
ГЕОБОТАНИКА

УДК 581.526.426.2(476)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ШКАЛЫ Л. Г. РАМЕНСКОГО: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

© Г. Н. Бузук
G. N. Buzuk

Ecological scales of L. G. Ramensky: new features

*УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет»
210023, Республика Беларусь, г. Витебск, пр. Фрунзе, 27. Тел.: +375 (212) 37-09-29, e-mail: buzuk@mail.ru*

Аннотация. Предложен новый алгоритм расчёта значений экологических факторов по экологическим шкалам Л. Г. Раменского, в основе которого лежит нахождение точки пересечения линий трендов для верхней и нижней границ амплитуд экологических факторов, в том числе нахождения недостающих значений шкал посредством экстраполяции и интерполяции значений верхней и нижней границ амплитуд факторов относительно богатства (проективного покрытия) вида в сообществе с помощью линейной регрессии.

Ключевые слова: экологические шкалы, фитоиндикация, Л. Г. Раменский.

Abstract. An improved algorithm for calculating the proposed level of environmental factors on the ecological scales of L.G. Ramensky based on finding the intersection point of the trend lines for the upper and lower amplitudes of environmental factors, including finding missing values scales by means of extrapolation and interpolation of the values of the upper and lower amplitudes factors regarding wealth (the projective cover) species in the community using linear regression.

Keywords: ecological scales, phytoidication, L. G. Ramensky.

DOI: 10.22281/2307-4353-2018-1-37-43

Введение

Всё многообразие экологических шкал, которых в настоящее время опубликовано более двадцати, по характеру представляемой информации можно разделить на три основных типа: оптимумные шкалы, когда для каждого вида указывается только точка экологического оптимума; амплитудные (иначе интервальные, или медианные) шкалы, где указываются пределы толерантности вида и амплитудно-оптимумные, для которых наряду с амплитудой толерантности вида по фактору приводятся также значения его обилия в сообществе (Зверев, 2012).

При сравнении амплитудных экологических шкал Д. Н. Цыганова (1983), амплитудно-оптимумных шкал Л. Г. Раменского (Раменский и др., 1956) и оптимумных (точечных) шкал Х. Элленберга (Ellenberg, 1974) или Э. Ландольта (Landolt, 1977) прослеживается общая тенденция сужения амплитуды толерантности видов растений от максимального (шкалы Д. Н. Цыганова и Я. П. Дидука (Didukh, 2011)) до частичного (амплитудно-оптимумные шкалы Л. Г. Раменского), вплоть до замены амплитуды толерантности точечной оценкой фактора в условиях оптимума (максимального обилия) вида (шкалы Элленберга, Ландольта). Таким образом, наблюдаются две противоположные тенденции в принципах составления экологических шкал, при этом амплитудно-оптимумные шкалы находятся в центре.

Ранее нами был предложен новый способ расчёта значений экологических факторов с использованием линейной регрессии для амплитудных шкал Д. Н. Цыганова (Бузук, 2017;

Бузук, Созинов, 2007; Бузук и др., 2017), в основе которого лежит расчёт линейной регрессии по верхней и нижней амплитудам толерантности видов относительно их диапазона толерантности. Данный способ требует наличия значений как верхней, так и нижней амплитуд фактора. Вместе с тем, в наиболее известных амплитудно-оптимальных шкалах Л. Г. Раменского для целого ряда видов отсутствуют значения верхней или нижней амплитуд, что не позволяет рассчитать диапазон толерантности и, соответственно, линейную регрессию.

В связи с этим, целью настоящей работы явилось разработка нового алгоритма расчета значений экологических факторов, пригодного и для амплитудно-оптимальных шкал Л. Г. Раменского.

Материалы и методы

Основные принципы методики расчёта были отработаны на примере геоботанического описания (табл. 1) (Булохов, 1996). Для расчётов и визуализации полученных результатов использовали пакеты MS Excel и Matlab.

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 приведены амплитуды по увлажнению луговых видов болотномятликового-луговолисохвостового сообщества (по: Булохов, 1996) по экологическим шкалам Л. Г. Раменского.

Таблица 1
Амплитуды по увлажнению луговых видов болотномятликового-луговолисохвостового сообщества по экологическим шкалам Л. Г. Раменского (Булохов, 1996)

№ п. п.	Вид растения	y1	y2	dxR	PP%
1.	<i>Agrostis canina</i> L.	78	95	17	2,5
2.	<i>Alopecurus pratensis</i> L.	66	77	11	35,0
3.	<i>Carex leporina</i> L.	64	87	23	0,2
4.	<i>C. praecox</i> Schreber	48	86	38	0,3
5.	<i>C. vulpina</i> L.	75	100	25	0,1
6.	<i>Centaurea jacea</i> L.	55	72	17	1,5
7.	<i>Cnidium dubium</i> (Schkuhr) Thell.	77	99	22	3,5
8.	<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv	66	89	23	1,0
9.	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	18	100	82	0,1
10.	<i>Galium boreale</i> L.	58	75	17	0,1
11.	<i>G. uliginosum</i> L.	57	97	40	0,2
12.	<i>Leontodon autumnalis</i> L.	54	74	20	2,5
13.	<i>Lychnis flos-cuculi</i> L.	60	98	38	0,2
14.	<i>Lysimachia vulgaris</i> L.	76	106	30	0,1
15.	<i>Poa palustris</i> L.	87	90	3	40,0
16.	<i>Potentilla anserina</i> L.	58	90	32	0,2
17.	<i>Ranunculus acris</i> L.	53	98	45	0,1
18.	<i>R. repens</i> L.	72	92	20	1,5
19.	<i>Rhinanthus vernalis</i> (N. Zing.) Schischk. et Serg.	49	70	21	5,0
20.	<i>Thalictrum lucidum</i> L.	63	95	32	0,3
21.	<i>Trifolium pratense</i> L.	55	77	22	3,5
22.	<i>Viola canina</i> L.	61	69	8	3,0

Обозначения: y1 и y2 – нижняя и верхняя границы амплитуды фактора, dxR – диапазон толерантности для шкал Л. Г. Раменского ($dxR = y2 - y1$), PP% – обилие видов (проективное покрытие).

При ручном расчёте по методу ограничительных ступеней Л. Г. Раменского амплитуды фактора сортируются, нижняя в порядке возрастания, верхняя – в порядке убывания (табл. 2). Затем, просматривая отсортированные амплитуды экологического фактора, находят максимально близкие значения для верхней и нижней амплитуд. В нашем примере это соответствует значению фактора увлажнения 75,0 (табл. 2, выделено цветом). Следовательно, местообитание данного сообщества характеризуется как влажно луговое (Раменский и др., 1956).

Создание ряда ограничительных ступеней для шкалы Раменского
а) до сортировки

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
y1	66	87	66	78	48	55	49	72	77	54	61	63	60	55	58	18	57	75	64	58	53	76
y2	77	90	89	95	86	77	70	92	99	74	69	95	98	72	90	100	97	100	87	75	98	106

б) после сортировки

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
y1	18	48	49	53	54	55	55	57	58	58	60	61	63	64	66	66	72	75	76	77	78	87
y2	106	100	100	99	98	98	97	95	95	92	90	90	89	87	86	77	77	75	74	72	70	69

Определение режима фактора местообитания, таким образом, сводится к установлению точки пересечения векторов его верхней и нижней амплитуд (рис. 1). Заметим, кстати, что, в дополнение к данному способу, автором экологических шкал Л. Г. Раменским был предложен и ручной графический, особенно для случаев отсутствия пересечения рядов ограничительных ступеней верхней и нижней амплитуд (Раменский и др., 1956).

Для автоматизированных расчётов нами предлагается следующий алгоритм. Сначала по отсортированным векторам верхней и нижней амплитуд фактора строятся линии трендов, с использованием линейной регрессии ($y = b \cdot x + a$). Затем по найденным значениям коэффициентов регрессии (наклон линии тренда и пересечения с осью ординат) находят координаты точки пересечения линий трендов (рис. 1) по формулам:

$$xx = (a2 - a1) / (b1 - b2); \quad yy = b1 \cdot (a2 - a1) / (b1 - b2) + a1, \quad (1)$$

где $a1, a2, b1, b2$ – коэффициенты регрессии ($y_{hat1} = b1 \cdot x + a1$; $y_{hat2} = b2 \cdot x + a2$) для линий трендов, xx и yy – координаты точки пересечения трендов.

В результате проведённых расчётов получаем значения $xx = 18,7$, $yy = 75,7$ соответственно. Оно достаточно близко к значению режима фактора, полученному ручным способом (75,0) (см. выше).

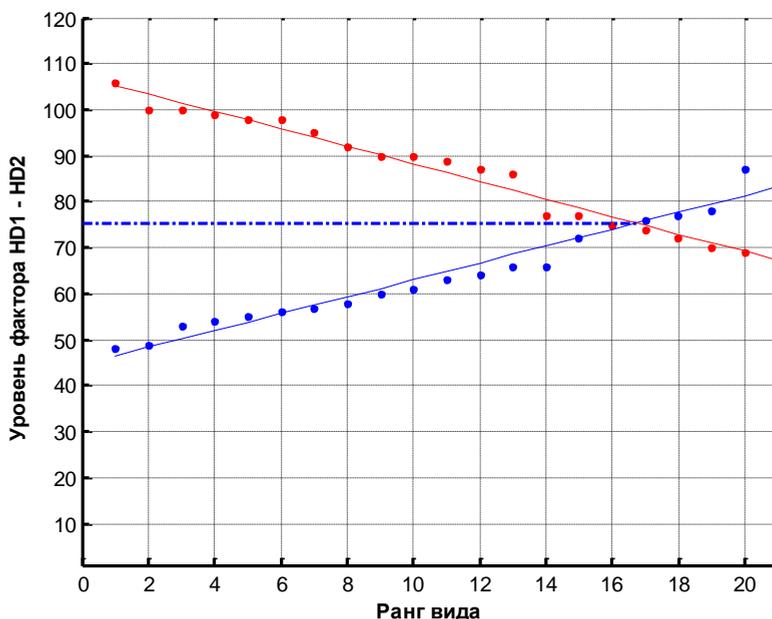


Рис. 1. Пересечение линий трендов для верхней (HD2) и нижней (HD1) границ амплитуд ограничительных ступеней увлажнения видов местообитания, ранжированных (n) по их величине; $y = b \cdot x + a$ – уравнение регрессии.

Близкое значение получается также и при использовании регрессионного способа (Бузук, 2017; Бузук, Созинов, 2007; Бузук и др., 2017) определения режима фактора. Его значение составляет 78,3. Разница в рассчитанных значениях, вероятнее всего, связана с точностью аппроксимации при построении линий трендов. Она может быть повышена при использовании для аппроксимации вместо простой линейной регрессии робастной, гребневой или байесовской, устойчивых к наличию выбросов в данных.

Как уже отмечалось ранее, в шкалах Л. Г. Раменского для целого ряда видов имеются ограничения только с одной стороны, для верхних или для нижних значений амплитуды шкалы. В этом случае при расчётах экологических условий местообитаний посредством пересечения линий трендов один из трендов после сортировки получается короче. Режим фактора рассчитывают по коэффициентам этих трендов по уравнению 1, или же недостающее значение амплитуды заменяют парой рядом стоящих значений амплитуд с иным, как правило, меньшим обилием вида. При невозможности такой корректировки вид исключают из обработки.

Другой возможный вариант преодоления недостающих значений и пропусков в шкалах Л. Г. Раменского, который предлагается нами, заключается в построении линий трендов для верхней и нижней амплитуд относительно обилия конкретного вида. Такого рода график представлен на рис. 2. для тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.).

Из рис. 2 видно, что имеет место практически линейная зависимость между верхней ($HD1$) и нижней ($HD2$) границами амплитуд увлажнения для *A. millefolium* и его обилием ($X1$, $X2$), выраженным в баллах.

$$\begin{aligned} X1 &= b1 \cdot HD1 + a1 = 0,1365 HD1 - 2,7129; \\ X2 &= b2 HD2 + a2 = -0,1808 HD2 + 16,1235 \end{aligned} \quad (2)$$

Недостающее значение нижней амплитуды увлажнения (HDx) для обилия 1 может быть найдено путем экстраполяции линии тренда (линейной регрессии) или подстановкой в обратное уравнение (3) для нижнего тренда значения 1 ($X1 = 1$):

$$HDx = (a1 - X1) / (-b1) = (-2,7129 - 1) / (-0,1365) = 27,2 \quad (3)$$

Дальнейшая интерпретация графика на рис. 2 может быть следующей. Продление линии трендов до пересечения с осью абсцисс даёт максимальные значения верхней и нижней амплитуды фактора увлажнения, которые равны ($x = 0$, вид отсутствует) или очень близки ($x > 0 \ll 1$, вид присутствует в незначительном количестве) к свободному члену уравнений трендов, в нашем примере, соответственно 88,5 и 21,7. Эти значения аналогичны верхней и нижней амплитудам уровня фактора для вида в амплитудных шкалах, например, Д. Н. Цыганова. В то же время точка пересечения линий трендов даёт уровень фактора при максимальном обилии вида (в нашем случае – 59,2), что аналогично оптимуму или точечной оценке фактора для оптимумных шкал, например, Г. Элленберга.

Для сравнения нами приведены аналогичные графики для трёх видов полыней: *Artemisia abrotanum* L., *A. vulgaris* L. и *A. scoparia* Waldst. et Kit. (рис. 3–5).

Как можно видеть из рис. 3–5, наиболее влаголюбивым видом является *Artemisia abrotanum* ($yy = 89,4$), затем следует *A. vulgaris* ($yy = 63,0$) и, наконец, *A. scoparia* ($yy = 41,8$). Кроме того, для последних двух видов зависимость обилия вида от увлажнения может быть также аппроксимирована функцией Гаусса. Для *A. abrotanum* имеет место сильный сдвиг оптимума вправо.

Другая особенность заключается в превышении баллов обилия выше 5 как следствие экстраполяции. Проективное покрытие при оптимуме ($PP\%$) может быть рассчитано аналитически как точка пересечения линий трендов (линейной регрессии) между уровнем фактора, например, $HD1 - HD2$ и обилием вида (рис. 2–5) по уравнению 1, графически путём экстраполяции степенной зависимости между баллами обилия (x) видов и серединой диапазона проективного покрытия для конкретного балла обилия (рис. 6) (Раменский и др., 1956) или по уравнению: $PP\% = 0,0087 x^{4,5515}$.

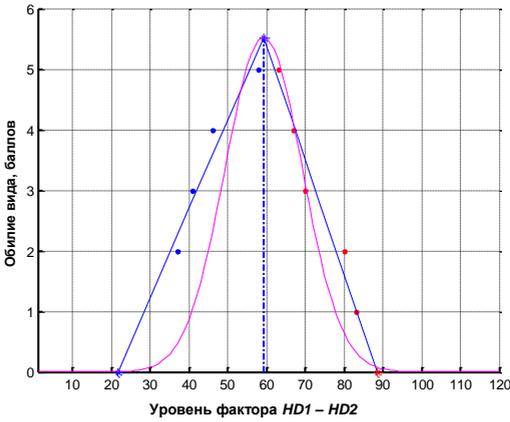


Рис. 2. Зависимость обилия (проективного покрытия) от увлажнения для верхней (*HD2*) и нижней (*HD1*) границ амплитуд для *Achillea millefolium* L.

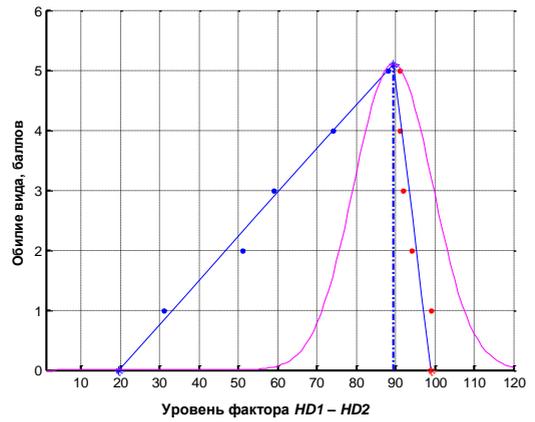


Рис. 3. Зависимость обилия (проективного покрытия) от увлажнения для верхней (*HD2*) и нижней (*HD1*) границ амплитуд для *Artemisia abrotanum* L. (Раменский и др., 1956).

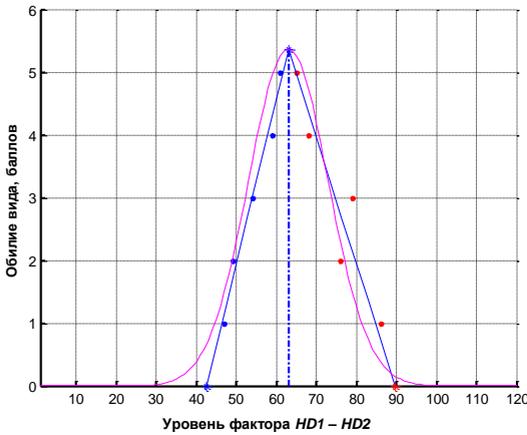


Рис. 4. Зависимость обилия (проективного покрытия) от увлажнения для верхней (*HD2*) и нижней (*HD1*) границ амплитуд для *Artemisia vulgaris* L. (Раменский и др., 1956).

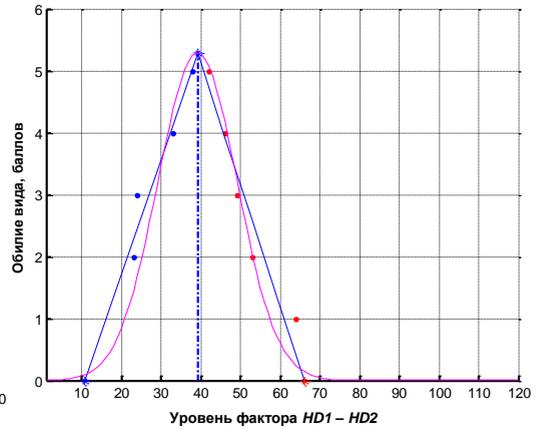


Рис. 5. Зависимость обилия (проективного покрытия) от увлажнения для верхней (*HD2*) и нижней (*HD1*) границ амплитуд для *Artemisia scoparia* Waldst. et Kit. (Раменский и др., 1956).

Примечание к рис. 2–5. Обилие, баллы: 1 – единично, 2 – мало: 0,1–0,2%, 3 – умеренно: 0,3–2,5%, 4 – обильно: 2,5–8%; 5 – массово: более 8% (Раменский и др., 1956).

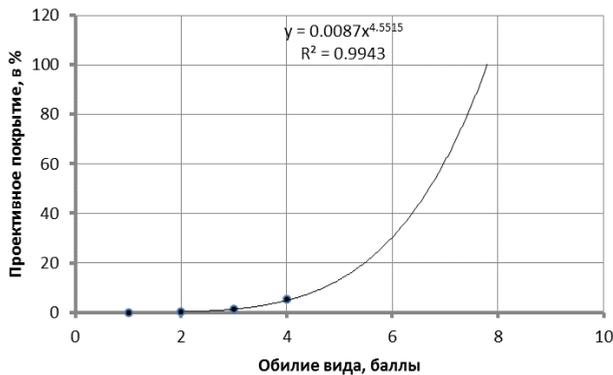


Рис. 6. Зависимость между обилием вида (в баллах) и проективным покрытием.

В конечном итоге, имея базу геоботанических описаний и используя в качестве опорных амплитудные (Цыганов, 1983; Didukh, 2011), амплитудно-оптимумные (Раменский и др., 1956) или оптимумные (точечные) шкалы (Ellenberg, 1974; Landolt, 1977), с учётом предложенного нами алгоритма можно строить новые региональные шкалы или уточнять существующие.

Данный подход хорошо срабатывает и на более современных региональных шкалах (Щаценкин и др., 1974; Селедец, 2010), построенных по методике Л. Г. Раменского (рис. 7).

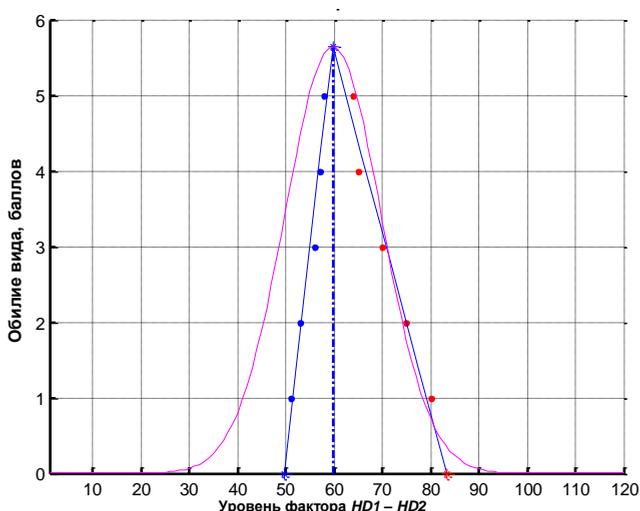


Рис. 7. Зависимость обилия (проективного покрытия) от увлажнения для верхней (HD2) и нижней (HD1) границ амплитуд для *Geranium pratense* L. (Селедец, 2010).

Фитоиндикация требует хорошего знания флоры, а также биологических и экологических свойств растений каждого вида, что существенно ограничивает круг лиц для её использования. Индикация теряет смысл, если индикационные исследования по трудоёмкости и продолжительности наблюдения приближаются к прямым методам определения факторов (Булохов, 1996). Но она может дать направление для дальнейшего изучения роли определённых экологических факторов в строении и функционировании растительных сообществ, ценопопуляций, видов и даже биохимических процессов, включая вторичный метаболизм. В качестве примера можно отметить обнаружение выраженной линейной связи между богатством почвы и содержанием в растениях чистотела главного изохинолинового алкалоида коптизина (Погоцкая и др., 2010).

Несомненным достоинством фитоиндикации является то, что растения дают обобщённые и усреднённые характеристики экологических режимов в силу значительной инерции в ответной реакции на изменение тех или иных параметров среды, то есть отзываются на продолжительные, обобщённые, усреднённые и направленные изменения режима, а не на его кратковременные флуктуации. На кратковременные изменения условия среды растения реагируют изменением (флуктуациями) биомассы.

Заключение

Предложен новый алгоритм расчёта уровня экологических факторов по экологическим шкалам Л. Г. Раменского, в основе которого лежит нахождение точки пересечения линий трендов для верхней и нижней границ амплитуд экологических факторов, в том числе нахождения недостающих значений шкал посредством экстраполяции и интерполяции значений верхней и нижней границ амплитуд факторов относительно богатства (проективного покрытия) вида в сообществе с помощью линейной регрессии.

Список литературы

- Бузук Г. Н. 2017. Фитоиндикация с применением экологических шкал и регрессионного анализа: экологический индекс // Вестник фармации. № 1. С. 31–37. [Buzuk G. N. 2017. Fitoindikatsiya s primeneniem ekologicheskikh shkal i regressionnogo analiza: ekologicheskii indeks // Vestnik farmatsii. № 1. P. 31–37.]
- Бузук Г. Н., Созинов О. В. 2007. Фитоиндикация: применение регрессионного анализа // Вестник фармации. № 3. С. 44–50. [Buzuk G. N., Sozinov O. V. 2007. Fitoindikatsiya: primeneniye regressionnogo analiza // Vestnik farmatsii. № 3. P. 44–50.]
- Бузук Г. Н., Созинов О. В., Цвирко Р. В. 2017. Лимитирующие факторы для фитоценозов: технология оценки (на примере сосновых лесов Центральной Беларуси) // Вестник МГГУ им. М. А. Шолохова. Социально-экологические технологии. № 1. С. 27–40. [Buzuk G. N., Sozinov O. V., Tsvirko R. V. 2017. Limitiruyushchie faktory dlya fitotsenozov: tekhnologiya otsenki (na primere sosnovykh lesov Tsentral'noi Belarusi) // Vestnik MGGU im. M. A. Sholokhova. Sotsial'no-ekologicheskie tekhnologii. № 1. P. 27–40.]
- Булочков А. Д. 1996. Экологическая оценка среды методами фитоиндикации. Брянск: БГПУ. 104 с. [Bulokhov A. D. 1996. Ekologicheskaya otsenka sredy metodami fitoindikatsii. Bryansk: BGPU. 104 p.]
- Зверев А. А. 2012. Сравнительный анализ растительности с использованием фитоиндикационных шкал // Сб. статей и лекций IV Всероссийской школы-конф. «Актуальные проблемы геоботаники» (1–7 октября 2012 г.). Уфа: Изд. центр «МедиаПринт». С. 25–46. [Zverev A. A. 2012. Sravnitel'nyi analiz rastitel'nosti s ispol'zovaniem fitoindikatsionnykh shkal // Sb. statei i lektzii IV Vserossiiskoi shkoly-konf. «Aktual'nye problemy geobotaniki» (1–7 oktyabrya 2012 g.). Ufa: Izd. tsentr «MediaPrint». P. 25–46.]
- Погоцкая А. А., Бузук Г. Н., Созинов О. В. 2010. Морфометрия *Chelidonium majus* L. Взаимосвязь размеров, формы листа и содержания алкалоидов и фенольных соединений // Вестник фармации. № 3. С. 26–39. [Pogotskaya A. A., Buzuk G. N., Sozinov O. V. 2010. Morfometriya *Chelidonium majus* L. Vzaimosvyaz razmerov, formy lista i sodержaniya alkaloidov i fenolnykh soedineniy // Vestnik farmatsii. № 3. P. 26–39.]
- Раменский Л. Г., Цаценкин И. А., Чижиков О. Н., Антипин Н. А. 1956. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз. 472 с. [Ramenskii L. G., Tsatsenkin I. A., Chizhikov O. N., Antipin N. A. 1956. Ekologicheskaya otsenka kormovykh ugodii po rastitel'nomu pokrovu. M.: Sel'khozgiz. 472 p.]
- Седець В. П. 2010. Экологические шкалы для ботанических исследований в муссонном климате Дальнего Востока России // Бюллетень Ботанического сада института ДВО РАН. Вып. 7. С. 39–82. [Seledets V. P. 2010. Ekologicheskie shkaly dlya botanicheskikh issledovaniy v mussonnom klimate Dalnego Vostoka Rossii // Byulleten Botanicheskogo sada instituta DVO RAN. Vyp. 7. P. 39–82.]
- Цаценкин И. А., Дмитриева С. И., Беляева Н. В., Савченко И. В. 1974. Методические указания по экологической оценке кормовых угодий лесостепной и степной зон Сибири по растительному покрову. М. 247 с. [Tsatsenkin I. A., Dmitrieva S. I., Belyaeva N. V., Savchenko I. V. 1974. Metodicheskie ukazaniya po ekologicheskoy otsenke kormovykh ugodii lesostepnoy i stepnoy zon Sibiri po rastitel'nomu pokrovu. M. 247 p.]
- Цыганов Д. Н. 1983. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука. 196 с. [Tsyganov D. N. 1983. Fitoindikatsiya ekologicheskikh rezhimov v podzone khvoino-shirokolistvennykh lesov. M.: Nauka. 196 p.]
- Didukh Ya. P. 2011. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Kyiv: Phytosociocentre. 176 p.
- Ellenberg H. 1974. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. Göttingen: Goltze. 97 S.
- Landolt E. 1977. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora // Veröff. Geobot. Inst. der Eidgen. Techn. Hochschule, Zürich. Vol. 64. P. 1–208.

Сведения об авторах

Бузук Георгий Николаевич
д. фарм. н., заведующий кафедрой фармакогнозии
с курсом ФПК и ПК ВГМУ
УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов
медицинский университет», Витебск
E-mail: buzukg@mail.ru

Buzuk Georgy Nikolaevich
Sc. D. in Pharmaceutical science, Head of the Dpt. of pharmacognosy with
course of PhPK and PK VGMU
Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, Vitebsk
E-mail: eco_egf@mail.ru