

ФАРМАКОГНОЗИЯ И БОТАНИКА

УДК 582:330.341

DOI: <https://doi.org/10.52540/2074-9457.2021.2.48>

Г. Н. Бузук

КОМПЛЕКСНЫЙ СПОСОБ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ (ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА) РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ДЛЯ АМПЛИТУДНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ШКАЛ

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

Несмотря на интенсивное развитие инструментальных методов анализа факторов окружающей среды для растительных сообществ, до сих пор сохраняет свое значение их оценка с помощью экологических шкал. Достоинством экологических шкал является их способность отражать обобщенные и усредненные характеристики экологических режимов в силу значительной инерции в ответной реакции состава растительных сообществ на изменение тех или иных параметров среды. Основными способами расчета при использовании экологических шкал являются метод среднего и метод идеального индикатора (линейной регрессии), в том числе модифицированный алгоритм расчета уровня эдафических и климатических факторов среды по амплитудным экологическим шкалам. Целью настоящей работы явилось дальнейшее совершенствование способа оценки уровня экологических факторов (экологического пространства) растительных сообществ. Для расчетов и визуализации полученных результатов использовали Excel и собственные программы, написанные в среде Matlab. В основе способа лежит нахождение взвешенного среднего для уровня фактора, найденного традиционным способом и методом идеального индикатора. Предложено веса факторов при обоих методах расчета задавать как явно, так и в зависимости от экологического индекса, отражающего соответствие (адекватность) состава растительного сообщества сложившемуся в местообитании уровню экологических факторов. Они также могут быть найдены по линейной или нелинейной зависимостям относительно середины амплитудной экологической шкалы. Сделан вывод о возможности прогнозирования содержания вторичных метаболитов в растениях на основе оценки уровня экологических факторов для растительных сообществ.

Ключевые слова: экологические шкалы, линейная регрессия, экологический индекс, вес экологического фактора.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на интенсивное развитие инструментальных методов анализа факторов окружающей среды, до сих пор сохраняет свое значение оценка экологического пространства видов в сообществе с помощью экологических шкал. Экологические шкалы представляют собой балловые характеристики экологии видов по конкретным факторам, большинство из которых являются комплексными и зачастую не могут быть прямо измерены, например, плодородие почв. Дополнительная сложность в оценке факторов среды инструментальными методами возникает из-за высокой

временной (в течение вегетации) и пространственной (микрорельефа свойств почв) вариабельности уровня экологических факторов и параметров [1–8].

Одним из основных достоинств использования экологических шкал для оценки экологического пространства сообществ растений является то, что экологические шкалы отражают обобщенные и усредненные характеристики экологических режимов в силу значительной инерции в ответной реакции состава сообщества на изменение тех или иных параметров среды.

Все экологические шкалы подразделяются на диапазонные (амплитудные), амплитудно-оптимумные и точечные. Ам-

плитудные экологические шкалы содержат балловую оценку диапазона на шкале фактора, в пределах которого возможно существование вида. В свою очередь, в точечных или оптимумных шкалах для каждого вида указывается балловая оценка его экологического оптимума. К числу первых относятся амплитудные (иначе – интервальные или диапазонные) шкалы Цыганова и Дидука [9–11], ко вторым – экологические шкалы Элленберга, Ландольта и др. [12–16]. Промежуточное положение занимают экологические шкалы Л. Г. Раменского, которые являются оптимумно-диапазонными [17].

Для расчета уровня фактора в основном применяется метод взвешенного на обилие среднего для оптимума вида (оптимумные шкалы) или середины интервала (диапазона) толерантности вида (амплитудные шкалы). В последнем случае априорно допускается, что оптимум вида совпадает с серединой диапазона толерантности, хотя это не всегда так. В результате получается несколько смещенная оценка экологического пространства фитоценоза, следствием которой является невозможность получения оценки биотопа краевых значений шкалы [19–21].

Ранее нами был предложен регрессионный способ расчета экологических факторов местообитаний растений на основе диапазонных экологических шкал Цыганова и Дидука [22–23]. Его суть заключается в ранжировании амплитуд толерантности видов растений, формирующих конкретный фитоценоз. Чем меньше эта величина, тем более точно наличие определенного вида характеризует биотоп. При этом лучшими индикаторами являются стенолюбивые виды растений. Затем вычисляются линейные регрессии для верхней и нижней амплитуд значений факторов относительно диапазона (амплитуды) толерантности. Линии регрессии, построенные по верхним и нижним значениям амплитуд, пересекаются в определенной точке на оси ординат, равной свободному члену обеих регрессий. Эта точка, соответствующая нулевому рангу, гипотетическому «идеальному индикатору», и есть характеристика местообитания по исследуемому экологическому фактору [22, 23].

Основным недостатком расчета уровня экологического фактора по средним значениям оптимума видов является сдвиг

к центральным значениям экологического фактора, в то время как у метода «идеального индикатора» имеет место тяготение к граничным значениям фактора [19]. Для преодоления этого недостатка предложено логит-преобразование исходных данных с последующим расчетом линейной зависимости для преобразованных данных [24, 25].

Дальнейшее развитие регрессионный способ расчета получил с введением понятия экологического индекса. Экологический индекс представляет собой отношение наклонов линий регрессии и рассчитывается по формуле через модули наклона линий регрессии [26–27]:

$$y = a + bx$$

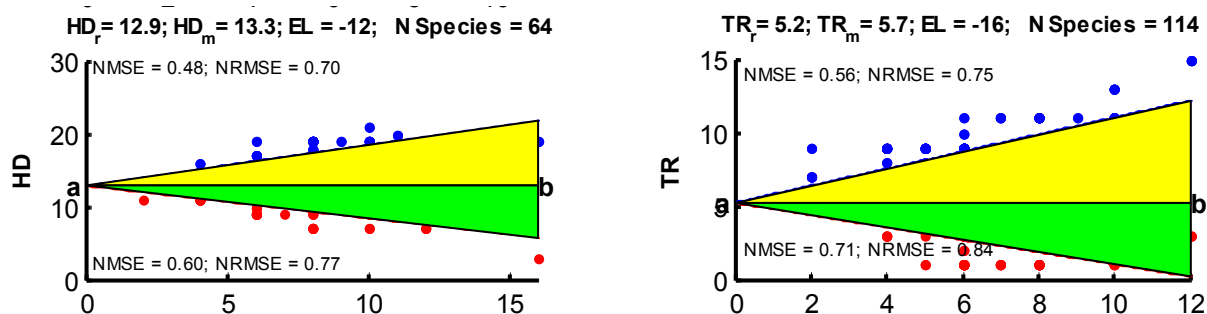
$$EI = 100 \frac{(|b_2| - ((|b_1| + |b_2|)/2))}{((|b_1| + |b_2|)/2)}, \quad (1)$$

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

При оптимальных условиях фитоценоза (типа сообщества) по конкретному фактору модули наклона линий регрессий b_1 и b_2 для верхней и нижней амплитуд толерантности видов имеют примерно одинаковый наклон. Они практически симметричны относительно линии (линия **ab**, рисунок 1), на которой лежат средние значения амплитуды (оптимум) фактора для видов, составляющих сообщество. Данный случай нами рассматривается как соответствие состава сообщества уровню фактора среды обитания, он является оптимальным [26, 27].

В других случаях имеет место «прижатие» линий регрессии для верхней или нижней амплитуд толерантности к линии **ab**. Данный факт нами рассматривается как наличие организующего и формирующего состав сообщества влияния (давления, ограничения) со стороны экологического фактора.

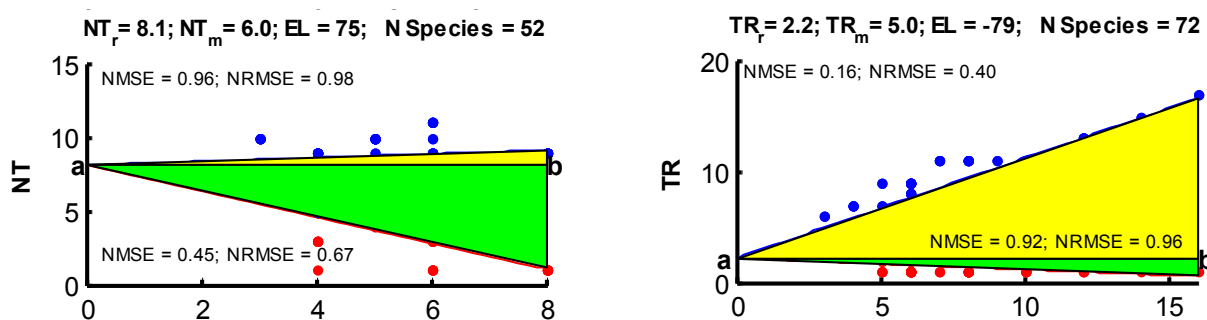
В этом случае знак индекса показывает качество лимитирующего фактора своим недостатком или избытком: при отрицательных значениях индекса – лимитирующее влияние в области экологического минимума, а при положительных – ограничения по фактору в области экологического максимума.



По оси абсцисс: градации длин амплитуд видов; по оси ординат: экологическая шкала, баллы.

HD_r и HD_m – уровни фактора, рассчитанные методом идеального индикатора (r) и методом среднего (m), EL – экологический индекс, N Species – число видов в геоботаническом описании, $NMSE$ – нормализованная средняя квадратичная ошибка и $NRMSE$ – нормализованный корень квадратный средней квадратичной ошибки (аналог стандартного отклонения)

Рисунок 1. – Уравнения регрессии верхнего и нижнего диапазонов увлажнения (HD) и трофности (TR) видов местообитания, ранжированных по величине их разности



Обозначения те же, что на рисунке 1.

Рисунок 2. – Уравнения регрессии верхнего и нижнего диапазонов уровня азота в почве (NT) и увлажнения (HD) видов местообитания, ранжированных по величине их разности

Целью настоящей работы явилось дальнейшее совершенствование способа оценки уровня экологических факторов (экологического пространства) растительных сообществ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основные принципы методики расчета были отработаны на основе геоботанических описаний, приведенных в работе [26]. Геоботанические описания типов леса взяты из монографий Н. Ф. Ловчего [28] и Л. Г. Ханиной [16]. Флористические списки видов растений геоботанических описаний были обработаны по экологическим шкалам Д. Н. Цыганова [10]: TM – термоклиматическая, KN – континенталь-

ности климата, OM – аридности/гумидности климата, CR – криоклиматическая, HD – увлажнения почв, TR – трофности почв, NT – богатства почв азотом, RC – кислотности почв, LC – освещенности/затенения, FH – переменности увлажнения почв.

Для расчетов и визуализации полученных результатов использовали Excel и собственные программы, написанные в среде Matlab.

Макрос для расчета веса экологических факторов (на примере увлажнения почвы – HD), определенных методом идеального индикатора (линейная регрессия) – Fr и методом средних – Fm , и построения графиков:

$Fm = 13.4$; $Fr = 13.0$; % см. рис. 5
 $Fmax = 23$; $Fmin = 1$; % Диапазон шкалы увлажнения почвы (HD)
 $Fs = (Fmax + Fmin) / 2$; % Середина шкалы

```

wr = (Fr-Fs)/Fs; wr = abs(wr);
wm = (Fm-Fs)/Fs; wm = abs(wm);
F = 1:Fmax; w = (F-Fs)/Fs; w = abs(w);
w1 = w; % Увеличение веса к границам шкалы
w = max(w)-w; % Увеличение веса к середине шкалы
% -----
hold on
plot(F,w1,'-g',F,w1,'.g');
plot(F,w1.^2,'-r',F,w1.^2,'.r');
plot(F,sqrt(w1),'-b',F,sqrt(w1),'.b');
fwr = wr;
k0 = 1; % Вес фактора, рассчитанного методом средних
k1 = fwr; k2 = fwr^2; k3 = sqrt(fwr);
plot(Fr,k1,'k*',Fr,k2,'k*',Fr,k3,'k*');
grid on; box off; hold off
komplex4a1 = (Fr*k1 + Fm*k0)/sum(k1+k0);
komplex4b1 = (Fr*k2 + Fm*k0)/sum(k2+k0);
komplex4c1 = (Fr*sqrt(k3) + Fm*sqrt(k0))/sum(sqrt(k3)+sqrt(k0));
% -----
hold on
plot(F,w,'-g',F,w,'.g');
plot(F,w.^2,'-r',F,w.^2,'.r');
plot(F,sqrt(w),'-b',F,sqrt(w),'.b');
fwr = max(w)-wr;
k0 = 1; % Вес фактора, рассчитанного методом средних
k1 = fwr; k2 = fwr^2; k3 = sqrt(fwr);
plot(Fr,k1,'k*',Fr,k2,'k*',Fr,k3,'k*');
grid on; box off; hold off
komplex4a2 = (Fr*k1 + Fm*k0)/sum(k1+k0);
komplex4b2 = (Fr*k2 + Fm*k0)/sum(k2+k0);
komplex4c2 = (Fr*sqrt(k3) + Fm*sqrt(k0))/sum(sqrt(k3)+sqrt(k0));

```

Операторы title, xlabel, ylabel, title, legend с целью упрощения из кода макроса исключены.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С целью устранения проблем, связанных со смещением оценок к центру шкалы при использовании традиционного способа расчета (метода среднего) и краям шкалы при использовании метода идеального индикатора, нами предложен способ нахождения взвешенного среднего для уровня фактора, найденного традиционным способом и методом идеального индикатора (линейной регрессии). Для расчетов используется формула (2):

$$HD = (HD_r \cdot wHD_r + HD_m \cdot wHD_m) / (wHD_r + wHD_m), \quad (2)$$

где HD_r – значение фактора, найденное методом идеального индикатора (линейной регрессии), wHD_r – его вес (0–1); HD_m – значение фактора, найденное традиционным способом (метод среднего или взвешенного на обилие среднего), wHD_m – его вес (0–1).

При $wHD_r = 0$, а $HD_m = 1$ в результате расчета получается значение фактора, найденное традиционным способом, а при $wHD_r = 1$, а $HD_m = 0$ – методом идеального индикатора (линейной регрессии). Веса фактора задаются явно или выбираются равными (например, $wHD_r = 1$, $HD_m = 1$; $wHD_r = 0,5$, $HD_m = 0,5$) или же неравными с учетом какого-либо обоснования.

Другой вариант выбора весов заключается в использовании $HD_m = 1$, а wHD_r рассчитывается на основе величины экологического индекса по несколько измененной формуле (3):

$$EI = (|b_2| - ((|b_1| + |b_2|)/2)) / ((|b_1| + |b_2|)/2), \quad (3)$$

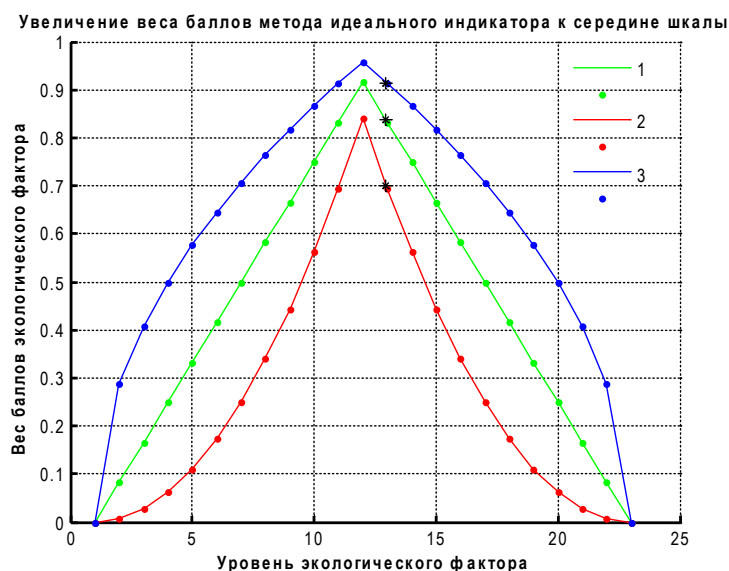
где b_1 и b_2 – наклон линии регрессии по максимальным (b_1) и минимальным (b_2) значениям амплитуд видов.

В этом случае итоговая формула расчета значений экологического фактора приобретает следующий вид (4):

$$HD = (HD_r \cdot EI + HD_m \cdot (1-EI)) / (EI + (1-EI)) \quad (4)$$

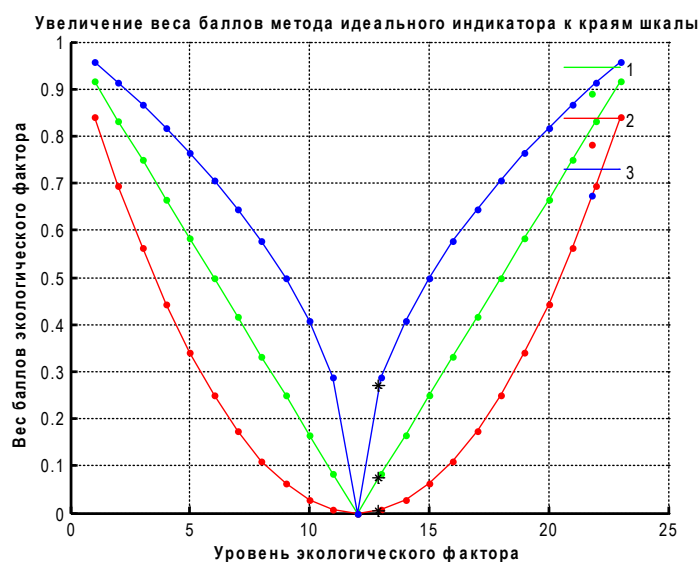
Третий вариант расчета заключается в изменении веса рассчитываемого экологического фактора по определенной зависимости относительно значений середины шкалы, что, на наш взгляд, позволяет ограничить сдвиг к центральным значениям экологического фактора. Это дает возможность увеличить вес в методе идеального индикатора в области средних значений фактора и

уменьшить его вес по мере приближения к границам шкалы. При этом удастся избежать выхода расчетных значений за пределы шкалы, иногда имеющего место на практике для экстремальных местообитаний, например, болот. Примеры таких простейших зависимостей приведены на рисунках 3 и 4. Во всех случаях вес фактора, найденного методом среднего, был равен 1.



1. $Y = k \cdot X$; 2. $Y = k \cdot X^2$; 3. $Y = k \cdot \sqrt{X}$

Рисунок 3. – Увеличение веса баллов экологических факторов по мере приближения их значений к середине шкалы

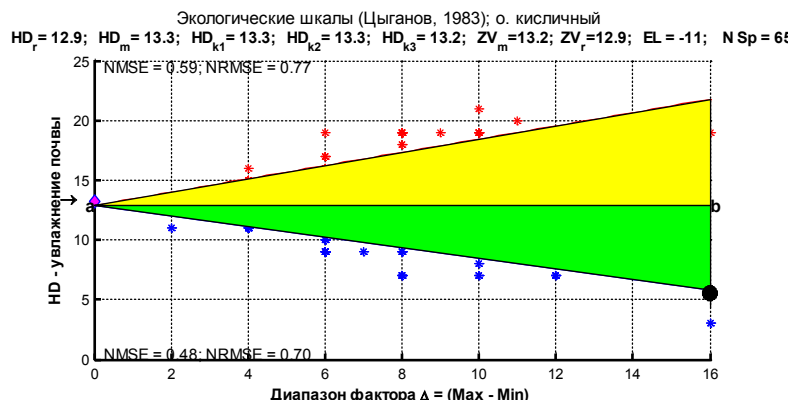


1. $Y = k \cdot X$; 2. $Y = k \cdot X^2$; 3. $Y = k \cdot \sqrt{X}$

Рисунок 4. – Уменьшение веса баллов экологических факторов по мере приближения его значений к середине шкалы

Пример вывода в графическом формате результатов расчета увлажнения почвы для ольшаника кисличного приведен на рисунке 5 (вес баллов в методе идеального

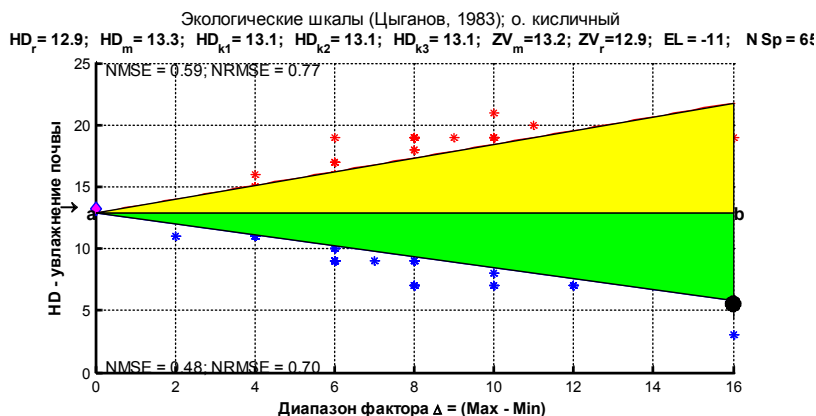
индикатора увеличивается к краям шкалы) и рисунке 6 (вес баллов в методе идеального индикатора увеличивается к середине шкалы).



HD_r и HD_m – уровни фактора, рассчитанные методом идеального индикатора (r) и методом среднего (m), EL – экологический индекс, $N Sp$ – число видов в геоботаническом описании, HD_{k1} – уровень фактора, рассчитанного по уравнению (2), HD_{k2} – уровень фактора, рассчитанного по уравнению (4), HD_{k3} – уровень фактора, рассчитанный по третьему способу, ZV_m – уровень фактора, рассчитанный по формуле (2) [21], ZV_r – уровни фактора, рассчитанные по формуле (2) [21] методом идеального индикатора, взвешенного на индекс толерантности.

Остальные обозначения те же, что на рисунке 1.

Рисунок 5. – Уравнения регрессии верхнего и нижнего диапазонов увлажнения (HD) видов местообитания, ранжированных по величине их разности, для сероольшаника кисличного



Обозначения те же, что на рисунке 5.

Рисунок 6. – Уравнения регрессии верхнего и нижнего диапазонов увлажнения (HD) видов местообитания, ранжированных по величине их разности, для сероольшаника кисличного

Как видно из данных, приведенных на рисунках 5 и 6, получены практически тождественные значения увлажнения почвы. Различия становятся более заметными при приближении значений к краям шкалы, то есть экстремальным местообитаниям растений.

В качестве примера приводим результаты расчетов экологического пространства для залежей степных районов Украины (рисунок 7) [29].

Условия эдафотопов в пределах залежей могут быть охарактеризованы как субксерофитные ($HD = 8,2$), гемигидроконтраст-

Экологические шкалы (Дидух, 2011); степная залежь

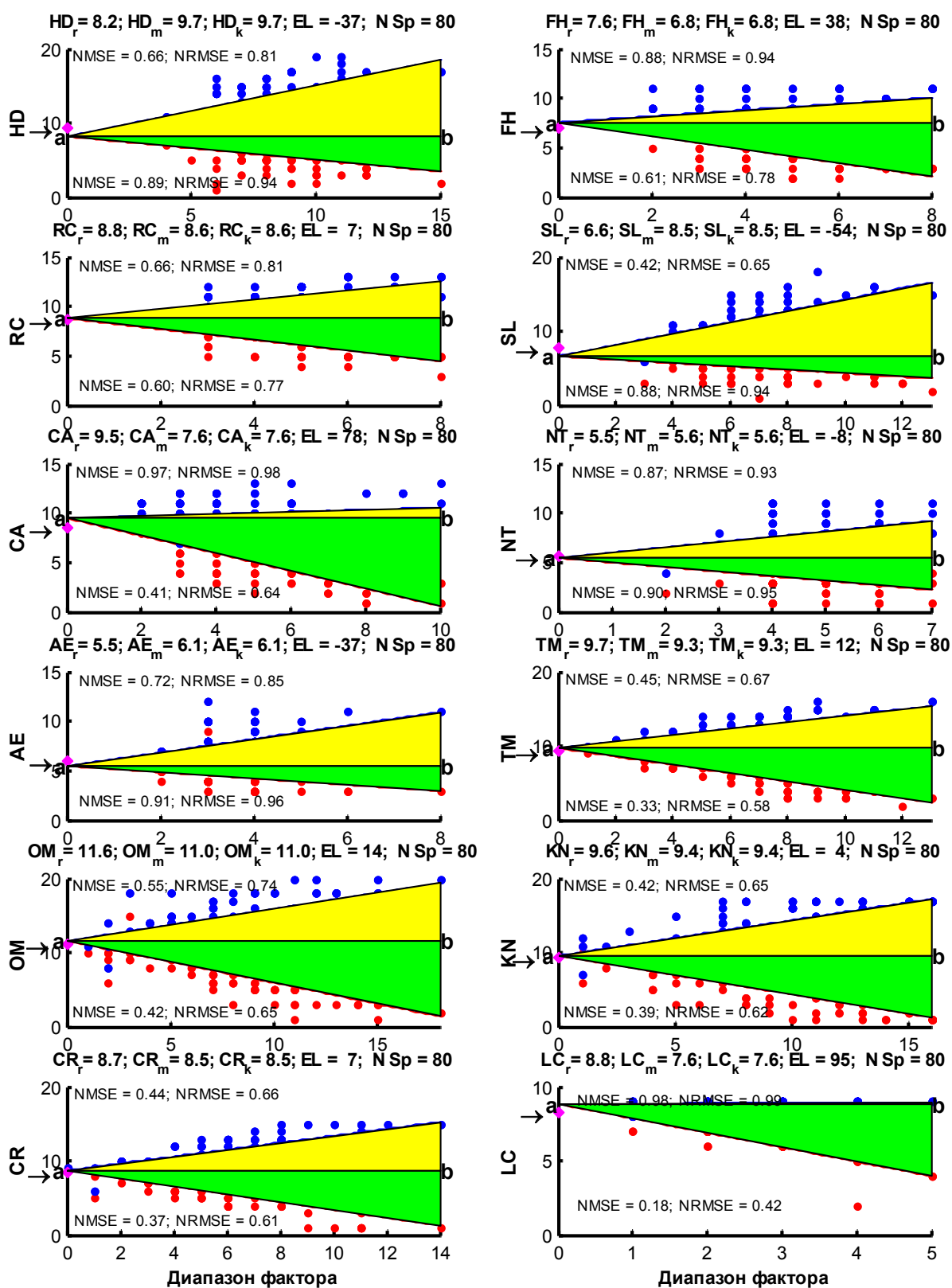


Рисунок 7. – Результаты фитоиндикационного оценивания степной залежи

нофильные (**FN** = 7,6), нейтрофильные (**RC** = 8,8), мезотрофные (**SL** = 6,6), гемикарбонатотрофные (**CA** = 9,5), геминитрофильные (**NT** = 5,5), субаэрофильные (**AE** = 5,5).

Климатические условия залежей можно оценить как субмезотермные (**TM** = 9,7), субаридофитные (**OM** = 11,6), гемиконтинентальные (**KN** = 9,6), субкриофитные (**CR** = 8,7) и гелиофитные (**LC** = 8,8).

По преимущественному числу экологических режимов условия залежей соответствуют условиям степных зональных сообществ [29]. Определяющими являются освещенность (**LC**) и карбонатность почвы (**CA**) (рисунок 7), что находится в полном соответствии с точкой зрения Г. И. Танфильева, согласно которой причина безлесья степей заключается в специфике химического состава степных почв, а именно в наличии карбонатов [29–31]. В меньшей степени состав степного сообщества обуславливается уровнем минерального питания – **SL**, по-видимому, снижением биодоступности металлов в карбонатной почве, аэрацией (**AE**) из-за ее уплотнения, а также водным режимом почвы (увлажнения (**HD**) и его переменности (**FN**)).

Предложенный способ оценки экологического пространства растительного сообщества может быть в дальнейшем использован для установления связи экологических факторов среды обитания растений и продукции в них вторичных метаболитов – флавоноидов, алкалоидов, сапонинов, эфирных масел и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен способ корректировки значений экологических факторов, полученных методом идеального индикатора, в основе которого лежит расчет среднего между значениями фактора, полученными с помощью линейной регрессии, и рассчитанными как среднее между верхней и нижней амплитудой толерантности видов со взвешиванием на обилие или без него. Данный способ позволит без проведения инструментальных исследований прогнозировать продукцию вторичных метаболитов в растительном сырье.

SUMMARY

G. N. Buzuk
COMPREHENSIVE WAY
OF CALCULATING ECOLOGICAL
(ENVIRONMENTAL SPACE)
FACTORS OF PLANT COMMUNITIES
ENVIRONMENT FOR AMPLITUDE
ECOLOGICAL SCALES

Despite intensive development of instrumental methods of environmental factors analysis for plant communities their assessment with ecological scales still remains important. The main advantage of ecological scales is their ability to reflect generalized and average characteristics of ecological regimes due to significant inertia in response of plant communities composition to the change of certain characteristics of the environment. The main ways of calculation while using ecological scales are the medium-sized method and the ideal indicator method (of linear regression) including modified algorithm of calculating the level of edaphic and climatic factors of the environment with amplitude ecological scales. The aim of this work was to improve further the method for assessing the level of ecological factors (ecological space) in plant communities. For calculations and visualization of the results obtained we used *Excel* and our own programs written in the *Matlab* media. The basis of the method is finding the factor averagely weighed for the level calculated by the traditional way and by the method of the ideal indicator. It is proposed to set the weight of factors in both methods of calculation both explicitly and depending on the ecological index reflecting correspondence (adequacy) of the plant community composition to the level of ecological factors prevailing in the habitat. They can also be calculated by linear or non-linear dependencies relative to the middle of amplitude ecological scale. The conclusion is that it is possible to predict the content of secondary metabolites in plants based on assessing the level of ecological factors for plant communities.

Keywords: ecological scales, linear regression, ecological index, ecological factor weight.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пространственное варьирование показателей экологического состояния дерново-лесных почв Усманского бора / А. В. Белик [и

- др.] // Лесотехнический журн. – 2020. – Т. 10, № 3. – С. 5–15.
2. Литвинович, А. В. Пространственная неоднородность агрохимических показателей пахотных дерново-подзолистых почв / А. В. Литвинович // Агрохимия. – 2007. – № 5. – С. 89–94.
 3. Медведев, В. В. Неоднородность агрохимических показателей почвы в пространстве и во времени / В. В. Медведев, А. И. Мельник // Агрохимия. – 2010. – № 1. – С. 20–26.
 4. Рыжова, И. М. Пространственная вариативность запасов органического углерода в почвах лесных и степных биогеоценозов / И. М. Рыжова, М. А. Подвезенная // Почвоведение. – 2008. – № 12. – С. 1429–1437.
 5. Карпачевский, Л. О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе / Л. О. Карпачевский. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 312 с.
 6. Карпачевский, Л. О. Динамика свойств почвы / Л. О. Карпачевский. – Москва: ГЕОС, 1997. – 170 с.
 7. Березин, Л. В. Лесное почвоведение / Л. В. Березин, Л. О. Карпачевский. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2009. – 360 с.
 8. Почвенно-биогеоценозные исследования в лесных биогеоценозах / Л. О. Карпачевский [и др.]. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1980. – 160 с.
 9. Цыганов, Д. Н. Экоморфы флоры хвойно-широколиственных лесов / Д. Н. Цыганов. – Москва: Наука, 1976. – 60 с.
 10. Цыганов, Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов / Д. Н. Цыганов. – Москва: Наука, 1983. – 196 с.
 11. Didukh, Ya. P. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication / Ya. P. Didukh. – Kyiv: Phytosociocentre, 2011. – 176 p.
 12. Indicator values of vascular plants / H. Ellenberg [et al.] // Indicator Values of Plants in Central Europe (German). – Göttingen: Erich Goltze, 2001. – P. 9–166.
 13. 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.
 14. Экологические шкалы и методы анализа экологического разнообразия растений: монография / Л. А. Жукова [и др.]; под общ. ред. проф. Л. А. Жуковой; Марийский гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2010. – 368 с.
 15. Королюк, А. Ю. Использование экологических шкал в геоботанических исследованиях / А. Ю. Королюк // Актуальные проблемы геоботаники: лекции: III Всероссийская школа-конференция, 2007, Петрозаводск. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – С. 177–199.
 16. Ханина, Л. Г. Характеристика экологических шкал [Электронный ресурс] / Л. Г. Ханина // Ценофонд лесов Европейской России. – Режим доступа: <http://mfd.cepl.rssi.ru/flora/ecoscale.htm>. – Дата доступа: 15.12.2020.
 17. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову / Л. Г. Раменский [и др.]. – Москва: Сельхозгиз, 1956. – 472 с.
 18. Информационно-аналитическая система для оценки сукцессионного состояния лесных сообществ / Л. Б. Заугольнова [и др.]. – Пушкино: Пушкинский науч. центр РАН, 1995. – 51 с. – (Препринт).
 19. Верификация балловых оценок местообитания по некоторым параметрам среды / Л. Б. Заугольнова [и др.] // Лесоведение. – 1998. – № 5. – С. 48–58.
 20. Зверев, А. А. Сравнительный анализ растительности с использованием фитоиндикационных шкал / А. А. Зверев // Актуальные проблемы геоботаники: сб. ст. и лекций IV Всероссийской шк.-конф. (1–7 окт. 2012 г.). – Уфа: МедиаПринт, 2012. – С. 25–46.
 21. Зверев, А. А. Методические аспекты применения фитоиндикационного анализа в изучении биоразнообразия / А. А. Зверев // Сибирский эколог. журн. – 2020. – Т. 27, №. 4. – С. 401–415.
 22. Бузук, Г. Н. Фитоиндикация: применение регрессионного анализа / Г. Н. Бузук, О. В. Созинов // Вестн. фармации. – 2007. – № 3. – С. 44–50.
 23. 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.
 24. Применение β -функции в фитоиндикации для учета асимметрии кривых отклика видов растений / А. В. Жуков [и др.] // Acta Biologica Sibirica. – 2018. – Vol. 4, № 2. – P. 32–46.
 25. Бузук Г. Н. Фитоиндикация с применением экологических шкал и регрессионного анализа: сравнение методик расчета / Г. Н. Бузук // Вестн. фармации. – 2018. – № 4. – С. 38–43.
 26. 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 (Москва). – 2017. – № 1. – С. 27–40.
 27. Бузук, Г. Н. Фитоиндикация с применением экологических шкал и регрессионного анализа: экологический индекс / Г. Н. Бузук // Вестн. фармации. – 2017. – № 2. – С. 31–37.
 28. 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.

29. Сулейман, Д. Н. Экологическая оценка флоры и растительности разновозрастных залежей Донецкой и Луганской областей Украины: дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Д. Н. Сулейман. – Луганск, 2016. – 194 с.

30. Танфильев, Г. И. Пределы лесов на юге России / Г. И. Танфильев. – СПб.: Тип. Е. Евдокимова, 1894. – 174 с.

31. Усольцев, В. А. О статусе древесной растительности на экотоне лес-степь / В. А. Усольцев, А. И. Колтунова // Изв. Оренбургского гос. аграрного ун-та. – 2012. – № 4. – С. 8–12.

REFERENCES

1. 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. (In Russ.). doi: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/1

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

3. Medvedev VV, Mel'nik AI. Heterogeneity of soil agrochemical parameters in space and time. *Agrokimiia.* 2010;(1):20–6. (In Russ.)

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

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

6. Karpachevskii LO. *Dinamika svoistv pochvy.* Moskva: GEOS. 1997. 170 s. (In Russ.)

7. Berezin LV, Karpachevskii LO. Forest soil science. Omsk, RF: Izd-vo FGOU VPO OmGAU. 2009. 360 s. (In Russ.)

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

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

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

11. Didukh YaP. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in syn-phytoindication. Kyiv, Ukraine: Phytosociocentre. 2011. 176 p.

12. 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

13. 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.

14. Zhukova LA, Dorogova IuA, Turmukhametova NV, Gavrilova MN, Polianskaia TA. Ecological scales and methods for analyzing the ecological diversity of plants. *Monografiia. Pod obshch red prof LA Zhukovoi; Mariiskii gos un-t. Ioshkar-Ola, RF.* 2010. 368 s. (In Russ.)

15. Koroliuk Alu. The use of ecological scales in geobotanical research. V: *Aktual'nye problemy geobotaniki. Lektsii. III Vserossiiskaia shkola-konferentsiia;* 2007; Petrozavodsk. Petrozavodsk, RF: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN; 2007. s. 177–99. (In Russ.)

16. Khanina LG. Characteristics of ecological scales [Elektronnyi resurs]. V: *Tsenofond lesov Evropeiskoi Rossii. Rezhim dostupa: http://mfd.cepl.rssi.ru/flora/ecoscale.htm.* Data dostupa: 15.12.2020. (In Russ.)

17. Ramenskii LG, Tsatsenkin IA, Chizhikov ON, Antipin NA. Ecological assessment of forage lands by vegetation cover. Moskva: Sel'khozgiz. 1956. 472 s. (In Russ.)

18. Zaugol'nova LB, Khanina LG, Komarov AS, Smirnova OV, Popadiuk RV, Ostrovskii MA et al. Information and analytical system for assessing the successional state of forest communities. Preprint. Pushchino, RF: Pushchinskii nauch tsentr RAN. 1995. 51 s. (In Russ.)

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

20. Zverev AA. Comparative analysis of vegetation using phytoindication scales. V: *Aktual'nye problemy geobotaniki. Sb st i lektsii IV Vserossiiskoi shk-konf (1–7 okt. 2012 g).* Ufa, RF: MediaPrint; 2012. s. 25–46. (In Russ.)

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

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

23. Buzuk GN, Sozinov OV. Regression analysis in phytoindication (on the example of ecological scales of D.N. Tsyganov). V: *In-t eksperiment bot NAN Belarusi. Botanika (issledovaniia).* Sb nauch trudov. Minsk, RB: Pravo i ekonomika; 2009;(37):356–62. (In Russ.)

24. Zhukov AV, Kunakh ON, Dubinina IuIu, Ganzha DS. Application of the β -function in phytoindication to take into account the asymmetry of the response curves of plant species. *Acta Biol Sib.* 2018;4(2):32–46. (In Russ.). doi: 10.14258/abs.v4i2.4121

25. Buzuk GN. Phytoindication using ecological scales and regression analysis: comparison of calculation methods. Vestn farmatsii. 2018;(4):38–43. (In Russ.)

26. Buzuk GN, Sozinov OV, Tsvirko RV. Limiting factors for phytocenoses: assessment technology (on the example of pine forests of Central Belarus). Sotsial'no-ekologicheskie tekhnologii (Moskva). 2017;(1):27–40. (In Russ.)

27. Buzuk GN. Phytoindication using ecological scales and regression analysis: ecological index. Vestn farmatsii. 2017;(2):31–7. (In Russ.)

28. Lovchii NF; Parfenov VI, red; Nauch-prakt tsentr NAN Belarusi po bioresursam, Nats akad nauk Belarusi, In-t eksperiment botaniki im VF Kuprevicha. Cadastre of pine forest types in Belarusian Polesye. Minsk, RB: Belarus navuka. 2012. 221 s. (In Russ)

29. Suleiman Dara N. Ecological assessment of flora and vegetation of different-aged

deposits of Donetsk and Lugansk regions of Ukraine. Dis. ... kand. biolog. nauk : 03.00.16. Lugansk, Ukraina. 2016. 194 s. (In Russ.)

30. Tanfil'ev GI. The limits of forests in southern Russia. Sankt-Peterburg: Tip E Evdokimova. 1894. 174 s. (In Russ.)

31. Usol'tsev VA, Koltunova AI. On the status of woody vegetation in the ecotone forest-steppe. Izv Orenburgskogo gos. agrarnogo un-ta. 2012;(4):8–12. (In Russ.)

Адрес для корреспонденции:

210009, Республика Беларусь,

г. Витебск, пр. Фрунзе, 27,

УО «Витебский государственный ордена

Дружбы народов медицинский университет»,

кафедра фармакогнозии и ботаники

с курсом ФПК и ПК,

тел. раб.: 8 (0212) 64-81-78,

e-mail: buzukg@mail.ru,

Бузук Г.Н.

Поступила 04.01.2021 г.