI: <https://doi.org/10.52540/2074-9457.2025.4.33>

А. А. Осипова, А. А. Погочкая

**ФИТОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АЛТЕЯ АРМЯНСКОГО
(*ALTHAEA ARMENIACA* TEN.) КАК ПЕРСПЕКТИВНОГО ИСТОЧНИКА
ПОЛИСАХАРИДОВ**

**Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет,
г. Витебск, Республика Беларусь**

В настоящее время корни алтея армянского используются в медицине и фармации как отхаркивающее и противовоспалительное средство для лечения заболеваний верхних дыхательных путей. Представляет интерес изучение химического состава надземной части алтея армянского, поскольку литературных данных, касающихся содержания групп биологически активных веществ в растении, недостаточно для разработки ме-