
ГЕОБОТАНИКА

УДК 58.002

Л. Г. РАМЕНСКИЙ И АЛЛОМЕТРИЯ РАСТЕНИЙ (ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ)

© В. Б. Голуб, Л. Ф. Николайчук
V. B. Golub, L. F. Nikolaychuk

L. G. Ramensky and allometry of plants (history and current state of the problem)

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН
445003, Россия, г. Тольятти, ул. Комзина, д. 10. Тел.: +7 (864) 248-93-78, e-mail: vbgolub2000@mail.ru

Аннотация. Сделан исторический обзор нового направления ботанической науки – «аллометрия растений». В этом обзоре внимание сосредоточено только на установлении зависимости надземной массы трав, полукустарничков и кустарников от их размеров. Первые зарубежные опыты косвенного определения надземной массы таких растений относятся к 1930 гг. Кроме высоты и проективного покрытия, в качестве предикторов надземной биомассы используют объём растений. Со второй половины прошлого века для оценки надземной массы травянистых растений и кустарников по результатам измерения их габитуса стали применять степенные (показательные) уравнения. К настоящему времени «аллометрия растений» далеко вышла за пределы, которые отражают только закономерности, связывающие размеры растений между собой, а также их размеры и продуктивность растений. Л. Г. Раменский стал проводить свои опыты по косвенному определению надземной массы растений на сенокосах и пастбищах гораздо раньше зарубежных исследователей. В 1915 г. он ввёл понятие «проективный вес» – масса растений, приходящаяся на единицу площади его проекции. Этот показатель Л. Г. Раменский предполагал вначале рассчитывать, исходя из проективного покрытия растений. Однако вскоре он убедился, что такой расчёт даёт очень неустойчивый результат. В 1938 г. Л. Г. Раменский для определения проективного веса предложил учитывать высоту растений. Он также стал использовать множественные уравнения линейной регрессии для предсказания проективного веса в зависимости от высоты вегетативных побегов и отношения числа цветочных побегов к проекции растения. В начале 1950-х гг. Л. Г. Раменский обобщил накопленный материал, касающийся определения надземной массы отдельных растений по параметрам их габитуса. Но этот обзор был опубликован только в 1966 г., спустя 13 лет после смерти Л. Г. Раменского. Вместе со своими сотрудниками он рассчитал для многих растений специальный коэффициент, отражающий степень зависимости проективного веса от морфологических, анатомических особенностей видов, а также условий их произрастания. Оценка надземной массы травянистых, полукустарничковых и кустарничковых растений по результатам измерения их габитуса, которая была начата Л. Г. Раменским в начале прошлого века, переросла утилитарную необходимость определения запасов кормов на сенокосах и пастбищах. Она вошла в рамки самостоятельной области ботанической науки, которая называется «аллометрия растений».

Ключевые слова: Раменский Леонтий Григорьевич, научная биография, аллометрия растений, проективное покрытие, «проективный вес», надземная масса растений.

Abstract. A historical review of the new direction of botanical science, namely, «plant allometry» was made. In this review, the attention is focused only on establishing the dependence of the aboveground mass of plants on their size. The first foreign experiments on the indirect determination of the aboveground mass of herbs, semishrub, and low shrub date back to the 1930s. Now the determination of the aboveground mass of these plants based on the results of measuring their habitus has become widespread. In addition to height and cover, the volume of plants began to be used as predictors of aboveground biomass. Since the second half of the last century, power (exponential) equations have been used to estimate the aboveground mass of plants in hayfields and pastures from the results of measuring their habitus. By now, the "allometry of plants" has gone far beyond the limits, which reflect only the regularities connecting the sizes of plants with each other, as well as their size and productivity of plants. L. G. Ramensky began to conduct his experiments on the indirect determination of the aboveground mass of plants in hayfields and pastures much earlier than foreign researchers did. In 1915, he proposed the notion of "projective weight". This is the mass of plants per unit area of its cover. At first L. G. Ramensky assumed to calculate this value proceeding from the projective cover of plants. However, soon he became convinced that such a calculation gives a very unstable result. In 1938, L. G. Ramensky proposed to take into account the height of plants to determine the projective weight. He also proposed multiple linear regression equations to predict projective weight depending on the height of vegetative shoots and the ratio of the number of flower shoots to the cover of the plant.

In the early 1950s, L. G. Ramensky summarized the accumulated material regarding the determination of the weight of the above-ground mass of individual plants by the parameters of their habitus. However, this generalization was published only in 1966, 13 years after the death of L. G. Ramensky. Together with his colleagues, he calculated a special coefficient for many plants, reflecting the degree of dependence of the projective weight on the morphological, anatomical features of the species, as well as the conditions of their growth. Estimation of the aboveground mass of herbaceous plants, semishrub and low shrub based on the results of measuring their habitus that was started by Ramensky at the beginning of the last century, has outgrown the utilitarian need to determine feed reserves in hayfields and pastures. This assessment entered the framework of an independent direction of botanical science, which is currently called «plant allometry».

Keywords: Ramensky Leonty Grigorievich, scientific biography, plant allometry, projective cover, projective weight, aboveground mass of plants.

DOI: 10.22281/2686-9713-2021-1-30-50

Введение

В физических и химических науках давно замечено, что абсолютные и относительные размеры объектов сказываются на структурных, механических или химических элементах системы. Объекты, различающиеся по размеру, должны быть построены в различных относительных пропорциях, когда они предназначены для поддержания их собственного веса и приспособления к динамическим нагрузкам. Различия в абсолютных и относительных концентрациях молекулярных частиц должны быть скорректированы для поддержания темпов химических процессов.

Живые существа не являются ни механическими объектами, ни химическими системами, но они, несомненно, демонстрируют коррелированные с размерами изменения в органических формах и процессах. По этой причине особенности живых существ не только поддаются подходу, используемому в физических науках, но и в определённой мере могут быть прогнозируемы, исходя из их абсолютного и относительного размера. В биологических науках изучение коррелированных с размером изменений в органических формах и процессах называется аллометрией¹. В самом широком смысле «аллометрия» обозначает изменения относительных размеров частей организма, которые коррелируют с изменениями общих размеров. В таком понимании термин был впервые предложен D. Huxley и G. Teissier (1936).

Хотя выявление закономерностей некоторых свойств растений от их размеров имеет довольно длительную историю, институционализация этого направления ботаники, а именно, появление науки «аллометрия растений», по нашему мнению, берёт начало с фундаментальных работ K. Niklas (1994, 2004). То есть можно сказать, что как новое направление ботаники оно сформировалось совсем недавно, и, возможно, еще малоизвестно российским ботаникам.

Развитие этого направления началось с установления зависимости массы растений от их размера, имеющее прикладное значение в лесном и сельском хозяйстве. Однако к настоящему времени аллометрия растений далеко вышла за рамки, которые отражают только закономерности, связывающие размеры растений и отдельных их частей с массой. Это распределение ресурсов и архитектуры растения в пространстве и времени (Weiner, 2004; Colchado-López et al., 2019), оценка соотношений надземной и подземной массы (Niklas, 2005), попытки масштабирования рождаемости, репродукции, смертности, скорости метаболизма, способности к адаптации и акклиматизации растений в зависимости от их размера и массы (Cheplick, 2005; Muller-Landau et al., 2006; Marbà et al., 2007; Weiner et al., 2009; Dong-Liang et al., 2010; Banavar et al., 2014; Anfodillo et al., 2016).

Мы остановимся только на одном аспекте аллометрии растений – связи надземной массы травянистых и кустарничковых растений с их размерами. Такое ограничение рассмотрения этого уже сформировавшегося обширного направления связано с интересами авторов данной статьи к научной биографии Л. Г. Раменского, который многие десятилетия своей деятельности посвятил установлению связи габитуса растений на естественных кормовых угодьях с их надземной массой. Большинство исследователей творческого наследия этого российского учёного не обращали внимания на эту сторону его научной деятельности.

¹ Термин «аллометрия» образован от греческих слов: *alios* – другой и *metron* – мера.

Обзор методов косвенного определения надземной массы растений сенокосов и пастбищ

Первые зарубежные опыты косвенного определения надземной массы травянистых растений на пастбищах относятся к 1930-м годам. Они связаны с внедрением в практику оценки обилия растений точечного метода (Levy, Madden, 1933). Этот метод учитывает частоту пересечения невысоких растений опускающимися вниз иглами. Частота пересечений листьев пропорциональна площади проективного покрытия растения, в которую эту частоту можно перевести. Метод считается более точным, чем глазомерное определение проективного покрытия. Но он более трудоёмкий. Детальное рассмотрение точечного метода и истории его развития для оценки обилия растений дано в книге Д. Браун (Braun, 1957), а также в статье W. Mantovani и F. R. Martins (1990).

В. Levy и Е. А. Madden (1933) приводят данные, которые показывают хорошую согласованность между проективным покрытием, определённым точечным методом, и сухой надземной массой растений. Но при испытании этого метода в других странах не было обнаружено такой удовлетворительной корреляции (Hanson, 1934; Arny, 1944; Charpentier, Saarela, 1941; Crocker, Tiver, 1948). А. С. Arny и А. R. Schmid (1942) обратили внимание на то, что разные виды имеют неодинаковую проективную массу, приходящуюся на единицу площади. Поэтому они предложили для каждого вида, входящего в травостой, вводить индивидуальные коэффициенты для пересчёта процентной представленности, определённой по покрытию, в его массу. Было показано, что соотношение «проективное покрытие/масса» не остается постоянным (Pechanec, Pickford, 1937; Shiplay et al., 1942), что имеется большое различие как между разными видами (Standing, 1933), так и даже у отдельных особей одного и того же вида (Smith, 1944). Свои сомнения в устойчивости связи проективного покрытия и величиной надземной массы высказал D. W. Goodall (1952). Отрицательно отзывались и французские исследователи об использовании проективного покрытия для оценки надземной массы видов подлеска сосновых насаждений (Porté et al., 2009). N. Montès (2009), опираясь на известные теоретические отношения между площадью, покрываемой объектом (в данном случае растением), и его объёмом, который пропорционален массе, показал, что использование только проективного покрытия как фактора, определяющего его надземную массу, может приводить к ошибкам её определения.

Критически к использованию проективного покрытия для оценки надземной биомассы травянистых растений относился М. Нерму (1988). Идеальной линейной корреляции между покрытием и надземной биомассой можно было бы ожидать только при постоянной высоте. Поскольку сезонные изменения в развитии побегов обычно значительны, соотношение между покрытием и биомассой изменяется со временем. Сказываются также межвидовые различия из-за формы роста (наклона листьев, особенностей горизонтального распределения биомассы). Эти факторы значительно влияют на точность прогнозов фитомассы растений по их проективному покрытию. Доля необъяснимых вариаций массы обычно наибольшая, когда виды достигают максимального развития, что приводит к менее точным оценкам, если исходить из проективного покрытия. М. Нерму также пишет, что оценки покрытия не учитывают биомассу, которая скрыта под покровом верхних листьев. Тем не менее, автор считает, что для мониторинга динамики обилия видов оценка их массы по проективному покрытию вполне приемлема из-за её небольшой трудоёмкости. И, действительно, этот показатель довольно широко используют для косвенного определения надземной массы травянистых и кустарничковых растений. Имеется немало публикаций, в которых авторы приводят достаточно высокие коэффициенты корреляции или (в случае криволинейных связей), корреляционные отношения между проективным покрытием и надземной массой видов или их групп, сформированных по общности жизненных форм (Ipatov, 1962; Jonasson, 1988; Nishiwaki et al., 1989; Gorin, Savkina, 1990; Paruelo et al., 2000; Rottgermann et al., 2000; Bräthen, Hagberg, 2004; Muukkonen et al., 2006; Flombaum, Sala, 2007, 2009; Louhaichi et al., 2018). Н. А. Кузьмичёва с соавторами (Kuz'micheva et al., 2015), имея дело с несколькими видами лекарственных трав и кустарничков, установили, что зависимость их надземной

массы от проективного покрытия при низком значении аргумента хорошо аппроксимируется линейными уравнениями, а при высоких – нелинейными. Проективное покрытие растений в некоторых работах оценивают как произведение максимального диаметра полого листьев на линию, перпендикулярную этому измерению (Rittenhouse, Sneva, 1977; Rojo et al., 2017). В некоторых случаях, когда растительный покров разрежен, и отсутствует значительное перекрытие растений, точность определения покрытия растений и, в соответствии с этим, большую точность прогнозов надземной массы можно достичь с помощью фотограмметрии (Wilson, 2011; Buzuk, 2013; Louhaichi et al., 2018).

Проводились опыты, давшие хорошие прогностические результаты по вычислению надземной массы, исходя не из проективного покрытия, видимого сверху, а используя вместо этого площадь основания (базальное покрытие) растений, образующих дернину (Clarke et al., 1942; Hormay, 1949; Andariese, Covington, 1986) или только диаметр дернины (Nafus et al., 2009).

Во многих работах указывают, что регрессии становятся более эффективными, если, кроме проективного покрытия, принимают во внимание и высоту растений. Подразумевается, что в этом случае фитомасса коррелирует с объёмом растений (Scifres et al., 1974; Bryant, Kothmann, 1979; Burgan, Rothermel, 1984; Rittenhouse, Sneva, 1977; Huenneke et al., 2001). Введение в предикторы высоты растений производилось либо умножением покрытия на высоту (Evans, Jones, 1958; Kuusipalo, 1983; Williamson et al., 1987; Sakanoue, Takahashi, 2000; Bolte et al., 2002), либо разработкой моделей множественной линейной или нелинейной регрессии, в которых высота и проективное покрытие полого листьев или базальное покрытие фигурировали как независимые предикторы (Pasto et al., 1957; Evans, Jones, 1958; Kuusipalo, 1983; Williamson et al., 1987; Assaeed, 1997; Sakanoue, Takahashi, 2000; Bolte et al., 2002; Guevara et al., 2002; Schulze et al., 2009; Buzuk, 2016; Rojo et al., 2017). В последней из перечисленных работ было показано, что из 9 пастбищных кустарников и дернистых злаков только в одном случае сразу все три переменные (высота, максимальный диаметр полого листьев и измерение перпендикуляра к наибольшему диаметру) обеспечивали самый большой коэффициент корреляции в уравнении линейной регрессии. Во всех остальных случаях уравнения обладали большей прогностической силой, когда вводились только две независимые переменные. В экспериментах J. N. Reppert с коллегами (1962) наибольшая корреляция была получена в линейном уравнении множественной регрессии, в котором в качестве независимых аргументов выступали средняя высота растений, проективное покрытие и высота, умноженная на проективное покрытие. В недавней публикации J. Chierpa с соавторами (2020) в опытах с 15 пастбищными ксерофитными видами в Австралии показали, что введение в модели, кроме проективного покрытия, высоты растений либо незначительно увеличивало их прогностическую способность, либо даже ухудшало её.

S. C. Williamson с соавторами (Williamson et al., 1987) для определения на корню надземной массы *Bouteloua gracilis* в качестве независимой переменной в уравнение регрессии вводили произведение базальной площади растения (дернинки) на общую длину листовых пластинок на побеге.

Чтобы моделировать объём растений, исследователи тестируют разные геометрические формы для одного и того же вида (Murtay, Jacobson, 1982; Johnson et al., 1988), другие – связывают форму вида с заданной геометрической формулой (Chew, Chew, 1965; Ludwig et al., 1975; Burck, Dick-Peddie, 1973; Kimse, Norton, 1985; Eynden, 2011; Oliveras et al., 2014). Третьи – заранее приравнивают фитообъём к объёму призм различного сечения, которые охватывают растение (Rittenhouse, Sneva, 1977; Uresk et al., 1977; Burgan, Rothermel, 1984; Hughes et al., 1987).

Фитообъём фигурировал в качестве предикторов биомассы средиземноморских кустарников, значительная часть которых относится к кормовым растениям (Armand et al., 1993; Robles et al., 2005; Cerrillo, Oyonarte, 2006; Ruiz-Peinado et al., 2013; Duguy et al., 2015). Но в экспериментах, проведённых в Тибете, было показано, что для *Rhododendron nivale* и *Sophora moorcroftiana* их проективное покрытие лучше воспроизводит надземную массу, чем фитообъём растений (Zhang et al., 2016). Авторы делают выводы, что с увеличением

высоты кустарников меняется их плотность, она уменьшается, что ухудшает качество фитообъёма, как предиктора фитомассы.

При определении массы пастбищных кормовых растений Монголии М. Hirata с соавторами (Hirata et al., 2007) использовали два подхода. Для кустарничков и небольших травянистых растений в качестве предикторов применили результаты умножения площади их проекции на высоту. Что касается кустарников и высокорослых травянистых растений, то в уравнения регрессии вводили объём растений, который рассчитывался по модели усечённого эллиптического конуса.

Развитием определения массы травянистых растений по их объёму являются эксперименты J. Pottier и F. Jabot (2017). Они использовали в качестве предиктора не естественный видимый объём растений, а минимальный, который искусственно создавался за счёт сжигания надземных органов растений. Авторы показали, что на зависимости биомассы от фитообъёма, выявленные таким способом, меньше влияют условия среды. Поэтому полученные индивидуальные для каждого вида уравнения можно использовать в значительно большем диапазоне экологических условий, чем ранее предложенные методы.

В некоторых исследованиях растения объединяют по их жизненным формам и определяют регрессии зависимости надземной биомассы от выбранных предикторов для группы. Было показано, что суммирование растений в группы по формам роста приводило к меньшим ошибкам при определении общей биомассы сообщества, чем определение по параметрам габитуса отдельных видов растений (Siccama et al., 1970; Cabrera et al., 2018; Chieppa et al., 2020).

В 1938 г. в журнале «Science» появилось краткое сообщение об опытах составления таблиц способом, подобным тому, который существовал в лесоведении (Lommasson, Jensen, 1938). Позже, как пишет Д. Браун (Braun, 1957), эти авторы опубликовали диаграммы, в которых высота наиболее важных пастбищных видов растений переводилась в их объём и массу. Схожие диаграммы независимо от названных выше авторов разработал Е. С. Crafts (1938). Метод состоит в определении процента уменьшения высоты, вызванного стравливанием. Этот показатель переводится в уменьшение объёма растений, который определяется по таблицам или графикам. Авторы исходили из предположения, что объём растений пропорционален массе растений, и, благодаря этому, можно было определить запас массы основных пастбищных растений. Они также полагали, что большинство трав имеют достаточно постоянное распределение массы по всему растению в зависимости от высоты.

R. S. Campbell (1943) обратил внимание на то, что положенное в основу метода Т. Lommasson и С. Jensen заключение о том, что масса растений равномерно распределяется по высоте пастбищных трав, ошибочно, поэтому этим способом определения надземной массы растений следует пользоваться с большой осторожностью.

К. А. Valentine (1946) масштабировал процент использования отдельных видов на карточках, которые помещали сбоку от растения так, чтобы высота стерни указывала процент массы травы, которая была съедена животными. Но в этом методе Н. Heady (1949) нашёл недостатки, связанные с тем, что распределение массы по высоте одного и того же вида зависит от условий окружающей среды. Однако гораздо позже С. D. Bonham (1989) сделал вывод, что этот метод дает приемлемую точность для оценки степени использования пастбищных трав. Д. Браун (Braun, 1957) описывает предложенный R. H. Canfield в 1942–1944 гг. схожий метод, в котором для оценки степени стравленности, кроме высоты стерни, использовались данные о проективном покрытии оснований растений. М. Е. Roach (1950) рекомендовал использовать уравнения регрессии и построенные на их основе графики, отражающие процент стравленности растений на пастбище в зависимости от их высоты. Способ, предложенный Т. Lommasson и С. Jensen, а также регрессионные модели М. Е. Roach для установления степени стравленности растений, напоминают разработки определения надземной массы растений в зависимости от их высоты Л. Г. Раменским, приёмы которого мы рассмотрим ниже. О том, что средняя высота растений больше связана с величиной надземной массы на пастбище делают вывод J. N. Reppert и его соавторы (1962).

Со второй половины прошлого века для оценки надземной массы растений сенокосов и пастбищ по данным изменения параметров их габитуса стали использоваться степенные (показательные) уравнения: $Y = aX^b$ (Andariese, Covington, 1986; Jonasson, 1988; Johnson et al., 1988; Guevara et al., 2002; Hirata et al., 2007; Nafus et al., 2009; Porté et al., 2009; Schulze et al., 2009; Eynden, 2011; Barkaoui et al., 2013; Conti et al., 2013; Oliveras et al., 2014; Pottier, Jabot, 2017; Cabrera et al., 2018). Обе части этого уравнения обычно логарифмируют, и оно приобретает линейный вид:

$$\ln Y = a + b \ln X,$$

где Y – масса растений, X – независимая переменная, являющаяся каким-либо одним параметром габитуса растения или их комплекса, a – коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора единицы измерения массы, b – показатель степени, который определяет угол наклона линии линейной регрессии.

Коэффициенты a и b определяют в результате калибровочных исследований. Выведенные соответствующим образом, показательные уравнения, как правило, сопровождаются статистической обработкой, которая даёт информацию об их значимости и доверительных границах. Но степенные функции не всегда оказываются лучше линейных зависимостей. Поэтому при подборе уравнений рекомендуется испытывать различные их типы (Chave et al., 2014; Pottier, Jabot, 2017).

Одновременно с началом использования показательных функций, отражающих связи как надземной, так и их общей фитомассы от размеров растений, такие зависимости стали называть аллометрическими. Но в действительности любые уравнения, связывающие массу или другие свойства растений от их размеров, являются аллометрическими, что следует из определения этого понятия, данного D. Huxley и G. Teissier (1936).

Работы Л. Г. Раменского в области аллометрии

Анализ большого количества литературных источников показал, что определение надземной массы растений сенокосов и пастбищ по данным измерений их габитуса первым попытался сделать Л. Г. Раменский. Прямая оценка надземной массы отдельных видов очень трудоёмка и сопровождается разрушениями растений и их сообществ. В лесоведении (лесной таксации) косвенное определение надземной массы деревьев начали использовать ещё во второй половине XIX в. (Baur, 1878; Rudzkiy, 1880). Раменский потратил немало усилий для разработки методики, которая позволяла бы косвенно определять надземную массу травянистых, полукустарничковых и кустарничковых видов растений, проводя эти исследования преимущественно на сенокосах и пастбищах средней полосы России. Внедряя метод оценки обилия растений по их проективному покрытию, Раменский рассчитывал перейти от этого показателя к определению надземной массы отдельных видов растений, а затем и к урожайности всего фитоценоза. В 1915 г. он писал: «Предположим, что проективное обилие данного вида в серии квадратов равно p , а на весовой площадке q ; величина площадки s , вес растения на ней g . Получаем тогда весовой запас растения на единице площади формации $G = (g/qs) \cdot p$. Вычислив по этой формуле запас всех растений формации и сложив, получаем урожайность формации, запас растительной массы её на единице площади. Разделив на урожайность запас каждого растения, выводим весовой состав формаций, т. е. весовое обилие каждого её члена. <...> Нужны, конечно, еще серьёзные поверочные испытания, которыми я и надеюсь заняться в ближайшем будущем» (Ramenskii, 1915 : 122–123). На эти проверочные испытания Раменскому потребовались многие годы его жизни².

² Термин «вес» нередко используется, когда говорят о массе, но это не корректно. Масса – мера количества вещества, присутствующего в теле. Вес тела – это сила, действующая на его массу под действием силы тяжести. Для их измерения используются разные единицы. В «Международной системе единиц» СИ масса измеряется в килограммах, а вес – в ньютонах. Эта система единиц была введена в СССР в 1963 г. (Chertov, 1977). Раменский

Обратим внимание на отношение « g/q_s » – массы растения на единицу площади его проекции. Эта проекция в формуле должна оцениваться в доле проективного покрытия растения, приходящейся на единицу площади. Результирующий показатель может быть выражен как в сухой массе, так и в сырой. Раменский, как видно из его работ, имел в виду обычно воздушно-сухую массу. Приведённое отношение Раменский называл вначале «проективно-весовым коэффициентом», а затем – «проективным весом». Для его расчёта на маленьких пробных площадках (0,25–1,00 м²) растения срезают, разбирают по видам, высушивают и взвешивают. Массу растений изучаемого вида делят на площадь учётной площадки, умноженную на долю проекции растения, которую она составляет от этой площади. Если для косвенных приёмов определения массы растений привлекаются какие-либо показатели габитуса растений, то они также измеряются на пробных площадках. В современных публикациях стадию сопоставления массы растений с результатами измерения габитуальных показателей на маленьких пробных площадках называют калибровкой.

Первые выводы испытаний, о которых Раменский объявил в 1915 г., он доложил на съезде геоботаников-луговедов в 1927 г. Среди них был такой: «Следует иметь в виду, что проективно-весовой коэффициент не только резко изменяется от одного вида растения к другому, но также колеблется в зависимости от пышности и формы побега. Поэтому, его определение придётся повторять почти для каждого изучаемого участка. В виду этого нами намечено на предстоящее лето испытание по определению переводного множителя на основании простых промеров, характеризующих высоту вегетативных и цветочных побегов растения, их вертикальную и горизонтальную проекции» (Ramenskii, 1927 : 107).

В 1937 г. Раменский уже совершенно определённо считает, что для косвенного определения надземной массы растений следует, кроме их проекции, учитывать их высоту и фазу развития. «В результате применения метода проективного учёта могут быть составлены «таблицы массы»³ по различным кормовым и техническим растениям, увязывающие массу растений с их ростом³, проекцией и фазой развития. Эти таблицы позволят с достаточной точностью определять урожай растений и его состав на основании обычного экскурсионного описания растительности. В результате тысячи описаний растительных группировок превратятся в приближённые весовые учёты, и не просто «на глазок», а на рациональной основе» (Ramenskii, 1937 : 45).

В своей книге «Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель», изданной в 1938 г., Раменский подробно разбирает причины ненадёжности проективного покрытия растений на маленькой пробной площадке для определения их надземной массы. Он перечисляет причины: «1) проекция становится тяжеловеснее с увеличением высоты растений; проективный вес большей частью почти равномерно возрастает с увеличением роста побегов; 2) проективный вес различных видов растений зависит от формы их роста и анатомических особенностей. Проекция легковесна у растений с горизонтально простёртыми широкими листьями (герани, лютики, луговой чай и т. п.); при сходных формах легковесны нежные побеги отавы, растения с более тонкими листьями (ползучая полевица – *Agrostis stolonizans*⁴) или с обилием воздухоносных межклетников (осока обыкновенная – *Carex Goodenoughii*); массивные черешки и стебли увеличивают вес; 3) понятно, разные соотношения дают побеги цветочные и вегетативные. Изобилие цветочных побегов обыкновенно значительно повышает проективный вес; 4) проекция сильно возрастает у раскидистых, распростёртых побегов и листьев, по сравнению с вверх направленными – «торчковыми», без одновременного повышения их веса; 5) условия местообитания, влияя на мощность, характер роста, развитие и анатомическое строение растений, разумеется, изменяют и отношения проекции к весу. По-видимому, особенно сильно влияет затенение,

вместо «массы» часто использовал термин «вес». Рассматривая работы Раменского в области аллометрии, мы не делаем исправлений его терминологии.

³ Под «ростом» Л. Г. Раменский иногда имеет в виду высоту растений, а иногда – особенности их развития. Понимание того, в каком смысле использовано это слово, легкодоступно из контекста, в котором употреблён данный термин.

⁴ В тексте при цитировании сохранены латинские названия растений, использованные Л. Г. Раменским.

в сторону уменьшения проективного веса растений (развитие простёртых тонких листьев и т. д.); 6) как показали наши наблюдения, совершенно необходимо учитывать не только общую проекцию побегов растения, как она видна сверху, но и величину взаимного покрытия листьев, – ту добавочную проекцию, которая становится видной при осторожном раздвигании верхних листьев, под пологом которых полуспрятаны нижние» (Ramenskii, 1938 : 310–311).

Тем не менее, Раменский предполагает возможность «составления графиков и поправочных таблиц для глазомерного определения весовых запасов растений по их проекции, росту, обилию цветочных побегов, фазе и характеру развития (наподобие «массовых таблиц» лесоводов). Можно думать, что в результате этих изысканий мы получим возможность с достаточной точностью определять на больших площадях на глаз урожай на наших сенокосах, пастбищах и других угодьях и его количественный состав» (Ramenskii, 1938 : 311). Особенно его стала привлекать высота растений как одного из важнейших факторов, влияющих на проективный вес растений сенокосов и пастбищ. В качестве доказательства возможности перехода от высоты травянистых и кустарничковых растений к их проективному весу Раменский приводит диаграмму, иллюстрирующую связь этих показателей. Мы помещаем ниже копию этой диаграммы из книги Раменского «Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель» (рис. 1).

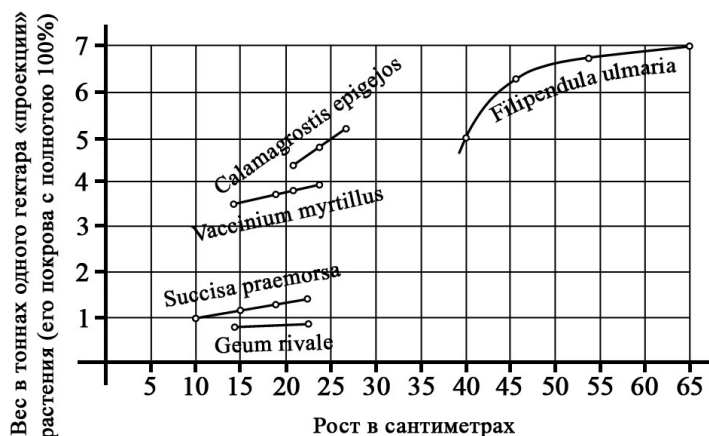


Рис. 1. «Зависимость проективного веса некоторых растений от их мощности (высоты побегов, данные О. В. Хитрово⁵). В некотором диапазоне мощности роста зависимость приблизительно прямолинейная (пропорциональность); с переходом к шуплым мелким экземплярам кривая закружается книзу – падение проективного веса убыстряется (см. кривую *Fillipendula ulmaria*)» (Ramenskii, 1938 : 312).

Fig. 1. «Dependence of the projective weight of some plants on their power (shoot height, data by O. V. Khitrovo). In a certain range of growth power, the relationship is approximately linear (proportionality); with the transition to puny small specimens, the curve rounds down – the drop in projective weight accelerates (see curve *Fillipendula ulmaria*)» (Ramenskii, 1938: 312).

Кроме того, в этой книге на стр. 312 Раменский привёл два линейных уравнения регрессии, предназначенных для определения проективного веса:

$$\text{Тимофеевка: } K = 1,3 + 0,063h + 0,834f,$$

$$\text{Лисохвост: } K = 3,81 + 1,17f,$$

где K – проективный вес, h – высота вегетативных побегов, f – отношение числа цветочных побегов к проекции растения. К сожалению, Раменский не указывает единицы измерения в этих формулах.

⁵ Хитрово Ольга Владимировна (1906–?), дочь известного российского геоботаника Владимира Николаевича Хитрово (1878–1949), работала в Институте кормов под руководством Л. Г. Раменского в 1930–1931 и 1936–1938 гг.

Раменский приводит пример расчёта надземной массы после установления проективно-весового коэффициента. «Предположим, например, что проективное обилие лисохвоста на изученном лугу равно 12%. Это значит, что гектар нашего луга имеет количество лисохвоста, развивающее 1200 кв. м проекции. Путём комбинированного проективного и весового учёта маленьких площадок мы установили, что проективный вес сухого лисохвоста на нашем лугу, т. е. вес, отвечающий 1 кв. дм проекции, равен 4,5 г. Это значит иначе, что покров лисохвоста с площадью проекции в 1 га даёт 4,5 т сена. Но у нас на гектар луга приходится 0,12 га проекции лисохвоста; стало быть, его действительный запас равен $4,5 \times 0,12 = 0,54$ т на 1 га» (Ramenskii, 1938 : 309).

В начале 1950-х годов Раменский обобщил накопленный материал, касающийся определения продуктивности кормовых угодий и надземной массы отдельных растений по их габитуальным параметрам двух статей. 1) «Прямые методы количественного учёта растительного покрова: весовые и счётные», 2) «Комбинированные методы количественного учёта растительного покрова: проективно-весовой и проективно-числовой». Обе статьи Раменский отправил в «Ботанический журнал», но они не были опубликованы. До сих пор машинописные копии рукописей этих статей хранятся в архиве бывшего секретаря «Ботанического журнала» А. А. Юнатова. Несмотря на недоработанность этих статей, в 1966 г. их решили опубликовать в трудах Московского общества испытателей природы, посвящённом 80-летию со дня рождения Раменского. Эти две статьи объединили в одну под названием «Прямые и комбинированные методы количественного учёта растительного покрова» (Ramenskii, 1966).

Знакомство с этой последней публикацией Раменского вызывает ряд вопросов, некоторые из которых возможно связаны с элементарными опечатками в черновых вариантах рукописей статей, которые не были исправлены. Плохо в ней отражена методическая сторона исследований. Часть рассмотренных в этой статье положений, касающихся оценки массы отдельных растений по их морфологическим параметрам, была уже представлена в книге Раменского, изданной в 1938 г. Мы рассмотрели их выше. Поэтому мы остановимся на изложении и комментарии лишь тех моментов этой статьи, которые впервые здесь появились.

В первой части статьи Раменский показывает, что на природных кормовых угодьях (луг, степь) валовый урожай может быть определён с точностью 10–20% посредством мелких укосных проб ($0,25$ – $1,00$ м²), которые в сумме составляют 10–30 м². И это, по его мнению, вполне посильная задача. Но для определения с такой же ошибкой массы отдельных, хотя бы лишь преобладающих видов растений, требуется скашивание и разбор по видам растений, по самой меньшей мере, 200 метровых площадок. Как пишет Раменский, это – «дело практически совершенно невыполнимое: каждый учёт по этому способу занял бы месяц напряжённой работы. Остается лишь один выход – сочетать укосный метод учёта покрова с глазомерной оценкой его состава на подлежащей учёту крупной площади» (Ramenskii, 1966 : 26).

Как и в книге 1938 г., Раменский излагает несколько причин, приводящих к тому, что проективный вес – величина неодинаковая у разных растений, которая зависит от их морфологии и анатомии. Поэтому Раменский разработал новый метод использования этого показателя для определения массы травянистых, полукустарничковых и кустарничковых растений. Вместе со своими сотрудниками на лугах и в лесах он сделал на маленьких площадках несколько сотен определений проективного веса у разных растений. Затем он сгруппировал эти показатели по сходному их нарастанию в зависимости от высоты побегов растений (высоты их основной вегетативной массы) и условий произрастания. В результате был выведен специфический для каждого вида множитель («г»), отражающий степень зависимости проективного веса от морфологических, анатомических особенностей видов растений, а также экологических условий («г») представляет собой наклон линии регрессии «проективного веса» от урожайности (массы растений с единицы площади)).

Величина этого множителя колеблется от 0,05 до 1,60. Раменский создаёт общую формулу, с помощью которой можно определить проективный вес (K) растений, используя этот множитель и данные о высоте растений (h):

$$K = r(9,625 + 0,875 h).$$

Как была получена часть формулы, стоящая в скобках, Раменский не объясняет. Можно лишь предполагать, что вначале были построены графики линейной зависимости проективного веса многих разных растений от их высоты и условий произрастания. Затем они были суммированы до одной линии. На рис. 2, являющегося копией фрагмента диаграммы из статьи Раменского, – это сплошная линия, у которой в верхней части стоит коэффициент « r », равный 1,0. По усреднённым данным многочисленных линий для разных растений был рассчитан свободный член уравнения регрессии, как место пересечения этих линий с осью ординат. По этим же линиям был определён средний тангенс их угла наклона по отношению к оси абсцисс, ставшим коэффициентом у величины h . Усреднение значений многочисленных данных, вероятно, объясняет высокую числовую точность этих коэффициентов: до третьего знака после запятой.

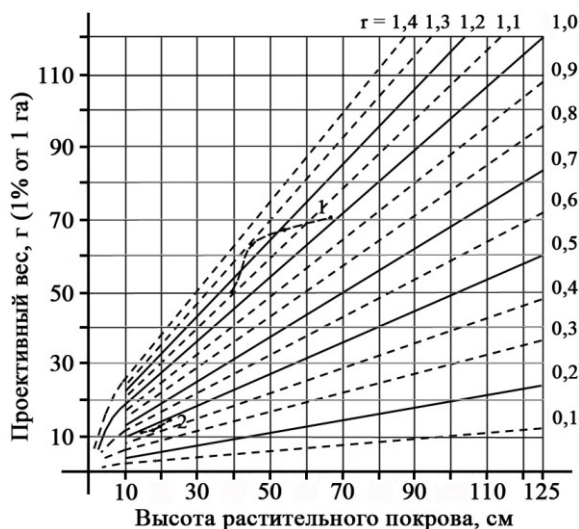


Рис. 2. График для расчёта проективного веса по высоте растений и видовому коэффициенту. Обозначения: 1 – *Filipendula ulmaria*, 2 – *Succisa praemorsa* (рисунок из статьи Л. Г. Раменского (Ramenskii, 1966 : 32)).

Fig. 2. Graph for calculating of projective weight by plant height and species coefficient. Designations: 1 – *Filipendula ulmaria*, 2 – *Succisa praemorsa* (figure from L. G. Ramensky's article (Ramenskii, 1966 : 32)).

В этой же статье Раменский приводит таблицу, лишь небольшую часть которой мы приводим ниже, не изменяя в ней ни названия растений, ни терминологию. В этой таблице, которую автор поместил в своей статье на стр. 39–40, он указал для 74 видов растений величину « r », изученные части растений их высоту, колеблющуюся в определённом интервале, а также местообитание и состояние популяции видов. Последние в таблице расположены по нарастанию величины « r ». Обсуждая таблицу, Раменский пишет: «Исключительно легковесны проекции мелких простёртых прикорневых листьев, укороченных или стелющихся побегов теневых растений или истощённых бессистемной интенсивной пастбой. Их коэффициенты не превышают 0,1–0,2, а у *Lysimachia nummularia* составляют даже 0,05. Несколько выше коэффициент у растений с более крупными прикорневыми листьями с сильным черешком (*Ranunculus*, *Geranium*, *Geum*), либо у теневых с тонкими стебельком и листьями (*Orobis vernus*), – достигая в этой группе 0,3–0,5. Следующую крупную группу с коэффициентами 0,6–0,7 (0,8) составляет цветущее луговое разнотравье, бобовые и некоторые лесные виды с круто восходящими или нисходящими листь-

ями (ландыш, *Stellaria holostea*). Крупные луговые зонтичные представлены в этой группе главным образом их прикорневыми листьями (*Heracleum*, *Archangelica*). Сюда же входят *Caltha palustris* с её толстоватыми листьями и частично кустарничек – черника. Еще полновеснее проекция некоторых представителей разнотравья – *Leontodon* в траве с торчковым ростом листьев, цветочные побеги *Heracleum*. Их коэффициент близок к единице. Наивысшие коэффициенты (1,6) дают мощные плодоносящие побеги. Злаки в основном имеют коэффициенты, близкие к единице (0,8–1,2), осоки и ситняки в этом отношении близки к разнотравью (коэффициент луговых около 0,6–0,8, у лесных и болотных снижается до 0,4)» (Ramenskii, 1966 : 38, 41).

Таблица

«Видовые коэффициенты проективного веса растений». Фрагмент таблицы Л. Г. Раменского (Ramenskii, 1966 : 39–40).

Table

«Species coefficients of the projective weight of plants». Fragment of the L. G. Ramensky's table (Ramenskii, 1966 : 39–40)

Коэффициент	Растение	Рост, см	Местоположение, изученные органы, состояние растений
0,05	<i>Lysimachia nummularia</i>	1–5	На лугу в тени густого травостоя
0,1	<i>Trifolium repens</i>	4–7	Мелкие прикорневые листочки растений, истощённых интенсивным выпасом
0,6	<i>Luzula campestris</i>	25–30	Луг, цветущая
0,6–0,8	<i>Carex pilosa</i>	15–25	Освещённый лес
0,7–1,0	<i>Deschampsia caespitosa</i>	20–90	Различное обилие и мощность цветочных побегов
0,8	<i>Plantago major</i>	7–10	Луг, торчковые прикорневые листья
0,8	<i>Brunella vulgaris</i>	10–15	То же
1,3	<i>Agropyron repens</i>	55–60	Цветущий, листья торчковые
1,0	<i>A. tenerum</i>	40	Луг сеянный, на черноземе близ Омска
1,3	<i>Carex schreberi</i>	20–25	Луг, листья торчковые
1,5	<i>Calamagrostis epigeios</i>	20–30	Торчковые, прикорневые листья, сухой луг
0,7–0,8	То же	65–100	Освещённый лес, раскидистые султаны листьев, редкие метелки
1,1–1,3	<i>Rhinanthus major</i>	35–60	Подсохшие экземпляры, в плодах, торчковые листья
1,2	<i>Trifolium repens</i>	7–10	Луг, обильно цветущие, торчковые листья
1,4	<i>Solidago virga aurea</i>	10–15	Торчковые листья
1,6	<i>Rumex confertus</i>	40–90	Цветущие и плодоносящие побеги

Раменский полагает, что каждый ботаник, знающий приведённые в этой таблице растения, «легко сможет по аналогии с ними судить о видах, не включённых в таблицу, по сходных с ними форме и экологии. При этом, прежде всего, по аналогии подыскивается подходящее «*r*», затем вводится плюс- или минус-поправка до 10–20% на местообитание (сырое, сухое, теневое и т. д.), раскидистость и торчковость листьев, обилие соцветий. Судя по нашему опыту, такие расчёты дают приблизительно верное определение проективных весов. Конечно, нужна дальнейшая работа в этом направлении с уточнением и широкой проверкой показателей и поправочных коэффициентов. Исходя из всех данных, уже в настоящее время возможно глазомерное определение нашим методом общей урожайности травостоя и запасов отдельных растений с ошибкой не более 20–25%» (Ramenskii, 1966 : 41). Он считает, «что усовершенствование методики и дальнейшая разработка нормативов позволят снизить предельную ошибку визуальных определений до $\pm 10\%$ » (Ramenskii, 1966 : 44).

Раменский даёт примеры того, что приведённая выше формула и значения величины «*r*», оказались подходящими и к растениям, которые растут на Кавказе. То есть он показывает, что формула и коэффициент могут использоваться в широком и экологическом географическом диапазоне. Недавно сделанная проверка этой формулы и таблицы на территории Беларуси для определения надземной массы *Vaccinium vitis-idaea* подтвердила эту их способность (Sozinov, Buzuk, 2017).

В дополнение к двум уравнениям регрессии, опубликованных в 1938 г., в рассматриваемой статье Раменский приводит подобные формулы ещё для шести видов растений, которые, как он пишет, рассчитаны С. Д. Рубашевской⁶.

⁶ Рубашевская Серафима Давидовна (1903–1940). О ней: Golub, 2015.

<i>Succisa praemorsa</i>	$K = 4,52 + 0,42h,$
<i>Agrostis stolonizans</i>	$K = 16,4 + 2,5f + 0,15h,$
<i>Ranunculus repens</i>	$K = 17,9 + 73f + 0,1h,$
<i>Rumex confertus</i>	$K = 19,9 + 238f + 0,41h,$
<i>Galium verum</i>	$K = 5,0 + 0,6H,$
<i>Alpecurus pratensis</i>	$K = 38,1 + 11,7f$ (в пределах h около 40–50 см),

где K – проективный вес (в кг на 1 ар проекции), f – генеративность, или фертильность растения (число цветочных побегов на 25 см² проекции растения), h – высота основной массы растения, главным образом его листы, см, H – высота его цветочных побегов в см⁷.

Раменский не раскрывает методику выведения этих уравнений, не приводит он и их ошибки, коэффициенты общей детерминации, и вклад в этот показатель отдельных факторов в моделях с двумя аргументами, как это сейчас принято делать. Следует заметить, что, с одной стороны, в те годы, когда работал Раменский, расчёты уравнений регрессий в экологии ещё не получили широкого использования, а, с другой стороны, Раменский и сам предупреждает, что на эти «формулы следует смотреть как на предварительные, грубо ориентировочные». Они грубые и ориентировочные ещё и потому, что отражают некий срединный интервал зависимости проективного веса от включённых в уравнения регрессии аргументов, где зависимость этих показателей между собой имеет линейный характер. Раменский обращает внимание на уравнение, отражающее связь проективного веса *Succisa praemorsa* с размером растения. В этом уравнении свободный член равен 4,52, а это значит, что линия регрессии при нулевом росте пересечёт ординату на некоторой высоте. «Очевидно, наши прямые линии с приближением к ординате переходят в кривую, круто загибающуюся к точке начала осей». Это Раменский и отразил на рис. 2, искусственно загнув линии линейной регрессии к нулевой отметке. J. Ahmed и его соавторы (1983) обратили внимание на такую особенность линейных уравнений регрессии, отражавших зависимость надземной фитомассы пастбищных растений от проективного покрытия. Они искусственно ввели в выборку точку: «нет покрытия – нет биомассы». Такой приём применяли и другие исследователи природных кормовых угодий, использовавшие линейные уравнения регрессии (Williamson et al., 1987; Flombaum, Sala, 2007; Louhaichi et al., 2018; Chieppa et al., 2020). В результате в их работах линии регрессии для разных видов растений веером расходятся из одной нулевой точки, в которой пересекаются оси координат, но при этом корреляция между проективным покрытием и весом снижается.

На расчётные линии зависимости «проективного веса» от размера побегов Раменский накладывает измеренные в поле значения этих показателей у *Filipendula ulmaria*. Он отмечает, что, начиная с высоты 39–40 см, реальный проективный вес «лежит ниже продления прямой, образованной проекттивными весами более высоких побегов (рис. 2). Это и аналогичные наблюдения приводят к заключению, требующему, однако, подтверждения и развития: в пределах некоторой нормальной для данного вида амплитуды высот проективный вес правильно, равномерно возрастает с увеличением роста побегов. Еще большей высоты, для данного вида уже ненормальной, достигают лишь побеги, вытянувшиеся, полуэтилированные, не дающие заметного прироста веса по сравнению с побегами, более короткими, нормально развитыми» (Ramenskii, 1966 : 31–32). То есть Раменский понимает, что линейные уравнения – это упрощения, которые применимы в ограниченном диапазоне высот. Поэтому в упомянутой таблице, где представлена величина « r » для 74 видов, он указал интервал высот растений, для которых можно использовать этот множитель.

Нужно подчеркнуть, что в рассматриваемой статье в функции зависимости проективного веса от габитуса (в данном случае это высота растения) сама проекция растений в число

⁷ Расчёт коэффициентов линейной регрессии в 1930–1940 гг. даже при использовании механических арифмометров требовал очень много времени.

предикторов не включена. Но проективное покрытие начинает играть роль, когда мы вычисляем общую массу растения на единице площади, умножая проективный вес на долю проекции растения на этой площади. Эта величина пропорциональна объёму, занимаемому растением на данной площади.

Раменский считал, что начатая «аналитическая работа требует продолжения с уточнением характеристики раскидистости листьев и получением более массового материала. Тогда, возможно, удастся полнее и точнее определить изучаемые зависимости, используя их при учёте массы растений по их мощности и прочим внешним визуальным признакам (подобно определению живого веса животных путем обмера)» (Ramenskii, 1966 : 35).

Заключение

Подводя итоги, отметим, что оценка надземной массы травянистых и кустарничковых растений по результатам измерения их габитуса, которая была инициирована Раменским в начале прошлого века, переросла практическую надобность определения запасов кормов на сенокосах и пастбищах. Во многих растительных сообществах использование деструктивного отбора проб для получения данных о величине надземной массы может привести к необратимой потере собранных особей со значительными последствиями для экологии системы (Guevara et al., 2002; Flombaum, Sala, 2007). Разрушающий отбор проб также требует много времени и финансовых затрат. В удалённых местах возникают проблемы с транспортировкой и обработкой большого количества материала. Повторение отбора проб со срезанием растений может изменить видовой состав растительных сообществ. В отличие от разрушительного способа учёта надземной массы косвенная её оценка может выполняться несколько раз в пределах одного и того же участка растительности с минимальным его нарушением. Со статистической точки зрения это устраняет элемент пространственной вариации, которая в противном случае добавляется к измеряемой временной вариации.

Неразрушающие методы оценки надземной массы растений – это ценный подход для мониторинга растительного покрова, индикации различных процессов, в том числе изменения климата (Knapp, Smith, 2001; Scurlock et al., 2002), расчёта запасов углерода на уровне ландшафта или глобальной динамики углерода (Le Quere et al., 2015). Лучшие результаты эти методы дают при использовании на постоянных площадях, с однородными экологическими условиями, учитывая и сезонные условия. Полученные уравнения регрессии и таблицы должны применяться без претензий на их широкое использование за пределами мест калибровочных исследований. Обзор литературы показывает, что для разных видов и разных жизненных форм следует подбирать индивидуальные измеряемые параметры габитуса растений и уравнения регрессии. Очевидно, что неразрушающий метод оценки надземной биомассы растений особенно целесообразно использовать на охраняемых территориях.

Возвращаясь к работам Раменского, оперируя современной терминологией, мы можем уверенно заявить, что он был пионером в области использования аллометрии для перехода от параметров габитуса травянистых растений и мелких кустарников к их надземной массе. Он был первым из ботаников, предложивших аллометрические уравнения для расчёта надземной массы травянистых растений, применяя в качестве предикторов данные, характеризующие их размеры и фенологическое состояние. Его исследования в этом направлении, к сожалению, остались неизвестными за рубежом, поскольку они были помещены в публикации на русском языке, к которым зарубежные специалисты не обращались.

Авторы выражают признательность сотрудникам Отдела информационно-библиотечного обслуживания Библиотеки по естественным наукам РАН (Москва), снабжавших нас многочисленными литературными источниками, а также К. J. Niklas и Ю. А. Семенищенкову за обсуждение некоторых аспектов содержания статьи.

Список литературы

- Anfodillo T., Petit G., Sterck F., Lechthaler S., Olson M. E. 2016. Allometric Trajectories and «Stress»: A Quantitative Approach // *Front. Plant Sci.* Vol. 7. 1681. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01681>
- Ahmed J., Bonham C. D., Laycock W. A. 1983. Comparison of techniques used for adjusting biomass estimates by double sampling // *Journ. Range Manage.* Vol. 36 (2). P. 217–221.
- Andariese S. W., Covington W. W. 1986. Biomass estimation for four common grass species in Northern Arizona ponderosa pine // *Journ. Range Manage.* Vol. 39 (5). P. 472–473.
- Armand D., Etienne M., Legrand C., Maréchal J., Valette J. C. 1993. Phytovolume, phytomasse et relations structurales chez quelques arbustes méditerranéens // *Ann. Sci. For.* Vol. 50. P. 79–89. <https://doi.org/10.1051/forest:19930106>
- Army A. C. 1944. Alfalfa and grass percentage determinations with the inclined point quadrat apparatus at different stages of development of mixtures // *Journ. Am. Soc. Agron.* Vol. 36. P. 996–998.
- Army A. C., Schmid A. R. 1942. A study of the inclined quadrat method of botanical analysis of pasture mixtures // *Journ. Am. Soc. Agron.* Vol. 34. P. 238–247.
- Assaeed A. 1997. Estimation of biomass and utilization of three perennial range grasses in Saudi Arabia // *Journ. Arid Environ.* Vol. 36. P. 103–111. <https://doi.org/10.1006/jare.1996.0200>
- Banavar J. R., Cooke T. J., Rinaldo A., Maritan A. 2014. Form, function, and evolution of living organisms // *PNAS.* Vol. 111. P. 3332–3337. <https://doi.org/10.1073/pnas.1401336111>
- Barkaoui K., Bernard-Verdier M., Navas M. 2013. Questioning the Reliability of the Point Intercept Method for Assessing Community Functional Structure in Low-Productive and Highly Diverse Mediterranean Grasslands // *Folia Geobot.* Vol. 48. P. 393–414. <https://doi.org/10.1007/s12224-013-9172-2>
- [Baur] Баур Ф. 1878. Лесная таксация: руководство к определению возраста, запаса и прироста леса. СПб. 431 с.
- [Braun] Браун Д. 1957. Методы исследования и учёта растительности. М. 316 с.
- Bolte A., Anders S., Roloff A. 2002. Schätzmodelle zum oberirdischen Vorrat der Waldbodenflora an Trockensubstanz, Kohlenstoff und Makronährelementen // *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung.* Vol. 173 (4). S. 57–66.
- Bonham C. D. 1989. Measurements for Terrestrial Vegetation. New-York: John Wiley & Sons. 338 p.
- Bräthen K. A., Hagberg O. 2004. More efficient estimation of plant biomass // *Journ. Veg. Sci.* Vol. 15. P. 653–660. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02307.x>
- Bryant F., Kothmann M. 1979. Variability in predicting edible browse from crown volume // *Journ. Range Manage.* Vol. 32 (2). P. 144–146.
- Burck J., Dick-Peddie W. 1973. Comparative production of *Larrea divaricata* on three geomorphic surfaces in Southern New Mexico // *Ecology.* Vol. 54 (5). P. 1094–1102.
- Burgan R., Rothermel R. 1984. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system – FUEL subsystem. General Technical Re-port INT-167. Ogden, UT. P. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 126 p.
- [Buzuk] Бузук Г. H. 2013. Определение проективного покрытия и урожайности при использовании фото точек (photo point method) // *Вестник фармации.* № 3 (61). P. 74–80.
- [Buzuk] Бузук Г. H. 2016. Определение фитообъёма компонентов растительного покрова с использованием линий точек: вариограммный анализ и крикинг // *Вестник фармации.* № 4 (74). P. 30–38.
- Cabrera M., Samboni-Guerrero V., Duivenvoorden J. F. 2018. Non-destructive allometric estimates of above-ground and below-ground biomass of high-mountain vegetation in the Andes // *Appl. Veg. Sci.* Vol. 21 (3). P. 477–487. <https://doi.org/10.1111/avsc.12381>
- Campbell R. S. 1943. Progress in utilization standards for western ranges // *Journ. Washington Academy Sci.* Vol. 33 (6). P. 161–169.
- Charpentier C. A. G., Saarela O. 1941. Levy's pisteneliömenetelma ja sen käyttö laidunnurmien kasvillisuistutkimuksissa // *Valt. Maatalouskoet Julk.* Vol. 108. P. 1–31. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2015081110912>
- Cheplick G. P. 2005. 4. The Allometry of Reproductive Allocation // Reekie G. R., Bazzaz F. A. (Eds). Reproductive Allocation in Plants. Burlington (Massachusetts). P. 97–128.
- [Chertov] Чертов А. Г. 1977. Единицы физических величин. М.: Высшая школа. 287 с.
- Cerrillo N. R. M., Oyonarte B. P. 2006. Estimation of above-ground biomass in shrubland ecosystems of southern Spain // *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales.* Vol. 15 (2). P. 197–207.
- Chave J., Rejou-Mechain M., Burquez A., Chidumayo E., Colgan M. S., Delitti W. B. C., Duque A., Eid T., Fearnside P. M., Goodman R.C., Henry M., Martinez-Yrizar A., Mugasha W. A., Muller-Landau H. C., Mencuccini M., Nelson B. W., Ngomanda A., Nogueira E. M., Ortiz-Malavassi, E. Pelissier, R. Ploton, P. Ryan C. M., Saldarriaga J. G., Vieilledent G. 2014. Improved allometric models to estimate the above-ground biomass of tropical trees. *Global Change Biol.* Vol. 20. 3177–3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Chew R., Chew A. 1965. The primary productivity of a desert-shrub (*Larrea divaricata*) community // *Ecol. Monog.* Vol. 35 (4). P. 355–375.
- Chieppa J., Power S. A., Tissue D. T., Nielsen U. N. 2020. Allometric Estimates of Aboveground Biomass Using Cover and Height Are Author links Improved by Increasing Specificity of Plant Functional Groups in Eastern Australian Rangelands // *Rangeland Ecology & Management.* Vol. 73 (3). P. 375–383. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.01.009>
- Clarke S. E., Campbell J. A., Campbell J. B. 1942. An ecological and grazing capacity study of the native grass pastures in southern Alberta, Saskatchewan and Manitoba // *Canad. Dep. Agric. Publ.* Vol. 738 (44). P. 1–31.

- Colchado-López J., Cervantes R. C., Rosas U. 2019. A Linear Model to Describe Branching and Allometry in Root Architecture // *Plants*. Vol. 8 (7). 218. <https://doi.org/10.3390/plants8070218>
- Conti G., Enrico L., Casanoves F., Diaz S. 2013. Shrub biomass estimation in the semiarid Chaco forest: a contribution to the quantification of an underrated carbon stock. // *Annals of Forest Sci.* Vol. 70 (5). P. 515–524.
- Crafts E. C. 1938. Volume-height distribution in range grasses // *Journ. For.* Vol. 36. P. 1182–1185.
- Crocker R. L., Tiver N. S. 1948. Survey methods in grassland ecology // *Grass and Forage Sci.* Vol. 3. P. 1–26.
- Dong-Liang C., Tao L., Quan-Lin Z., Gen-Xuan W. 2010. Scaling relationship between tree respiration rates and biomass // *Biol. Lett.* Vol. 6. P. 715–717. <http://doi.org/10.1098/rsbl.2010.0070>
- Duguy P. B., Godoy P. J., Fuentes L. L. 2015. Developing Allometric Volume-Biomass Equations to Support Fuel Characterization in North-Eastern Spain // *Ecologia mediterranea*. Vol. 41 (2). P. 15–24. <https://doi.org/10.3406/ecmed.2015.1239>
- Evans R. A., Jones M. B. 1958. Plant height times ground cover versus clipped samples for estimating forage production // *Agron. Journ.* Vol. 50. P. 504–506.
- Eynden van der M. 2011. Effects of fire history on species richness and carbon stocks in a Peruvian puna grassland, and development of allometric equations for biomass estimation of common puna species. 31 p. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/186730/Maarten%20van%20der%20Eynden%20-%20Elektronisk%20versjon.pdf?sequence=1>
- Flombaum P., Sala O. E. 2007. A non-destructive and rapid method to estimate biomass and aboveground net primary production in arid environments // *Journ. Arid Environ.* Vol. 69. P. 352–358. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.09.008>
- Flombaum P., Sala O. E. 2009. Cover is a good predictor of aboveground biomass in arid systems // *Journ. Arid Environ.* Vol. 73. P. 597–598. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.01.017>
- [Golub] Голуб Б. В. 2015. К биографии Л. Г. Раменского – Серафима Давидовна Рубашевская // Самарская Лунка: проблемы региональной и глобальной экологии. Т. 24 (2). P. 262–265.
- Goodall D. W. 1952. Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation // *Australian Journ. Biol. Sci.* Vol. 5. P. 1–41.
- [Gorin, Savkina] Горин В. И., Савкина С. Н. 1990. К вопросу о корреляции между проективным покрытием и массой травянистых растений // Бот. журн. Т. 75 (1). P. 111–115.
- Guevara J. C., Gonnet J. M., Estevez O. R. 2002. Biomass estimation for native perennial grasses in the plain of Mendoza, Argentina // *Journ. Arid Environ.* Vol. 50. P. 613–619. <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0915>
- Hanson H. C. 1934. A comparison of methods of botanical analysis of the native prairie of western North Dakota // *Journ. Agr. Res.* Vol. 49. P. 815–842.
- Heady H. F. 1949. Methods of Determining Utilization of Range Forage // *Journ. Range Manage.* Vol. 2 (2). P. 53–63.
- Hermly M. 1988. Accuracy of visual cover assessments in predicting standing crop and environmental correlation in deciduous forests // *Vegetatio*. Vol. 75. P. 57–64. <https://doi.org/10.1007/BF00044626>
- Hirata M., Oishi K., Muramatu K., Xiong Y., Kaihotu L., Nishiwaki A., Ishida J., Hirooka H., Hanada M., Toukura Y., Hongo A. 2007. Estimation of plant biomass and plant water mass through dimensional measurements of plant volume in the Dund-Govi Province, Mongolia // *Grassland Sci.* Vol. 53. P. 217–225. <https://doi.org/10.1111/j.1744-697X.2007.00096.x>
- Hormay A. L. 1949. Getting better records of vegetation changes with line interception method // *Journ. Range Manage.* Vol. 2. P. 67–69.
- Huxley J. S., Teissier G. 1936. Terminology of relative growth // *Nature*. Vol. 137. P. 780–781.
- Hughes G., Varner L., Blankenship L. 1987. Estimating shrub production from plant dimensions // *Journ. Range Manage.* Vol. 40 (4). P. 367–369.
- Huenneke L. F., Clason D., Muldavin E. 2001. Spatial heterogeneity in Chihuahuan Desert vegetation: Implications for sampling methods in semi-arid ecosystems // *Journ. Arid Environ.* Vol. 47. P. 257–270. <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0678>
- [Ipatov] Ипатов В. С. 1962. О корреляции между проективным покрытием и весом травянистых растений // Бот. журн. Т. 47 (7). P. 991–992.
- Jonasson S. 1988. Evaluation of the point intercept method for the estimation of plant biomass // *Oikos*. Vol. 52. P. 101–106. <https://doi.org/10.2307/3565988>
- Johnson P., Johnson C., West N. 1988. Estimation of phytomass for ungrazed crested wheatgrass plants using allometric equations // *Journ. Range Manage.* Vol. 41 (5). P. 421–425. <https://doi.org/10.2307/3899582>
- Kirmse R., Norton B. 1985. Comparison of the reference unit method and dimensional analysis method for two shrub-by species in the Caatinga woodlands // *Journ. Range Manage.* Vol. 38 (5). P. 425–427.
- Knapp A. K., Smith M. D. 2001. Variation among biomes in temporal dynamics of aboveground primary production // *Science*. Vol. 291 (5503). P. 481–484.
- Kuusipalo J. 1983. Mustikan varvuston biomassamäärän vaihtelusta erilaisissa metsiköissä (On the distribution of blueberry biomass in different forest stands) // *Silva Fennica*. Vol. 17. P. 245–257. <https://doi.org/10.14214/sfa15173>
- [Kuz'micheva et al.] Кузьмичева Н. А., Бузук Г. Н., Ломако Е. В. 2015. Линейные и нелнейные связи урожайности и проективного покрытия лекарственных растений // Вестник фармации. № 1 (67). P. 24–28.
- Le Quere C., Moriarty R., Andrew R. M., Peters G. P., Ciais P., Friedlingstein P., Jones S. D., Sitch S., Tans P., Arneeth A. 2015. Global carbon budget 2014 // *Earth System Science Data*. Vol. 7 (1). P. 47–85. <https://doi.org/10.5194/essd-7-47-2015>
- Levy E. B., Madden E. A. 1933. The point method of pasture analysis // *New Zealand Journ. Agricult.* Vol. 46. P. 267–79.

- Lommasson T., Jensen C. 1938. Grass Volume Tables for Determining Range Utilization // Science. Vol. 87 (2263). P. 444.
- Louhaichi M., Hassan S., Clifton K., Johnson D. E. 2018. A reliable and non-destructive method for estimating forage shrub cover and biomass in arid environments using digital vegetation charting technique // Agroforest Syst. Vol. 92. P. 1341–1352. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0079-4>
- Montès N. 2009. A non-destructive method to estimate biomass in arid environments: A comment on Flombaum and Sala 2007 // Journ. Arid Environ. Vol. 73 (6–7). P. 599–601. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.08.003>
- Ludwig J., Reynolds J., Whitson P. 1975. Size-biomass relationships of several Chihuahuan desert shrubs // The American Midland Naturalist. Vol. 94 (2). P. 451–461. <http://doi.org/10.2307/2424437>
- Mantovani W., Martins F. R. 1990. O método de pontos // Acta bot. bras. Vol. 4 (2). P. 95–122.
- Marbà N., Duarte C. M., Agustí S. 2007. Allometric scaling of plant life history // PNAS. Vol. 104 (40). P. 15777–15780. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703476104>
- Muller-Landau H. C., Condit R. S., Chave J., Thomas S. C., Bohlman S. A., Bunyavejchewin S., Davies S., Foster R., Gunatilleke S., Gunatilleke N., Harms K. E., Hart T., Hubbell S. P., Itoh A., Kassim A. R., LaFrankie J. V., Lee H. S., Losos E., Makana J.-R., Ohkubo T., Sukumar R., Sun I.-F., Supardi N. M. N., Tan S., Thompson J., Valencia R., Muñoz G. V., Wills C., Yamakura T., Chuyong G., Dattaraja H. S., Esufali S., Hall P., Hernandez C., Kenfack D., Kiratiprayoon S., Suresh H. S., Thomas D., Vallejo M. I., Ashton P. 2006. Testing metabolic ecology theory for allometric scaling of tree size, growth, and mortality in tropical forests // Ecol. Lett. Vol. 9. P. 575–588. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00904.x>
- Murray R., Jacobson M. 1982. An evaluation of dimension analysis for predicting shrub biomass // Journ. Range Manage. Vol. 35 (4). P. 451–454.
- Muukkonen P., Mäkipää R., Laiho R., Minkinen K., Vasander H., Finér L. 2006. Relationship between biomass and percentage cover in understorey vegetation of boreal coniferous forests // Silva Fennica. Vol. 40. P. 231–245. <https://doi.org/10.14214/sf.340>
- Nafus A. M., McClaran M. P., Steven A. R., Heather T. L. 2009. Multispecies Allometric Models Predict Grass Biomass in Semidesert Rangeland // Rangeland Ecology & Management. Vol. 62. P. 68–72.
- Niklas K. J. 1994. Plant Allometry. The Scaling of Form and Process. Chicago. 412 p.
- Niklas K. J. 2004. Plant allometry: is there a grand unifying theory? // Biol. Rev. Camb. Philos. Soc. Vol. 79 (4). P. 871–889. <https://doi.org/10.1017/S1464793104006499>
- Niklas K. J. 2005. Modelling below-and above-ground biomass for non-woody and woody plants // Annals Bot. Vol. 95. P. 315–321.
- Nishiwaki A., Matoba K., Shuji Y., Sugawara K., Itoh I. 1989. Examination of techniques to estimate feed intake on each plant species in grazing pastures // Grassl Sci. Vol. 35 (Suppl.). P. 159–160.
- Oliveras I., Van der Eynden M., Malhi Y., Cahuana N., Menor C., Zamora F., Haugaasen T. 2014. Grass allometry and estimation of above-ground biomass in tropical alpine tussock grasslands // Austral Ecology. Vol. 39. P. 408–415. <https://doi.org/10.1111/aec.12098>
- Pasto J. K., Allison J. R., Washko J. B. 1957. Ground cover and height of sward as a means of estimating pasture production // Agronomy Journ. Vol. 49. P. 407–409.
- Paruelo J. M., Lauenroth W. K., Roset P. A. 2000. Technical note: Estimating aboveground plant biomass using a photographic technique // Journ. Range Manage. Vol. 53 (2). P. 190–193.
- Pechanec J. F., Picford G. D. 1937. A weight estimate method for the determination of range or pasture production // Journ. Amer. Soc. Agron. Vol. 29. P. 894–904.
- Porté A. J., Samalens J. C., Dulhoste R., Ducros R. T., Bosc A., Meredieu C. 2009. Using cover measurements to estimate aboveground understorey biomass in Maritime pine stands // Annals of Forest Sci. Vol. 66. Article 307.
- Pottier J., Jabot F. 2017. Non-destructive biomass estimation of herbaceous plant individuals. P. A transferable method between contrasted environments // Ecological Indicators. Vol. 72. P. 769–776. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.030>
- [Ramenskii] Раменский Л. Г. 1915. К вопросу о количественном учёте травяного покрова. Обследование лугов и болот // Материалы по организации и культуре кормовой площади. Т. 12. P. 105–140.
- [Ramenskii] Раменский Л. Г. 1927. К методике учёта растительности // Тр. совещания геоботаников-луговедов 17–22 марта 1927 г. при Гос. луговом ин-те. 1927. Доклады-протоколы. Дмитров. С. 105–111.
- [Ramenskii] Раменский Л. Г. 1938. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М. 620 с.
- [Ramenskii] Раменский Л. Г. 1966. Прямые и комбинированные методы количественного учёта растительного покрова // Тр. МОИП. Т. 27. P. 17–45.
- Reppert J. N., Morris M. J., Graham C. A. 1962. Estimation of herbage on California annual-type range // Journ. Range Manage. Vol. 15 (6). P. 318–323.
- Rittenhouse L., Sneva F. 1977. A technique for estimating big sagebrush production // Journ. Range Manage. Vol. 30 (1). P. 68–70.
- Roach M. E. 1950. Estimating Perennial Grass Utilization on Semidesert Cattle Ranges by Percentage of Ungrazed Plants // Journ. Range Manage. Vol. 3 (3). P. 182–185.
- Robles A. B., Fernández P., Ruiz-Mirazo J., Ramos M. E., Passera C. B., González-Rebollar J. L. 2005. Nine native leguminous shrub species. P. allometric regression equations and nutritive values. // Lloveras J., González-Rodríguez A., Vázquez-Yanes O., Piñeiro J., Santamaría O., Olea L., Poblaciones M. J. (Eds) Sustainable Grassland Productivity. Vol. 11. Grassland Science in Europe. P. 309–311.

- Rojó V., Arzamendia Y., Peerez C., Baldo J., Vilae B. 2017. Double sampling methods in biomass estimates of Andean shrubs and tussocks // *Rangeland Ecol. Manage.* Vol. 70 (6). P. 718–722. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2017.06.003>
- Rottgermann M., Steinlein T., Beyschlag W., Dietz H. 2000. Linear relationships between aboveground biomass and plant cover in low open herbaceous vegetation // *Journ. Veg. Sci.* Vol. 11. P. 145–148. <https://doi.org/10.2307/3236786>
- [Rudzkiy] Рудзкий А. Ф. 1880. Лесная таксация. СПб. 120 с.
- Ruiz-Peinado R., Moreno G., Juarez E., Montero G., Roig S. 2013. The contribution of two common shrub species to aboveground and belowground carbon stock in Iberian dehesas // *Journ. Arid Environ.* Vol. 91. P. 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.11.002>
- Sakanoue K., Takahashi S. 2000. An estimate of plant biomass as a function of plant coverage and height with special reference to *Miscanthus sinensis* grassland in Kawatabi district // *Grassl Sci.* Vol. 46 (Suppl.). P. 64–65.
- Schulze I.-M., Bolte A., Schmidt W., Eichhorn J. 2009. Phytomass, litter and net primary production of herbaceous layer // Brumme R., Khanna P. K. (Eds). *Functioning and Management of European Beech Ecosystems*. Vol. 208. P. 155–181. https://doi.org/10.1007/b82392_11
- Scifres C., Kothmann M., Mathis G. 1974. Range site and grazing system influence regrowth after spraying honey mesquite // *Rangeland Ecology & Management*. Vol. 27 (2). P. 97–100.
- Scurlock J. M. O., Johnson K., Olson R. J. 2002. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements // *Global Change Biol.* Vol. 8 (8). P. 736–753.
- Shipley M. A., Fleming C. E., Martineu B. S. 1942. Estimating the value of range forage for grazing use by means of animal-unit-month factor table // *Nevada Agricultural Experiment Station. Bull. N.* 160. 26 p.
- Siccama T. G., Bormann F. H., Likens G. E. 1970. The Hubbard Brook ecosystem study: productivity, nutrients, and phytosociology of the herbaceous layer // *Ecol. Monogr.* Vol. 40. P. 389–402. <https://doi.org/10.2307/1942337>
- Smith A. D. 1944. A study of the reliability of range vegetation estimates // *Ecology*. Vol. 25. P. 441–448.
- Standing A. R. 1933. Ratings of forest species for grazing surveys based on volume produced // *Utah Juniper*. Vol. 4. P. 11–14, 40–41.
- [Sozinov, Buzuk] Созинов О. В., Бузук Г. Н. 2017. Определение ресурсных показателей растений: регрессионные зависимости и проективный вес *Vaccinium vitis-idaea* // *Социально-экологические технологии*. № 4. P. 9–26.
- Valentine K. A. 1946. Determining the grazing use of grasses by scaling // *Journ. For.* Vol. 44 (7). P. 528–530.
- [Volkova] Волкова Е. А. 2011. Юнатов Александр Афанасьевич // Колчинский Э. И. (отв. ред.) *Биология в Санкт-Петербурге. 1703–2008: Энциклопедический словарь*. СПб. С. 530–568.
- Weiner J. 2004. Allocation, plasticity and allometry in plants // *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. Vol. 6 (4). P. 207–215. <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00083>
- Weiner J., Campbell L. G., Pino J., Echarte L. 2009. The allometry of reproduction within plant populations // *Journ. Ecol.* Vol. 97 (6). P. 1220–1233. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01559.x>
- Williamson S. C., Detling J. K., Dodd J. L., Dyer M. I. 1987. Nondestructive estimation of shortgrass aerial biomass // *Journ. Range Manag.* Vol. 40. P. 254–256.
- Wilson J. B. 2011. Cover plus: ways of measuring plant canopies and the terms used for them // *Journ. Veg. Sci.* Vol. 22. P. 197–206. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2010.01238.x>
- Zhang L., Cui G. S., Shen W., Liu X. S. 2016. Cover as a simple predictor of biomass for two shrubs in Tibet // *Ecological Indicators*. Vol. 64. P. 266–271. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.009>
- Uresk D., Gilbert R., Rickard W. 1977. Sampling big sagebrush for phytomass // *Journ. Range Manage.* Vol. 30 (4). P. 311–314.

References

- Anfodillo T., Petit G., Sterck F., Lechthaler S., Olson M. E. 2016. Allometric Trajectories and «Stress»: A Quantitative Approach // *Front. Plant Sci.* Vol. 7. 1681. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01681>
- Ahmed J., Bonham C. D., Laycock W. A. 1983. Comparison of techniques used for adjusting biomass estimates by double sampling // *Journ. Range Manage.* Vol. 36 (2). P. 217–221.
- Andariese S. W., Covington W. W. 1986. Biomass estimation for four common grass species in Northern Arizona ponderosa pine // *Journ. Range Manag.* Vol. 39 (5). P. 472–473.
- Armand D., Etienne M., Legrand C., Maréchal J., Valette J. C. 1993. Phytovolume, phytomasse et relations structurales chez quelques arbustes méditerranéens // *Ann. Sci. For.* Vol. 50. P. 79–89. <https://doi.org/10.1051/forest:19930106>
- Army A. C. 1944. Alfafa and grass percentage determinations with the inclined point quadrat apparatus at different stages of development of mixtures // *Journ. Am. Soc. Agron.* Vol. 36. P. 996–998.
- Army A. C., Schmid A. R. 1942. A study of the inclined quadrat method of botanical analysis of pasture mixtures // *Journ. Am. Soc. Agron.* Vol. 34. P. 238–247.
- Assaeed A. 1997. Estimation of biomass and utilization of three perennial range grasses in Saudi Arabia // *Journ. Arid Environ.* Vol. 36. P. 103–111. <https://doi.org/10.1006/jare.1996.0200>
- Banavar J. R., Cooke T. J., Rinaldo A., Maritan A. 2014. Form, function, and evolution of living organisms // *PNAS*. Vol. 111. P. 3332–3337. <https://doi.org/10.1073/pnas.1401336111>
- Barkaoui K., Bernard-Verdier M., Navas M. 2013. Questioning the Reliability of the Point Intercept Method for Assessing Community Functional Structure in Low-Productive and Highly Diverse Mediterranean Grasslands // *Folia Geobot.* Vol. 48. P. 393–414. <https://doi.org/10.1007/s12224-013-9172-2>

- Baur F. 1878. Lesnaya taksatsiya: rukovodstvo k opredeleniyu vozrasta, zapasa i prirosta lesa [Forest inventory: a guide to determining the age, stock and growth of a forest]. Saint-Petersburg. 431 p. (In Russian)
- Braun D. 1957. Metody issledovaniya i ucheta rastitel'nosti [Methods of surveying and measuring vegetation]. Moscow. 316 p. (In Russian).
- Bole A., Anders S., Roloff A. 2002. Schätzmodelle zum oberirdischen Vorrat der Waldbodenflora an Trockensubstanz, Kohlenstoff und Makronährelementen // Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung. Vol. 173 (4). S. 57–66.
- Bonham C. D. 1989. Measurements for Terrestrial Vegetation. New-York: John Wiley & Sons. 338 p.
- Bräthen K. A., Hagberg O. 2004. More efficient estimation of plant biomass // Journ. Veg. Sci. Vol. 15. P. 653–660. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02307.x>
- Bryant F., Kothmann M. 1979. Variability in predicting edible browse from crown volume // Journ. Range Manage. Vol. 32 (2). P. 144–146.
- Burck J., Dick-Peddie W. 1973. Comparative production of *Larrea divaricata* on three geomorphic surfaces in Southern New Mexico // Ecology. Vol. 54 (5). P. 1094–1102.
- Burgan R., Rothermel R. 1984. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system – FUEL subsystem. General Technical Re-port INT-167. Ogden, UT. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 126 p.
- Buzuk G. N. 2013. Opredeleniye proyektivnogo pokrytiya i urozhayno-sti pri ispol'zovanii foto toчек (photo point method) [Determination of projective cover and yield using photo points (photo point method)] // Vestnik farmatsii. № 3 (61). P. 74–80. (In Russian)
- Buzuk G. N. 2016. Opredeleniye fitoob'yema komponentov rastitel'nogo pokrova s ispol'zovaniyem liniy toчек: variogramnyy analiz i krikling [Determination of phyto-volume of vegetation cover components using point lines: variogram analysis and cricking] // Vestnik farmatsii. № 4 (74). P. 30–38. (In Russian)
- Cabrera M., Samboni-Guerrero V., Duivenvoorden J. F. 2018. Non-destructive allometric estimates of above-ground and below-ground biomass of high-mountain vegetation in the Andes // Appl. Veg. Sci. Vol. 21 (3). P. 477–487. <https://doi.org/10.1111/avsc.12381>
- Campbell R. S. 1943. Progress in utilization standards for western ranges // Journ. Washington Academy Sci. Vol. 33 (6). P. 161–169.
- Charpentier C. A. G., Saarela O. 1941. Levy's pisteneliömenetelma ja sen käyttö laindunnurmien kasvillisuustutkimuksissa // Valt. Maatalouskoet. Julk. Vol. 108. P. 1–31. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2015081110912>
- Cheplick G. P. 2005. 4. The Allometry of Reproductive Allocation // Reekie G. R., Bazzaz F. A. (Eds). Reproductive Allocation in Plants. Burlington (Massachusetts). P. 97–128.
- Chertov A. G. 1977. Yedinitsy fizicheskikh velichin [Units of physical quantities]. Moscow. 287 p. (In Russian)
- Cerrillo N. R. M., Oyónarte B. P. 2006. Estimation of above-ground biomass in shrubland ecosystems of southern Spain // Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales. Vol. 15 (2). P. 197–207.
- Chave J., Rejzou-Mechain M., Burquez A., Chidumayo E., Colgan M. S., Delitti W. B. C., Duque A., Eid T., Fearnside P. M., Goodman R. C., Henry M., Martinez-Yrizar A., Mugasha W. A., Muller-Landau H. C., Mencuccini M., Nelson B. W., Ngomanda A., Nogueira E. M., Ortiz-Malavassi, E. Pelissier, R. Ploton, P. Ryan C. M., Saldarriaga J. G., Vieilledent G. 2014. Improved allometric models to estimate the above-ground biomass of tropical trees. Global Change Biol. Vol. 20. 3177–3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Chew R., Chew A. 1965. The primary productivity of a desert-shrub (*Larrea divaricata*) community // Ecol. Monog. Vol. 35 (4). P. 355–375.
- Chieppa J., Power S. A., Tissue D. T., Nielsen U. N. 2020. Allometric Estimates of Aboveground Biomass Using Cover and Height Are Author links Improved by Increasing Specificity of Plant Functional Groups in Eastern Australian Rangelands // Rangeland Ecology & Management. Vol. 73 (3). P. 375–383. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.01.009>
- Clarke S. E., Campbell J. A., Campbell J. B. 1942. An ecological and grazing capacity study of the native grass pastures in southern Alberta, Saskatchewan and Manitoba // Canad. Dep. Agric. Publ. Vol. 738 (44). P. 1–31.
- Colchado-López J., Cervantes R. C., Rosas U. 2019. A Linear Model to Describe Branching and Allometry in Root Architecture // Plants. Vol. 8 (7). 218. <https://doi.org/10.3390/plants8070218>
- Conti G., Enrico L., Casanoves F., Diaz S. 2013. Shrub biomass estimation in the semiarid Chaco forest: a contribution to the quantification of an underrated carbon stock. // Annals of Forest Sci. Vol. 70 (5). P. 515–524.
- Crocker E. C. 1938. Volume-height distribution in range grasses // Journ. For. Vol. 36. P. 1182–1185.
- Crocker R. L., Tiver N. S. 1948. Survey methods in grassland ecology // Grass and Forage Sci. Vol. 3. P. 1–26.
- Dong-Liang C., Tao L., Quan-Lin Z., Gen-Xuan W. 2010. Scaling relationship between tree respiration rates and biomass // Biol. Lett. Vol. 6. P. 715–717. <http://doi.org/10.1098/rsbl.2010.0070>
- Duguy P. B., Godoy P. J., Fuentes L. L. 2015. Developing Allometric Volume-Biomass Equations to Support Fuel Characterization in North-Eastern Spain // Ecologia mediterranea. Vol. 41 (2). P. 15–24. <https://doi.org/10.3406/ecmed.2015.1239>
- Evans R. A., Jones M. B. 1958. Plant height times ground cover versus clipped samples for estimating forage production // Agron. Journ. Vol. 50. P. 504–506.
- Eynden van der M. 2011. Effects of fire history on species richness and carbon stocks in a Peruvian puna grassland, and development of allometric equations for biomass estimation of common puna species. 31 p. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/186730/Maarten%20van%20der%20Eynden%20-%20Elektronisk%20versjon.pdf?sequence=1>

- Flombaum P., Sala O. E. 2007. A non-destructive and rapid method to estimate biomass and aboveground net primary production in arid environments // *Journ. Arid Environ.* Vol. 69. P. 352–358. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.09.008>
- Flombaum P., Sala O. E. 2009. Cover is a good predictor of aboveground biomass in arid systems // *Journ. Arid Environ.* Vol. 73. P. 597–598. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.01.017>
- Golub V. B. 2015. K biografii L.G. Ramenskogo – Serafima Davidovna Rubashevskaya [To the biography of L. G. Ramensky – Serafima Davidovna Rubashevskaya] // *Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii.* Vol. 24 (2). P. 262–265. (In Russian)
- Goodall D. W. 1952. Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation // *Australian Journ. Biol. Sci.* Vol. 5. P. 1–41.
- Gorin V. I., Savkina S. N. 1990. K voprosu o korrelyatsii mezhdru proyektivnym pokrytiyem i massoy travyanistykh rasteniy [On the correlation between the projective cover and the mass of herbaceous plants] // *Botanicheskii zhurnal.* Vol. 75 (1). P. 111–115. (In Russian).
- Guevara J. C., Gonnet J. M., Estevez O. R. 2002. Biomass estimation for native perennial grasses in the plain of Mendoza, Argentina // *Journ. Arid Environ.* Vol. 50. P. 613–619. <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0915>
- Hanson H. C. 1934. A comparison of methods of botanical analysis of the native prairie of western North Dakota // *Journ. Agr. Res.* Vol. 49. P. 815–842.
- Heady H. F. 1949. Methods of Determining Utilization of Range Forage // *Journ. Range Manage.* Vol. 2 (2). P. 53–63.
- Hermly M. 1988. Accuracy of visual cover assessments in predicting standing crop and environmental correlation in deciduous forests // *Vegetatio.* Vol. 75. P. 57–64. <https://doi.org/10.1007/BF00044626>
- Hirata M., Oishi K., Muramatsu K., Xiong Y., Kaihotu I., Nishiwaki A., Ishida J., Hirooka H., Hanada M., Toukura Y., Hongo A. 2007. Estimation of plant biomass and plant water mass through dimensional measurements of plant volume in the Dund-Govi Province, Mongolia // *Grassland Sci.* Vol. 53. P. 217–225. <https://doi.org/10.1111/j.1744-697X.2007.00096.x>
- Hormay A. L. 1949. Getting better records of vegetation changes with line interception method // *Journ. Range Manage.* Vol. 2. P. 67–69.
- Huxley J. S., Teissier G. 1936. Terminology of relative growth // *Nature.* Vol. 137. P. 780–781.
- Hughes G., Varner L., Blankenship L. 1987. Estimating shrub production from plant dimensions // *Journ. Range Manage.* Vol. 40 (4). P. 367–369.
- Huenneke L. F., Clason D., Muldavin E. 2001. Spatial heterogeneity in Chihuahuan Desert vegetation: Implications for sampling methods in semi-arid ecosystems // *Journ. Arid Environ.* Vol. 47. P. 257–270. <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0678>
- Ipatov V. S. 1962. O korrelyatsii mezhdru proyektivnym pokrytiyem i vesom travyanistykh rasteniy [On the correlation between the projective cover and the weight of herbaceous plants] // *Botanicheskii zhurnal.* Vol. 47 (7). P. 991–992. (In Russian).
- Jonasson S. 1988. Evaluation of the point intercept method for the estimation of plant biomass // *Oikos.* Vol. 52. P. 101–106. <https://doi.org/10.2307/3565988>
- Johnson P., Johnson C., West N. 1988. Estimation of phytomass for ungrazed crested wheatgrass plants using allometric equations // *Journ. Range Manage.* Vol. 41 (5). P. 421–425. <https://doi.org/10.2307/3899582>
- Kirmse R., Norton B. 1985. Comparison of the reference unit method and dimensional analysis method for two shrub species in the Caatinga woodlands // *Journ. Range Manage.* Vol. 38 (5). P. 425–427.
- Knapp A. K., Smith M. D. 2001. Variation among biomes in temporal dynamics of aboveground primary production // *Science.* Vol. 291 (5503). P. 481–484.
- Kuusipalo J. 1983. Mustikan varvuston biomassamäärän vaihtelusta erilaisissa metsiköissä (On the distribution of blueberry biomass in different forest stands) // *Silva Fennica.* Vol. 17. P. 245–257. <https://doi.org/10.14214/sfa15173>
- Kuz'micheva N. A., Buzuk G. N., Lomako E. V. 2015. Lineynnye i nelineynnye svyazi urozhaynosti i proyektivnogo pokrytiya lekarstvennykh rasteniy [Linear and nonlinear relationships of yield and projective cover of medicinal plants] // *Vestnik farmatsii.* N 1 (67). P. 24–28. (In Russian).
- Le Quere C., Moriarty R., Andrew R. M., Peters G. P., Ciais P., Friedlingstein P., Jones S. D., Sitch S., Tans P., Arneeth A. 2015. Global carbon budget 2014 // *Earth System Science Data.* Vol. 7 (1). P. 47–85. <https://doi.org/10.5194/essd-7-47-2015>
- Levy E. B., Madden E. A. 1933. The point method of pasture analysis // *New Zealand Journ. Agricult.* Vol. 46. P. 267–79.
- Lommasson T., Jensen C. 1938. Grass Volume Tables for Determining Range Utilization // *Science.* Vol. 87 (2263). P. 444.
- Louhaichi M., Hassan S., Clifton K., Johnson D. E. 2018. A reliable and non-destructive method for estimating forage shrub cover and biomass in arid environments using digital vegetation charting technique // *Agroforest Syst.* Vol. 92. P. 1341–1352. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0079-4>
- Montès N. 2009. A non-destructive method to estimate biomass in arid environments: A comment on Flombaum and Sala 2007 // *Journ. Arid Environ.* Vol. 73 (6–7). P. 599–601. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.08.003>
- Ludwig J., Reynolds J., Whitson P. 1975. Size-biomass relationships of several Chihuahuan desert shrubs // *The American Midland Naturalist.* Vol. 94 (2). P. 451–461. <http://doi.org/10.2307/2424437>
- Mantovani W., Martins F. R. 1990. O método de pontos // *Acta bot. bras.* Vol. 4 (2). P. 95–122.
- Marbà N., Duarte C. M., Agustí S. 2007. Allometric scaling of plant life history // *PNAS.* Vol. 104 (40). P. 15777–15780. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703476104>
- Muller-Landau H. C., Condit R. S., Chave J., Thomas S. C., Bohlman S. A., Bunyavejchewin S., Davies S., Foster R., Gunatilleke S., Gunatilleke N., Harms K. E., Hart T., Hubbell S. P., Itoh A., Kassim A. R., LaFrankie J. V., Lee H. S.,

- Losos E., Makana J.-R., Ohkubo T., Sukumar R., Sun I.-F., Supardi N. M. N., Tan S., Thompson J., Valencia R., Muñoz G. V., Wills C., Yamakura T., Chuyong G., Dattaraja H. S., Esufali S., Hall P., Hernandez C., Kenjack D., Kiratiprayoon S., Suresh H. S., Thomas D., Vallejo M. I., Ashton P. 2006. Testing metabolic ecology theory for allometric scaling of tree size, growth, and mortality in tropical forests // *Ecol. Lett.* Vol. 9. P. 575–588. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00904.x>
- Murray R., Jacobson M. 1982. An evaluation of dimension analysis for predicting shrub biomass // *Journ. Range Manage.* Vol. 35 (4). P. 451–454.
- Muukkonen P., Mäkipää R., Laiho R., Minkkinen K., Vasander H., Finér L. 2006. Relationship between biomass and percentage cover in understorey vegetation of boreal coniferous forests // *Silva Fennica*. Vol. 40. P. 231–245. <https://doi.org/10.14214/sf.340>
- Nafus A. M., McClaran M. P., Steven A. R., Heather T. L. 2009. Multispecies Allometric Models Predict Grass Biomass in Semidesert Rangeland // *Rangeland Ecology & Management*. Vol. 62. P. 68–72.
- Niklas K. J. 1994. *Plant Allometry. The Scaling of Form and Process*. Chicago. 412 p.
- Niklas K. J. 2004. Plant allometry: is there a grand unifying theory? // *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* Vol. 79 (4). P. 871–889. <https://doi.org/10.1017/S1464793104006499>
- Niklas K. J. 2005. Modelling below-and above-ground biomass for non-woody and woody plants // *Annals Bot.* Vol. 95. P. 315–321.
- Nishiwaki A., Matoba K., Shuji Y., Sugawara K., Itoh I. 1989. Examination of techniques to estimate feed intake on each plant species in grazing pastures // *Grassl Sci.* Vol. 35 (Suppl.). P. 159–160.
- Oliveras I., Van der Eynden M., Malhi Y., Cahuana N., Menor C., Zamora F., Haugaasen T. 2014. Grass allometry and estimation of above-ground biomass in tropical alpine tussock grasslands // *Austral Ecology*. Vol. 39. P. 408–415. <https://doi.org/10.1111/aec.12098>
- Pasto J. K., Allison J. R., Washko J. B. 1957. Ground cover and height of sward as a means of estimating pasture production // *Agronomy Journ.* Vol. 49. P. 407–409.
- Paruelo J. M., Lauenroth W. K., Roset P. A. 2000. Technical note: Estimating aboveground plant biomass using a photographic technique // *Journ. Range Manage.* Vol. 53 (2). P. 190–193.
- Pechanec J. F., Picford G. D. 1937. A weight estimate method for the determination of range or pasture production // *Journ. Amer. Soc. Agron.* Vol. 29. P. 894–904.
- Porté A. J., Samalens J. C., Dulhoste R., Ducros R. T., Bosc A., Meredieu C. 2009. Using cover measurements to estimate aboveground understorey biomass in Maritime pine stands // *Annals of Forest Sci.* Vol. 66. Article 307.
- Pottier J., Jabot F. 2017. Non-destructive biomass estimation of herbaceous plant individuals. P. A transferable method between contrasted environments // *Ecological Indicators*. Vol. 72. P. 769–776. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.030>
- Ramensky L. G. 1915. K voprosu o kolichestvennom uchete travyanogo pokrova. Obsledovaniye lugov i bolot [On the question of the quantitative accounting of the grass cover. Survey of meadows and swamps] // *Materiály po organizatsii i kul'ture kormovoy ploshchadi*. Vol. 12. P. 105–140. (In Russian)
- Ramensky L. G. 1927. K metodike ucheta rastitel'nosti [To the method of accounting for vegetation] // *Trudy soveshchaniya geobotanikov-lugovedov 17–22 marta 1927*. Dmitrov. P. 105–111. (In Russian)
- Ramensky L. G. 1938. Vvedeniye v kompleksnoye pochvenno-geobotanicheskoye issledovaniye zemel' [Introduction to the integrated soil-geobotanical study of lands]. Moscow. 620 p. (In Russian)
- Ramensky L. G. 1966. Pryamyie i kombinirovannyye metody kolichestvennogo ucheta rastitel'nogo pokrova [Direct and combined methods of quantitative accounting of vegetation cover] // *Tr. MOIP*. Vol. 27. P. 17–45. (In Russian)
- Reppert J. N., Morris M. J., Graham C. A. 1962. Estimation of herbage on California annual-type range // *Journ. Range Manage.* Vol. 15 (6). P. 318–323.
- Rittenhouse L., Sneva F. 1977. A technique for estimating big sagebrush production // *Journ. Range Manage.* Vol. 30 (1). P. 68–70.
- Roach M. E. 1950. Estimating Perennial Grass Utilization on Semidesert Cattle Ranges by Percentage of Ungrazed Plants // *Journ. Range Manage.* Vol. 3 (3). P. 182–185.
- Robles A. B., Fernández P., Ruiz-Mirazo J., Ramos M. E., Passera C. B., González-Rebollar J. L. 2005. Nine native leguminous shrub species. P. allometric regression equations and nutritive values. // Lloveras J., González-Rodríguez A., Vázquez-Yañez O., Piñeiro J., Santamaría O., Olea L., Poblaciones M. J. (Eds) *Sustainable Grassland Productivity*. Vol. 11. Grassland Science in Europe. P. 309–311.
- Rojo V., Arzamendia Y., Peerez C., Baldo J., Vilae B. 2017. Double sampling methods in biomass estimates of Andean shrubs and tussocks // *Rangeland Ecol. Manage.* Vol. 70 (6). P. 718–722. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2017.06.003>
- Rottgermann M., Steinlein T., Beyschlag W., Dietz H. 2000. Linear relationships between aboveground biomass and plant cover in low open herbaceous vegetation // *Journ. Veg. Sci.* Vol. 11. P. 145–148. <https://doi.org/10.2307/3236786>
- [Rudzkii] Рудзкий А. Ф. 1880. Лесная таксация. СПб. 120 с.
- Ruiz-Peinado R., Moreno G., Juarez E., Montero G., Roig S. 2013. The contribution of two common shrub species to aboveground and belowground carbon stock in Iberian dehesas // *Journ. Arid Environ.* Vol. 91. P. 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.11.002>
- Sakanoue K., Takahashi S. 2000. An estimate of plant biomass as a function of plant coverage and height with special reference to *Miscanthus sinensis* grassland in Kawatabi district // *Grassl Sci.* Vol. 46 (Suppl.). P. 64–65.

- Schulze I.-M., Bolte A., Schmidt W., Eichhorn J. 2009. Phytomass, litter and net primary production of herbaceous layer // Brumme R., Khanna P. K. (Eds). Functioning and Management of European Beech Ecosystems. Vol. 208. P. 155–181. https://doi.org/10.1007/b82392_11
- Scifres C., Kothmann M., Mathis G. 1974. Range site and grazing system influence regrowth after spraying honey mesquite // Journ. Range Manage. Vol. 27 (2). P. 97–100.
- Scurlock J. M. O., Johnson F. H., Olson R. J. 2002. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements // Global Change Biol. Vol. 8 (8). P. 736–753.
- Shipley M. A., Fleming C. E., Martineu B. S. 1942. Estimating the value of range forage for grazing use by means of animal-unit-month factor table // Nevada Agricultural Experiment Station. Bull. N. 160. 26 p.
- Siccama T. G., Bormann F. H., Likens G. E. 1970. The Hubbard Brook ecosystem study: productivity, nutrients, and phytosociology of the herbaceous layer // Ecol. Monogr. Vol. 40. P. 389–402. <https://doi.org/10.2307/1942337>
- Smith A. D. 1944. A study of the reliability of range vegetation estimates // Ecology. Vol. 25. P. 441–448.
- Standing A. R. 1933. Ratings of forest species for grazing surveys based on volume produced // Utah Juniper. Vol. 4. P. 11–14, 40–41.
- Sozinov O. V., Buzuk G. N. 2017. Opredeleniye resursnykh pokazateley rasteniy: regressionnyye zavisimosti i proyektivnyy ves *Vaccinium vitis-idaea* [Determination of plant resource indicators: regression relationships and projective weight of *Vaccinium vitis-idaea*] // Sotsial'no-ekologicheskoye tekhnologii. N 4. P. 9–26. (In Russian)
- Valentine K. A. 1946. Determining the grazing use of grasses by scaling // Journ. For. Vol. 44 (7). P. 528–530.
- Volkova E. A. 2011. Yunatov Alexander Afanasevich // Kolchinsky E. I. (editor-in-chief). Biologiya v Sankt-Peterburge. 1703–2008: Entsiklopedicheskiy slovar' [Biology in Saint-Petersburg. 1703–2008: Encyclopedic Dictionary]. Saint-Petersburg. P. 530–568. (In Russian)
- Weiner J. 2004. Allocation, plasticity and allometry in plants // Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. Vol. 6 (4). P. 207–215. <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00083>
- Weiner J., Campbell L. G., Pino J., Echarte L. 2009. The allometry of reproduction within plant populations // Journ. Ecol. Vol. 97 (6). P. 1220–1233. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01559.x>
- Williamson S. C., Detling J. K., Dodd J. L., Dyer M. I. 1987. Nondestructive estimation of shortgrass aerial biomass // Journ. Range Manage. Vol. 40. P. 254–256.
- Wilson J. B. 2011. Cover plus: ways of measuring plant canopies and the terms used for them // Journ. Veg. Sci. Vol. 22. P. 197–206. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2010.01238.x>
- Zhang L., Cui G. S., Shen W., Liu X. S. 2016. Cover as a simple predictor of biomass for two shrubs in Tibet // Ecological Indicators. Vol. 64. P. 266–271. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.009>
- Uresk D., Gilbert R., Rickard W. 1977. Sampling big sagebrush for phytomass // Journ. Range Manage. Vol. 30 (4). P. 311–314.

Сведения об авторах

Голуб Валентин Борисович

д. б. н., заведующий лабораторией фитоценологии
ФГБУН Самарский исследовательский центр РАН,
Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти
E-mail: vbgolub2000@mail.ru

Golub Valentin Borisovich

Sc. D. in Biological Sciences, Head of the Laboratory of Phytocoenology
Samara Federal Research Scientific Center of the RAS,
Institute of Ecology of Volga River Basin of the RAS, Togliatti
E-mail: vbgolub2000@mail.ru

Николайчук Людмила Федоровна

к. б. н., старший научный сотрудник лаборатории фитоценологии
ФГБУН Самарский исследовательский центр РАН,
Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти
E-mail: ludalove987@gmail.com

Nikolaychuk Lyudmila Fedorovna

Ph. D. in Biological Sciences, Senior Researcher
of the Laboratory of Phytocoenology,
Samara Federal Research Scientific Center of the RAS,
Institute of Ecology of Volga River Basin of the RAS, Togliatti
E-mail: ludalove987@gmail.com