

ФАРМАКОГНОЗИЯ И БОТАНИКА

УДК 633.8

DOI: <https://doi.org/10.52540/2074-9457.2023.4.24>

Г. Н. Бузук, Е. В. Руденко, Н. А. Кузьмичева

МЕТОД ПРОЕКТИВНОГО ПОКРЫТИЯ В РЕСУРСОВЕДЕНИИ: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

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

*В результате проведенных исследований усовершенствована методика определения урожайности (плотности запаса сырья) по проективному покрытию. Предложено, помимо проективного веса (синоним: «цена» 1% проективного покрытия), использование проективного фитообъема. На примере двух объектов с линейной (живучка ползучая – *Ajuga reptans*) и нелинейной (сныть обыкновенная – *Aegorodium podagraria*) зависимостью проективного покрытия от биомассы показана большая точность определения урожайности при использовании проективного фитообъема и нелинейной регрессии на основе функции Weibull. Предложены формулы для расчета урожайности в целом на пробной площади или ключевом участке или на каждой учетной площадке (УП) в отдельности, в том числе раскрыты преимущества и недостатки. Рассмотрены варианты заложения учетных площадок на обследуемой территории. Отмечено существование ограничений в экстраполяции полученных в результате статистической обработки данных.*

Ключевые слова: ресурсоведение, проективное покрытие, линейная и нелинейная регрессии, функция Weibull.

ВВЕДЕНИЕ

В ботаническом ресурсоведении и в ресурсоведении лекарственных растений в частности, одним из способов определения урожайности (плотности запаса сырья) является метод проективного покрытия. Метод впервые был предложен в 1909 году Л. Г. Раменским, который в течение многих лет его совершенствовал и адаптировал для определения продуктивности кормовых угодий [1–3]. Его суть состоит в косвенном определении обилия (урожайности, биомассы) по их проективному покрытию. С этой целью им предложена формула (1):

$$G = (g/qs)p, \quad (1)$$

где G – весовой запас (биомасса) растений растительного сообщества;

g – масса растений на УП;

q – проекция растений на УП;

s – площадь УП;

p – проективное обилие (покрытие).

Здесь g/qs представляет собой отноше-

ние массы растения на учетной площадке (УП) на единицу площади его проекции. Данное отношение Л. Г. Раменский назвал вначале «проективно-весовым коэффициентом», позже – «проективным весом». В современной литературе этот показатель более известен как «цена» 1% проективного покрытия [1–3].

После апробирования метода в полевых условиях, Л. Г. Раменский усовершенствовал уравнение (1), добавив в него высоту растений – h и параметр f, характеризующий специфические особенности морфологии растений, такие как отношение числа цветочных побегов к проекции растения [1].

В адаптированном виде метод используется для определения запасов лекарственных растений [4], включен в учебники, учебные и методические пособия, указания по ботаническому ресурсоведению и ресурсоведению лекарственных растений.

С помощью данного метода при определении урожайности устанавливают две величины: среднее проективное покрытие

вида в пределах заросли и выход массы сырья с 1% проективного покрытия («цена» 1% проективного сырья). Для определения «цены» 1% покрытия на каждой площадке срезают и взвешивают сырье с площади 1 дм². При определении проективного покрытия с помощью квадрат-сетки площадью 1 м², разделенной проволокой или леской на 100 ячеек, каждая из которых равна 1 дм² (то есть, составляет 1% площади рамки), совершенно неясно, с какой из 100 ячеек срезать сырье. При этом они в разной степени заполнены частями исследуемых растений. Если с этой целью брать только полностью заполненные ячейки, то это в будущем приведет к получению завышенных результатов, так как часть ячеек квадрата сетки может быть заполнена лишь частично, а другая часть быть пустой. Кроме того, определение проективного покрытия путем подсчета ячеек сетки наполовину и более заполненных частями исследуемого вида несет в себе дополнительную погрешность, которая может быть исправлена подсчетом не числа ячеек, а узлов сетки, которые проецируются на части исследуемого вида растения [4–5].

Вместе с тем, из приведенных выше данных Л. Г. Раменского [1] следует, что «цену» 1% проективного сырья определяют делением массы (m, в г) растений с УП на проективное покрытие (p, в %) вида на УП с учетом площади (S, в м²) УП (формула (2)):

$$K = m./(p \times S). \quad (2)$$

Этот показатель имеет размерность г/(м² %). Произведение K на проективное покрытие УП (p) дает урожайность сырья (m) на УП в г/м².

Такой показатель, как высота растений, при определении их урожайности (биомассы) вовсе не учитывается и не используется.

Целью настоящей работы явилось совершенствование методики определения урожайности растений методом проективного покрытия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве модельных растительных объектов нами были выбраны сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*) и живучка ползучая (*Ajuga reptans*). Работа

выполнена в смешанном лесу в окрестностях г. Витебска, Республика Беларусь. Пробные площади размером 100–400 м² закладывали в фитоценозах с различными условиями произрастания растений.

Для проведения калибровки в пределах пятен исследуемых видов на каждой пробной площади или ключевом участке закладывали 15–20 УП размером 48 × 35 см (S = 0,17 м²), 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 растений (например, орляк, подрост древесных растений), перекрывающие исследуемый вид. Высоту растений определяли с помощью линейки в см. Затем с УП срезали 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 среза. Затем определяли проективное покрытие, как описано ранее [6–7].

Для расчетов использовали следующие формулы:

$$m = m./S \text{ – урожайность, г/м}^2; \quad (3)$$

$$h = h./100 \text{ – высота растений, м}; \quad (4)$$

$$k1 = m./p \text{ – проективный вес, г/(м}^2 \cdot \%); \quad (5)$$

$$k2 = k1./h \text{ – проективный фитообъем, г/(м}^3 \cdot \%); \quad (6)$$

Для аппроксимации зависимости между биомассой растений на УП и проективным покрытием использовали линейную регрессию и функцию Weibull [8–11]:

$$y = a + bx \text{ – функция Linear,} \quad (7)$$

$$y = a(1 - \exp(-bx^c)) - \text{функция Weibull. (8)}$$

Во всех случаях в качестве независимой переменной использовали биомассу (x, m), а зависимой (y, p) – проективное покрытие. Это связано с тем, что при выборе показателя в качестве зависимой или независимой переменной степень аппроксимации для нелинейной формы зависимости может существенно отличаться. В дальнейшем в качестве зависимой переменной нами принято проективное покрытие, а независимой – урожайность (проективное покрытие создается биомассой растений, а не наоборот) [8].

Для перехода от проективного покрытия (в формулах y или p) к биомассе (в формулах x или m) использовали обратные уравнения:

$$x = (y-a)/b - \text{обратная функция Linear, (9)}$$

$$x = \exp((\log((-\log(1-(y/a)/b))))/c) - \text{обратная функция Weibull. (10)}$$

Для математических расчетов и визуализации результатов применялся Matlab,

а также собственные программы, написанные в среде Matlab. В формулах сохранены названия, стиль и действия Matlab: sum – сумма, mean – среднее, exp или e – экспонента, p./h – означает поэлементное деление вектора p на вектор h и т. д. Формулы могут быть легко адаптированы для работы в Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные по биомассе (m), проективному покрытию (p), высоте (h), проективному весу ($k1$) и проективному фитообъему ($k2$) растений *Aegopodium podagraria* представлены в таблице 1.

Обращает на себя внимание высокая вариабельность биомассы, проективного покрытия и несколько меньшая – высоты растений, проективного веса и фитообъема (таблица 1). Это обусловлено преднамеренным заложением УП во всем диапазоне проективного покрытия от наименьшего до максимального. Особый интерес представляет зависимость $k1$ и $k2$ от проективного покрытия. Для $k1$ она снижается, а для $k2$ вовсе отсутствует (рисунок 1).

Это позволяет использовать средние

Таблица 1. – Биомасса (m), проективное покрытие (p), высота (h), проективные вес ($k1$) и фитообъем ($k2$) растений *Aegopodium podagraria* на УП

| n | m, г/м ² | p, % | h, м | k1, г/м ² % | k2, г/м ³ % |
|------|---------------------|------|-------|------------------------|------------------------|
| 1 | 358,8 | 85 | 0,2 | 4,22 | 21,11 |
| 2 | 282,4 | 83 | 0,23 | 3,40 | 14,79 |
| 3 | 571,2 | 90,5 | 0,35 | 6,31 | 18,03 |
| 4 | 204,7 | 59 | 0,28 | 3,47 | 12,39 |
| 5 | 253,5 | 77,5 | 0,22 | 3,27 | 14,87 |
| 6 | 125,9 | 47,5 | 0,16 | 2,65 | 16,56 |
| 7 | 222,9 | 77 | 0,24 | 2,90 | 12,06 |
| 8 | 146,5 | 52,5 | 0,28 | 2,79 | 9,96 |
| 9 | 22,9 | 13 | 0,23 | 1,76 | 7,67 |
| 10 | 35,3 | 21,5 | 0,2 | 1,64 | 8,21 |
| 11 | 188,8 | 74 | 0,22 | 2,55 | 11,60 |
| 12 | 109,4 | 31 | 0,22 | 3,53 | 16,04 |
| 13 | 174,1 | 75 | 0,28 | 2,32 | 8,29 |
| 14 | 152,9 | 62,5 | 0,25 | 2,45 | 9,79 |
| 15 | 70,6 | 29 | 0,17 | 2,43 | 14,32 |
| 16 | 317,6 | 95 | 0,25 | 3,34 | 13,37 |
| 17 | 476,5 | 90,5 | 0,38 | 5,26 | 13,85 |
| 18 | 264,7 | 79 | 0,26 | 3,35 | 12,89 |
| 19 | 122,9 | 52,5 | 0,18 | 2,34 | 13,01 |
| 20 | 8,8 | 4,5 | 0,1 | 1,96 | 19,61 |
| mean | 205,5 | 60,0 | 0,24 | 3,10 | 13,42 |
| std | 145,9 | 27,6 | 0,06 | 1,14 | 3,69 |
| Cv | 71,0 | 46,0 | 26,86 | 36,82 | 27,49 |

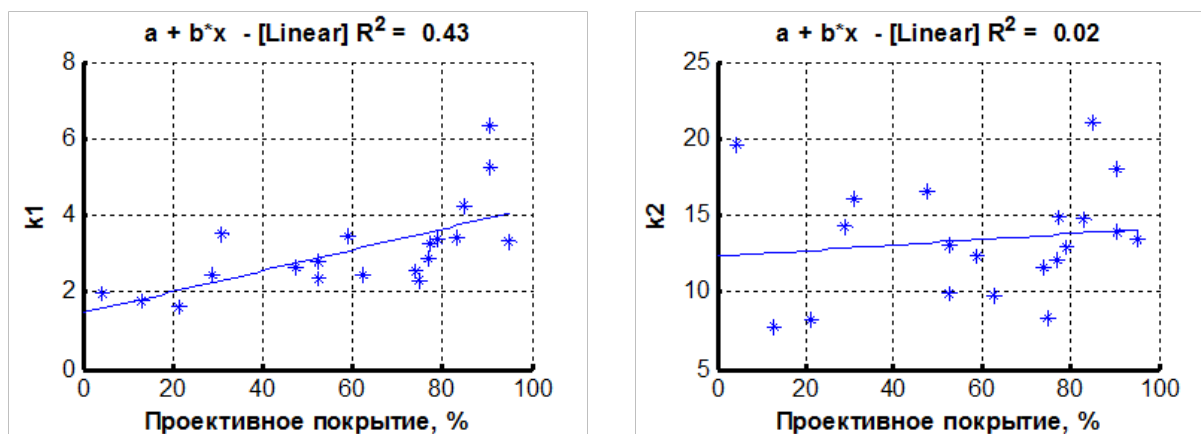


Рисунок 1. – Зависимости k_1 и k_2 от проективного покрытия *Aegopodium podagraria*

значения k_1 и k_2 для расчета урожайности *Aegopodium podagraria* на УП и в целом на пробной площади или участке растительного сообщества. Предпочтение следует отдать k_2 , величина которого практически не зависит от проективного покрытия (рисунок 1). Вычисления проводят по следующим формулам, в том числе:

для всей пробной площади или опытного (ключевого) участка (W):

$$\begin{aligned} W &= \text{mean}(k_1) \cdot \text{mean}(p); \\ W &= \text{mean}(\text{mean}(k_1) \cdot p); \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} W &= \text{mean}(k_2) \cdot \text{mean}(p) \cdot \text{mean}(h); \\ W &= \text{mean}(\text{mean}(k_2) \cdot (p \cdot h)); \end{aligned} \quad (12)$$

раздельно для каждой УП (w):

$$w = \text{mean}(k_1) \cdot p; \quad (13)$$

$$w = \text{mean}(k_2) \cdot (p \cdot h). \quad (14)$$

Напомним, что k_1 соответствует «цене» 1% проективного покрытия или проективному весу, в то время как k_2 – проективному фитообъему, при расчете которого учитывается и высота растений. Фактически же использование k_1 и в большей степени k_2 нивелирует нелинейность зависимости проективного покрытия от биомассы, а также зависимость коэффициента от проективного покрытия. В этом случае вычисление биомассы на УП сводится в общем виде к простейшему уравнению:

$$\begin{aligned} w &= \text{mean}(k_1) \cdot p, \\ w &= \text{mean}(k_2) \cdot p, \end{aligned} \quad (15)$$

где w – биомасса с УП, г/м²;

p – проективное покрытие на УП, в %.

Другим способом расчета урожайности является использование регрессионного анализа. Для сравнения нами использовалась линейная регрессия и нелинейная функция Weibull, которая широко применяется в биологии для анализа процессов роста живых организмов [12].

Как показали наши предыдущие исследования, функция Weibull является лучшей для аппроксимации зависимостей между биомассой и проективным покрытием [9–11].

Полученные данные представлены на рисунке 2.

Как видно из данных, приведенных на рисунке 2, зависимость между биомассой и проективным покрытием носит ясно выраженный нелинейный характер. Область различия при аппроксимации зависимости между проективным покрытием и биомассой с помощью линейной регрессии и нелинейной функции Weibull выделена красным цветом и представлена на рисунке 3.

Как можно увидеть из рисунка 3, линейная регрессия завышает проективное покрытие при низких и высоких значениях биомассы и занижает – при средних. Кроме того, линейная регрессия не проходит через начало координат, что создает странный феномен – отрицательные значения биомассы при низком проективном покрытии. Так как такое явление наблюдалось неоднократно, рекомендуется использовать для расчетов с помощью линейной регрессии диапазон проективного покрытия от 10 до 70% [13].

Вычисления проводили по следующим

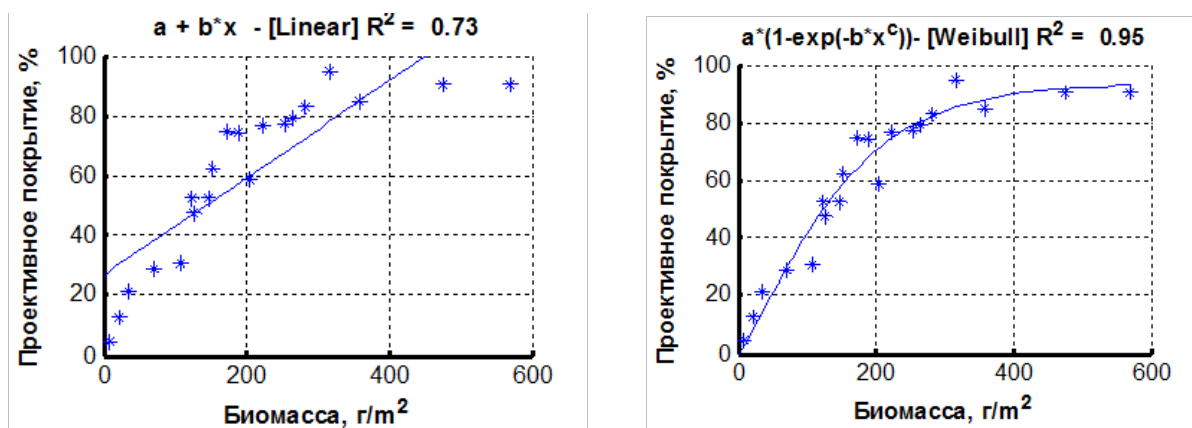


Рисунок 2. – Зависимости проективного покрытия от биомассы *Aegopodium podagraria*

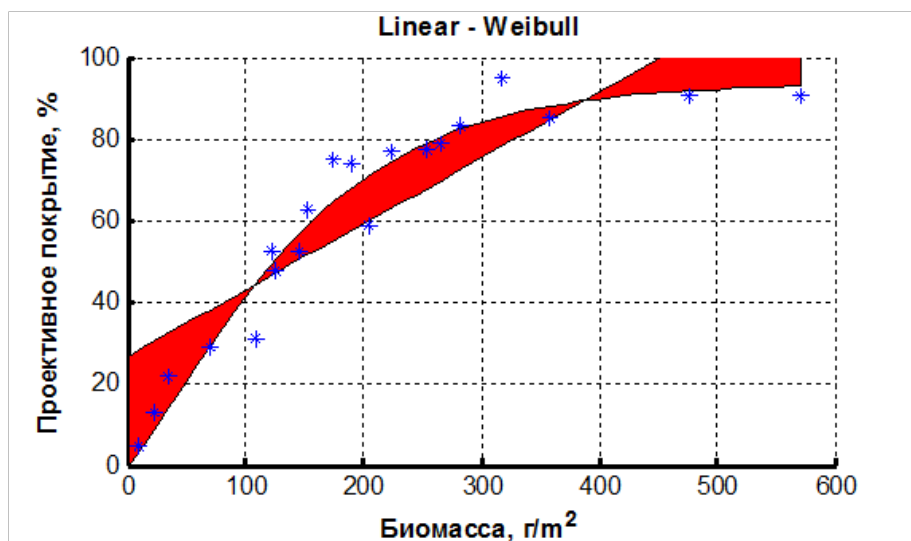


Рисунок 3. – Область различия зависимостей проективного покрытия от биомассы *Aegopodium podagraria* от вида регрессии

обратным формулам:

для линейной регрессии:

$$w = (p-a)/b ;$$

$$W = \text{mean}(w), \tag{16}$$

$$W = (\text{mean}(p)-a)/b; \tag{17}$$

для нелинейной регрессии (функции Weibull):

$$w = \exp((\log((-\log(1-(p/a)/b))))/c);$$

$$W = \text{mean}(w), \tag{18}$$

$$W = \exp((\log((-\log(1-(\text{mean}(p)/a)/b))))/c), \tag{19}$$

где w – урожайность на УП;
W – средняя урожайность на проб-

ной площади или опытном (ключевом) участке.

Данные по биомассе (m), проективному покрытию (p), высоте (h), проективному весу (k1) и проективному фитообъему (k2) растений *Ajuga reptans* представлены в таблице 2.

Как и в случае с *Aegopodium podagraria*, для *Ajuga reptans* также наблюдается высокая вариабельность биомассы, проективного покрытия и несколько меньшая – высоты растений, проективного веса и фитообъема (таблица 1). Это, как уже отмечалось ранее, обусловлено преднамеренным заложением УП во всем диапазоне проективного покрытия от наименьшего до максимального для получения калибровки.

Как видно из рисунка 4, зависимость k1 от проективного покрытия для

Таблица 2. – Биомасса (m), проективное покрытие (p), высота (h), проективные вес (k1) и фитообъем (k2) растений *Ajuga reptans* на УП

| n | m, г/м ² | p, % | h, м | k1, г/м ² % | k2, г/м ³ % |
|------|---------------------|------|-------|------------------------|------------------------|
| 1 | 178,2 | 41 | 0,25 | 4,35 | 17,39 |
| 2 | 227,1 | 44 | 0,25 | 5,16 | 20,64 |
| 3 | 289,4 | 46 | 0,25 | 6,29 | 25,17 |
| 4 | 237,6 | 45 | 0,25 | 5,28 | 21,12 |
| 5 | 126,5 | 16 | 0,25 | 7,90 | 31,62 |
| 6 | 262,9 | 28 | 0,2 | 9,39 | 46,95 |
| 7 | 65,3 | 14,5 | 0,22 | 4,50 | 20,47 |
| 8 | 62,4 | 12,5 | 0,22 | 4,99 | 22,67 |
| 9 | 41,8 | 12 | 0,16 | 3,48 | 21,75 |
| 10 | 36,5 | 16 | 0,2 | 2,28 | 11,40 |
| 11 | 82,4 | 18 | 0,2 | 4,58 | 22,88 |
| 12 | 96,5 | 15 | 0,2 | 6,43 | 32,16 |
| 13 | 61,8 | 17,5 | 0,2 | 3,53 | 17,65 |
| 14 | 77,1 | 22 | 0,2 | 3,50 | 17,51 |
| 15 | 11,2 | 8 | 0,15 | 1,40 | 9,31 |
| 16 | 148,2 | 27 | 0,2 | 5,49 | 27,45 |
| 17 | 102,4 | 24 | 0,22 | 4,26 | 19,39 |
| 18 | 71,2 | 12 | 0,2 | 5,93 | 29,66 |
| 19 | 68,2 | 22 | 0,05 | 3,10 | 62,03 |
| 20 | 197,1 | 27,5 | 0,25 | 7,17 | 28,66 |
| mean | 122,2 | 23,4 | 0,206 | 4,95 | 25,29 |
| std | 82,2 | 11,9 | 0,05 | 1,91 | 11,91 |
| Cv | 67,3 | 51,0 | 22,85 | 38,60 | 47,07 |

Ajuga reptans весьма незначительна, а зависимость k2 вовсе отсутствует.

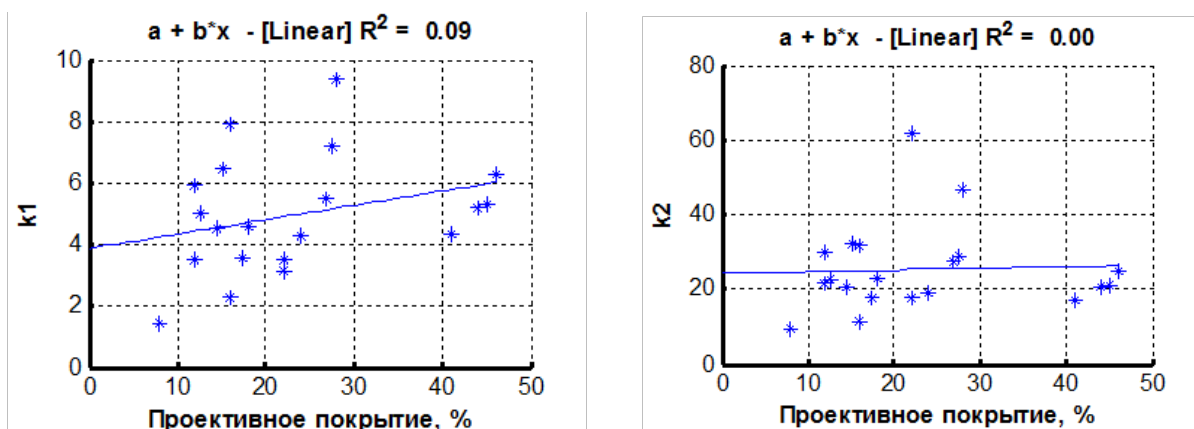
Вычисления проводили по формулам (11–14), как и для *Aegopodium podagraria*.

Как видно из данных, представленных на рисунке 5, в отличие от *Aegopodium podagraria*, зависимость проективного покрытия *Ajuga reptans* от биомассы носит практически линейный характер. Обе регрессии – линейная и нелинейная – аппроксимирует практически с одинаковым

коэффициентом детерминации (R^2) – 0,76–0,77. Линейный характер зависимости может быть отчасти связан с низким проективным покрытием *Ajuga reptans*, недостаточным для выхода на асимптоту.

Вычисления биомассы по проективному покрытию проводили по приведенным выше для *Aegopodium podagraria* обратным формулам (16–19) для линейной и нелинейной регрессии.

Как видно из рисунка 6, практически

Рисунок 4. – Зависимости k1 и k2 от проективного покрытия *Ajuga reptans*

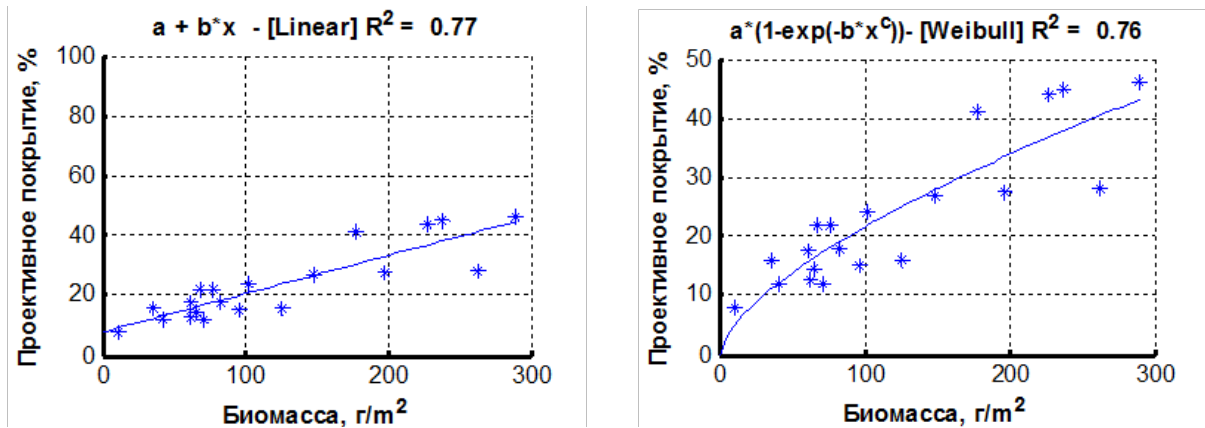


Рисунок 5. – Зависимости проективного покрытия от биомассы *Ajuga reptans*

не наблюдается расхождения в линейной и нелинейной регрессиях. Разница лишь в том, что линейная регрессия, как и в слу-

чае с *Aegopodium podagraria*, не проходит через начало координат.

Таким образом, в результате прове-

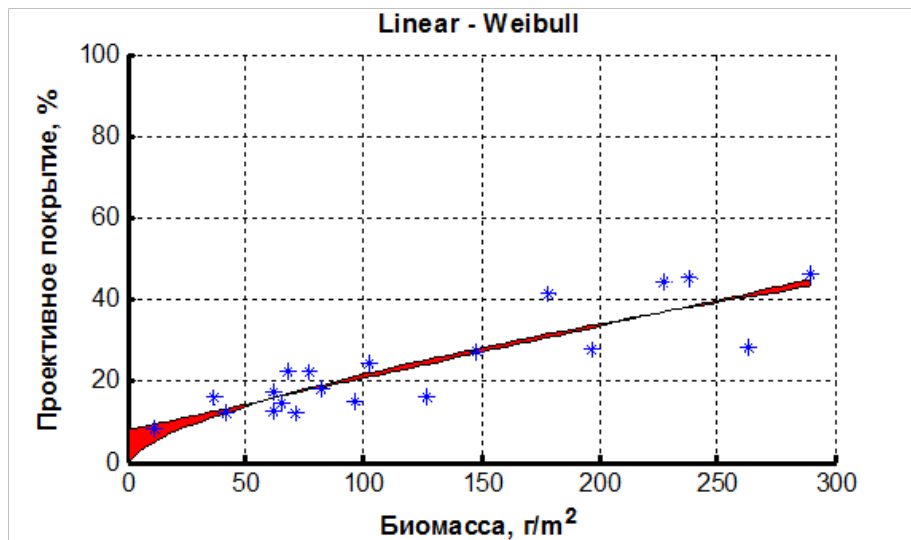


Рисунок 6. – Область различия зависимостей проективного покрытия от биомассы *Ajuga reptans* от вида регрессии

денных исследований показана возможность определения биомассы растений по проективному покрытию с применением «безрегрессионного» анализа с помощью проективного веса и объема, а также «регрессионного» анализа с использованием линейной и нелинейной регрессий. Лучшие результаты получаются при использовании проективного объема и нелинейной регрессии на основе функции Weibull (таблица 3). Последняя регрессия является более гибкой и позволяет аппроксимировать как линейные, так и нелинейные зависимости, что придает ей универсальный характер для использования как в прикладных, так и фундаментальных исследованиях.

На основе функции Weibull могут быть рассчитаны и другие показатели, включая скорость роста, максимальную скорость роста, относительную скорость роста как функцию биомассы, относительную скорость роста как функцию проективного покрытия, точку перегиба, асимптоту [12] (таблица 4).

Так, например, коэффициент *a* (асимптота) может характеризовать максимальную продуктивность вида, другие показатели, по аналогии с процессами роста живых организмов, поведение ценопопуляции вида в исследуемом растительном сообществе.

После проведения калибровки, как

Таблица 3. – Сравнительная характеристика результатов определения урожайности растений с использованием проективного веса (k1), проективного объема (k2), линейной (LR) и нелинейной (WR) регрессий

| <i>Aegopodium podagraria</i> | | | | | |
|--------------------------------|------|-------|------|-------|------|
| Name | Nam | k1 | k2 | LR | WR |
| Mean absolute error | MAE | 158,6 | 36,7 | 72,5 | 36,4 |
| Root mean squared error | RMSE | 197,3 | 55,2 | 86,0 | 58,6 |
| Mean absolute erelative error | MARE | 0,8 | 0,2 | 1,4 | 0,2 |
| Mean squared relative error | MSRE | 0,6 | 0,1 | 15,1 | 0,1 |
| Mean absolute percentage error | MAPE | 75,1 | 23,6 | 143,7 | 20,7 |
| <i>Ajuga reptans</i> | | | | | |
| Mean absolute error | MAE | 97,1 | 31,4 | 34,9 | 36,6 |
| Root mean squared error | RMSE | 117,6 | 42,0 | 43,8 | 47,5 |
| Mean absolute relative error | MARE | 0,8 | 0,4 | 0,4 | 0,3 |
| Mean squared relative error | MSRE | 0,6 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |
| Mean absolute percentage error | MAPE | 76,7 | 37,2 | 35,5 | 33,9 |

Таблица 4. – Показатели роста растений, которые могут быть рассчитаны с помощью функции Weibull

| |
|--|
| $abcx^{c-1} e^{-bx^c}$ – скорость роста |
| $acb^{1/c} e^{(1-c)/c^2}$ – максимальная скорость роста |
| $a^2bcx^{c-1}(e^{bx^c} - 1)^{-1}$ – относительная скорость роста как функция времени |
| $bc\left(\frac{1}{b} \ln \frac{a}{a-y}\right)^{(c-1)/c} \frac{a-y}{y}$ – относительная скорость роста как функция биомассы |
| $a - ae^{(1-c)/c}$ – точка перегиба |

Обозначения: x – проективное покрытие (p), y – биомасса, a, b и c – коэффициенты функции Weibull, e – экспонента (exp).

описано выше, в пределах пробной площади или участка леса или луга, ключевого участка, закладывают УП.

Относительно порядка заложения УП в пределах изучаемого растительного сообщества, как утверждает В. И. Василевич [14], наиболее безупречным является случайное расположение УП. Однако такой способ трудно реализуем на практике, так как связан с необходимостью проведения в полевых условиях разметки и определения координат УП с использованием таблицы случайных чисел или их генератор. При этом некоторые УП могут в большей или меньшей степени накладываться друг на друга. Пример систематического и случайного размещения УП приведен на рисунке 7. Даже с использованием современных средств, таких как лазерные дальномеры, это осуществить достаточно сложно и, кроме того, сопровождается существенным повреждением растительности. А для определения проективного покрытия с помощью фото точек нужна неповрежденная растительность. Поэтому чаще практикуется систематическое заложение УП (рисунок 7) или гибридное (псевдос-

лучайное), когда вдоль равномерно расположенных линий (как в систематическом варианте) расстояния между УП на линии определяют, используя случайные числа.

Следует отметить, что полученные данные по урожайности растений на УП представляют собой выборочные данные из генеральной совокупности. Они могут быть обосновано перенесены на ту генеральную совокупность, из которой взята выборка, т. е. площадь растительного сообщества, в пределах которого были заложены УП (пробная площадь, ключевой участок и т. п.). Все выводы, полученные в результате статистической обработки, могут быть экстраполированы только на данную пробную площадь или ключевой участок [14].

Закладывают УП в следующем порядке. При ограниченном размере пробной площади делают разметку с помощью колышков и шнура на 7–10 линий, закладывают УП вдоль линий систематически или псевдо систематически, затем делают фото каждой УП. Вместо разметки с помощью шнура можно использовать подсветку мощной лазерной указкой. На обработку одной УП уходит всего несколько минут. Общее

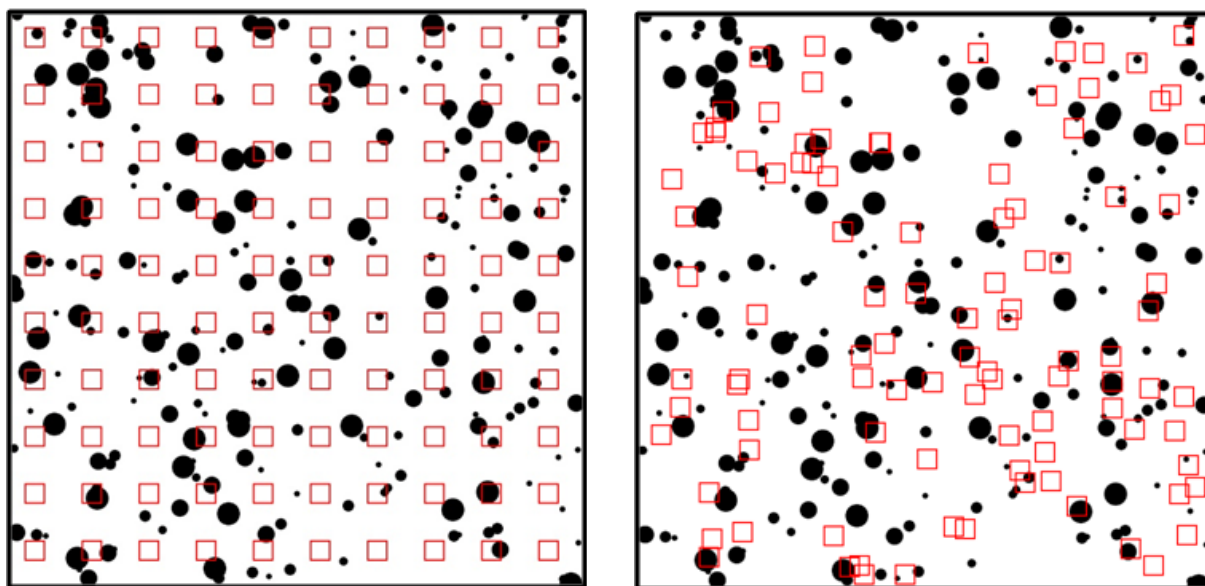


Рисунок 7. – Систематическое (слева) и случайное (справа) расположение УП (черные точки означают проекции растений, которые расположены случайным образом) на пробной площади или ключевом участке

количество УП на всей пробной площади должно быть в пределах 100 [15–17].

В случае значительной по размеру площади исследуемого участка используют GPS. Сначала в условиях лаборатории, используя доступные карты Google и программы работы с цифровыми картами, например, Oziexplorer или аналогичные, на контур исследуемого участка (леса, луга, болота) наносят точки с координатами в узлах сетки, используя соответствующий масштаб сетки для получения примерно 100 точек [15–18]. Затем координаты переносят в GPS устройство, в качестве которого может выступать смартфон или специализированный прибор, обеспечивающий большую точность привязки. Далее на местности, следуя от точки к точке по координатам GPS, закладывают УП и делают их фото. Расчет проективного покрытия проводят уже в лабораторных условиях [6, 7]. Далее, используя калибровку, проводят расчеты урожайности в пределах каждой УП (w) или всего участка (W), используя формулы (11–19), регрессионным или безрегрессионным способом.

Дальнейшим этапом ресурсоведческого исследования является создание карты урожайности исследуемого вида на пробной площади или ключевом участке с помощью геостатистических методов, в том числе таких, как кригинг, с возможной

привязкой к типам растительности, экологическим условиям и т. д. [16–19].

Что касается расчета других ресурсных показателей растительного сырья, таких как биологический и эксплуатационный запас, то они достаточно подробно изложены в методических пособиях [20, 21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований установлено, что лучшим способом расчета при определении урожайности растений методом проективного покрытия является использование нелинейной регрессии на основе функции Weibull, которая является более гибкой и позволяет аппроксимировать как линейные, так и нелинейные зависимости. Другим важным моментом использования функции Weibull является прохождение регрессии через начало координат. Наряду с регрессионным способом, возможно определение урожайности растений с использованием проективного веса и проективного объема. При этом определение проективного объема требует дополнительного измерения на УП средней высоты растений. Достоинством использования проективного веса и проективного объема является отсутствие сложных вычислений коэффициентов нелинейной регрессии.

SUMMARY

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

PROJECTIVE COVER METHOD
IN RESOURCE SCIENCE:

OPPORTUNITIES AND LIMITATIONS

As a result of the research conducted the methodology for determining the yield (density of raw material stock) for projective cover has been improved. In addition to projective weight (synonym: "price" of 1% projective cover), the use of projective phyto-weight is proposed. On the example of two objects with linear (bugle – *Ajuga reptans*) and non-linear (ashweed – *Aegopodium podagraria*) dependence of projective cover on biomass, a greater accuracy of yield determination when using projective phytovolume and nonlinear regression based on the Weibull function is shown. Formulas for calculating yield as a whole either on the plot or key area, or on each quadrat (Q) separately including advantages and disadvantages are proposed. Options for laying quadrats on the surveyed area are considered. It is noted that there are limitations in extrapolation of the data obtained as a result of statistical processing.

Keywords: resource science, projective cover, linear and nonlinear regression, Weibull function.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голуб, В. Б. Леонтий Григорьевич Раменский и его время (жизнь и труды) / В. Б. Голуб. – Санкт-Петербург: Марафон, 2022. – 292 с.
2. Раменский, Л. Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель / Л. Г. Раменский. – Москва: Сельхозгиз, 1938. – 620 с.
3. Раменский, Л. Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова / Л. Г. Раменский. – Ленинград: Наука, 1971. – 333 с.
4. Методика определения запасов лекарственных растений / А. И. Шретер [и др.]. – Москва: Тип. ЦБНТИ лесхоза, 1986. – 51 с.
5. Бузук, Г. Н. Оптимизация точности учета проективного покрытия при использовании квадрата-сетки / Г. Н. Бузук // Бюл. Брянского отделения Рус. ботанич. о-ва. – 2015. – № 1. – С. 22–25.
6. Бузук, Г. Н. Определение проективного покрытия и урожайности при использовании фото точек (photo point method) / Г. Н. Бузук // Вестн. фармации. – 2013. – № 3. – С. 74–80.
7. Бузук, Г. Н. Методы учета проективного покрытия растений: сравнительная оценка с использованием фотоплощадок / Г. Н. Бу-

зук, О. В. Созинов // Изв. Самарского науч. центра Рос. акад. наук. – 2014. – Т. 16, № 5. – С. 1644–1649.

8. Бузук, Г. Н. Характер связей между проективным покрытием и урожайностью побегов брусники в сосняке зеленомошном / Г. Н. Бузук // Вестн. фармации. – 2013. – № 4. – С. 44–49.

9. Бузук, Г. Н. Применение функций роста и асимптотических функций при определении проективного покрытия и урожайности лекарственных растений / Г. Н. Бузук // Вестн. фармации. – 2014. – № 1. – С. 59–67.

10. Кузьмичева, Н. А. Линейные и нелинейные связи урожайности и проективного покрытия лекарственных растений / Н. А. Кузьмичева, Г. Н. Бузук, Е. В. Ломако // Вестн. фармации. – 2015. – № 1. – С. 24–28.

11. 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 // Вестн. фармации. – 2017. – № 1. – С. 41–47.

12. Mahanta, D. J. Parameter Estimation of Weibull Growth Models in Forestry / D. J. Mahanta, M. Borah // Intern. j. of mathematics trends and technology. – 2014. – Vol. 8, N 3. – P. 157–163.

13. Созинов, О. В. Определение ресурсных показателей растений: регрессионные зависимости и проективный вес *Vaccinium vitis-idaea* / О. В. Созинов, Г. Н. Бузук // Социально-эколог. технологии. – 2017. – № 4. – С. 9–26.

14. Василевич, В. И. Требования, необходимые для получения достоверных данных в работах по биологической продуктивности / В. И. Василевич // Ботанич. журн. – 1969. – Т. 54, № 1. – С. 111–117.

15. Бузук, Г. Н. Уровни точности учета проективного покрытия при использовании линий точек (line point method) и линий пересечения (line intercept method) / Г. Н. Бузук // Вестн. фармации. – 2013. – № 4. – С. 12–17.

16. Созинов, О. В. Эколого-ценотическая и ресурсоведческая характеристика *Cotarum palustre* (Rosaceae) в условиях пойменного болота Споровское (Республика Беларусь) / О. В. Созинов, Д. Г. Груммо // Растительные ресурсы. – 2016. – Т. 52, № 3. – С. 321–338.

17. Созинов, О. В. Оптимизация оценки урожайности сырья *Ledum palustre* (Ericaceae) на ключевом участке / О. В. Созинов // Растительные ресурсы. – 2015. – Т. 51, № 2. – С. 213–220.

18. Бузук, Г. Н. Гридинг в ботаническом ресурсоведении: модельный эксперимент и методика / Г. Н. Бузук // Вестн. фармации. – 2016. – № 2. – С. 55–63.

19. Бузук, Г. Н. Определение фитообъема компонентов растительного покрова с использованием линий точек: вариограммный анализ и кригинг / Г. Н. Бузук // Вестн. фармации. –

2016. – № 4. – С. 30–38.

20. Буданцев, А. Л. Ресурсоведение лекарственных растений: метод. пособие к про-изв. практике для студентов фармацевт. фак. / А. Л. Буданцев, Н. П. Харитоновна. – Санкт-Петербург: С.-Петерб. гос. хим.-фармацевт. акад., 1999. – 87 с.

21. Ботаническое ресурсоведение: клас-сификация и оценка запасов полезных рас-тений: учеб.-метод. пособие / А. А. Егоров [и др.] ; под. общ. ред. А. Л. Буданцева. – Санкт-Петербург: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2023. – 100 с.

REFERENCES

1. Golub VB. Leonty Grigorievich Ramensky and his time (life and works). Sankt-Peterburg, RF: Marafon; 2022. 292 s. (In Russ.)

2. Ramenskii LG. Introduction to complex soil-geobotanical land research. Moskva, RF: Sel'khozgiz; 1938. 620 s. (In Russ.)

3. Ramenskii LG. Selected works. Problems and methods of studying vegetation cover. Lenin-grad, RF: Nauka; 1971. 333 s. (In Russ.)

4. Shreter AI, Krylova IL, Borisova NA, Kur-lovich LE, Bocharov IV. Methodology for deter-minating reserves of medicinal plants. Moskva, RF: Tipografiia TsBNTI leskhoza; 1986. 51 s. (In Russ.)

5. Buzuk GN. Optimizing the accuracy of projective coverage when using a grid square. Biul Brianskogo otd-niia Rus botanich o-va. 2015;(1):22–5. (In Russ.)

6. Buzuk GN. Determination of projective coverage and yield using photo point method. Vestn farmatsii. 2013;(3):74–80. (In Russ.)

7. Buzuk GN, Sozinov OV. Methods for tak-ing into account the projective cover of plants: comparative assessment using photo platforms. Izv Samarskogo nauch tsentra Ros akad nauk. 2014;16(5):1644–9. (In Russ.)

8. Buzuk GN. The nature of the relationship between projective cover and the yield of lingon-berry shoots in a green moss pine forest. Vestn farmatsii. 2013;(4):44–9. (In Russ.)

9. Buzuk GN. Application of growth func-tions and asymptotic functions in determining the projective cover and yield of medicinal plants. Vestn farmatsii. 2014;(1):59–67. (In Russ.)

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

11. Rudenko EV, Buzuk GN, Kuz'micheva NA. Determining the quality of approximation of the dependences of yield and projective cover of

lily of the valley using the Weibull function and al-lometric. Vestn farmatsii. 2017;(1):41–7. (In Russ.)

12. Mahanta DJ, Borah M. Parameter Esti-mation of Weibull Growth Models in Forestry. Intern J of Mathematics Trends and Technology. 2014;8(3):157–63. doi: 10.14445/22315373/IJM-TT-V8P521

13. Sozinov OV, Buzuk GN. Determination of plant resource indicators: regression depen-dencies and projective weight of *Vaccinium vitis-idaea*. Sotsial'no-ekolog tekhnologii. 2017;(4):9–26. (In Russ.)

14. Vasilevich VI. Requirements necessary to obtain reliable data in work on biological productiv-ity. Botanich zhurn. 1969;54(1):111–7. (In Russ.)

15. Buzuk GN. Accuracy levels for projective coverage when using line point method and line intercept method. Vestn farmatsii. 2013;(4):12–7. (In Russ.)

16. Sozinov OV, Grummo DG. Ecological, cenotic and resource characteristics of *Comarum palustre* (Rosaceae) in the conditions of the Spo-rovskoye floodplain swamp (Republic of Belar-us). Rastitel'nye resursy. 2016;52(3):321–38. (In Russ.)

17. Sozinov OV. Optimization of yield as-sessment of *Ledum palustre* (Ericaceae) raw materials at a key site. Rastitel'nye resursy. 2015;51(2):213–20. (In Russ.)

18. Buzuk GN. Grinding in botanical re-source science: model experiment and methodol-ogy. Vestn farmatsii. 2016;(2):55–63. (In Russ.)

19. Buzuk GN. Determination of phytovol-ume of vegetation components using point lines: variogram analysis and kriging. Vestn farmatsii. 2016;(4):30–8. (In Russ.)

20. Budantsev AL, Kharitonova NP. Re-source science of medicinal plants: metod posobie k proizv praktike dlia studentov farmatsevt fak. Sankt-Peterburg, RF: S-Peterb gos khim-farmat-sevt akad; 1999. 87 s. (In Russ.)

21. Egorov AA, Sozinov OV, Buzuk GN, Grummo DG. Botanical resource science: classi-fication and assessment of useful plant reserves: ucheb-metod posobie. Budantsev AL, redak-tor. Sankt-Peterburg, RF: Izd-vo S-Peterb un-ta; 2023. 100 s. (In Russ.)

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 24.11.2023 г.