

ФАРМАКОГНОЗИЯ И БОТАНИКА

УДК 615.32:615.07

DOI: <https://doi.org/10.52540/2074-9457.2023.2.72>

Г. Н. Бузук

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ МЕТОДОМ ИДЕАЛЬНОГО ИНДИКАТОРА С ПОМОЩЬЮ ОБЪЕДИНЕННЫХ ЕВРОПЕЙСКИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ШКАЛ H. ELLENBERG

г. Витебск, Республика Беларусь

В настоящее время для оценки экологических условий местообитания растений, в том числе лекарственных, достаточно широко используются экологические шкалы, которые непрерывно дополняются и совершенствуются. Целью настоящей работы явилась апробация объединенных Европейских экологических шкал H. Ellenberg (ETIV – *Ellenberg-type indicator values*) для оценки экологического пространства фитоценозов методом идеального индикатора и невзвешенного среднего. Объектами исследования были растительность верхового (сосняк багульниковый) и низинного (сосняк осоковый) болот, а также различных типов сероольшаников. Проведенные расчеты показали близкую сходимость результатов, полученных методом невзвешенного среднего и методом идеального индикатора, а также отсутствие выхода расчетных результатов за пределы шкалы для «экстремальных» фитоценозов, каковыми являются фитоценозы болот, при использовании метода идеального индикатора. Помимо обоснованного ранее экологического индекса, предложен новый STRESS-индекс для характеристики уровня абиотического стресса, представляющий собой сумму модулей экологического индекса факторов среды. Использование непараметрической (*kernel*) регрессии позволяет выявить микрогруппировку растительности по градиенту фактора, например, трофности, увлажнения.

Ключевые слова: экологические шкалы, линейная регрессия, экологическое пространство, метод идеального индикатора, экологический индекс, STRESS-индекс, верховое и низинное болота, сероольшаники.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для исследования экологического пространства видов в растительных сообществах широкое распространение получили экологические шкалы [1–5]. Они представляют собой обобщенные свойства экологических режимов [6, 7] как ответную реакцию растительного сообщества на изменение параметров окружающей среды.

Преимуществом экологических шкал по сравнению с инструментальными методами является возможность быстрой и комплексной оценки экологии видов без отбора образцов [8–16].

Чаще всего для расчета уровня экологического фактора применяют метод среднего значения оптимума (оптимумные шкалы) или середины интервала (диапазона) толерантности вида (амплитудные

шкалы Д. Н. Цыганова и Ya. P. Didukh). При использовании амплитудных шкал допускается, что оптимум вида соответствует середине диапазона толерантности. В результате такого допуска в ряде случаев получается смещенная характеристика экологического пространства фитоценоза [17, 18].

Нами предложен регрессионный способ расчета экологических факторов местообитания растений на базе диапазонных экологических шкал Д. Н. Цыганова и Ya. P. Didukh. В основе метода лежит расчет линейной регрессии для верхнего и нижнего значений экологических факторов относительно их амплитуды толерантности.

Построенные линии регрессии пересекаются в точке по оси ординат, соответствующей нулевому рангу – гипотетическому «идеальному индикатору», харак-

теризующему местообитание растения по исследуемому экологическому фактору [19, 20].

Оба метода расчета уровня экологического фактора – по средним значениям оптимума и «идеального индикатора» – имеют недостатки, связанные со сдвигом расчетных данных: в первом случае – к центру, во втором – к границе значений фактора [18, 21].

Устранение недостатка возможно с применением логит-преобразования исходных данных с последующим расчетом линейной зависимости для преобразованных данных [22, 23], а также взвешенного усреднения значений, полученных обоими способами – методом среднего и методом «идеального индикатора» [21].

Значительным достижением в области экологических шкал в последние годы явилась разработка объединенных Европейских экологических шкал Н. Ellenberg (ETIV – Ellenberg-type indicator values) на основе 13 региональных шкал стран Европы, включающая новый набор скорректированных и верифицированных значений индикаторов типа Элленберга для 8908 видов европейских сосудистых растений на основе более чем 1 790 582 геоботанических описаний растительности [24].

Отличительной особенностью этих шкал является наличие одновременно оптимума и диапазона толерантности (широта ниши) для основных экологических факторов, таких как освещенность (Light), увлажнение (Moisture), температура (Temperature), кислотность почвы (Reaction) и трофность (Nutrients), что позволяет использовать различные методы и способы расчета параметров экологического пространства.

Целью настоящей работы явилась апробация объединенных Европейских экологических шкал Н. Ellenberg при использовании для оценки экологического пространства фитоценозов методами идеального индикатора и невзвешенного среднего.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основные принципы методики были отработаны с использованием геоботанических описаний, представленных на сайте «Ценофонд лесов Европейской России» [25], содержащихся в монографиях [26,

27] и также использованных в работе [28].

Расчет экологического индекса (EI) проводили по формуле [28, 29]

$$EI = 100 \cdot (|b_2| - ((|b_1| + |b_2|)/2)) / ((|b_1| + |b_2|)/2), \quad (1)$$

где b_1 и b_2 – наклон линии регрессии по максимальным (b_1) и минимальным (b_2) значениям амплитуд видов.

Чем ближе значение экологического индекса к нулю, тем больше состав сообщества гармонизирован с условиями среды [28, 29].

Плотность вероятности для вектора экологических факторов рассчитывали с использованием непараметрической (kernel) регрессии [30].

Для расчетов и визуализации полученных результатов использовали Excel и Matlab. В связи с тем, что ETIV шкалы содержат значения экологических факторов примерно для 9 000 видов, ручной поиск видов по таблице Excel в 9 000 строк становится довольно времязатратным. Поэтому нами был разработан поисковик в среде Matlab по латинскому названию вида с возможностью пополнения базы синонимами в названиях растений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки возможностей и результатов определения экологического пространства сообществ растений нами выбраны два болотных «экстремальных» фитоценоза: сосняк багульниковый – верховое болото и сосняк осоковый – низинное болото.

Верховые болота исключительно атмосферного питания. Их почвы крайне бедны элементами минерального питания. Видовой состав ограничен. Низинные болота – это болота грунтового питания. Почвы низинных болот богаты элементами минерального питания. Отличаются также и богатым видовым составом.

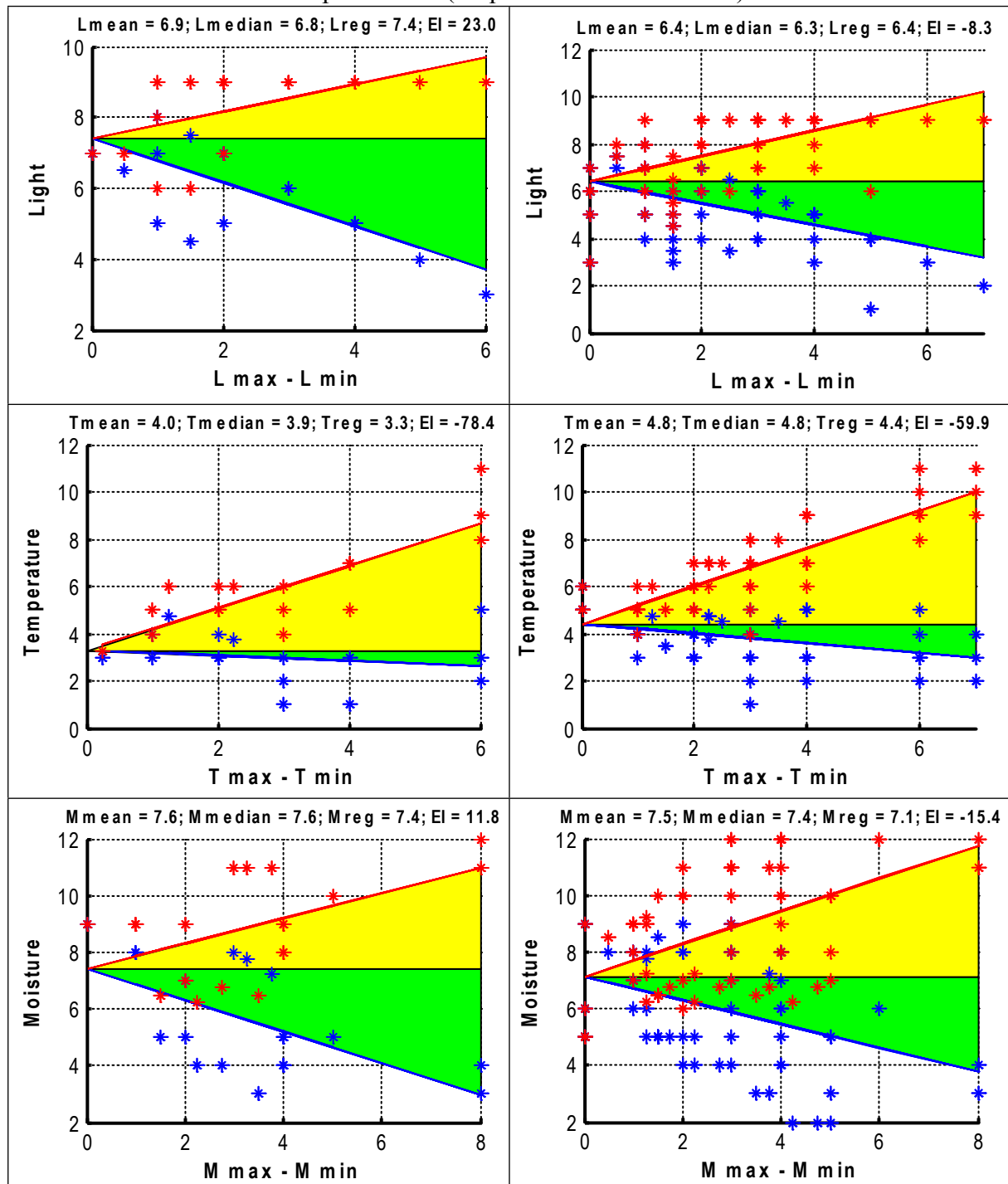
Полученные данные по определению экологического пространства растительных сообществ верхового и низинного болот представлены в таблице 1. Согласно предложенному нами критерию соответствия состава растительности и экологических условий (см. выше) оптимальными для обоих растительных сообществ являются осве-

ценность (Light) и увлажнение (Moisture). По температурному фактору (Temperature) растительность, как верхового, так и низинного болот испытывает его отрицательное влияние (EI со знаком минус), что хорошо согласуется с общеизвестным фактом – почвы болот холодные [31, 32].

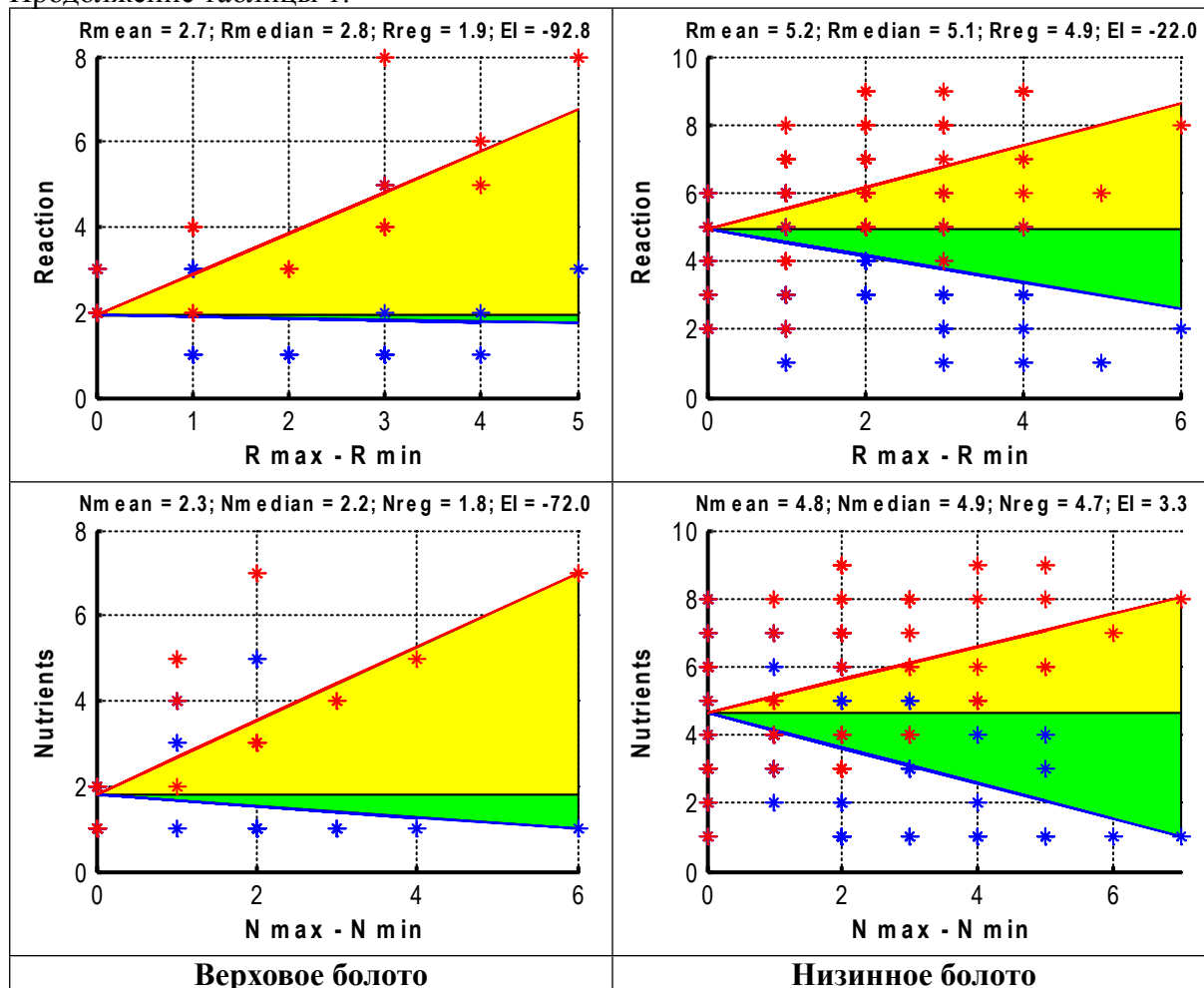
Существенное различие состоит и в отношении кислотности почвы (Reaction),

и ее трофности (Nutrients). В то время как сообщество верхового болота испытывает отрицательное влияние кислой реакции почвы и ее бедности элементами минерального питания, условия по этим же параметрам для растительного сообщества низинного болота близки к оптимальным, что также согласуется с общеизвестными данными [31, 32].

Таблица 1. – Регрессии для верхнего и нижнего диапазонов экологических факторов видов сообщества растений верхового и низинного болот, ранжированных по величине толерантности (широте ниши: max – min)



Продолжение таблицы 1.



Примечание: по оси абсцисс: градации длин амплитуд толерантности видов (широта ниши); по оси ординат: экологическая шкала, баллы **Nmean**, **Nmedian**, **Nreg** – уровни фактора, рассчитанные методом невзвешенного среднего по среднему (**mean**), медиане (**median**) и методом идеального индикатора (**reg**), **EI** – экологический индекс.

Если рассматривать влияние высокой кислотности и недостатка элементов минерального питания в почве верхового болота как стрессовый фактор, можно предложить показатель для оценки стресса, испытываемым растительным сообществом со стороны среды обитания.

Данный фактор можно выразить как сумму модулей (абсолютных значений) экологического индекса (EI):

$$STRESS = \sum (|EI_{Light}| + |EI_{Moisture}| + |EI_{Temperature}| + |EI_{Nutrients}| + |EI_{Reaction}|) \quad (2)$$

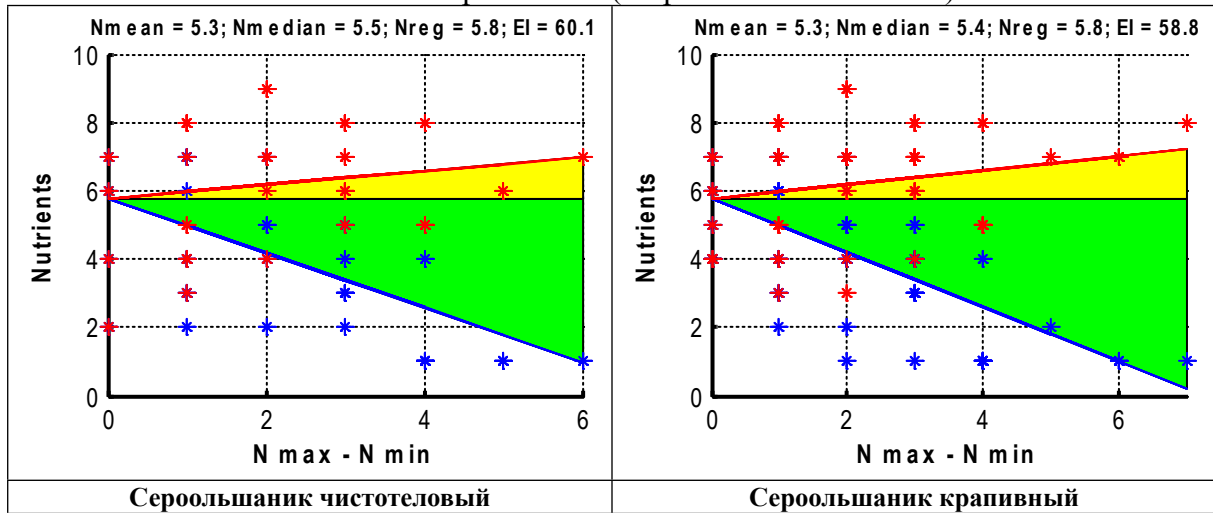
Если суммировать не модули, а значения EI только с одним знаком (+ или -), можно получить значение стресса как для избытка, так и нехватки ресурса. В частности, избыток ресурса (трофность) нами фиксировался практически во всех фито-

ценозах сероольшаников (таблица 2).

Возможность оценки уровня стресса, испытываемого растительным фитоценозом, представляет несомненный интерес в плане теории создания сообществ (Community Assembly Theory) [33, 34] как компонента абиотического фильтра (в разрезе по абиотическим факторам). Другим аспектом оценки уровня стресса, в том числе управляемого, является целенаправленная корректировка синтеза биологически активных веществ лекарственных растений, который, как оказывается, существенно увеличивается в стрессовых условиях. Это находит практическое применение при заготовке и культивировании лекарственных растений [35–38].

Дополнительную информацию о структуре растительного сообщества несет расчет плотности вероятности для векторов конкретных экологических фак-

Таблица 2. – Регрессии для верхнего и нижнего диапазонов экологических факторов видов растений сероольшаника чистотелового и крапивного, ранжированных по величине толерантности (широте ниши: max–min)

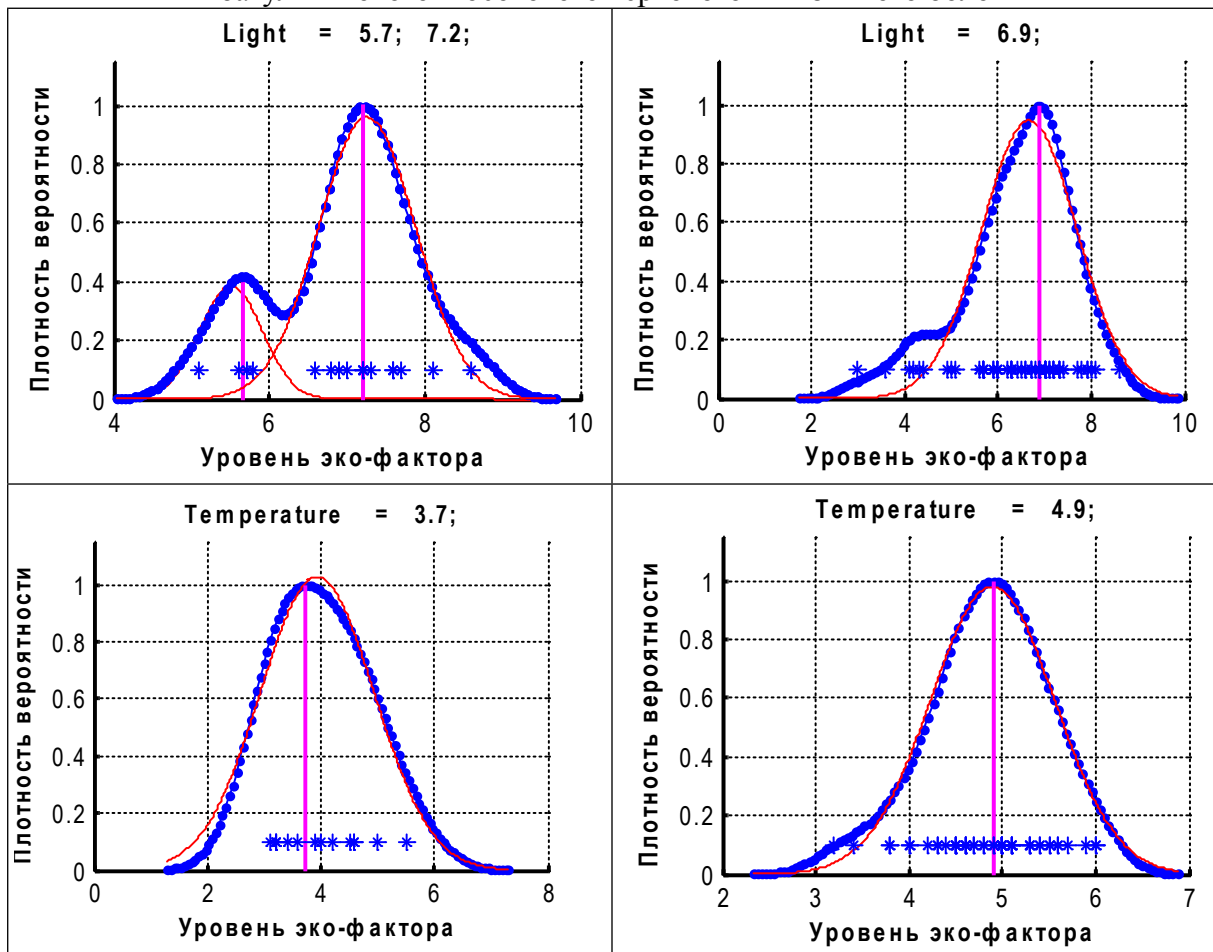


Примечание: обозначения те же, что в таблице 1.

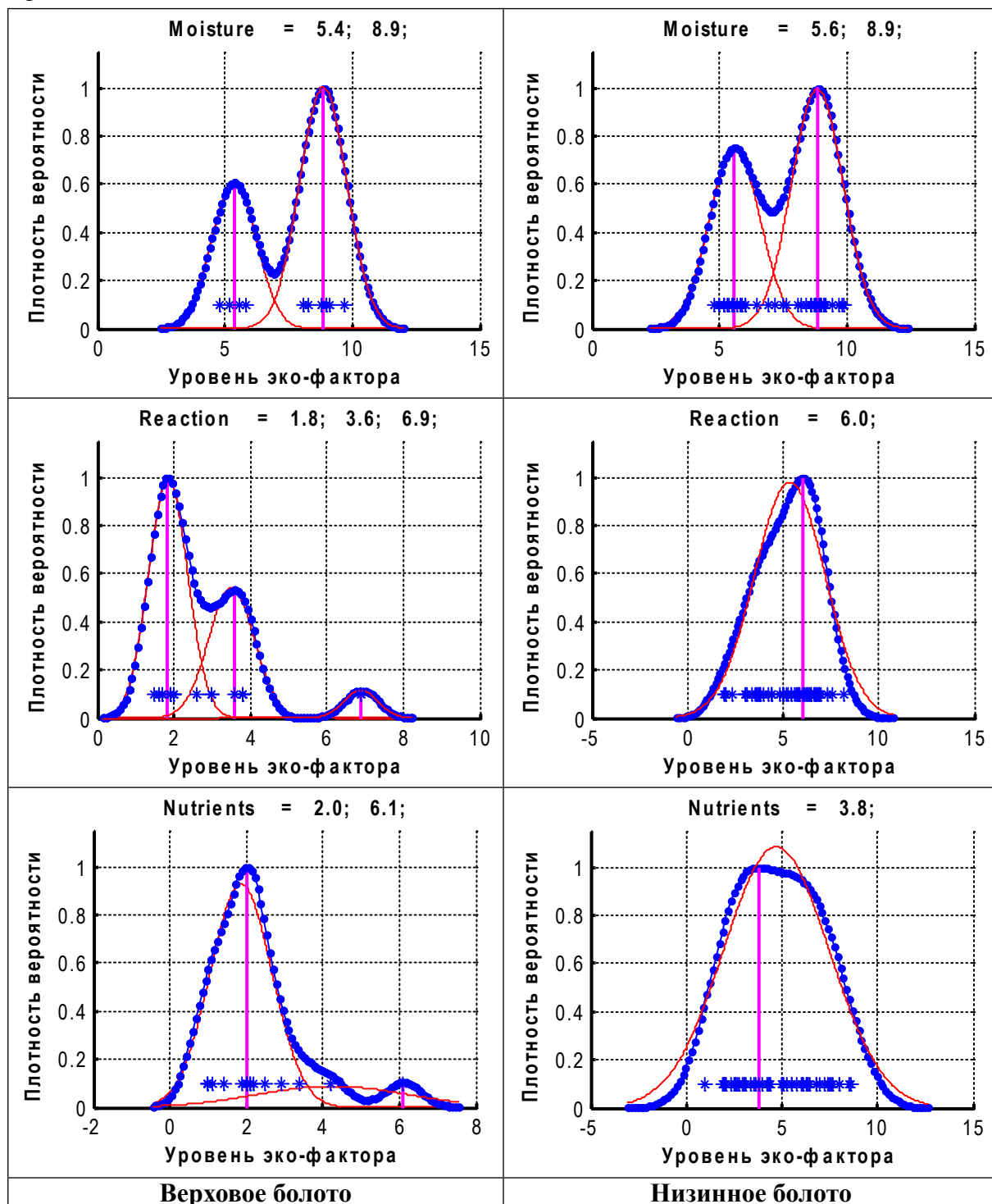
торов с помощью непараметрической регрессии. Полученные данные представлены в таблице 3.

Как можно видеть только для температурного фактора, как для верхового, так и низинного болот, а также реакции

Таблица 3. – Плотность вероятности экологических факторов для сосняка багульникового и осокового верхового и низинного болот



Продолжение таблицы 3.



среды и трофности для низинного болота имеет место его нормальное или близкое к нему распределение. В остальных случаях имеет место более или менее выраженная группировка видов вдоль градиента фактора, что свидетельствует о множественности и разнокачественности ценологических форм в растительном покрове болот. Это, вероятнее всего, может быть связано с неоднородностью среды в пределах фитоце-

ноза. Так, например, две группировки по уровню влажности верхового и низинного болот могут быть связаны с чередованием повышенных и пониженных участков [31, 32]. Однако для этого нужны дополнительные исследования в свете выявленных фактов конкретных местообитаний.

Таким образом, как в случае с приведенными выше растительными сообществами болот (таблица 1), так и с фитоце-

нозами сероольшаников (таблица 2), мы не наблюдали выхода значений экологических факторов, рассчитанных методом идеального индикатора, за пределы ETIV шкал, в том числе для таких «экстремальных» фитоценозов, как болотные. Следовательно, причина расхождений в полученных ранее результатах заключается не в предложенной методике расчета, а в самих экологических шкалах Д. Н. Цыганова и Ya. P. Didukh [2, 3]. В связи с этим для дальнейших исследований роли экологических факторов следует использовать ETIV шкалы.

Относительно влияния размеров учетной площадки (УП) и числа зарегистрированных на УП видов на результаты фитоиндикации, проведенные с этой целью исследования показали, что размер УП в пределах от 1 до 50 м² практически не влияет на точность определения уровня факторов с помощью экологических шкал [39].

В свою очередь, наибольшая точность определения уровней фактора обеспечивается при регистрации на УП 20–25 видов, однако даже при наличии 6–12 видов достигается 80% точность [40]. Таким образом, полная инвентаризация видов на УП не является строго обязательной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При использовании в качестве объектов исследования растительности верхового (сосняк багульниковый) и низинного (сосняк осоковый) болот проведена апробация объединенных Европейских экологических шкал Н. Ellenberg (ETIV) для оценки экологического пространства фитоценозов методами идеального индикатора и невзвешенного среднего. Проведенные расчеты показали близкую сходимость результатов, полученных методом невзвешенного среднего и методом идеального индикатора, а также отсутствие выхода расчетных результатов за пределы шкалы для «экстремальных» фитоценозов, каковыми являются фитоценозы болот, при использовании метода идеального индикатора. Предложен новый индекс для оценки уровня абиотического стресса. Использование непараметрической (kernel) регрессии позволяет выявить микрогруппировки растительности по градиенту фактора, например, трофности, увлажнения и т. д.

SUMMARY

G. N. Buzuk

DETERMINATION OF ECOLOGICAL ENVIRONMENT OF PLANT COENOSSES BY THE IDEAL INDICATOR METHOD USING COMBINED EUROPEAN ECOLOGICAL ELLENBERG-TYPE INDICATOR VALUES

At present, ecological scales which are constantly supplemented and improved are widely used to assess ecological conditions of plant habitats including medicinal ones. The aim of this work was to test combined European ecological Ellenberg-type indicator values (ETIV – Ellenberg-type indicator values) to assess ecological environment of phytocenoses using the methods of ideal indicator and unweighed average. The objects of the study were vegetation of upland (wild rosemary pine forest) and lowland (sedge pine forest) swamps as well as various types of alder forests. The calculations made showed close convergence of the results obtained by the unweighed mean method and the ideal indicator method as well as the absence of the calculated results beyond the scale for “extreme” phytocenoses which are swamps phytocenoses when using the ideal indicator method. Besides the previously proposed ecological index a new STRESS-index has been proposed to characterize the level of abiotic stress which is the sum of the modules of the ecological index of environmental factors. The use of nonparametric (kernel) regression makes it possible to identify microgroupings of vegetation by the factor gradient, for example, trophicity, moisture and etc.

Keywords: ecological scales, linear regression, ecological environment, ideal indicator method, ecological index, STRESS-index, upland and lowland swamps, alder forests.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову / Л. Г. Раменский [и др.]. – Москва: Гос. изд-во с.-х. лит., 1956. – 472 с.
2. Цыганов, Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов / Д. Н. Цыганов. – Москва: Наука, 1983. – 196 с.
3. Didukh, Ya. P. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication / Ya. P. Didukh. – Kyiv: Phytoso-

ciocentre, 2011. – 176 p.

4. Indicator values of vascular plants / H. Ellenberg [et al.] // Indicator Values of Plants in Central Europe (German). – Göttingen: Erich Goltze, 2001. – P. 9–166.

5. Flora Indicativa: Ecological indicator Values and Biological attributes of the Flora of Switzerland and the Alps / E. Landolt [et al.]. – Bern: Haupt, 2010. – 230 p.

6. Цыганов, Д. Н. Экоморфы флоры хвойно-широколиственных лесов / Д. Н. Цыганов. – Москва: Наука, 1976. – 60 с.

7. Булохов, А. Д. Фитоиндикация и ее практическое применение / А. Д. Булохов. – Брянск: Изд-во Брянского гос. ун-та, 2004. – 245 с.

8. Пространственное варьирование показателей экологического состояния дерново-лесных почв Усманского бора / А. В. Белик [и др.] // Лесотехнический журн. – 2020. – Т. 10, № 3. – С. 5–15.

9. Литвинович, А. В. Пространственная неоднородность агрохимических показателей пахотных дерново-подзолистых почв / А. В. Литвинович // Агрохимия. – 2007. – № 5. – С. 89–94.

10. Медведев, В. В. Неоднородность агрохимических показателей почвы в пространстве и во времени / В. В. Медведев, А. И. Мельник // Агрохимия. – 2010. – № 1. – С. 20–26.

11. Рыжова, И. М. Пространственная вариабельность запасов органического углерода в почвах лесных и степных биогеоценозов / И. М. Рыжова, М. А. Подвезенная // Почвоведение. – 2008. – № 12. – С. 1429–1437.

12. Карпачевский, Л. О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе / Л. О. Карпачевский. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 312 с.

13. Карпачевский, Л. О. Динамика свойств почвы / Л. О. Карпачевский. – Москва: ГЕОС, 1997. – 170 с.

14. Березин, Л. В. Лесное почвоведение / Л. В. Березин, Л. О. Карпачевский. – Омск: Омский гос. аграрный ун-т, 2009. – 360 с.

15. Почвенно-биогеоценологические исследования в лесных биогеоценозах / Л. О. Карпачевский [и др.]. – Москва: Изд-во Моск ун-та, 1980. – 160 с.

16. Зверев, А. А. Методические аспекты применения фитоиндикационного анализа в изучении биоразнообразия / А. А. Зверев // Сибирский эколог. журн. – 2020. – Т. 27, № 4. – С. 401–415.

17. Бузук, Г. Н. Экологические шкалы Л. Г. Раменского: новые возможности // Разнообразие растит. мира. – 2018. – № 1. – С. 37–43.

18. Верификация балловых оценок местобитания по некоторым параметрам среды / Л. Б. Заугольнова [и др.] // Лесоведение. – 1998. – № 5. – С. 48–58.

19. Бузук, Г. Н. Фитоиндикация: применение регрессионного анализа / Г. Н. Бузук, О. В. Созинов // Вестн. фармации. – 2007. – № 3. – С. 44–50.

20. Бузук, Г. Н. Регрессионный анализ в фитоиндикации (на примере экологических шкал Д. Н. Цыганова) / Г. Н. Бузук, О. В. Созинов // Ботаника (исследования): сб. науч. трудов / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск: Право и экономика, 2009. – Вып. 37. – С. 356–362.

21. Бузук, Г. Н. Комплексный способ расчета режимов экологических факторов среды (экологического пространства) растительных сообществ для амплитудных экологических шкал // Вестн. фармации. – 2021. – № 2. – С. 48–58.

22. Применение β -функции в фитоиндикации для учета асимметрии кривых отклика видов растений / А. В. Жуков [и др.] // Acta Biologica Sibirica. – 2018. – Т. 4, № 2. – P. 32–46.

23. Бузук, Г. Н. Фитоиндикация с применением экологических шкал и регрессионного анализа: сравнение методик расчета / Г. Н. Бузук // Вестн. фармации. – 2018. – № 4. – С. 38–43.

24. Ellenberg type indicator values for European vascular plant species / Tichý L. [et al.] // J. of Vegetation Science. – 2023. – Vol. 34, N 1. – P. e13168.

25. Ханина, Л. Г. Характеристика экологических шкал [Электронный ресурс] / Л. Г. Ханина // Ценофонд лесов Европейской России: сайт. – Режим доступа: <http://mfd.cepl.rssi.ru/flora/ecoscale.htm>. – Дата доступа: 05.05.2023.

26. Ловчий, Н. Ф. Кадастр типов сосновых лесов Белорусского Поозерья / Н. Ф. Ловчий, А. В. Пучило, В. Д. Гуцевич. – Минск: Беларус. навука, 2009. – 194 с.

27. Ловчий, Н. Ф. Кадастр типов сосновых лесов Белорусского Полесья / Н. Ф. Ловчий; науч. ред. В. И. Парфенов; Науч.-практ. центр НАН Беларуси по биоресурсам, Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперимент. ботаники им. В. Ф. Купревича. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 221 с.

28. Бузук, Г. Н. Лимитирующие факторы для фитоценозов: технология оценки (на примере сосновых лесов центральной Беларуси) / Г. Н. Бузук, О. В. Созинов, Р. В. Цвирко // Социально-экологические технологии. – 2017. – № 1. – С. 27–40.

29. Бузук, Г. Н. Фитоиндикация с применением экологических шкал и регрессионного анализа: экологический индекс / Г. Н. Бузук // Вестн. фармации. – 2017. – № 2. – С. 31–37.

30. Бузук, Г. Н. Определение трофности почв электрофизическим методом. Сообщение 5. Полевые испытания / Г. Н. Бузук // Вестн. фармации. – 2022. – № 2. – С. 65–76.

31. Болотные системы Западной Сибири и

их природоохранное значение / О. Л. Лисс [и др.] ; под ред. В. Б. Куваева. – Тула: Гриф и К, 2001. – 584 с.

32. Боч, М. С. Экосистемы болот СССР / М. С. Боч, В. В. Мазинг. – Ленинград: Наука, 1979. – 188 с.

33. Community assembly theory as a framework for biological invasions / D. E. Pearson [et al.] // Trends in Ecology & Evolution. – 2018. – Vol. 33, N 5. – P. 313–325.

34. Boinot, S. Influence of within-field understory vegetation strips on plant and invertebrate communities in alley cropping agroforestry systems: dissertation / S. Boinot. – Montpellier: SupAgro, 2019. – 170 p.

35. Plant secondary metabolite diversity reflects both phylogeny and ecological adaptation / S. Pierce [et al.] // bioRxiv. – 2021.

36. Winkel-Shirley, B. Biosynthesis of flavonoids and effects of stress / B. Winkel-Shirley // Current opinion in plant biology. – 2002. – Vol. 5, N 3. – P. 218–223.

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

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

39. Otýpková, Z. The influence of sample plot size on evaluations with Ellenberg indicator values / Z. Otýpková // Biologia. – 2009. – Vol. 64, N 6. – P. 1123–1128.

40. Optimizing the bioindication of forest soil acidity, nitrogen and mineral nutrition using plant species / P. E. Pinto [et al.] // Ecological Indicators. – 2016. – Vol. 71. – P. 359–367.

REFERENCES

1. Ramenskii LG, Tsatsenkin IA, Chizhikov ON, Antipin NA. Ecological assessment of fodder lands by vegetation cover. Moskva, RF: Gos izd-vo s-kh lit; 1956. 472 s. (In Russ.)

2. Tsyganov DN. Phytoindication of ecological regimes in the subzone of coniferous-deciduous forests. Moskva, RF: Nauka; 1983. 196 s. (In Russ.)

3. Didukh YaP. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Kyiv, Ukraine: Phytosociocentre; 2011. 176 p. (English)

4. Ellenberg H, Weber HE, Düll R, Wirth V, Werner W. Indicator values of vascular plants. In: Indicator Values of Plants in Central Europe (German). Göttingen, Germany: Erich Goltze; 2001.

p. 9-166

5. Landolt E, Baumler B, Erhardt A, Klotzli FA, Lammler W et al. Flora Indicativa: Ecological indicator Values and Biological attributes of the Flora of Switzerland and the Alps. Bern, Germany: Haupt; 2010. 230 p

6. Tsyganov DN. Ecomorphs of the flora of coniferous-deciduous forests. Moskva, RF: Nauka; 1976. 60 s. (In Russ.)

7. Bulokhov AD. Phytoindication and its practical application. Briansk, RF: Izd-vo Brianskogo gos un-ta; 2004. 245 s. (In Russ.)

8. Belik AV, Gorbunova IuS, Deviatova TA, Alaeva LA. Spatial variation of indicators of the ecological state of soddy forest soils in the Usmanskiy pine forest. Lesotekhnicheskii zhurn. 2020;10(3):5–15. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/1. (In Russ.)

9. Litvinovich AV. Spatial heterogeneity of agrochemical parameters of arable sod-podzolic soils. Agrokhimiia. 2007;(5):89–94. (In Russ.)

10. Medvedev VV, Mel'nik AI. Heterogeneity of soil agrochemical indicators in space and time. Agrokhimiia. 2010;(1):20–6. (In Russ.)

11. Ryzhova IM, Podvezennaia MA. Spatial variability of organic carbon stocks in soils of forest and steppe biogeocenoses. Pochvovedenie. 2008;(12):1429–37. (In Russ.)

12. Karpachevskii LO. Diversity of soil cover in forest biogeocenosis. Moskva, RF: Izd-vo Mosk un-ta; 1977. 312 s. (In Russ.)

13. Karpachevskii LO. Dinamika svoistv pochvy. Moskva, RF: GEOS; 1997. 170 s. (In Russ.)

14. Berezin LV, Karpachevskii LO. Forest soil science. Omsk, RF: Omskii gos agrarnyi un-t; 2009. 360 s. (In Russ.)

15. Karpachevskii LO, Voronin AD, Dmitriev EA, Stroganova MN, Shoba SA. Soil biogeocenotic studies in forest biogeocenoses. Moskva, RF: Izd-vo Mosk un-ta; 1980. 160 s. (In Russ.)

16. Zverev AA. Methodological aspects of the application of phytoindication analysis in the study of biodiversity. Sibirskii ekolog zhurn. 2020;27(4):401-15. doi: 10.15372/SEJ20200401. (In Russ.)

17. Buzuk GN. Ecological scales of L. G. Ramensky: new opportunities. Raznoobrazie rastit mira. 2018;(1):37–43. (In Russ.)

18. Zaugol'nova LB, Bykhovets SS, Barinov OG, Barinova MA. Verification of habitat scores for some environmental parameters. Lesovedenie. 1998;(5):48–58. (In Russ.)

19. Buzuk GN, Sozinov OV. Phytoindication: Application of Regression Analysis. Vestn farmatsii. 2007;(3):44-50. (In Russ.)

20. Buzuk GN, Sozinov OV. Regression analysis in phytoindication (on the example of ecological scales of D.N. Tsyganov). V: Institut eksperimental'noi botaniki NAN Belarusi. Botan-

- ika (issledovaniia). Sb nauch trudov. Minsk, RB: Pravo i ekonomika; 2009. Vyp 37. s. 356–62. (In Russ.)
21. Buzuk GN. A complex method for calculating the regimes of ecological factors of the environment (ecological space) of plant communities for amplitude ecological scales. *Vestn farmatsii*. 2021;(2):48–58. doi: 10.52540/2074-9457.2021.2.48. (In Russ.)
22. Zhukov AV, Kunakh ON, Dubinina IuIu, Ganzha DS. Application of the β -function in phytointication to take into account the asymmetry of the response curves of plant species. *Acta Biol Sib*. 2018;4(2):32–46. doi: 10.14258/abs.v4i2.4121. (In Russ.)
23. Buzuk GN. Phytointication using ecological scales and regression analysis: comparison of calculation methods. *Vestn farmatsii*. 2018;(4):38–43. (In Russ.)
24. Tichý L, Axmanová I, Dengler J, Guarino R, Jansen F, Midolo G et al. Ellenberg type indicator values for European vascular plant species. *J Veg Sci*. 2023;34(1):e13168. doi: 10.1111/jvs.13168
25. Khanina LG. Characteristics of environmental scales [Elektronnyi resurs]. Tsenofond lesov Evropeiskoi Rossii: sait. Rezhim dostupa: <http://mfd.cepl.rssi.ru/flora/ecoscale.htm>. – Data dostupa: 05.05.2023. (In Russ.)
26. Lovchii NF, Puchilo AV, Gutsevich VD. Cadastre of types of pine forests of the Belarusian Lakeland. Minsk, RB: Belarus navuka; 2009. 194 s. (In Russ.)
27. Lovchii NF; Nauchno-prakticheskii tsentr NAN Belarusi po bioresursam, Natsional'naia akademiia nauk Belarusi, Institut eksperimental'noi botaniki im VF Kuprevicha. Cadastre of pine forest types in Belarusian Polissya. Parfenov VI, redactor. Minsk, RB: Belarus navuka. 2012. 221 s. (In Russ.)
28. Buzuk GN, Sozinov OV, Tsvirko RV. Limiting factors for phytocenoses: assessment technology (on the example of pine forests in central Belarus). *Sotsial'no-ekologicheskie tekhnologii*. 2017;(1):27–40. (In Russ.)
29. Buzuk GN. Phytointication using ecological scales and regression analysis: ecological index. *Vestn farmatsii*. 2017;(2):31–7. (In Russ.)
30. Buzuk GN. Determination of soil trophicity by electrophysical method. Message 5. Field trials. *Vestn farmatsii*. 2022;(2):65–76. doi:10.52540/2074-9457.2022.2.65. (In Russ.)
31. Liss OL, Abramova LI, Avetov NA, Ber-ezina NA, Inisheva LI, Kurnishkova TV i dr. Bog systems of Western Siberia and their conservation value. Kuvaev VB, redactor. Tula, RF: Grif i K; 2001. 584 s. (In Russ.)
32. Boch MS, Mazing VV. Ecosystems of swamps of the USSR. Leningrad, RF: Nauka; 1979. 188 s. (In Russ.)
33. Pearson DE, Ortega YK, Eren Ö, Hierro JL. Community assembly theory as a framework for biological invasions. *Trends Ecol Evol*. 2018;33(5):313–25. doi: 10.1016/j.tree.2018.03.002. (In Russ.)
34. Boinot S. Influence of within-field understory vegetation strips on plant and invertebrate communities in alley cropping agroforestry systems [dissertation]. Montpellier, France: SupA-gro; 2019. 170 p
35. Pierce S, Guo WY, Cerabolini BEL, Negreros D, Faoro F, Magoga G et al. Plant secondary metabolite diversity reflects both phylogeny and ecological adaptation. *bioRxiv*. 2021
36. Winkel-Shirley B. Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Curr Opin Plant Biol*. 2002;5(3):218–23. doi: 10.1016/s1369-5266(02)00256-x
37. Bhattacharyya P, Ghosh A. Medicinal Plants Metabolomics in Response to Abiotic Stresses. In: Husen A, Iqbal M, editors. *Medicinal Plants: Their Response to Abiotic Stress*. Singapore: Springer Nature Singapore; 2023. p. 109–25
38. Gershenzon J. Changes in the levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. In: Timmermann BN, Steelink C, Loewus FA, editors. *Phytochemical adaptations to stress*. New-York, USA: Springer; 1984. p. 273–320
39. Otýpková Z. The influence of sample plot size on evaluations with Ellenberg indicator values. *Biologia*. 2009;64(6):1123–28. doi: 10.2478/s11756-009-0184-6
40. Pinto PE, Dupouey JL, Herve JC, Legay M, Wurpillot S, Montpied P et al. Optimizing the bioindication of forest soil acidity, nitrogen and mineral nutrition using plant species. *Ecol Indic*. 2016;71:359–67. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.05.047

Адрес для корреспонденции:

г. Витебск, Республика Беларусь,
тел. +375-29-715-08-38,
e-mail: buzukg@mail.ru,
профессор, доктор фармацевтических наук,
Бузук Г. Н.

Поступила 22.05.2023 г.