

segregation? Zhurn obshchei biologii. 994;55(4-5):404–19. (In Russ.)

13. Afonin AA, Anishchenko LN, Borzdyko EV, Markelova NV. Metagene pool of sympatric populations with different levels of reproductive isolation: on the example of willows (*Salix* L.). Ezhegodnik NII fundamental'nykh i prikladnykh issledovaniy za 2010 g. Briansk, RF: Brianskii gos un-t; 2010. s. 77–86. (In Russ.)

14. Afonin AA. Mechanisms of Evolutionary Stability of Sympatric Willow Species. V: Sovremennye tekhnologii vosпроизводства tselevykh lesov v Iugo-Zapadnom regione Tsentral'noi chasti Rossii. Materialy mezhdunar nauch-proizvodstv konf. BrianskRF: Brianskaia gos inzhenerno-tekhnologicheskaia akad; 2002. s. 128–36. (In Russ.)

15. Iur'ev AI. Intraspecific differentiation due

to spatial isolation and ecological differences: avtoref dis ... kand biologicheskikh nauk: 03.00.05. Moskva, RF; 1995. 21 s. (In Russ.)

16. Sidorchuk AIu. Morphology of the riverbed and natural factors that determine it. V: Spasskaia II, Lazarevich KS, redaktory. Sistemnyi podkhod v geomorfologii: sb. Moskva, RF: Akad nauk SSSR; 1988. s. 6–12. (In Russ.)

**Адрес для корреспонденции:**

210009, Республика Беларусь,  
г. Витебск, пр. Фрунзе, 27,  
УО «Витебский государственный ордена  
Дружбы народов медицинский университет»,  
кафедра фармакогнозии с курсом ФПК и ПК,  
e-mail: kuzm\_n-a@mail.ru,  
Кузьмичева Н. А.

Поступила 21.12.2022 г.

УДК 631.42

DOI: <https://doi.org/10.52540/2074-9457.2022.4.46>

Г. Н. Бузук

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ ИНДЕКСОВ В КАЧЕСТВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРОФНОСТИ ПОЧВ В ФИТОЦЕНОЗАХ

г. Витебск, Республика Беларусь

*Целью настоящей работы является разработка почвенных индексов, характеризующих трофность почвы. С использованием модифицированных пипеток определены набухание и цветовые координаты в CIE Lab пространстве образцов почвы различных типов и массы до и после удаления органического вещества с помощью водорода пероксида. Установлена линейная зависимость между массой образца и величиной его набухания. Коэффициент наклона линии регрессии хорошо согласуется с трофностью почвы. Плотность почвы после набухания в воде нелинейно связана с массой образца, хорошо аппроксимируется экспоненциальной функцией и отрицательно связана с трофностью почвы. Удаление органического вещества повышает плотность почвы. Определена оптимальная масса образца почвы для анализа. Для удаления органического вещества предложена 2–3 кратная обработка почвы в чашках Петри 30% водорода пероксидом при комнатной температуре и промежуточным высушиванием досуха. Для определения роли органического вещества в трофности почвы предложен индекс dE – Евклидово расстояние между координатами цвета в CIE Lab пространстве до и после удаления органического вещества. Предложенные почвенные индексы могут быть использованы для оценки трофности почв при выращивании лекарственных растений.*

**Ключевые слова:** почвенные индексы, набухание, трофность, глина, органическое вещество, линейная и нелинейная регрессия, цвет и цветовое расстояние.

### ВВЕДЕНИЕ

Почвы характеризуются определенным плодородием. Под плодородием почв понимают их способность удовлетворять потребности растений в элементах минерального питания, реакции почвенного

раствора, благоприятном воздушном режиме (аэрации), уровне влаго- и теплообеспеченности, окислительно-восстановительного потенциала и др. Плодородие почв влияет на биомассу растений, в том числе лекарственных [1].

Различают природное и искусственное

плодородие почв. Природное или естественное плодородие обусловлено развитием природного почвообразовательного процесса без вмешательства человека и определяется составом и продуктивностью природных фитоценозов. Искусственное плодородие создается человеком путем внесения минеральных и органических удобрений, мелиорации, обработки почвы и другими приемами на фоне естественного плодородия.

По аналогии с подразделением плодородия на естественное, или природное, и искусственное можно таким же образом подразделить трофность почв, под которой понимается обеспеченность растений элементами минерального питания и их доступностью [2], на естественную и искусственную.

В агрохимической практике трофность почвы в основном оценивается по содержанию в почве гумуса и основных элементов минерального питания (азота, фосфора и калия) [3, 4].

В природных условиях звеном, связывающим растительность, почву и почвенную биоту, является опад (подстилка – в лесных ценозах, степной или луговой войлок – в травяных) [5–8].

В условиях гумидного климата и промывного режима высвободившиеся при разложении опада элементы минерального питания задерживаются в корнеобитаемой зоне почвенным поглощающим комплексом, основная роль в котором принадлежит глинистым минералам и органическому веществу почвы. Одним из показателей, характеризующих почвенный поглощающий комплекс, является емкость катионного обмена (ЕКО). ЕКО напрямую зависит от содержания в почве глинистых минералов и органического вещества [9–14].

Общим свойством глинистых минералов и органического вещества является способность к набуханию. В связи с этим способность почвы к набуханию может служить косвенным показателем трофности почв в естественных природных условиях.

Целью настоящей работы является изучение возможности определения почвенных индексов, характеризующих трофность почвы.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Для определения почвенных индексов, связанных с набуханием, использовали пи-

петки на выливание вместимостью 10 мл, нижний конец которых герметизировали с помощью смолы, термокля или просто запаивали, а верхний суженный конец отрезали с помощью алмазного диска.

Образцы почвы отбирали из элювиально-гумусово-аккумулятивного (А1А2) горизонта на всю его глубину. Были отобраны образцы дерновой (суходольный луг), супесчаной (зарастающий песчаный отвал), дерново-подзолистой (сосняк зеленомошный брусничный), суглинистой (пахотный горизонт 2–3 летней залежи), серой лесной (лиственный лес с преобладанием осины, липы, березы, дуба и лещины) почв, а также суглинка моренного и карьерной глины. Отобранные образцы почвы в сыром виде разминали, по максимуму удаляли корни растений и камешки и высушивали. Перед проведением испытаний 100–200 г почвы измельчали в ступке, а затем просеивали через сито с отверстиями 0,5 мм.

Для определения набухания 1–4 г просеянной почвы засыпали в пипетку, заливали 10–13 мл воды очищенной, перемешивали в течение 1–2 мин, а затем помещали в специальный штатив в строго вертикальном положении. Примерно через один час после осаждения основной массы частиц песка и пыли в пипетку добавляли 0,5 мл 5% водного раствора кальция хлорида для коагуляции и осаждения глинистых минералов. Отсчет объема набухшей почвы проводили спустя сутки с использованием USB камеры и программы Digimizer (<https://www.digimizer.com>), что позволило повысить точность определения объема и одновременно документировать результаты опытов.

Для разрушения органического вещества почвы применяли его окисление 30% водорода пероксидом. С этой целью образцы почвы массой по 3 г помещали в чашки Петри диаметром 7 см, разравнивали, смачивали 4–5 мл водорода пероксида (опыт) или воды очищенной (контроль) и выдерживали в течение суток при комнатной температуре до полного высыхания содержимого. Затем процедуру обработки повторяли и снова высушивали, дополнительно выдерживая в течение светового дня на прямом солнечном свете. И так 2–3 раза в зависимости от содержания органического вещества в почве. По завершении окисления органического вещества почвы

наблюдается заметное просветление опытного образца (рисунок 1).

Затем опытный и контрольный образцы почвы сканировали на планшетном сканере при 300 dpi. Полученные цифровые RGB изображения обрабатывали с помощью программы Fiji (<https://imagej.net/software/fiji/downloads>). С этой целью RGB изображения сначала трансформировали

в цветовое пространство CIE Lab, а затем рассчитывали средние значения отдельно для каналов L, a и b. Светлота задается координатой L (изменяется от 0 до 100, от самого темного до самого светлого), координата a обозначала положение цвета в диапазоне от зеленого до красного, b – от синего до желтого в диапазонах от -120 до +120.



Рисунок 1. – Вид образцов почвы до (слева) и после (справа) окисления органического вещества водородом пероксидом

В качестве меры содержания органического вещества в почве мы предлагаем показатель dE, который рассчитывается по формуле (1):

$$dE = \sqrt{(L_k - L_o)^2 + (a_k - a_o)^2 + (b_k - b_o)^2}, \quad (1)$$

где  $L_k$  и  $L_o$ ,  $a_k$  и  $a_o$ ,  $b_k$  и  $b_o$  – светлота, краснота и желтизна опытного (o) и контрольного (k) образцов почвы соответственно.

По существу dE является Евклидовым расстоянием между двумя объектами в трехмерном пространстве. Заметим, что в настоящее время предложено более 50 таких расстояний, пригодных для использования с объектами как биологической, так и небиологической природы. В качестве примера можно назвать инструмент  $f\_dis$  из пакета David L. Jones FATHOM для matlab (<https://www.usf.edu/marine-science/research/matlab-resources/fathom-toolbox-for-matlab.aspx>).

Это расстояние тем больше, чем больше в почве содержится органического ве-

щества (гумуса).

После определения цветовых параметров почву из чашки Петри количественно переносили в пипетку и далее поступали, как описано выше. Некоторое количество почвы (40–50 мг) после окисления органического вещества водородом пероксидом может быть использовано для определения гранулометрического состава с помощью лазерной дифракции [15–17].

Для оценки величины набухания почвы нами предложен расчет плотности почвы в воде до ( $d_w$ ) и после ( $d_c$ ) окисления в ней органического вещества (формулы 2, 3):

$$d_w = m / V_w, \quad (2)$$

$$d_c = m / V_c, \quad (3)$$

где  $d_w$  и  $d_c$  – плотность почвы в воде до и после удаления органического вещества;  $m$  – масса почвы, г;

$V_w$  и  $V_c$  – объем набухшей почвы до и после удаления органического вещества, мл.

Поскольку набухает только органическое вещество и глинистые минералы, то  $V_w$  соответствует величине набухания, обусловленного совокупностью органического вещества и глинистых минералов, в то время как  $V_c$  – только минералами глины.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе нами было изучено влияние навески почвы на степень ее свободного набухания в пипетке. Полученные данные представлены графически на рисунке 2.

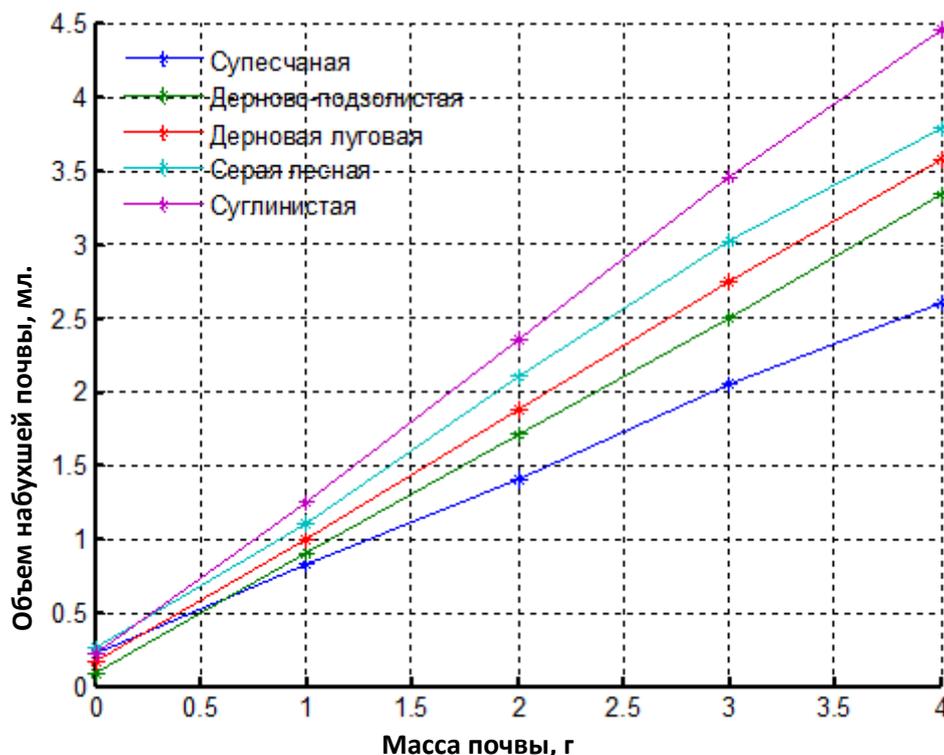


Рисунок 2. – Влияние массы почвы на величину ее объема после набухания

Как видно из представленных на рисунке 2 данных, между массой почвы и ее объемом после набухания наблюдается линейная зависимость, которая хорошо аппроксимируется линейной регрессией:  $y = a + b \cdot x$ . Свободный член (а) уравнения определяет место пересечения линии регрессии с осью ординат, в то время как угловой коэффициент (b) – наклон кривой.

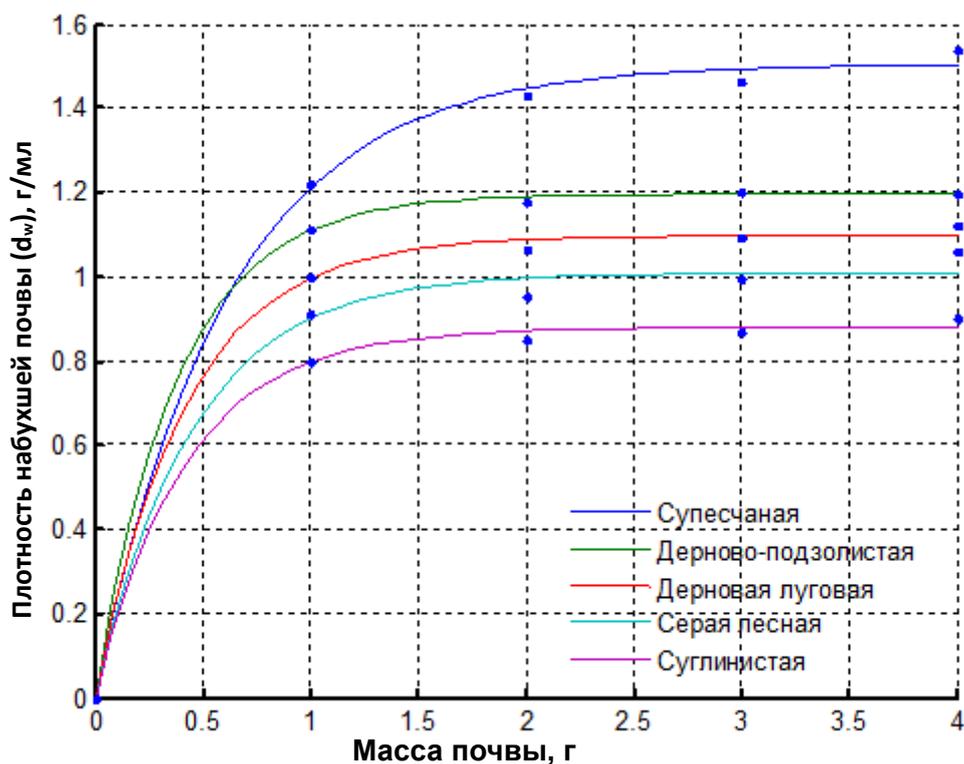
Наблюдается постепенное увеличение коэффициента b от супесчаной до су-

глинистой (таблица 1), что практически соответствует увеличению плодородия почвы и, соответственно, ее трофности в следующем возрастающем порядке: супесчаная > дерново-подзолистая > дерновая луговая > серая лесная > суглинистая, что согласуется с общепринятыми данными [18–22].

Данные по влиянию навески почвы на ее плотность в воде ( $d_w$ ) представлены графически на рисунке 3.

Таблица 1. – Коэффициенты линейной регрессии  $y = a + b \cdot x$

Тип почвы	a	b
Супесчаная	0,220	0,599
Дерново-подзолистая	0,080	0,812
Дерновая луговая	0,158	0,857
Серая лесная	0,260	0,896
Суглинистая	0,212	1,066

Рисунок 3. – Влияние массы почвы на ее плотность в воде ( $d_w$ )

Если зависимость объема почвы после набухания от ее массы носит линейный характер (рисунок 2), то зависимость плотности почвы от ее массы носит нелинейный характер (рисунок 3) и хорошо аппроксимируется экспоненциальной функцией:  $y = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot x))$ . Здесь свободный член ( $a$ ) уравнения определяет выход линии регрессии на плато, который наблюдается при увеличении массы почвы более 2 г и

выше. Поэтому в дальнейшей работе мы использовали навеску почвы массой 3 г.

Наблюдается постепенное увеличение коэффициента  $a$  и, соответственно, уменьшение плотности почвы от супесчаной до суглинистой (таблица 2), что практически соответствует увеличению ее трофности в следующем возрастающем порядке: супесчаная > дерново-подзолистая > дерновая луговая > серая лесная > суглинистая.

Таблица 2. – Коэффициенты экспоненциальной регрессии  $y = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot x))$ 

Тип почвы	$a$	$b$
Суглинистая	0,88	2,39
Серая лесная	1,01	2,22
Дерновая луговая	1,10	2,39
Дерново-подзолистая	1,19	2,65
Супесчаная	1,50	1,64

Из данных, представленных в таблице 3, видно, что после удаления органического вещества плотность почвы увеличивается, на что указывает знак разности  $d_w - d_c$ , что, очевидно, связано с увеличением плотности упаковки почвенных частиц и агрегатов почвы. Увеличение плотности почвы как до, так и после удаления органического вещества

сопровождается снижением ее трофности в убывающем порядке от суглинистой до супесчаной.

Для моренного суглинка и карьерной глины  $V_w$  равны 2,65 и 5,10 мл,  $d_w = d_c$  и составляет 1,13 и 0,58 г/мл соответственно.

Таким образом, определение увеличения объема ( $V_w$ ) и плотности почвы ( $d_w$ ) при ее набухании в воде могут служить

Таблица 3. – Плотность почвы до ( $d_w$ ) и после ( $d_c$ ) удаления органического вещества

Тип почвы	$d_w$	$d_c$	$d_w-d_c$
Суглинистая	0,87	0,97	-0,10
Серая лесная	0,99	1,11	-0,12
Дерновая луговая	1,09	1,32	-0,23
Дерново-подзолистая	1,20	1,36	-0,16
Супесчаная	1,46	1,54	-0,08

простейшими индексами, характеризующим трофность почвы. Относительное участие глинистых минералов в формировании трофности почвы может быть измерено величиной набухания почвы ( $V_c$ ) и, соответственно, плотности почвы ( $d_c$ ) после удаления органического вещества. Участие органического вещества может быть оценено цветометрически по величине индекса dE.

На практике вместо  $d_w$  и  $d_c$  удобнее пользоваться величинами, обратными им ( $1/d_w$  и  $1/d_c$ ), которые мы предлагаем называть SSI (Soil Swell Index) и SCI (Soil Clay Index) соответственно, поскольку их величина увеличивается с повышением трофности (формулы 4, 5):

$$SSI = 1/d_w = 1/(m/V_w) = V_w/m, \quad (4)$$

$$SCI = 1/d_c = 1/(m/V_c) = V_c/m, \quad (5)$$

Особый интерес представляет существование тесной связи между способностью почв к набуханию и поверхностной электрической проводимостью почвенной матрицы [23].

Существование такой зависимости открывает возможность для сравнения и взаимной корректировки результатов определения трофности почвы, получаемой путем измерения удельного электрического сопротивления (недеструктивным способом при ненарушенном сложении и полевой влажности) и лабораторным способом, основанным на другом физическом принципе [24].

Кроме того, предложенные почвенные индексы ( $d_w$ ,  $d_c$ , SSI, SCI и dE) наряду с экологическими шкалами могут быть использованы для оценки трофности местообитаний лекарственных растений. Связь трофности почвы с накоплением в растениях биологически активных веществ нами была показана ранее на примере содержания алкалоидов в чистотеле большом [25].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика определения почвенных индексов ( $d_w$ ,  $d_c$ , SSI, SCI и dE), основанная на определении плотности и цветового расстояния почвы после ее набухания в воде до и после удаления из почвы органического вещества окислением водорода пероксидом. Установлена связь предложенных индексов с трофностью почвы. Реализации параметров трофности почвы в полном объеме может препятствовать ограничивающее влияние других факторов, в том числе повышенной или недостаточной влажности, аэрации, температурного фактора, например, для торфяно-болотных, торфяно-глеевых и торфяных почв. Поэтому предложенные индексы следует рассматривать как показатели потенциальной трофности почвы при оценке экологического пространства местообитаний растений, в том числе лекарственных, и соотносить с другими факторами.

## SUMMARY

G. N. Busuk

### DETERMINATION OF SOIL INDICES AS INDICATORS OF SOIL TROPHICITY IN PHYTOCENOSES

The purpose of this work is to develop soil indices characterizing soil trophicity. Using modified pipettes swelling and color coordinates are determined in the CIE Lab space of soil samples of different types and mass before and after organic matter removal using hydrogen peroxide. Linear dependence between the sample mass and the amount of its swelling has been established. The slope coefficient of the regression line agrees well with the soil trophicity. Soil density after swelling in water is nonlinearly related to sample mass,  $x$  is approximated by exponential function and is negatively related to soil trophicity. Removal of organic matter increases soil density. Optimal mass of the soil sample for analysis has been

determined. To remove organic matter a 2–3 fold treatment of soil in Petri dishes with 30% hydrogen peroxide at room temperature and intermediate drying till full drying is proposed. To determine the role of organic matter in the soil trophicity the dE index – Euclidean distance between the coordinates of color in the CIE Lab space before and after organic matter removal is proposed. The proposed soil indices can be used to assess the soil trophicity assessment when growing medicinal plants.

Keywords: soil indices, swelling, trophicity, clay, organic matter, linear and nonlinear regression, color and color distance.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Полуденный, Л. В. Эфиромасличные и лекарственные растения / Л. В. Полуденный, В. Ф. Сотник, Е. Е. Хлапцев. – Москва: Колос, 1979. – 286 с.
2. Аветов, Н. А. Понятие трофности в связи с антропогенной эвтрофикацией верховых болот Ханты-Мансийского Приобья / Н. А. Аветов, Е. А. Шишконокова // Бюл. Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева. – 2013. – № 71. – С. 36–51.
3. Лапа, В. В. Особенности трансформации свойств почв пахотных земель Беларуси / В. В. Лапа, Т. Н. Азаренок // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 2. – С. 247–256.
4. Оценка плодородия почв Беларуси, выполненная разными методами / Г. С. Цытрон [и др.] // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. тр. / отв. ред. В. К. Пестис. – Гродно: Гродненский гос. аграр. ун-т, 2015. – Т. 29 : Агрономия. – С. 172–178.
5. Солодовников, А. Н. Показатели плодородия почв под лиственными и хвойными лесами в среднетаежной подзоне Северо-Запада России / А. Н. Солодовников // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 6. – С. 602.
6. Смирнов, А. П. Продуктивность хвойных древостоев и естественное лесовозобновление на вырубках в связи с плодородием лесной почвы / А. П. Смирнов, А. А. Смирнов, Б. А. Д. Монгуш // Изв. С.-Петерб. лесотехнич. акад. – 2018. – № 223. – С. 28–46.
7. Лукина, Н. В. Плодородие лесных почв как основа взаимосвязи почва-растительность / Н. В. Лукина, М. А. Орлова, Л. Г. Исаева // Лесоведение. – 2010. – № 5. – С. 45–56.
8. Соколова, Т. А. Роль почвенной биоты в процессах выветривания минералов (обзор литературы) / Т. А. Соколова // Почвоведение. – 2011. – № 1. – С. 64–81.
9. Kariuki, P. C. A unified swelling potential index for expansive soils / P. C. Kariuki, F. Van Der Meer // Engineering geology. – 2004. – Vol. 72, N 1/2. – P. 1–8.
10. Илмаз, И. Связь предела текучести, емкости катионного обмена и набухания глинистых почв Турции / И. Илмаз // Почвоведение. – 2004. – № 5. – С. 588–595.
11. Yukselen, Y. A. Prediction of cation exchange capacity from soil index properties / Y. Yukselen, A. Kaya // Clay Minerals. – 2006. – Vol. 41, N 4. – P. 827–837.
12. Erguler, Z. A. A simple test and predictive models for assessing swell potential of Ankara (Turkey) Clay / Z. A. Erguler, R. Ulusay // Engineering geology. – 2003. – Vol. 67, N 3/4. – P. 331–352.
13. Parker, J. C. An evaluation of several methods of estimating soil volume change / J. C. Parker, D. F. Amos, D. L. Kaster // Soil Science Soc. of America J. – 1977. – Vol. 41, N 6. – P. 1059–1064.
14. Jayasekera, S. Some relationships between shrink-swell index, liquid limit, plasticity index, activity and free swell index / S. Jayasekera, A. Mohajerani // Austral. Geomechanics. – 2003. – Vol. 38, N 2. – P. 53–58.
15. Юдина, А. В. Микроагрегатный анализ почв методом лазерной дифракции: особенности пробоподготовки и интерпретации результатов / А. В. Юдина, Е. Ю. Милановский // Бюл. Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева. – 2017. – № 89. – С. 3–20.
16. Физико-химические основы различий седиментометрического и лазерно-дифракционного методов определения гранулометрического состава почв / Г. Н. Федотов [и др.] // Почвоведение. – 2007. – № 3. – С. 310–317.
17. Современные приборные методы исследования гранулометрического состава, реологических характеристик и свойств поверхности твердой фазы почв / Е. В. Шеин [и др.] // Вестн. Оренбургского гос. ун-та. – 2015. – № 6. – С. 151–156.
18. Березин, Л. В. Лесное почвоведение / Л. В. Березин, Л. О. Карпачевский. – Омск: Омский гос. аграрный ун-т, 2009. – 360 с.
19. Карпачевский, Л. О. Курс лесного почвоведения / Л. О. Карпачевский, Ю. Н. Ашинов, Л. В. Березин. – Майкоп: Аякс, 2009. – 345 с.
20. Ремезов, Н. П. Лесное почвоведение / Н. П. Ремезов, П. С. Погребняк. – Москва: Лесная пром-сть, 1965. – 324 с.
21. Погребняк, П. С. Основы лесной типологии / П. С. Погребняк. – Киев: Изд-во Акад. наук УССР, 1953. – 455 с.
22. Верификация балловых оценок местобитания по некоторым параметрам среды / Л. Б. Заугольнова [и др.] // Лесоведение. –

1998. – № 5. – С. 48–58.

23. Evaluation on expansive performance of the expansive soil using electrical responses / Y. Chu [et al. // J. of Appl. Geophysics. – 2018. – Vol. 148. – С. 265–271.

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

25. Погоцкая, А. А. Морфометрия *Chelidonium majus* L.: взаимосвязь размеров, формы листа и содержания алкалоидов и фенольных соединений / А. А. Погоцкая, Г. Н. Бузук, О. В. Созинов // Вестн. фармации. – 2010. – № 3. – С. 26–39.

### REFERENCES

1. Poludennyi LV, Sotnik VF, Khlapsev EE. Essential oil and medicinal plants. Moskva, RF: Kolos; 1979. 286 s. (In Russ.)

2. Avetov NA, Shishkonakova EA. The concept of trophicity in connection with anthropogenic eutrophication of raised bogs of the Khanty-Mansiysk Ob region. *Biul Pochvennogo in-ta im VV Dokuchaeva*. 2013;(71):36–51. (In Russ.)

3. Lapa VV, Azarenok TN. Features of the transformation of soil properties of arable land in Belarus. *Dokl Nats akad nauk Belarusi*. 2021;65(2):247–56. doi: 10.29235/1561-8323-2021-65-2-247-256. (In Russ.)

4. Tsytron GS, Shibut LI, Shul'gina SV, Kaliuk VA. Assessment of soil fertility in Belarus, performed by different methods. V: Pestis VK, redaktor. *Sel'skoe khoziaistvo – problemy i perspektivy: sb nauch tr. Grodno, RB: Grodnenskii gos agrar un-t; 2015. T. 29 : Agronomiia. s. 172–8. (In Russ.)*

5. Solodovnikov AN. Indicators of soil fertility under deciduous and coniferous forests in the middle taiga subzone of the North-West of Russia. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*. 2015;(6):602. (In Russ.)

6. Smirnov AP, Smirnov AA, Mongush BAD. Productivity of coniferous forest stands and natural reforestation in clearcut areas in connection with the fertility of forest soil. *Izv S-Peterb lesotekhnich akad*. 2018;(223):28–46. (In Russ.)

7. Lukina NV, Orlova MA, Isaeva LG. Fertility of forest soils as the basis of the soil-vegetation relationship. *Lesovedenie*. 2010;(5):45–56. (In Russ.)

8. Sokolova TA. The Role of Soil Biota in Mineral Weathering (Literature Review). *Pochvovedenie*. 2011;(1):64–81. (In Russ.)

9. Kariuki PC, Van Der Meer F. A unified swelling potential index for expansive soils. *Eng Geol*. 2004;72(1-2):1–8. doi: 10.1016/S0013-7952(03)00159-5

10. Ilmaz I. Relationship between Yield Strength, Cation Exchange Capacity, and Swell-

ing of Clay Soils in Turkey. *Pochvovedenie*. 2004;(5):588–95. (In Russ.)

11. Yukselen Y, Kaya A. Prediction of cation exchange capacity from soil index properties. *Clay Miner*. 2006;41(4):827–37. doi: 10.1180/0009855064140222

12. Erguler ZA, Ulusay R. A simple test and predictive models for assessing swell potential of Ankara (Turkey) Clay. *Eng Geol*. 2003;67(3-4):331–52. doi: 10.1016/S0013-7952(02)00205-3

13. Parker JC, Amos DF, Kaster DL. An evaluation of several methods of estimating soil volume change. *Soil Sci Soc Am J*. 1977;41(6):1059–64. doi: 10.2136/sssaj1977.03615995004100060008x

14. Jayasekera S, Mohajerani A. Some relationships between shrink-swell index, liquid limit, plasticity index, activity and free swell index. *Austral Geomechanics*. 2003;38(2):53–8

15. Iudina AV, Milanovskii Elu. Microaggregate Analysis of Soils by Laser Diffraction: Features of Sample Preparation and Interpretation of Results. *Biul Pochvennogo in-ta im VV Dokuchaeva*. 2017;(89):3–20. doi: 10.19047/0136-1694-2017-89-3-20. (In Russ.)

16. Fedotov GN, Shein EV, Putliaev VI, Arkhangel'skaia TA, Eliseev AV, Milanovskii Elu. Physicochemical Basis for the Differences Between Sedimentometric and Laser Diffraction Methods for Determining the Particle Size Composition of Soils. *Pochvovedenie*. 2007;(3):310–7. (In Russ.)

17. Shein EV, Milanovskii Elu, Khaidapova DD, Bykova GS, Iudina AA, Chestnova VV i dr. Modern instrumental methods for studying the granulometric composition, rheological characteristics and properties of the surface of the solid phase of soils. *Vestn Orenburgskogo gos un-ta*. 2015;(6):151–6. (In Russ.)

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

19. Karpachevskii LO, Ashinov IuN, Berezin LV. Forest Soil Science Course. Maikop, RF: Aiaks; 2009. 345 s. (In Russ.)

20. Remezov NP, Pogrebniak PS. Forest soil science. Moskva, RF: Lesnaia prom-st'; 1965. 324 s. (In Russ.)

21. Pogrebniak PS. Fundamentals of forest typology. Kiev, Ukraine: Izd-vo Akad nauk UkrSSR; 1953. 455 s. (In Russ.)

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

23. Chu Y, Liu S, Bate B, Xu L. Evaluation on expansive performance of the expansive soil using electrical responses. *J Appl Geophy*. 2018;148:265–71. doi: 10.1016/j.jappgeo.2017.12.001

24. 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.)

25. Pogotskaia AA, Buzuk GN, Sozinov OV. Morphometry of *Chelidonium majus* L.: relationship between size, leaf shape and content of alkaloids and phenolic compounds. Vestn farmatsii. 2010;(3):26–39. (In Russ.)

**Адрес для корреспонденции:**

г. Витебск, Республика Беларусь,

тел. +375-29-715-08-38,

e-mail: [buzukg@mail.ru](mailto:buzukg@mail.ru),

профессор, доктор фармацевтических наук,

Бузук Г.Н.

Поступила 19.12.2022 г.

УДК 581.4:633.584.3.

DOI: <https://doi.org/10.52540/2074-9457.2022.4.54>

**Н. А. Кузьмичева**

## **РАЗМЕРНЫЕ ПРИЗНАКИ И ДЕСКРИПТОРЫ ФОРМЫ ЛИСТЬЕВ БЕЛОРУССКИХ ВИДОВ ИВ В ТАКСОНОМИИ РОДА *SALIX* L.**

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

*В статье представлена таксономическая значимость морфологических признаков, полученных в результате компьютерной обработки цифровых изображений листьев ив. Перед сканированием листья фиксировали скотчем на фильтровальной бумаге и высушивали в гербарном прессе. Изучены 10 видов ив, произрастающих в Республике Беларусь: *Salix triandra* L., *S. pentandra* L., *S. fragilis* L., *S. myrsinifolia* L., *S. caprea* L., *S. cinerea* L., *S. aurita* L., *S. dasyclados* Wimm., *S. viminalis* L., *S. purpurea* L. 11 размерных признаков листа и дескрипторов его формы позволяют достоверно различить эти виды с помощью канонического анализа. Таксономическая значимость признаков наибольшая для расчетных признаков, таких как эффективный диаметр и малая ось эллипса, вписанного в лист, несколько меньшая – для ширины и длины листа, а также его периметра и компактности. Для более объективной оценки видовой принадлежности ив предложено использовать формулы, включающие средние значения 5 наиболее ценных морфологических признаков.*

**Ключевые слова:** ивы, *Salix*, морфологические признаки, листья, цифровые изображения, канонический анализ.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Современная систематика растений немислима без применения компьютерных технологий [1, 2]. Они могут оказать неоценимую помощь как на этапе изучения морфологических признаков, так и в процессе обработки и интерпретации полученных результатов. Так, для объективизации процесса измерения размеров листа был предложен метод получения цифрового изображения изучаемого органа растения с последующей обработкой его с помощью различных программ [3]. Например, программа ImageJ позволяет объективно определить не только традиционные параметры, такие как длину и ширину листа, но и его площадь, периметр и дескрипторы формы (округлость, компактность и т. д.),

что может быть полезным для целей систематики.

Что касается обработки полученных результатов, то для свертывания большого количества данных и более наглядного их представления очень удобными оказались методы многомерной статистики: метод главных компонент, факторный анализ, канонический анализ и др. [4]. Они используются в настоящее время не только антропологами, но и зоологами и ботаниками [1]. Информативность основных четырех многомерных методов исследования (канонического анализа, метода многомерного шкалирования расстояний Махаланобиса, Т-факторного анализа групповых значений канонических переменных и метода главных компонент) была оценена Дерябиным В. Е. По его данным, «первые