



## Original researches

## Phytoindication Spatio-Temporal Structures Tehnozemo and Endogenous Mechanisms of Sustainable Functioning of Anthropogenic Soil-Like Bodies

Received: 30 June 2018  
Revised: 07 July 2018  
Accepted: 09 July 2018

Dnipro State Agrarian and Economic University, Serhii Efremov Str., 25,  
Dnipro, 49600, Ukraine

Tel.: +38-097-390-51-12  
E-mail: mkaterina@ukr.net

**Cite this article:** Maslikova, E. P. (2018). Phytoindication spatio-temporal structures tehozemo and endogenous mechanisms of sustainable functioning of anthropogenic soil-like bodies. *Agrology*, 1(3), 273–280. doi: 10.32819/2617-6106.2018.13006

E. P. Maslikova

*Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine*

**Abstract.** The paper clarified patterns of the spatiotemporal dynamics of the water regimes of the different technosol types by means of phytoindication methods. It is shown that technosol ecotopes can be evaluated as subxerophyte or submesophyte and hemihydrocontrastofobe or hemihydrocontrastophyle. Between the soil water regime and variability of damping conditions there is a statistically significant inverse correlation. Less humid and more contrasting moisture conditions are typical for the sod-lithogenic soils on loess-like loams. Wetter and less contrasting moisture conditions are typical for the sod-lithogenic soils on red-brown clays. Other studied technosols occupy an intermediate position. Humidity and variability of damping conditions formed the spatial patterns within respective technosol types. These patterns are specific. Isotropic configuration formed in sod lithogenic soils on red-brown clays and loess loam. Clearly marked anisotropic configuration formed in pedozems and technosol on a gray-green clay. Specificity also manifests itself in the form of structural formations and their relative position and shape boundaries. Spatial structures tend to naturally change over time. The forming of the self-oscillatory rhythms was revealed in which the zone with higher rates show a tendency to decrease, and with reduced - to increase. The direction of the prevailing trend change indicators also form a pattern. The existence of a self-oscillating spatio-temporal pattern indicates the formation in technosols as anthropogenic formations of stable functioning endogenous mechanisms. Overall the spatial contrast of moisture conditions is a reflection of the considerable variability of the technosols properties. The ultimate cause of this spatial and temporal variability of the technosol properties is a position far from the thermodynamic equilibrium, which is an indication of soil or climax quasiclimax biogeocoenoses. Availability of the rhythmic oscillation processes dynamics of humidity regime indicates the formation of a coherent system properties in the technosols.

**Keywords:** phytoindication, tehozemy, spatiotemporal dynamics, humidity mode, humidification contrast.

## Фитоиндикация пространственно-временных структур техноземов и эндогенные механизмы устойчивого функционирования антропогенных почвоподобных тел

Е. П. Масликова

*Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, Днепр, Украина*

**Аннотация.** Выявлены закономерности пространственно-временной динамики водного режима различных типов техноземов методами фитоиндикации. Показано, что экотопы техноземов могут быть оценены как субскерофитные или субмезофитные и гемигидроконтрастобные или гемигидроконтрастобфильные. Между уровнем увлажнения эдафотопы и контрастностью условий увлажнения существует статистически достоверная обратная корреляционная связь. Менее влажные и более контрастные условия увлажнения характерны для дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках. Более влажные и менее контрастные условия увлажнения характерны для дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах. Прочие изученные техноземы занимают промежуточное положение. Влажность и контрастность условий увлажнения формируют закономерные пространственные паттерны в пределах соответствующих типов техноземов. Эти паттерны являются специфическими. Изотропные конфигурации формируются в дерново-литогенных почвах на красно-бурых глинах и на лессовидных суглинках. Четко обозначенные анизотропные конфигурации формируются в педоземах и техноземах на серо-зеленых глинах. Специфичность также проявляет себя в форме структурных образований, их взаимном расположении и форме границ. Пространственные структуры имеют тенденцию закономерно меняться во времени. Установлено формирование автоколебательных ритмов, при которых зоны с повышенными показателями демонстрируют тенденцию к уменьшению, а с сниженными – к увеличению. Направления преобладающих трендов изменений показателей формируют и закономерные структуры. Существование автоколебательных пространственно-временных структур

указывает на формирование в техноземах, как антропогенных образованиях, эндогенных механизмов устойчивого функционирования. Общая пространственная контрастность условий увлажнения является отражением значительной вариабельности свойств техноземов. Конечной причиной такой пространственной и временной вариабельности свойств техноземов является их положение на значительном удалении от состояния термодинамического равновесия, которое является признаком почв климаксовых или квазиклимаксовых биогеоценозов. Наличие ритмических колебательных процессов динамики показателей водного режима указывает на формирование в техноземах целостных системных свойств.

**Ключевые слова:** техноземы, пространственно-временная динамика, режим влажности, контрастность увлажнения, дерново-литогенные почвы.

## Введение

В почве всегда содержится влага, количество которой постоянно меняется во времени. Эти изменения зависят от соотношения процессов поступления воды в почву с атмосферными осадками, поливными и грунтовыми водами и расходования ее из почвы вследствие физического испарения, транспирации, стока и т.д. (Shein, Milanovsky, 2001). Водно-физические свойства почв отражают способность пропускать и удерживать влагу, поступающую в виде осадков или поливной воды, а также переносить ее из глубинных слоев в поверхностные слои к растениям (Maslikova et al., 2016). Влага способна оказывать существенное влияние на химические, физические, воздушные и тепловые свойства почвы (Goleusov & Lisetzky, 2009; Zonn & Travleev, 1989). Горные породы существенно различаются по водным свойствам как между собой, так и в сравнении с зональными почвами (Zhukov et al., 2017). Н. Т. Масюк в своих исследованиях отмечает высокие показатели наименьшей влагоёмкости серо-зеленых мергелистых, охристо-зеленых и темно-серых глин. Несмотря на высокие показатели недоступной растениям влаги в этих субстратах (23,3–24,0%), в них формируются достаточно высокие запасы влаги в активном слое эдафотопов (Masuk, 1989). Для характеристики динамики водно-физических свойств почв, которая наблюдается в процессе рекультивации, определяли такие показатели водного режима, как содержание воды в почве, полевая влажность, доступная влага, максимальная молекулярная влагоёмкость и влажность устойчивого завядания растений (Lyadskaya et al., 2016). Интерес к этим показателям обусловлен перспективностью использования при численном описании преимущественных потоков влаги в почве, для решения прогнозных задач по водному режиму почв, переноса различных веществ, расчета экологического риска их использования (Umarova, 2011). Величины влажности устойчивого завядания и наименьшей влагоёмкости являются исключительно важными характеристиками. Их используют для оценки доступности почвенной воды для растений, что в значительной мере определяет плодородие почв (Shein, 2005). Растения в процессе жизни поглощают большое количество воды. Эта вода расходуется на транспирацию и формирование биомассы (Maslikova et al., 2016). Нижняя граница доступности – влажность устойчивого завядания растений – важный экологический показатель (Rozhkov, Bondarev, 2002). Количество влаги в точке устойчивого завядания растений зависит от гранулометрического состава почвы, содержания в ней органического вещества и легкорастворимых солей. Для растений доступна не вся почвенная влага, а только та ее часть, которая содержится в почве силами, меньшими, чем сосущая сила корневых волосков (Shein, 2005). Чем менее прочно вода удерживается твердой фазой почвы, тем она более подвижна и доступна растениям (Umarova et al., 2013). Поскольку вода в почве находится под действием различных сил, то выделяют определенные интервалы влажности почвы, в пределах которых вода характеризуется одинаковой подвижностью и доступностью растениям (Medvedev et al., 2011).

Техноземы представляют собой антропогенные почвоподобные тела. Оценка водного режима техноземов связана с методическими трудностями. Прежде всего, это существенная пространственная вариабельность свойств техноземов как в пространстве, так и во времени. Это обстоятельство нивелирует традиционный подход в виде стационарных пробных площадей. Кроме того, интерпретация классических почвенно-гидрологических показателей основывается на представлениях о динамике экологических процессов в естественных биогеоценозах или сельскохозяйственных землях. Вопрос об адекватности переноса оценочных критериев на техноземы остается открытым. Эффективный методический подход для разрешения указанных проблем мы видим в применении фитоиндикации для экологической оценки водного режима техноземов.

Фитоиндикация является действенным инструментом описания экологических режимов в естественных биогеоценозах (Zhukov, 2015; Zhukov et al., 2016a,b). Фитоиндикация экологических режимов, которые формируются на территориях энергетических подстанций, позволила установить направления экологических трансформаций, вызванных загрязнением почвы технологическим маслом. Фитоиндикация является информативным методом для установления экологических режимов в условиях антропогенной трансформации экотопов (Zhukov, Potapenko, 2017). Оценка экологических факторов методами фитоиндикации дает возможность содержательно интерпретировать паттерны твердости почв (Zhukov, Zadorozhnaya, 2016) и особенности экологической ниши микромоллюсков дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах (Yorkina et al., 2018).

Выяснить закономерности пространственно-временной динамики водного режима различных типов техноземов методами фитоиндикации и стало целью нашей работы.

## Материал и методы

Работы выполнены на научно-исследовательском стационаре Днепропетровского государственного аграрно-экономического университета (ДГАЭУ) в городе Покров (ранее – Орджоникидзе). Стационар создан на внешнем отвале Запорожского марганцеворудного карьера (Bekarevych, Masuyuk, 1975). Исследования проведены в период 2012–2014 гг. Полигоны заложены в пределах четырех типов техноземов: педоземы, дерново-литогенные почвы на лессовидных суглинках, на серо-зеленых и на красно-бурых глинах. Каждый полигон состоит из 7 трансект, а каждая трансекта – из 15 пробных площадок. Расстояние между рядами в полигоне составляет 3 м (рис. 1). Каждая площадка имеет форму квадрата размером 3×3 м. В пределах каждой площадки проведено геоботаническое описание растительности.

Фитоиндикационные оценки выполнены по регулярной сетке испытаний, которая позволяет проследить изменения в данной точке пространства на протяжении определенного времени. Сравнительно ограниченный диапазон времени позволяет описать тренды изменчивости с помощью линейной модели (рис. 2).

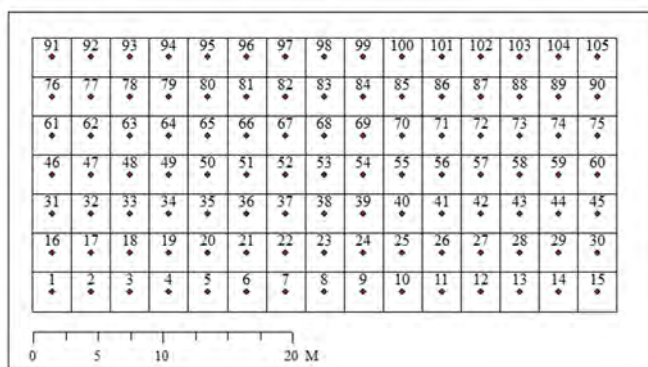


Рис. 1. Схема пробных полигонов и размещения пробных площадок в них

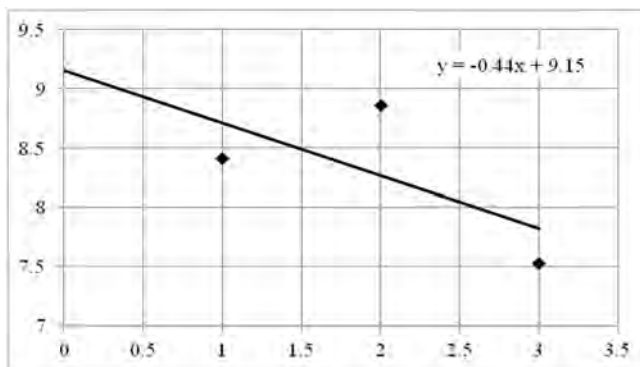


Рис. 2. Динамика значений во времени фитоиндикационной оценки влажности в точке 1: ось абсцисс – время (1 – 2012 г.; 2 – 2013 г.; 3 – 2014 г.); ось ординат – оценка влажности

Шкала времени перекодирована так, что начальный год представлен как 1, а два других – как 2 и 3 соответственно. Линейная модель имеет вид:

$$y = a \cdot x + b,$$

где  $x$  – время (в перекодированной форме);  $y$  – фитоиндикационная оценка;  $a$  и  $b$  – регрессионные коэффициенты, которые могут быть содержательно интерпретированы. Свободный член уравнения  $b$  можно интерпретировать как значение фитоиндикационной оценки в год, который предшествует началу исследований, коэффициент  $a$  указывает на скорость ее увеличения / уменьшения во времени.

Я. П. Дидух (Diduh, 2011) выделяет эдафические и климатические фитоиндикационные шкалы. К эдафическим относятся показатель гидроморф (Hd), контрастность увлажнения (fH).

Показатель гидроморф (Hd) характеризует виды растений по их отношению к водному режиму почв и включает 12 экогрупп, которые имеют промежуточные звенья, поэтому шкала насчитывает 23 балла от гиперксеротических до гипергидротических условий (Diduh, 2011). Каждому показателю гидроморф может быть поставлено в соответствие значения продуктивной влаги за вегетационный период (рис. 3).

Расчеты показывают, что зависимость между показателями гидроморф и продуктивной влагой за вегетационный период можно аппроксимировать зависимостью

$$Y = 18.65 \text{ EXP}(0.15 X),$$

где  $Y$  – продуктивная влага за вегетационный период, мм;  $X$  – показатель гидроморф. Эту зависимость мы применили для перерасчета фитоиндикационных оценок влажности в показатели содержания продуктивной влаги в почве.

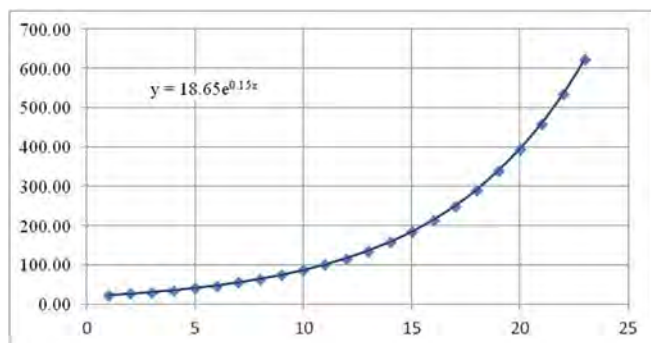


Рис. 3. Зависимость между фитоиндикационными оценками влажности (ось абсцисс) и продуктивной влагой за вегетационный период (ось ординат), мм (по Diduh, 2011; расчеты авторов)

Контрастность увлажнения (fH) – важный показатель для характеристики распределения видов, которые произрастают в поймах рек, поскольку он влияет на период и продолжительность вегетации растений, аэрацию почв, обогащение их питательными веществами и т.д. Шкала контрастности увлажнения насчитывает 11 баллов и 6 групп (Diduh, 2011). Характеризуется коэффициентом неравномерности увлажнения, который варьирует от 0 (наиболее равномерные условия увлажнения) до 0.50 (наиболее контрастные условия увлажнения). Наличие водоупорных пластов в техноземах также создает предпосылки важности оценки контрастности условий увлажнения.

Между показателем контрастоморф и коэффициентом увлажнения существует связь (рис. 4).

Расчеты показывают, что зависимость между показателями контрастоморф и коэффициентом контрастности увлажнения можно аппроксимировать выражением

$$Y = 0.042 X - 0.032,$$

где  $Y$  – коэффициент контрастности увлажнения;  $X$  – показатель контрастоморф. Эта зависимость нами использована для перерасчета фитоиндикационных оценок в коэффициент контрастности увлажнения.

Фитоиндикационные шкалы приведены по Я. П. Дидуху (Diduh, 2011), фитоиндикационная оценка градаций экологических факторов – по Г. Н. Бузуку (Buzuk, 2017).

## Результаты и обсуждение

Возможность использования инструментария фитоиндикации, разработанного для естественных экосистем с целью

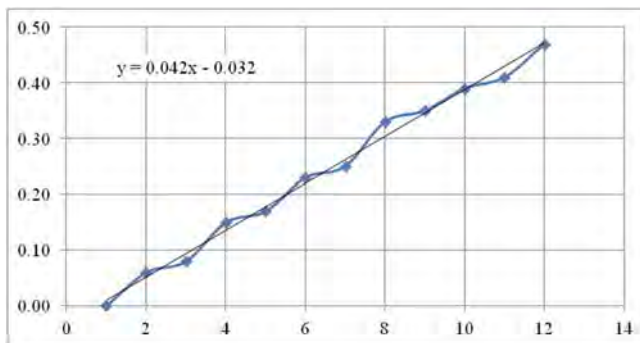


Рис. 4. Зависимость между фитоиндикационными оценками контрастности увлажнения (ось абсцисс) и коэффициентом контрастности увлажнения (ось ординат) (по Diduh, 2011; расчеты авторов)

экологической оценки антропогенно трансформированных территорий, обусловлена неспецифическим характером реагирования сообществ живых организмов на загрязнение окружающей среды (Zhukov, Potapenko, 2017). Фитоиндикационное оценивание указывает на варьирование условий влажности техноземов в диапазоне от субскерофитных до субмезофитных. Самый низкий уровень увлажнения эдафотопов характерен для дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках (таблица). Фитоиндикационная оценка продуктивной влаги за вегетационный период для этих почв составляет 55.9–58.0 мм. Самая высокая влажность характерна для красно-бурых глин (67.0–81.5 мм), несколько ниже этот показатель для серо-зеленых глин (69.9–80.0 мм) и для педоземов (58.8–86.0 мм).

На протяжении периода наблюдений фитоиндикационные оценки влажности демонстрировали тенденцию к снижению. Наибольшая стабильность оценок во времени характерна для дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках. Несколько большие межгодичные колебания установлены для техноземов на серо-зеленых и на красно-бурых глинах. Самые высокие вариации фитоиндикационных оценок влажности характерны для педоземов. В 2014 г. оценки в этом техноземе приближались к самым низким за период исследования, а в 2012 г. – к самым высоким.

Режим контрастности увлажнения эдафотопов является благоприятным для растений в диапазоне от гемигидроконтрастобов до гемигидроконтрастобов. По Диду (2012), гемигидроконтрастобовы – характерны для свежих лесолуговых экотопов с умеренно неравномерным увлажнением корневмещающего слоя почвы при полном его промачивании осадками и тальми водами, или для сухих экотопов, которые лишь в отдельные дождевые сезоны промачиваются осадками ( $\omega = 0.17–0.23$ ). В свою очередь гемигидроконтрастобовы характерны для суховатых лесолуговых и лугово-степных экотопов с неравномерным увлажнением корневмещающего слоя почвы при умеренном или незначительном промачивании его осадками и тальми водами ( $\omega = 0.25–0.33$ ). Наиболее контрастные условия увлажнения характерны для дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках ( $\omega = 0.26–0.32$ ) и для педоземов ( $\omega = 0.27–0.29$ ). Наименьшая контрастность условий увлажнения характерна для дерново-литогенных почв на серо-зеленых ( $\omega = 0.24–0.26$ ) и на красно-бурых глинах ( $\omega = 0.23–0.25$ ).

На протяжении периода исследований в 2012 и 2013 годах показатели контрастности увлажнения находились на одном уровне, а в 2014 г. контрастность условий увлажнения несколько снизилась. Наибольшая вариабельность контрастности условий увлажнения характерна для дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках. Между уровнем увлажнения

эдафотопов и контрастностью условий увлажнения существует статистически достоверная обратная корреляционная связь ( $r = -0.36$ ;  $p < 0.001$ ). Самая большая по модулю корреляционная связь между влажностью и контрастностью увлажнения установлена для техноземов на лессовидных суглинках ( $r = -0.45$ ;  $p < 0.001$ ). Несколько меньший этот показатель для техноземов на красно-бурых ( $r = -0.16$ ;  $p < 0.004$ ) и серо-зеленых глинах ( $r = -0.25$ ;  $p < 0.001$ ). Как четко обозначенная тенденция установлена корреляция для педоземов ( $r = -0.09$ ;  $p = 0.11$ ).

С помощью динамических коэффициентов можно продемонстрировать пространственную вариабельность временной динамики фитоиндикационных индексов (рис. 5). Варьирование свободного члена  $b$  указывает на паттерны влажности в пределах исследуемых участков техноземов. Во всех типах техноземов влажность создает регулярные пространственные паттерны, но они изменяются во времени. Участки с повышенной влажностью имеют тенденцию к ее снижению, а со сниженной – напротив, к ее повышению.

Для дерново-литогенных почв на серо-зеленых глинах установлен отрицательный коэффициент корреляции между параметрами модели  $a$  и  $b$  ( $r = -0.92$ ;  $p < 0.001$ ). Между делтой значений влажности в этом и следующем году и значением влажности в этом году существует линейная зависимость. Для серо-зеленых глин она имеет такой вид:

$$\frac{\Delta Hd}{\Delta x} = 9.09 - 0.96 \cdot Hd.$$

Динамика изменений влажности переходит в стационарное состояние при влажности, которая равняется 9.48. Это свидетельствует о том, что наиболее близкими к стационарному состоянию по показателю влажности были дерново-литогенные почвы на серо-зеленых глинах в 2014 г.

Для дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках установлен отрицательный коэффициент корреляции между параметрами модели  $a$  и  $b$  ( $r = -0.87$ ;  $p < 0.001$ ). Для этих техноземов зависимость скорости изменений влажности от влажности в текущем году имеет вид:

$$\frac{\Delta Hd}{\Delta x} = 7.67 - 1.02 \cdot Hd.$$

Динамика изменений влажности переходит в стационарное состояние при влажности, которая равняется 7.52. То есть наиболее близкими к стационарному состоянию по показателю влажности дерново-литогенные почвы на лессовидных суглинках были в 2013 г.

Для дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах установлен отрицательный коэффициент корреляции между

**Таблица.** Фитоиндикационные оценки показателей водного режима техноземов (среднее значение  $\pm$  ст. ошибка)

Тип технозема	Год	Hd	Продуктивная влага за вегетационный период, мм	fH	Контрастность увлажнения
Дерново-литогенные на красно-бурых глинах	2012	9.86 $\pm$ 0.07	81.8	6.54 $\pm$ 0.07	0.24
	2013	9.54 $\pm$ 0.13	78.0	6.68 $\pm$ 0.05	0.25
	2014	8.52 $\pm$ 0.12	67.0	6.28 $\pm$ 0.09	0.23
Дерново-литогенные на лессовидных суглинках	2012	7.32 $\pm$ 0.09	55.9	8.17 $\pm$ 0.12	0.32
	2013	7.56 $\pm$ 0.17	58.0	7.45 $\pm$ 0.11	0.28
	2014	7.36 $\pm$ 0.15	56.2	6.84 $\pm$ 0.14	0.26
Педоземы	2012	10.19 $\pm$ 0.10	86.0	7.21 $\pm$ 0.12	0.27
	2013	9.08 $\pm$ 0.09	72.9	7.30 $\pm$ 0.08	0.28
	2014	7.65 $\pm$ 0.09	58.8	7.54 $\pm$ 0.10	0.29
Дерново-литогенные на серо-зеленых глинах	2012	8.80 $\pm$ 0.07	69.9	6.53 $\pm$ 0.05	0.24
	2013	9.19 $\pm$ 0.12	74.0	6.98 $\pm$ 0.05	0.26
	2014	9.71 $\pm$ 0.13	80.0	6.56 $\pm$ 0.08	0.24

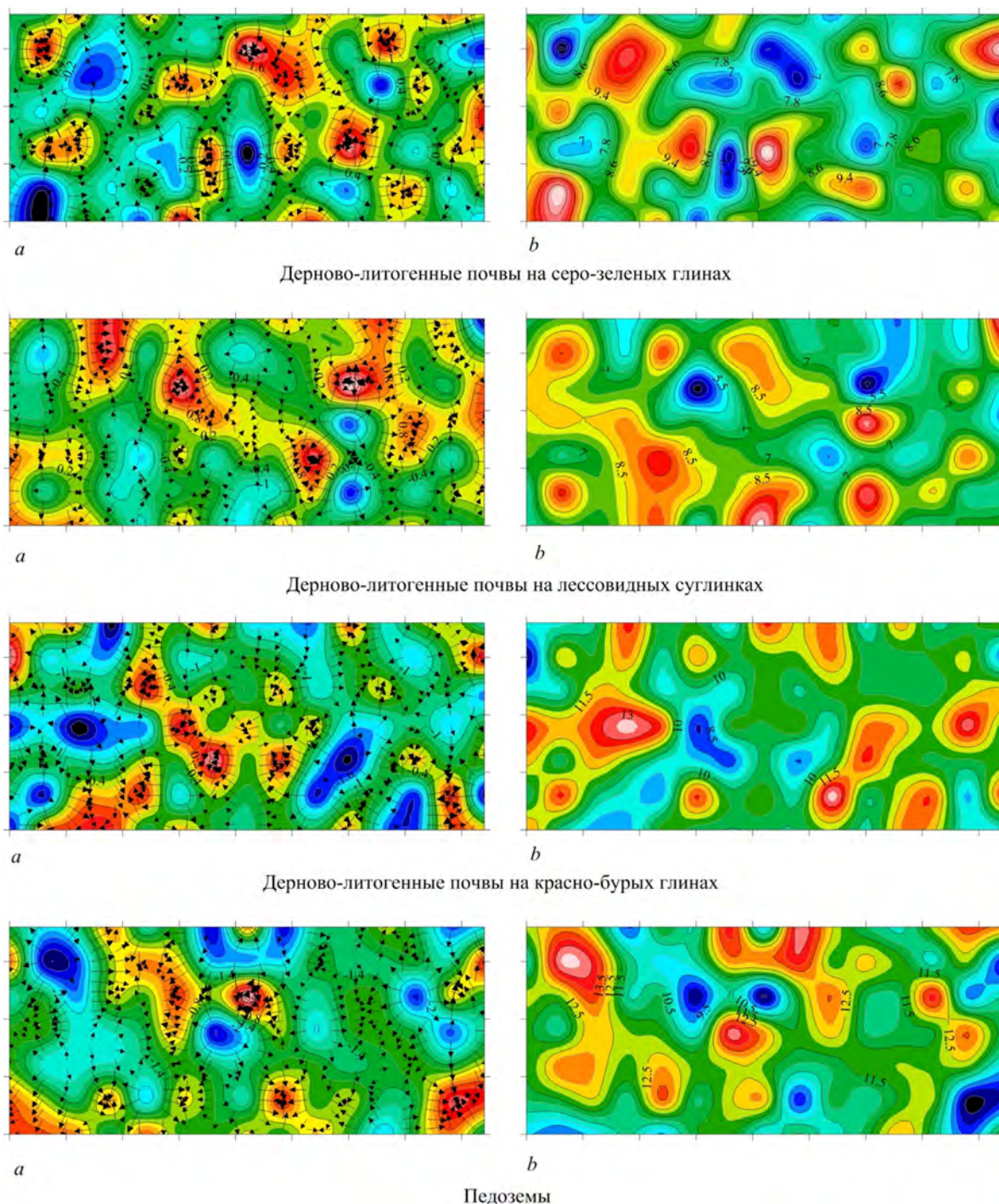


Рис. 5. Пространственная вариабельность коэффициентов динамики фитоиндикационной оценки влажности техногенных эдафотопов. Стрелки – направления повышения оценок

параметрами модели  $a$  и  $b$  ( $r = -0.89$ ;  $p < 0.001$ ). Для этих техноземов зависимость скорости изменений влажности от влажности в текущем году составим равенство:

$$\frac{\Delta Hd}{\Delta x} = 9.23 - 1.02 \cdot Hd.$$

Динамика изменений влажности переходит в стационарное состояние при влажности 9.05. Наиболее близкими к стационарному состоянию по показателю влажности дерново-лито-

генные почвы на красно-бурых глинах были в период между 2013 и 2014 годами.

Для педоземов установлен отрицательный коэффициент корреляции между параметрами модели  $a$  и  $b$  ( $r = -0.87$ ;  $p < 0.001$ ). Для этих техноземов зависимость скорости изменений влажности от влажности в текущем году имеет вид:

$$\frac{\Delta Hd}{\Delta x} = 4.86 - 0.64 \cdot Hd.$$

Динамика изменений влажности переходит в стационарное состояние при влажности 7.59. Это означает, что наиболее близкими к стационарному состоянию по показателю влажности педоземы были в 2014 г.

Для оценок контрастности увлажнения также характерны специфические пространству паттерны, которые варьируют во времени (рис. 6). Пространственные паттерны контрастности увлажнения являются специфическими для каждого типа техноземов. Особенности состоят в размерах и форме однородных по этим показателям участков (областей с регулярно повышен-

ными или пониженными значениями фитоиндикационного признака), а также по их взаимному размещению.

Так, для дерново-литогенных почв на серо-зеленых глинах характерны сравнительно большие по размерам участки с повышенными значениями контрастности увлажнения, которые разделены удлиненными участками с меньшим значением этого показателя. Для техноземов на лессовидных суглинках переход между контрастными зонами является постепенным словно участки, как с повышенными, так и со сниженными значениями показателей контрастности, находятся в однород-

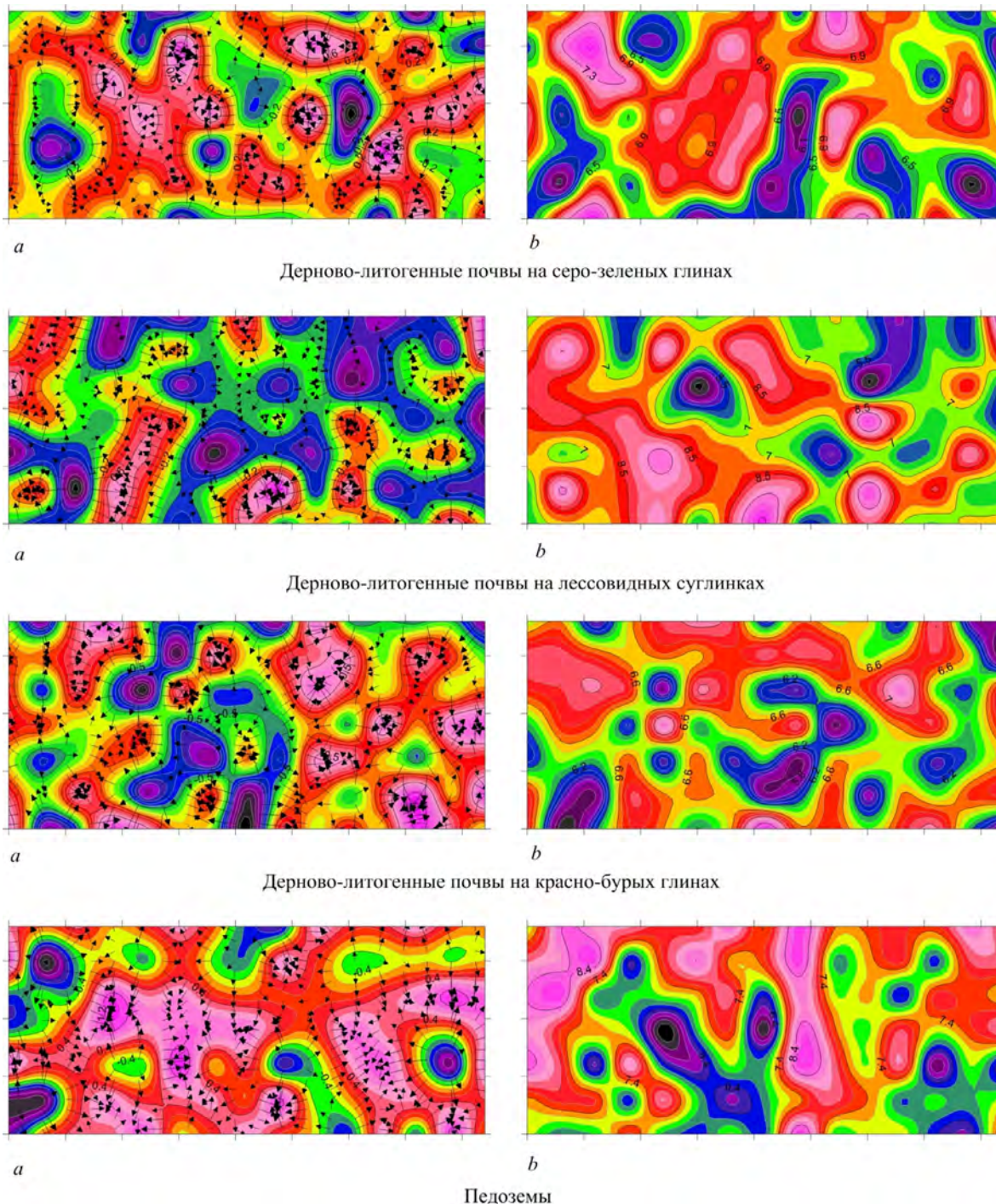


Рис. 6. Пространственная вариабельность коэффициентов динамики фитоиндикационной оценки контрастности увлажнения техногенных эдафотопов. Стрелки – направления повышения оценок

ном матрикс с умеренным уровнем признака. Паттерны техноземов на красно-бурых глинах напоминают соответствующие структуры на лессовидных суглинках, но размер структурных образований в этих техноземах несколько меньший.

Конфигурация структурных отдельностей педоземов подобен аналогичным структурам дерново-литогенных почв на серо-зеленых глинах. Но их форма более удлинена, а форма границ менее извилистая и менее волнообразная.

В целом на рассмотренном масштабе для дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах и лессовидных суглинках распределение структурных отдельностей не является анизотропным, тогда как для педоземов и техноземов на серо-зеленых глинах четко прослеживается пространственная анизотропия.

Для дерново-литогенных почв на серо-зеленых глинах установлен отрицательный коэффициент корреляции между параметрами модели  $a$  и  $b$  для контрастности увлажнения ( $r = -0.92$ ;  $p < 0.001$ ).

Между дельтой значений контрастности влажности в этом и следующем году (скоростью изменения показателя) и значением влажности в этом году существует линейная зависимость, которая для серо-зеленых глин имеет вид:

$$\frac{\Delta fH}{\Delta x} = 6.96 - 1.03 \cdot fH.$$

Динамика изменений влажности переходит в стационарное состояние при влажности 6.76. Это свидетельствует о том, что к стационарному состоянию по показателю контрастности условий увлажнения система была наиболее близкой в 2013 г.

Для дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках установлен отрицательный коэффициент корреляции между параметрами модели  $a$  и  $b$  ( $r = -0.89$ ;  $p < 0.001$ ). Для этих техноземов зависимость скорости изменений контрастности влажности от контрастности влажности в текущем году имеет вид:

$$\frac{\Delta fH}{\Delta x} = 5.30 - 0.76 \cdot fH.$$

Динамика изменений контрастности влажности переходит в стационарное состояние при контрастности влажности 6.97. То есть наиболее близкими к стационарному состоянию по показателю контрастности увлажнения дерново-литогенные почвы на лессовидных суглинках были в 2014 г. В другие годы система была существенно не устойчивой, так как находилась на значительном расстоянии от стационарного состояния.

Для дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах установлен отрицательный коэффициент корреляции между параметрами модели  $a$  и  $b$  ( $r = -0.93$ ;  $p < 0.001$ ). Для этих техноземов зависимость скорости изменений контрастности увлажнения от этого показателя в текущем году имеет вид:

$$\frac{\Delta fH}{\Delta x} = 5.87 - 0.91 \cdot fH.$$

Динамика изменений контрастности влажности переходит в стационарное состояние при показателе, равном 6.45. Это показывает, что наиболее близкими к стационарному состоянию по показателю контрастности увлажнения дерново-литогенные почвы на красно-бурых глинах были в 2012 г.

Для педоземов установлен отрицательный коэффициент корреляции между параметрами модели  $a$  и  $b$  ( $r = -0.92$ ;  $p < 0.001$ ). Для этих техноземов зависимость скорости изменений контрастности увлажнения от этого показателя в текущем году имеет вид:

$$\frac{\Delta fH}{\Delta x} = 5.78 - 0.77 \cdot fH.$$

Динамика изменений контрастности влажности переходит в стационарное состояние при контрастности влажности, которая равняется 7.51. Это свидетельствует о том, что наиболее

близкими к стационарному состоянию по показателю контрастности влажности педоземы были в 2014 г.

## Выводы

1. По фитоиндикационным оценкам показателей водного режима техноземов – влажность и контрастность увлажнения – техноземы могут быть оценены как субскерофитные или субмезофитные и гемигидроконтрастофобные или гемигидроконтрастофильные. Между уровнем увлажнения эдафотопы и контрастностью условий увлажнения существует статистически достоверная обратная корреляционная связь. Это дает основание утверждать, что менее влажные и более контрастные условия увлажнения характерны для дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках. Напротив, более влажные и менее контрастные условия увлажнения свойственны дерново-литогенным почвам на красно-бурых глинах. Прочие изученные техноземы занимают промежуточное положение.

2. Как влажность, так и контрастность условий увлажнения формируют закономерные пространственные паттерны в пределах соответствующих типов техноземов. Эти паттерны являются специфическими. Изотропные конфигурации формируются в дерново-литогенных почвах на красно-бурых глинах и на лессовидных суглинках, а четко обозначенные анизотропные конфигурации – в педоземах и техноземах на серо-зеленых глинах. Специфичность также проявляет себя в форме структурных образований, их взаимном расположении и форме границ.

3. Пространственные структуры имеют тенденцию закономерно меняться во времени. Установлено формирование автоколебательных ритмов, при которых зоны с повышенными показателями демонстрируют тенденцию к снижению, а с пониженными – к повышению. Направления преобладающих трендов изменений показателей также формируют закономерные структуры.

4. Существование автоколебательных пространственно-временных структур указывает на формирование в техноземах, как антропогенных образованиях, эндогенных механизмов устойчивого функционирования. Общая пространственная контрастность условий увлажнения является отражением значительной вариабельности свойств техноземов. Конечной причиной такой пространственной и временной вариабельности свойств техноземов является их положение на значительном удалении от состояния термодинамического равновесия, которое является признаком почв климатических или квазиклиматических биогеоценозов. Наличие ритмических колебательных процессов динамики показателей водного режима указывает на формирование в техноземах целостных системных свойств.

## References

- Bekarevych, M. O., & Masyuk, M. T. (1975). Man-made ecosystems and the basic directions of their optimization. Biogeocological research in Ukraine, L'viv, 166–167 (in Ukrainian).
- Buzuk, G. N. (2017). Phytoindication with ecological scales and regression analysis: environmental index. Bulletin of Pharmacy, 2(76), 31–37 (in Russian).
- Diduh, Y. P. (2011). The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Phytosociocentre, Kyiv.
- Goleusov, P. V., & Lisetzky, F. N. (2009). Regeneration of soils in anthropogenically disturbed landscapes of forest-steppe zone. GEOS, Moscow (in Russian).
- Lyadskaya, I. V., Maslikova, K. P., & Zhukov, A. V. (2016). Methodological approaches to assessing moisture resistant plants wilting sod lithogenic soils on red-brown clay. News of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University, 3(41), 68–72 (in Ukrainian).

- Maslikova, K. P., Ladska, I. V., & Zhukov, O. V. (2016). Permeability of soils in artificially created models with different stratigraphy. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*, 6(3), 234–247. doi: [10.15421/201693](https://doi.org/10.15421/201693).
- Masuk, N. T. (1989). Ecology of disturbed rocks: composition, properties, resources, classification. V. Kovda (Eds.), *Problems of protection, management and restoration of chernozems* (139–166). Nauka, Moscow (in Russian).
- Medvedev, V. V., Laktionova, E. V., & Donsova, L. V. (2011). Soil water properties of Ukraine and agricultural crops water supply. *Apostrof, Kharkiv* (in Russian).
- Rozhkov, V. A., & Bondarev, A. G. (2002). *Physical and water-physical properties of soils*. Moscow University Press, Moscow (in Russian).
- Shein, E. V. (2005). *Soil Physics Course*. Moscow University Press, Moscow (in Russian).
- Shein, E. V., & Milanovsky, E. Y. (2001). Spatial heterogeneity of properties at various hierarchical levels – the basis of soil structure and functions. Scale effects in soil research. Moscow University Press, Moscow (in Russian).
- Umarova, A. B. (2011). Preferential flow in soils: formation regularity and significance of soil functioning. *GEOS, Moscow* (in Russian).
- Umarova, A. B., Shein, E. V., Milanovskiy, E. Y., & Dembovetskiy, A. V. (2013). Specific water regime in technogenic soils: Preferential water flow formation. *Procedia Environmental Science*, 19, 558–563. doi: [10.1016/j.proenv.2013.06.063](https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.06.063).
- Yorkina, N., Maslikova, K., Kunah, O., & Zhukov, O. (2018). Analysis of the spatial organization of *Vallonia pulchella* (Muller, 1774) ecological niche in Technosols (Nikopol manganese ore basin, Ukraine). *Ecologica Montenegrina*, 17, 29–45.
- Zhukov, A. V. (2015). Phytoindicator estimation of the multidimensional scaling of the plant community structure. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*, 5(1), 69–93 (in Russian). doi: [10.15421/2015005](https://doi.org/10.15421/2015005).
- Zhukov, A. V., Kunah, O. N., Novikova, V. A., & Ganzha, D. S. (2016). Phytoindication estimation of soil mesopedobionts communities catena and their ecomorphic organization. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*, 6(3), 91–117 (in Russian). doi: [10.15421/201676](https://doi.org/10.15421/201676).
- Zhukov, A. V., & Zadorozhnaya, G. A. (2016). Spatio-temporal dynamics of the penetration resistance of recultivated soils formed after open cast mining. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*, 24(2), 324–331 (in Russian). doi: [10.15421/011642](https://doi.org/10.15421/011642).
- Zhukov, O. V., Kunah, O. M., Taran, V. O., & Lebedinska, M. M. (2016). Spatial variability of soils electrical conductivity within arena of the river dnepir valley (territory of the natural reserve “Dniprovsko–Orilsky”). *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*, 6(2), 129–157 (in Ukrainian). doi: [10.15421/201646](https://doi.org/10.15421/201646).
- Zhukov, O. V., & Potapenko, O. V. (2017). Environmental impact assessment of distribution substations: the case of phytoindication. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(1), 5–21 (in Ukrainian). doi: [10.15421/20171](https://doi.org/10.15421/20171).
- Zhukov, O. V., Zadorozhna, G. O., Maslikova, K. P., Andrushevych, K. V., & Lyadskaya, I. V. (2017). *Tehnosols Ecology: monograph*. Zhurfond, Dnipro (in Ukrainian).
- Zonn, S. V., & Travleev, A. P. (1989). *Geographical and genetic aspects of pedogenesis, evolution and preservation of soil*. Naukova Dumka, Kyiv (in Russian).