

ПОЧВЕННО-ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

SOIL AND LAND RESOURCES

ГЛЕБАВА-ЗЕМЕЛЬНЫЯ РЭСУРСЫ

ISSN 1810-9810 (Print)

УДК 631.41

М. А. Ересько, Н. В. Клебанович*Государственное предприятие «Бел НИЦ «Экология», Минск, Беларусь***ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА
ТЕРРИТОРИИ МЕЗОУРОВНЯ К ВОЗДЕЙСТВИЮ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ**

Аннотация. Проведен анализ мировых подходов к комплексной оценке качества почвенного покрова, разработаны предложения для определения индекса экологического качества почвенного покрова Беларуси. Предложен набор конкретных параметров для оценки устойчивости почвенного покрова, который существенно зависит от наличия массовых данных. Предложенные параметры ранжированы по степени устойчивости к негативному воздействию. Общий принцип ранжирования – разбиение на равные интервалы в диапазоне возможных значений того или иного параметра, причем по многим показателям рассматривается не среднее значение по району, а доля почв территории с неблагоприятными параметрами, индивидуальными для каждого свойства. Обоснована целесообразность использования таких параметров, как наличие кислых (рН менее 5) и щелочных (рН более 7) почв, доля почв легкого гранулометрического состава, наличие переувлажненных, эродированных, завалуненных, загрязненных радиоемиссией почв, доля слабообеспеченных гумусом, подвижными соединениями фосфора и калия почв, урожайность зерновых культур. Предложена формула для определения сводного индекса качества почв по 12 показателям, по которой установлены средние значения по районам республики. Выявлен высокий уровень географически детерминированных различий качества почвенного покрова (индекс от 46 в Климовичском р-не до 95 в Несвижском).

Ключевые слова: почвенный покров, экологическая оценка, сводный индекс качества

M. A. Yeresko, N. V. Klebanovich*State Enterprise "Bel NIC "Ecology", Minsk, Belarus***INTEGRAL ASSESSMENT OF SOIL COVER STABILITY OF THE MESO-LEVEL TERRITORY
TO THE IMPACT OF ANTHROPOGENIC FACTORS**

Abstract. The article analyzes global approaches to comprehensive assessment of the quality of the soil cover, and develops proposals for determining the index of ecological quality of the soil cover of Belarus. The set of specific parameters for assessment is subjective and is largely determined by the presence of both positive and negative data for spatial assessment of large areas. For a comprehensive assessment of mesoscale soils, the parameters of soil properties, ranked by the degree of resistance to negative impacts, are proposed. The general principle of ranking is the division into equal intervals in the range of possible values of a particular parameter, and for many indicators, not the average value for the region is considered, but the number of soils with unfavorable parameters, individual for each property. The expediency of using such parameters as the presence of acid (pH less than 5) and alkaline (pH more than 7) soils, the proportion of soils with light granulometric composition, the presence of waterlogged, eroded, boulder-laden, radiocesium-contaminated soils, the proportion of soils poorly supplied with humus, mobile phosphorus and potassium compounds, and the yield of grain crops is substantiated. A formula for determining the summary index of soil quality on the basis of 12 indicators is proposed, according to which average values for the regions of the Republic are determined. A high degree of geographically determined differences in the quality of the soil cover is revealed (the index from 46 in the Klimovichy district to 95 in the Nesvizh district).

Keywords: soil cover, environmental assessment, consolidated quality index

М. А. Ерэсько, М. В. Клебановіч*Дзяржаўнае прадпрыемства «Бел НДЦ «Экалогія», Мінск, Беларусь***ІНТЭГРАЛЬНАЯ АЦЭНКА СТАБІЛЬНАСЦІ ГЛЕБАВАГА ПОКРЫВА ТЭРЫТОРЫІ МЕЗАЎЗРОЎНЮ
ДА ЎЗДЗЕЯННЯ АНТРАПАГЕННЫХ ФАКТАРАЎ**

Анатацыя. Праведзены аналіз сусветных падыходаў да комплекснай ацэнкі якасці глебавага покрыва, распрацаваны прапановы для вызначэння індекса экалагічнай якасці глебавага покрыва Беларусі. Прапанаваны набор канкрэтных параметраў для ацэнкі ўстойлівасці глебавага покрыва, які істотна залежыць ад наяўнасці масавых даных. Прапанаваныя параметры ранжыраваны па ступені ўстойлівасці да негатыўнага ўздзеяння. Агульны прынцып ранжыравання – разбіццё на роўныя інтэрвалы ў дыяпазоне магчымых значэнняў таго ці іншага параметру, прычым па многіх паказчыках разглядаецца не сярэдняе значэнне па раёне, а доля глеб тэрыторыі з неспрыяльнымі параметрамі.

© Ересько М. А., Клебанович Н. В., 2025

рамі, індывідуальнымі для кожнай уласцівасці. Абгрунтавана мэтазгоднасць выкарыстання такіх параметраў, як наяўнасць кіслых (рН менш за 5) і шчолачных (рН больш за 7) глеб, доля глеб лёгкага грануламетрычнага складу, наяўнасць пераўвільготненых, эрадзіраваных, завалуненных, забруджаных радыеэзіем глеб, доля слабазабяспечаных гумусам, рухомымі злучэннямі фосфару і калію глеб, ураджайнасць збожжавых культур. Прапанавана формула для вызначэння зводнага індэкса якасці глеб па 12 паказчыках, па якой устаноўлены сярэднія значэнні па раёнах рэспублікі. Выяўлены высокі ўзровень геаграфічна дэтэрмінаваных адрозненняў у якасці глебавага покрыва (індэкс ад 46 у Клімавіцкім р-не да 95 у Нясвіжскім).

Ключавыя словы: глебавае покрыва, экалагічная ацэнка, зводны індэкс якасці

Введение. Интегральная оценка состояния окружающей среды проводится в разных странах и по различным методикам, но есть общие подходы, многие из которых могли бы найти применение и в Беларуси. Выбор соответствующих свойств почвы и интерпретация измерений не являются простыми операциями, многие вопросы не решаются односложно ввиду комплексности и специфики почв, унаследованных последствий предыдущего почвообразования и землепользования, а также значимости компромиссов между экосистемными услугами.

Качество почвы – одна из трех составляющих экологической оценки качества окружающей среды, помимо качества воды и воздуха [1]. Качество воздуха и воды определяется в основном степенью загрязнения, которое оказывает непосредственное влияние на потребление и здоровье людей и животных или на естественные экосистемы [2, 3]. Качество почвы не ограничивается степенью загрязнения, но обычно определяется в более широком смысле «как способность почвы функционировать в границах экосистем и землепользования для поддержания биологической продуктивности, поддерживать качество окружающей среды и способствовать здоровью растений и животных» [4, р. 4]. При этом здоровье животных включает здоровье человека. Это определение отражает сложность и специфичность подземной сферы наземных экосистем, а также многочисленные связи между функциями почвы и почвенными экосистемными услугами. Действительно, качество почвы – понятие более сложное, чем качество воздуха и воды, не только потому, что почва состоит из твердой, жидкой и газообразной фаз, но также и потому, что почвы могут использоваться для большего количества целей [5].

Подходы к оценке качества почв с позиций их загрязнения стали уже рутинными в Беларуси, но могут считаться односторонней, упрощенной трактовкой термина. Качество почвы – понятие очень комплексное вследствие сложности организации почвы как компонента природной среды и объекта разнообразной хозяйственной деятельности. В общем виде в это понятие входит пригодность почв к хозяйственному использованию и способность почвы обеспечивать надежные взаимосвязи с биогеоценозами.

Для сельскохозяйственного использования качество почвы оценивается ее способностью обеспечивать производство сельскохозяйственной продукции (зерно, корнеклубнеплоды, семена, корма). С точки зрения экологии качество почв определяется их способностью обеспечивать рост растений, защищать водосборную территорию за счет регулирования инфильтрации и водоудерживания почвой и предотвращения загрязнения воды и воздуха путем аккумуляции в педосфере (почвенной сфере) потенциальных загрязнителей, таких как синтетические удобрения, органические отходы и промышленные химикаты. Известный российский почвовед В. И. Кирюшин понятие «качество» использует в смысле цели использования как совокупный эффект почвенных условий [6]. При этом понятие качества упрощается до уровня одной функции – плодородия, тем самым это определение лишается содержательного полифункционального смысла.

В развитых странах понятие «качество почв» трактуется обычно шире: способность почвы полноценно функционировать в пределах границ экосистемы и земельного участка для поддержания биопродуктивности, сохранения качества окружающей среды, обеспечения нормального развития растений и животных, включая человека [7]. Сложность понятия «качество почв» при этом объясняется их полифазностью (твердая, жидкая, газообразная и живая фазы), поликомпонентностью, полифункциональностью, обеспечивающей многочисленные прямые и обратные связи между отдельными функциями почв и почвенными экосистемными услугами [8].

Основная часть. Целью данной работы является анализ мировых подходов к комплексной оценке качества почвенного покрова и выработка предложений для определения индекса экологического качества почвенного покрова Беларуси.

Как правило, для оценки почвенного покрова используется много критериев, которые можно объединить в группы физических, химических и биологических параметров. Потенциальная группа физических критериев рассмотрена нами ранее [9]. Каждая такая группа должна быть представлена в итоговом результирующем показателе одним или несколькими параметрами, имеющими определенный весовой коэффициент. Набор параметров для оценки носит субъективный характер и в су-

щественной степени определяется наличием тех или иных данных для пространственной оценки значительных территорий (мезоуровня). Как правило, в почве выделяются свойства консервативные и лабильные; позитивные и негативные; имеющие односторонний характер (перманентное улучшение или ухудшение) и обладающие выраженным оптимумом, выше и ниже которого свойства ухудшаются.

Негативные свойства почв распределены по территории неравномерно и не имеют прямой связи с зональными агроклиматическими условиями. Оценка негативных свойств обязательно присутствует при оценочных работах, любом обобщении данных крупномасштабных почвенных обследований, которые в стране проводятся уже с 1957 г.

Все рассмотренные выше свойства в той или иной степени отражаются на качестве почв и должны учитываться при комплексной оценке территории мезоуровня. В почве всегда есть заметное количество негативных свойств, поэтому их совокупное влияние на качество почв определяется включением в комплексную оценку всех показателей, например в виде поправочных коэффициентов. Показатели нуждаются в ранжировании, потому что их результирующее влияние неравноценно.

Для комплексной оценки почв территории мезоуровня нами ранее предложены параметры свойств почв, ранжированные по степени устойчивости к негативному воздействию [10]. Общий принцип ранжирования – разбиение на равные интервалы в диапазоне возможных значений того или иного параметра, причем по многим показателям рассматривается не средний показатель по району, а количество почв с неблагоприятными параметрами, индивидуальными для каждого свойства. Например, по кислотности пахотных земель по данным последнего тура обследований [11] количество средне- и сильнокислых почв (с pH менее 5,0) колеблется от 2,2 % в Верхнедвинском р-не до 41,6 % в Климовичском р-не. При делении на пять интервалов средний шаг градаций составит 8 %, поэтому уместно установить градации с параметрами 8, 16, 24, 32 %. По доле щелочных почв шаг составит лишь 3 %, так как установленный диапазон составляет 0–17,4 % (Браславский р-н).

Из физических свойств при оценке здоровья почв в первую очередь целесообразно учитывать текстуру (гранулометрический состав), которая оказывает существенное влияние на производительную способность почв. Текстуру почв характеризует содержание физической глины (суммарное процентное содержание фракций средней и мелкой пыли, а также ила, общим размером менее 0,01 мм). Понижает фертильность почв как низкое (песчаные и супесчаные почвы), так и высокое содержание тонкодисперсных частиц в почве (тяжелосуглинистые и глинистые почвы). Самые благоприятные условия для обитания биоценозов обычно складываются на легко- и среднесуглинистых почвах.

Легкие почвы часто бесструктурные или с непрочной структурой, бедны органическими компонентами и элементами минерального питания, имеют низкую влагоемкость, отличаются невысокой способностью к физико-химическому поглощению элементов питания и в связи с этим обладают низкой буферностью, что обуславливает слабую устойчивость к внешним воздействиям (например, происходит подкисление при внесении физиологически кислых удобрений). По совокупности этих причин даже в сравнительно гумидном белорусском климате растения, произрастающие на таких бедных и сухих почвах, в теплое и сухое время года испытывают дефицит влаги. В этой связи именно количество легких почв (песчаных и супесчаных) логичнее использовать среди индикаторов негативных показателей. Сведения о гранулометрическом составе почв всех сельскохозяйственных и лесных земель имеются в базах данных почвенных обследований в РУП «Проектный институт Белгипрозем» и в лесоустроительном республиканском унитарном предприятии «Белгослес». Доля легких (песчаных и супесчаных) почв в разрезе районов Беларуси составляет диапазон 50–80 %.

Глинистые и тяжелосуглинистые почвы характеризуются замедленным дренажом и высокой способностью к водоудерживанию, что в условиях Беларуси ведет к переувлажнению и развитию процессов заболачивания. Во влажном состоянии эти почвы вязкие, липкие, при высыхании подвергаются усадке, твердеют и плохо обрабатываются. Таких почв в стране очень мало – менее 1 %, поэтому учитывать их долю при общей оценке нецелесообразно.

Избыточное увлажнение – весьма распространенное явление в почвах Беларуси. Даже на сельскохозяйственных землях удельный вес зональных дерново-подзолистых почв (34 % территории) немного ниже, нежели дерново-подзолистых заболоченных (37 %). Избыточное увлажнение является одним из важнейших факторов, ограничивающих аграрное землепользование вследствие дефицита воздуха, а доля переувлажненных почв важна для оценки почвенного покрова.

Минеральные почвы считаются переувлажненными, если содержание в них влаги превышает наименьшую (предельную полевую) влагоемкость в течение минимум 1,5–2,0 месяцев за вегетационный период. Российские ученые для почв тяжелого гранулометрического состава считают переувлажненным даже состояние более 85 % от наименьшей влагоемкости (для почв легкого гранулометрического состава – 95 %) [12].

Избыточное увлажнение почв в корнеобитаемом слое основным негативным следствием имеет формирующийся дефицит воздуха, особенно кислорода. Длительное заполнение водой не только капиллярных, но и крупных некапиллярных пор влечет затруднение аэрации, кислород по мере расходования на процессы дыхания корней и микроорганизмов не возобновляется из-за анаэробных условий. Само почвообразование значительную часть времени происходит в анаэробных восстановительных условиях, изменение органической и минеральной части почвы идет по алгоритму, отличному от алгоритма в зональных автоморфных почвах.

Эродированные почвы образуются при обнажении поверхности почвы вследствие механической обработки и последующего смыва или сдува, в результате чего формируются смытые и дефлированные почвы. В зависимости от степени проявления данного деградационного процесса выделяют слабо-, средне- и сильносмытые (дефлированные) почвы. Территория Беларуси по административным районам характеризуется долей эродированных почв в диапазоне 5–20 % [13], что можно учесть при формировании индекса качества почв.

Каменистость (завалуненность) также является негативным фактором, снижающим качество почв, что учитывается, в частности, в виде поправочных коэффициентов при кадастровой оценке сельскохозяйственных земель. Наличие валунов, гравия, гальки на пахотных землях снижает урожайность сельскохозяйственных культур как непосредственно, занимая какую-то часть поверхности, так и косвенно из-за ухудшения качества обработки почвы и уборки урожая (наличие огрехов вокруг крупных валунов, неравномерная заделка семян при посеве при наличии значительного количества мелких валунов в пахотном горизонте, поломка сельскохозяйственной техники и др.) [14]. Учет завалуненности при почвенном обследовании осуществляется посредством выделения степени завалуненности (слабо-, средне-, сильно-, очень сильнозавалуненные), определяемой по количеству валунов в м³/га. Территория Беларуси по административным районам характеризуется долей завалуненных почв в диапазоне 1–10 %.

Из химических свойств целесообразно в первую очередь использовать показатель pH, так как кислотность существенно влияет на множество почвенных химических реакций и процессов. Обменную кислотность можно рассматривать как часть емкости катионного обмена (ЕКО), насыщенную катионами Al³⁺ и H⁺. Количество кислотных компонентов зависит от типа почвы и доли ЕКО, занятой обменными основаниями [15].

В лесах и на лугах кислотные дожди могут оказать существенное влияние не только на деревья, но и на химические свойства почв. Известкование лесов осуществляется редко, а кислотные дожди могут вызвать выщелачивание питательных катионов, таких как Ca²⁺, Mg²⁺ и K⁺ из почвы, что приводит к низким значениям pH и растворению токсичных металлов (Al³⁺ и Mn²⁺), понижению биологической активности почвы.

Кислотность почв сельскохозяйственных земель регулярно мониторится при агрохимическом обследовании, и эти данные можно использовать для комплексной оценки территории мезоуровня. Представляется целесообразным использовать для оценки не среднюю величину pH, а количество сильно- и среднекислых почв. Территория Беларуси по районам характеризуется долей сильно- и среднекислых почв в диапазоне 8–32 %. Исходя из существующих величин показателя, характеризующих почвы Беларуси, предлагается следующая шкала для оценки территории по доле сильно- и среднекислых почв (табл. 1).

Содержание основных элементов питания является существенным показателем экологического благополучия почв. При достаточной обеспеченности азотом, фосфором, калием, серой, кальцием, магнием фитоценозы хорошо развиваются и экологически благополучны. При этом особое значение имеют подвижные соединения элементов питания, так как именно они реально вовлечены в биологический круговорот. При высоком общем содержании элемента в почве может быть мало доступных растениям ионов, в результате чего растения будут голодать. Содержание подвижных форм перечисленных элементов в агроценозах также регулярно контролируется при агрохимическом обследовании и эти данные могут применяться для определения сводного индекса здоровья почвы [15]. Но не все макроэлементы целесообразно использовать для этой цели. Содержание подвижных соединений азота вообще не определяется ввиду высокой динамичности этого элемента, который легко восстанавливается и окисляется, вымывается и улетучивается, постоянно освобождается из разлагающихся органических веществ. По содержанию подвижных соединений серы, кальция и магния на подавляющем большинстве почв дефицита нет, эти элементы очень редко лимитируют рост и развитие растений, поэтому для комплексной оценки целесообразно ограничиться основными контролируемыми питательными элементами – фосфором и калием.

Таблица 1. Предлагаемые интервалы оценочных показателей свойств почв для определения индекса качества почв

Показатель	Баллы				
	5	4	3	2	1
Урожайность зерновых, т/га	≥ 4	3,51–4,0	3,01–3,5	2,51–3,0	< 2,5
Доля легких почв, %	< 50	51–60	61–70	71–80	≥ 80
Доля переувлажненных почв, %	40,0 и менее	40,1–50	50,1–60	60,1–70	Более 70
Загрязнено радиоцезием, %	5,0 и менее	5,1–20	20,1–35	35,1–50	Более 50
Доля почв с pH более 7,0, %	< 4	4,1–7	7,1–10	10,1–13	≥ 13
Доля почв с pH менее 5,0, %	< 8	8,1–16,0	16,1–24,0	24,1–32,0	≥ 32
Почвы I + II групп по фосфору, %	15,0 и менее	15,1–25	25,1–35	35,1–45	Более 45
Почвы I + II групп по калию, %	15,0 и менее	15,1–25	25,1–35	35,1–45	Более 45
Почвы I + II групп по гумусу, %	10,0 и менее	10,1–20	20,1–30	30,1–40	Более 40
Доля завалуненных почв, %	< 1	1–4	5–7	8–10	≥ 10
Доля эродированных почв, %	< 5	5,1–10,0	10,1–15,0	15,1–20,0	≥ 20
Более 5 мг/кг меди и цинка, %	30,0 и менее	30,1–40	40,1–50	50,1–60	Более 60

Фосфор – важный биогенный элемент, необходимый для жизнедеятельности всех организмов, без которого не может существовать ни одна живая клетка. Фосфор содержится в протоплазме клеток, входит в состав хромосом, нуклеиновых кислот, витаминов, ферментов, фитина, АТФ, ДНК и РНК [16], а также в почве в органических соединениях и минералах, но количество легко доступного фосфора очень низкое по сравнению с общим количеством фосфора в почве.

Калий в растительных организмах находится в ионной форме и не входит в органические соединения, до 80 % находится в клеточном соке. Калий стабилизирует структуру фторопласта и коллоидное состояние цитоплазмы, повышает обводненность, вязкость, набухаемость, положительно влияет на фотосинтез, окислительные процессы и образование органических кислот, повышает устойчивость растений к болезням и засухе, активирует ферменты для метаболизма углеводов для производства аминокислот и белков, облегчает деление клеток и рост, дает всхожесть семян. Калий считается вторым после азота, когда речь идет о питательных веществах, необходимых растениям, и обычно считается питательным веществом, регулирующим качество продукции. Содержание калия в почвах колеблется от 0,5 до 3,0 %, больше калия в почвах с большей долей глинистой фракции, в торфяных почвах калия только 0,03–1,00 %. Однако большая часть калия находится в недоступной для растений форме. Обменный калий – основной источник калийного питания растений [16].

При оценке фосфорного и калийного статуса почв значительных территорий (мезоуровня) целесообразно пользоваться не средним содержанием подвижных соединений этих элементов, а долей почв с дефицитом фосфора и калия.

На территории Беларуси 15–45 % почв слабообеспечены подвижными соединениями фосфора (менее 100 мг/кг) и калия (менее 140 мг/кг), в табл. 1 предложены соответствующие шкалы.

Засоление почвы – процесс накопления в ней легкорастворимых солей, которые оказывают токсичное влияние на культурные растения, в результате чего может происходить как снижение их продуктивности, так и полная гибель [17]. Несмотря на ограниченность площадей таких почв в Беларуси (район Солигорска, дерновые заболоченные карбонатные почвы), этот фактор тоже должен учитываться при оценке качества почвенного покрова территории мезоуровня.

Негативное влияние легкорастворимых солей на филогенез обусловлено специфическим действием ионов на протоплазму, так как растению трудно преодолеть помимо капиллярных еще и осмотические водоудерживающие силы. Может наблюдаться явление физиологической засухи, то есть при формально влажной почве вода не может поступать в тело растений. Все легкорастворимые соли считаются токсичными для растений, даже доминирующие в Беларуси карбонаты кальция. При значительном содержании в почвах карбонатов происходит снижение растворимости соединений фосфора и большинства микроэлементов, кроме молибдена, корневое питание растений существенно тормозится.

Для большинства растений оптимальна слабокислая реакция среды, а избыточная щелочность почвы как следствие наличия карбонатов депрессирующим образом сказывается на росте растений и функционировании почвенных микроорганизмов в значительной степени через уплотнение почв, снижение их влагоемкости и дренирующей способности. Дерново-карбонатные типичные почвы в Беларуси часто обладают повышенной связностью и липкостью во влажном состоянии и подвергаются усадке в сухом вследствие ухудшения структуры; характеризуются сужением диапазона активной влаги. Не случайно на таких почвах не могут расти традиционные лесобразующие древесные породы, кроме ясеня.

Солонцеватость, широко распространенная во многих странах мира, в Беларуси почти отсутствует и может не приниматься во внимание.

Поскольку в Беларуси резко доминирует именно карбонатно-кальциевая засоленность, то судить о степени засоления можно по доле щелочных почв. Территория республики по районам характеризуется долей щелочных почв (рН более 7) в диапазоне 4–13 % (см. табл. 1).

Республика Беларусь пострадала от аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС), до сих пор ощущаются последствия этого события, существенно снизившие качество окружающей среды и почв в частности на значительных территориях. Первоначально было загрязнено более 4 млн га, но даже сейчас, когда прошел период полураспада, каждый десятый гектар земли остается экологически опасным. Так как площадь почв, загрязненных радиоцезием (1 Ки/км^2 и более), вдвое выше площади, загрязненной радиостронцием (стронцием-90) ($0,15 \text{ Ки/км}^2$ и более), и участки часто совпадают, то уровень негативного воздействия радионуклидов достаточно оценивать по загрязнению цезием-137. В отдельных административных районах республики до 50 % почв радиоактивно загрязнено, поэтому уместно использование пяти градаций: от менее 5 до более 50 % (см. табл. 1).

Химическое загрязнение земель характерно для городских территорий, промышленных предприятий, участков хранения и захоронения пестицидов, территорий в зонах воздействия полигонов промышленных и коммунальных отходов, автозаправочных станций и нефтехранилищ, бывших военных баз, участков разведки и добычи полезных ископаемых. Данные территории являются зонами повышенного экологического риска, что требует постоянного мониторинга их состояния. Содержание химического вещества в концентрациях, превышающих пороговые значения, установленные экологическими нормами и правилами ЭкоНП 17.03.01-001-2021 «Охрана окружающей среды и природопользование. Земли (в том числе почвы). Нормативы качества окружающей среды. Дифференцированные нормативы содержания химических веществ в почвах и требования к их применению», утвержденными постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 25 ноября 2021 г. № 13-Т, встречается не часто и доля таких почв незначительна, поэтому о загрязненных площадях уместнее судить по соотношению районных показателей со среднереспубликанскими, то есть с региональным кларком. Территория республики по районам характеризуется долей почв с содержанием тяжелых металлов выше республиканского кларка в диапазоне 30–60 % (см. табл. 1).

Для оценки экологического состояния почв также важны микробиологические характеристики: уровень активной микробной биомассы, кратность снижения которого в сравнении с контрольным образцом показывает степень микробиологической деградации почв; содержание патогенных микроорганизмов; генотоксичность почвы, которая отражает влияние почвы на генетический аппарат биоты, причем как микроорганизмов, так и растений и почвенной фауны [18].

Широкомасштабных данных по этим важным параметрам нет и в ближайшей перспективе не предвидится, поэтому в настоящее время следует использовать самый доступный и важный показатель – содержание гумуса.

Органическое вещество почв не усваивается растениями в качестве питательного вещества из почвы, но его круговорот важен из-за его связи с питательными веществами (N, P и S) и благотворного вклада в химический, физический и биологический составы и свойства почвы [19]. Питательные вещества могут попадать в почву в доступных для растений формах, поскольку органические вещества разлагаются микроорганизмами. Гумус также способствует увеличению емкости катионного обмена почвы из-за присутствия карбоксильных и других функциональных групп. Органические вещества также играют важную роль в поддержании структуры почвы и снижении содержания легко диспергируемого ила [20].

Содержание гумуса может широко варьировать в почвах, средневзвешенное содержание его менее информативно по сравнению с долей малогумусированных почв (менее 1,5 %). Территория республики по районам характеризуется долей почв с низким содержанием гумуса (до 1,5 %) в диапазоне 10–40 % (см. табл. 1).

Важным интегральным показателем процессов, протекающих в почве, является интенсивность выделения углекислоты, так называемое дыхание почвы, что позволяет судить о самоочищающей способности почв. Биохимический потенциал почв является полифункциональной характеристикой, он зависит от экологических факторов и имеет большое значение при оценке санитарного состояния почв, поскольку показывает их самоочищающую способность при антропогенных воздействиях. Данные почвенного дыхания наряду с активностью основных ферментов позволяют говорить о низком биохимическом потенциале почвы, что свидетельствует о ее слабой степени самоочищения либо при высоких показателях дыхания – о высокой способности к самоочищению. Статисти-

ческих данных по этим биологическим параметрам нет, поэтому о благоприятности биологических параметров можно судить лишь опосредованно по величине накопленной биомассы.

Для комплексной оценки предлагается использовать статистические данные по среднерайонной урожайности зерновых культур – самой распространенной группы культивируемых растений. Исходя из существующих величин урожайности зерновых культур в Республике Беларусь по районам, предлагается шкала для оценки территории по урожайности зерновых культур от 2,5 до 4 т/га зерна.

Для интегральной оценки устойчивости экосистем территории к воздействию антропогенных факторов и условий, основанной на свойствах почвенного покрова, определения сводного индекса предлагается использовать метод, опирающийся на оценку каждого из 12 факторов с учетом степени вклада данного показателя.

Индивидуальная оценка каждого показателя проводится по шкале, величина которой колеблется от 1 до 5 баллов. Максимальной величиной для одного показателя являются 5 баллов, но для интегральной оценки предлагается использовать коэффициенты взвешивания согласно вышеприведенным долям (6, 8, 10, 12 %).

Все баллы, установленные для отдельных показателей, плюсятся. Максимальная интегральная оценка устойчивости почв территорий районов к воздействию антропогенных факторов и условий с учетом всех показателей может составить 100 %.

Общая формула сводного индекса качества почв получила следующий вид:

$$I_n = 20(K1 \times 0,06 + K2 \times 0,06 + K3 \times 0,06 + K4 \times 0,06 + K5 \times 0,12 + \\ + K6 \times 0,06 + K7 \times 0,06 + K8 \times 0,10 + \\ + K9 \times 0,12 + K10 \times 0,06 + K11 \times 0,12 + K12 \times 0,12,$$

где I_n – индекс качества почвы; 20 – коэффициент перевода на 100-балльную шкалу, в которой индекс 100 означает оптимальное значение по всем 12 показателям; $K1$ – доля легких почв; $K2$ – доля переувлажненных почв; $K3$ – доля эродированных почв; $K4$ – доля завалуненных (каменистых) почв; $K5$ – доля почв с pH менее 5,0; $K6$ – содержание подвижного фосфора; $K7$ – содержание подвижного калия; $K8$ – доля химически загрязненных почв; $K9$ – доля радиоактивно загрязненных почв; $K10$ – доля засоленных почв (с pH более 7,0); $K11$ – доля слабообеспеченных гумусом почв; $K12$ – урожайность зерновых культур.

Уточнение системы показателей почвенного блока и анализ полученных данных позволили разработать условную шкалу для интегральной оценки устойчивости почвенного покрова к воздействию антропогенных факторов на основании свойств почв с выделением следующих классов устойчивости экосистем: наименее устойчивые (I_n менее 64 баллов); малоустойчивые (I_n 64,1–70 баллов); среднеустойчивые (I_n 70,1–76 баллов); устойчивые (I_n 76,1–82 балла); высокоустойчивые (I_n более 82 баллов).

По этим 12 показателям удалось получить достаточно достоверные данные. Для примера приводим значения по Брестской обл. (табл. 2), которые были унифицированы с применением разработанных интервалов (табл. 3) и трансформированы в оценочные баллы, использованные для получения сводного индекса качества почв. Весовые коэффициенты по каждому фактору были экспертным путем разбиты на показатели повышенной значимости, получившие коэффициент 0,12 (доля почв с pH менее 5,0; доля слабообеспеченных гумусом почв; урожайность зерновых культур; доля слабообеспеченных гумусом почв) и 0,10 (доля химически загрязненных почв), а также показатели меньшей значимости.

Проведенные расчеты показали, что индекс качества почв изменяется по отдельным районам весьма существенно: от 46 в Климовичском р-не до 95 в Несвижском.

Результаты расчетов были занесены в базу данных в программе ArcGIS, что позволило выполнить картографическую интерпретацию полученных результатов – создать итоговую картограмму (рисунок).

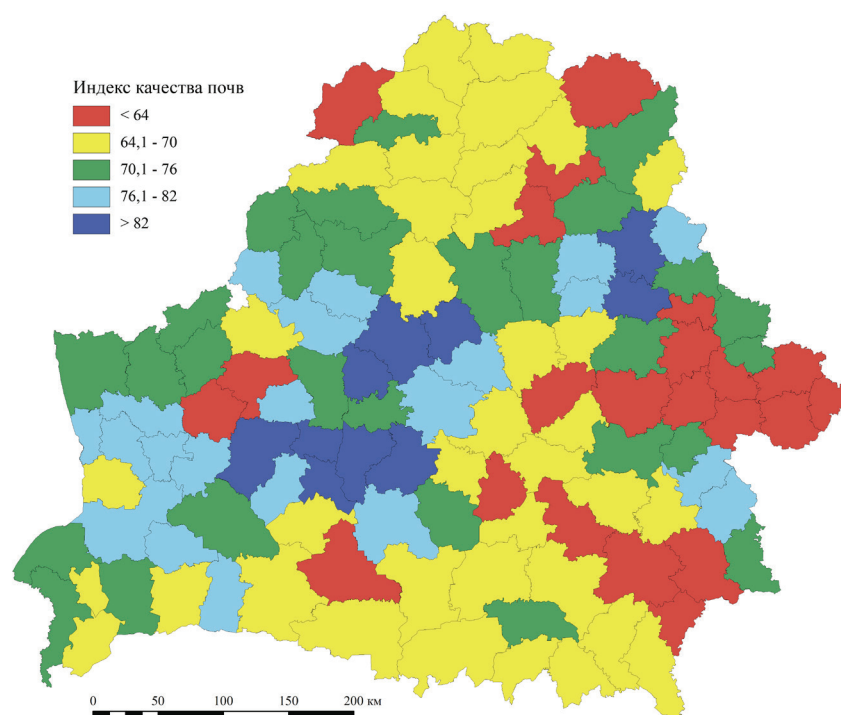
Из этой картограммы видно, что группы районов одного уровня устойчивости имеют определенную компактность, которая обусловлена совокупностью особенностей почвенного покрова и географическими причинами. Наиболее устойчивые к внешнему негативному воздействию почвы приурочены к возвышенностям, сложенным с поверхности преимущественно лёссовидными суглинками. Оршанский и Шкловский р-ны приурочены к Оршанской возвышенности, Минский, Смолевичский и Дзержинский р-ны – к Минской возвышенности, Слуцкий, Копыльский, Несвижский, Клецкий и Барановичский р-ны – к Копыльской гряде. В этих районах отсутствует большинство негативных характеристик почв, снижающих экологическую устойчивость. Некоторое снижение величины индекса качества почв по сравнению с максимальным (100) происходит по одному-трем факторам, как правило за счет завалуненности или загрязнения тяжелыми металлами.

Таблица 2. Основные параметры качества почв по районам Брестской области

Районы	Наличие почв с рН менее 5,0, %	Наличие почв с рН более 7,0, %	Наличие почв I + II групп по фосфору, %	Наличие почв I + II групп по калию, %	Наличие почв I + II групп по гумусу, %	Легкие почвы, %	Эродированные почвы, %	Почвы, загрязненные радиоцезием, %	Более 5 мг/кг по меди и цинку, %	Завалунные почвы, %	Переувлажненные почвы, %	Урожайность, ц/га
Барановичский	7,8	0,5	14,4	14,6	1,9	85,7	18,8	0	16,6	1,6	37,8	45,7
Березовский	7,5	1,5	32	27,3	8,1	79,9	1,2	0,8	16,5	0	86,1	36,8
Брестский	10,1	4,7	13,6	34,2	17,5	86,5	5,6	0	35,3	0	70,5	42,7
Ганцевичский	8,1	0,2	42,3	35,9	0,5	62,2	1,1	0	17,6	8,8	93,1	24,4
Дрогичинский	8,6	8,2	32,4	43	4,3	82,3	1,3	0,9	28,7	0	95,2	38,2
Жабинковский	10,2	9,4	35	42,2	15,6	87,8	2,4	0	21,1	1,4	79,5	43,6
Ивановский	8,3	2,8	32,7	32,9	4,5	81,5	2,0	0,1	18,7	0	90,2	42,7
Ивацивский	8,0	1,5	25,8	34,9	8,1	58,3	5,8	0	24,5	2	83,5	30,7
Каменецкий	11,2	2,1	21,5	22,5	8,1	88,6	6,5	0,0	20,6	32,3	51,2	41,7
Кобринский	6,1	9,2	33,8	40,4	8,2	73,0	2,1	0	29,3	0	93,6	35,6
Лунинецкий	15,1	0,4	29,4	37,8	4,2	56,3	1,4	42,4	27,1	0	94,9	26,9
Ляховичский	4,0	1,4	17,6	22,6	2,2	74,8	3,1	0	28,3	9,5	68,5	42,0
Малоритский	7,2	10,1	38,4	47,8	0,5	70,9	1,9	0,0	33,1	0	96,3	31,2
Пинский	6,8	6,0	20	38,4	17,3	65,3	0,9	5,3	32,2	0	89,8	31,3
Пружанский	8,0	0,2	24,7	22	2,0	72,2	5,1	0,0	23,0	4,1	68,6	42,7
Столинский	7,8	8,0	20,4	40	9,3	60,3	1,0	24,6	44,5	0	90,9	38,2
По области	8,3	3,8	25,5	31,8	7,0	73,4	4,1	12,6	25,7	4,6	79,6	37,9

Таблица 3. Баллы качества почвенного покрова по отдельным показателям по районам Брестской области

Районы	Наличие почв с рН менее 5,0, %	Наличие почв с рН более 7,0, %	Наличие почв I + II групп по фосфору, %	Наличие почв I + II групп по калию, %	Наличие почв I + II групп по гумусу, %	Легкие почвы, %	Эродированные почвы, %	Почвы, загрязненные радиоцезием, %	Более 5 мг/кг по меди и цинку, %	Завалунные почвы, %	Переувлажненные почвы, %	Урожайность, ц/га
Барановичский	5	5	5	5	5	1	2	5	4	4	5	5
Березовский	5	5	3	3	5	2	5	5	4	5	1	3
Брестский	4	4	5	3	4	1	4	5	1	5	1	4
Ганцевичский	4	5	2	2	5	3	5	5	4	2	1	1
Дрогичинский	4	3	3	2	5	1	5	5	2	5	1	3
Жабинковский	4	3	3	2	4	1	5	5	3	4	1	4
Ивановский	4	5	3	3	5	1	5	5	4	5	1	4
Ивацивский	5	5	3	3	5	4	4	5	3	4	1	2
Каменецкий	4	5	2	4	5	1	4	5	3	1	3	4
Кобринский	5	3	3	2	5	2	5	5	2	5	1	3
Лунинецкий	3	5	3	2	5	4	5	2	2	5	1	1
Ляховичский	5	5	4	4	5	2	5	5	2	2	2	4
Малоритский	5	2	2	1	5	2	5	5	1	5	1	2
Пинский	5	4	4	2	4	3	5	4	1	5	1	2
Пружанский	5	5	4	4	5	2	4	5	3	3	2	4
Столинский	5	4	4	2	5	3	5	3	1	5	1	3
По области	4	5	4	3	5	5	5	5	2	3	1	3



Распределение показателя индекса качества почв по районам Беларуси

Эти районы чаще всего соседствуют с районами второй группы – с устойчивым почвенным покровом, во многих из этих районов (Ошмянский, Молодечненский, Воложинский, Пуховичский, Червеньский, Кореличский, Толочинский, Дубровенский, Круглянский) также достаточно велика доля плодородных суглинистых почв, но качество снижают чаще такие факторы, как эродированность, завалуненность, обилие переувлажненных почв. В Дубровенском и Круглянском р-нах минимальный балл зафиксирован по содержанию подвижных соединений меди и цинка. Сходными понижающими индекс негативными факторами в западной группе таких районов (Берестовицкий, Волковыский, Зельвенский, Слонимский, Пружанский, Березовский, Мостовский, Ивановский) являются завалуненность и обилие легких и переувлажненных почв. Ветковский и Чечерский р-ны имеют минимальный балл по факторам загрязнения радионуклидами и наличию легких почв при высоких баллах по другим показателям.

Очень многочисленной (33 района) оказалась группа территорий мезоуровня со средним уровнем устойчивости (I_n 70,1–76 баллов), которые наиболее характерны для равнинных районов Центральной Беларуси. В районах западной части Беларуси в этой группе частыми негативными факторами, снижающими устойчивость, являются наличие легких и завалуненных почв, а в Брестском, Кобринском, Гродненском и Лидском р-нах еще и обилие переувлажненных почв, в Гродненском и Щучинском р-нах почвы очень бедны гумусом.

Наиболее многочисленной оказалась группа из 37 районов с малоустойчивым почвенным покровом (I_n 61,4–70 баллов). Они доминируют на большей части Полесья и Северной почвенной провинции. В Центральной почвенной провинции такой малоустойчивый покров имеют некоторые районы с высокой долей легких и заболоченных почв (Белыничский, Березинский, Осиповичский, Стародорожский, Бобруйский, Кировский р-ны). В Витебской обл. такие районы отличаются сильной переувлажненностью почв, низкой продуктивностью, часто имеют повышенное содержание тяжелых металлов. В Полесском регионе к сильной степени переувлажненности почв и низкой продуктивности добавляется еще и легкий гранулометрический состав подавляющего большинства почв.

Наименее устойчивый (I_n менее 64 баллов) почвенный покров выявлен нами в 10 центральных районах Могилевской обл., на Городокской, Браславской, Новогрудской возвышенностях, а также в ряде районов, приуроченных к низменностям Полесья (Лунинецкий, Глусский, Светлогорский, Речицкий, Лоевский, Гомельский р-ны). Самый низкий индекс в стране имеет Климовичский р-н, где 5 параметров из 12 имеют самую низкую градацию (наличие кислых почв; урожайность зерновых культур; содержание подвижного фосфора, доля легких почв; содержание тяжелых металлов). Большинство из этих недостатков проявляется и в соседних районах, причем в Краснопольском, Славго-

родском, Чаусском р-нах к ним добавляется и высокий уровень загрязнения радионуклидами. Чаще всего в районах этой группы минимальные показатели отмечаются по наличию переувлажненных почв и урожайности, 1 балл имеет также показатель содержания тяжелых металлов (Чашникский, Городокский, Глусский р-ны) или завалуненность (Чашникский, Городокский, Браславский р-ны). Разными причинами объясняются низкие значения индекса в Новогрудском (много низкообеспеченных гумусом и кислых почв, эродированных), Дятловском (завалуненность, обилие легких почв), Лоевском (много низкообеспеченных калием почв, переувлажненных, легких при низкой урожайности) районах.

По административным районам Беларуси на основе разработанных нормативов и градаций отдельных свойств почв получены показатели устойчивости почвенного покрова к негативному внешнему воздействию. Выявлен широкий диапазон колебаний по данному показателю от наиболее до наименее устойчивых.

Картографическое отображение полученных результатов показало, что степень устойчивости почвенного покрова к негативному внешнему воздействию имеет определенный географический детерминизм. Установлено, что наиболее устойчивым (I_n выше 82 баллов) является почвенный покров в 9 районах страны, приуроченных к отдельным возвышенностям (Минская, Оршанская, Копыльская гряды). Почвенный покров является устойчивым (I_n 76,1–82 балла) и во многих районах, прилегающих к первым, а также на Волковысской возвышенности.

Поправочные переводные коэффициенты, необходимые для уточнения соотношения оцениваемой экосистемы к тому или иному классу устойчивости с учетом характеристик почвенного покрова: 0,8 – для наименее устойчивых, 0,9 – для малоустойчивых, 1,2 – для среднеустойчивых, 1,4 – для устойчивых, 1,6 – для высокоустойчивых.

Заключение. Для разработки системы классов устойчивости экосистем территории по итогам интегральной оценки состояния территории использован метод, основанный на балльной оценке с учетом степени вклада определенного показателя.

Система классов устойчивости почвенного покрова экосистем территории к воздействию антропогенных факторов включает оценку каждого фактора с учетом степени вклада данного показателя. Для оценки используется 12 показателей с указанием вклада каждого из них в интегральную оценку. Все баллы, установленные для отдельных показателей, плюсятся, и максимальная интегральная оценка устойчивости почв территорий районов к воздействию антропогенных факторов и условий с учетом всех показателей может составить 100 %.

Сведение системы показателей почвенного блока позволило получить шкалу для интегральной оценки устойчивости территорий районов к воздействию антропогенных факторов и условий на основании свойств почвенного покрова с выделением следующих классов устойчивости экосистем: наименее устойчивые (I_n менее 64 баллов); малоустойчивые (I_n 64,1–70 баллов); среднеустойчивые (I_n 70,1–76 баллов); устойчивые (I_n 76,1–82 балла); высокоустойчивые (I_n более 82 баллов).

Разработанная система классов устойчивости почвенного покрова может быть использована для систематизации экосистем территории мезоуровня по классам устойчивости к антропогенной нагрузке для регулирования уровня совокупной антропогенной нагрузки с целью сохранения благоприятной окружающей среды и обеспечения экологической безопасности.

Список использованных источников

1. Andrews, S. S. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California / S. S. Andrews, D. L. Karlen, J. P. Mitchell // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2002. – № 90. – P. 25–45.
2. Concepts of soil quality and their significance / M. R. Carter, E. G. Gregorich, D. W. Anderson // *Developments in Soil Science*. – Elsevier, 1997. – P. 1–19.
3. Davidson, D. A. Soil quality assessment: recent advances and controversies / D. A. Davidson // *Progress in Environmental Science*. – 2000. – № 2. – P. 342–350.
4. Doran, J. W. Defining and assessing soil quality / J. W. Doran, T. B. Parkin // *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. – 1994. – Vol. 35. – P. 3–21.
5. Review: soil physical and chemical properties as indicators of soil quality in Australian viticulture // D. P. Oliver, R. G. V. Bramley, D. Riches [et al.] // *Australian Journal of Grape and Wine Research*. – 2013. – Vol. 19, № 2. – P. 129–139.
6. Кирюшин, В. И. Оценка качества земель и плодородия почв для формирования систем земледелия и агротехнологий / В. И. Кирюшин // *Почвоведение*. – 2007. – № 7. – С. 873–880.
7. Soil quality – a critical review / E. K. Bunemann, G. Bongiorno, Z. G. Bai [et al.] // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2018. – № 120. – P. 105–125.
8. Nortcliff, S. Standardization of soil quality attributes / S. Nortcliff // *Agriculture Ecosystems & Environment*. – 2002. – Vol. 88, iss. 2. – P. 161–168.
9. Ереско, М. А. Показатели физических свойств почв для комплексной экологической оценки состояния почвенного покрова / М. А. Ереско, Н. В. Клебанович // *Земля Беларуси*. – 2023. – № 2. – С. 44–52.

10. Ереско, М. А. Показатели комплексного экологического состояния почвенного покрова / М. А. Ереско, Н. В. Клебанович // Весці БДПУ. Серыя 3. Фізіка, матэматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2023. – № 3 (117). – С. 28–33.
11. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020) / И. М. Богдевич, В. В. Лапа, М. В. Рак [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.
12. Столбовой, В. С. Индикаторы качества почв пахотных угодий РФ / В. С. Столбовой, А. М. Гребенников // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. – 2020. – Вып. 104. – С. 31–67.
- Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / Г. И. Кузнецов, Н. И. Смеяна, Г. С. Цытрон [и др.]; под ред. Г. И. Кузнецова, Н. И. Смеяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.
- Шибут, Л. И. Уточнение поправочных коэффициентов на завалуненность почв для зерновых и зернобобовых культур к оценке земель / Л. И. Шибут, Г. С. Цытрон, Н. В. Радченко // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 1. – С. 28–34.
15. Клебанович, Н. В. Химическая мелиорация почв: учеб.-метод. пособие / Н. В. Клебанович. – Минск: БГУ, 2019. – 175 с.
16. Химическая мелиорация почв: электрон. учеб.-метод. комплекс для специальности: 1-31 02 01 «География» / БГУ, Фак. географии и геоинформатики, каф. почвоведения и геоинформ. систем; Н. В. Клебанович, Д. А. Чиж, А. А. Са-зонов, А. Л. Киндеев. – Минск, 2020. – 88 с.
17. Thomas, G. W. The chemistry of soil acidity / G. W. Thomas, W. L. Hargrove // Soil Acidity and Liming / F. Adams, Ed., 2nd ed. – American Society of Agronomy, 1984. – № 12. – P. 3–56.
18. Мотузова, Г. В. Экологический мониторинг почв / Г. В. Мотузова, О. С. Безуглова. – М.: Акад. проект, 2007. – 239 с.
19. Hoyle, F. K. Soil organic carbon – a role in rainfed farming systems: with particular reference to Australian conditions / F. K. Hoyle, J. A. Baldock, D. W. Murphy // Rainfed Farming Systems / Ed. P. Thaw, I. Cooper, I. Partridge, and C. Birch. – New York: Springer, 2011. – P. 339–361.
20. Dexter, A. R. Soil structure: Key to soil function / A. R. Dexter // Advances in Geocology. – 2002. – № 35. – P. 57–69.

Поступила 03.02.2025