

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ОСУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ЮЖНОЙ ПОЧВЕННО- ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ БЕЛАРУСИ ПРИ РАЗЛИЧНОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

**А. Л. Киндеев^{1,2}, В. Б. Цырибко¹, И. А. Логачев^{1,2},
А. М. Устинова¹, А. А. Бенько^{1,2}**

*¹Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

*²Белорусский государственный университет,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Сельскохозяйственная деятельность оказывает значительную антропогенную нагрузку на почвы, поэтому мониторинг за изменением качественных характеристик почвенного покрова в связи с усилением процессов деградации почвенных ресурсов в современных условиях приобретает все большую актуальность. На территории Республики Беларусь наиболее уязвимыми почвами считаются осушенные в результате мелиорации торфяники [1]. Уязвимость таких почв обусловлена их подверженностью к дефляции, в результате которой уносится большое количество питательных веществ, разрушаются верхние слои почвы. В Беларуси различными исследователями установлены максимально возможные темпы дефляции, которые в зависимости от степени дефляционной опасности почв и метеорологических условий могут достигать 15,0 и более т/га в год [2]. Для уменьшения негативных последствий требуется формирование почвозащитных севооборотов, которые позволяют снизить проявление дефляционных процессов на почвах с сильной степенью дефляционной опасности до допустимого в Беларуси уровня – 0,3–1,2 т/га в год [3]. Также важной составляющей снижения темпов деградации почвы является применение современных систем обработки земель, например, таких как Strip-till, технологии, позволяющей снизить интенсивность эрозионных и дефляционных процессов, а также уменьшить потери влаги с испарением [4].

В настоящее время в сельском хозяйстве на территории Беларуси используется 1068,2 тыс. га осушенных земель с торфяно-болотными почвами. По данным почвенного обследования, в республике дефляции подвержено 82,7 тыс. га сельскохозяйственных земель. В составе почв, подверженных дефляции, слабодефлированные занимают 87,5 %, среднедефлированные – 11,7 %, сильнодефлированные почвы – 0,8%. Удельный вес почв, подверженных дефляционным процессам, в составе пахотных земель изменяются от 0,4–0,5 % в Витебской и Могилевской областях до 1,9–2,9 % в Гомельской, Гродненской и Минской областях [5].

Вследствие нерационального использования и ухудшения технического состояния мелиоративных систем на месте сработанных торфяно-болотных почв образуются антропогенно-преобразованные деградированные торфяные почвы [6].

На сегодняшний день обозначаются тенденции дегумификации почв, деградации мелкозалежных торфяников, повышения контрастности в обеспеченности почв подвижными формами макро- и микроэлементов на уровне районов, хозяйств и рабочих участков [7], что подчеркивает важность изучения состояния почв не только в масштабах Беларуси, но и отдельных хозяйств и полей.

Целью исследования является качественная и количественная оценка изменения структуры почвенного покрова осушенных земель за тридцатилетний период в результате сельскохозяйственного использования.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось на двух стационарных площадках мониторинга земель, расположенных на территории Пружанского (СП «Третья») и Лунинецкого (СП «ПОСМЗил») районов Брестской области, площадью 18,6 и 28,3 га, используемых в 2025 г. под многолетние травы и в качестве пахотных земель соответственно. На первом участке было произведено 57 измерений мощности торфа, а на втором – 37 с их последующей геопривязкой (рис. 1). Также для определения степени минерализации почвы на первом участке были отобраны образцы почв для определения органического вещества по ГОСТ 27753.10-88 «Метод определения органического вещества».

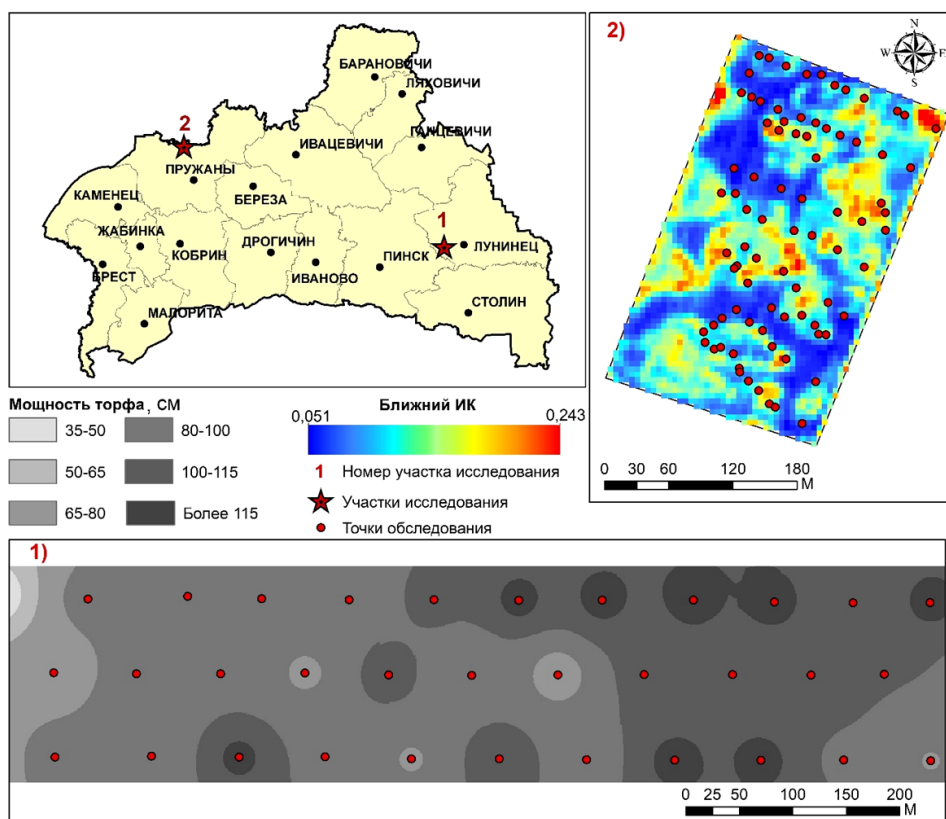


Рис. 1. Обзорная карта участков исследования

Картографирование почв проводилось в ArcGIS Pro на основании полученных данных по мощности торфа, содержанию органического вещества и спектральных характеристик открытой почвы для СП «ПОСМЗиЛ», полученных с мультиспектральных снимков со спутников Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м и атмосферной коррекцией. В качестве вспомогательной информации был выбран ближний инфракрасный канал ИК (NIR), как один из наиболее информативных каналов спутникового изображения при дешифрировании почвенного покрова [8].

Наиболее низким значением ближнего ИК характеризуются почвы с высоким содержанием органического вещества и/или влажности. В свою очередь, пески имеют более высокие значения ИК. Для территории исследования коэффициент отражения ближнего ИК составляет от 0,051 до 0,243. Понижения рельефа, в которых почвы с высоким содержанием органического вещества, характеризуются диапазоном от 0,051 до 0,0735 (синие и темно-синие тона на рисунке 1). Относительные повышения, которые характеризуют слабогумусированные пески, имеют значения от 0,22 (оранжевые и красные тона).

Для СП «Третья» снимки не использовались в связи с тем, что почва практически круглый год «покрыта» травами. Измерения мощности торфа показали дифференциацию от 35 см в западной части и более 115 см в восточной части территории, что послужило основой для создания почвенной карты данного участка.

При оценке неоднородности структуры почвенного покрова (СПП) использовались коэффициенты сложности, контрастности и неоднородности.

Основным параметром оценки сложности СПП является коэффициент сложности (КС), рассчитанный по формуле 1 [9]:

$$КС = \frac{KP \cdot (S - S_{\max})}{S^2}, \quad (1)$$

где КС – коэффициент сложности; КР – сумма коэффициентов расчленения всех ЭПА; S – сумма площадей всех ЭПА, га; S_{\max} – площадь наиболее крупного ЭПА, га.

Контрастность почвенного покрова определяет степень качественной дифференциации почв (их агрономическое различие) и выражается через коэффициент контрастности (КК), рассчитанный в соответствии с ТКП 302-2025 (33520) «Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель. Технология работ» [10] по формуле 2:

$$КК = \frac{\sum(S_i \cdot x) + \sum(S_i \cdot y) + \sum(S_i \cdot z)}{\sum S_i}, \quad (2)$$

где КК – контрастность по участку; S_i – площадь почвенной разновидности; x, y, z – показатели контрастности в соответствии со шкалой контрастности.

Для расчетов использована шкала контрастности почв Беларуси по Н. В. Клебановичу [11, 12], в которой почвы ранжированы по характеру увлажнения и процессам почвообразования.

Неоднородность почвенного покрова – комбинированный показатель, в общем виде включающий сложность и контрастность – рассчитывается путем перемножения этих двух показателей по формуле 3:

$$КН = КС \cdot КК, \quad (3)$$

где КН – коэффициент неоднородности; КС – коэффициент сложности; КК – коэффициент контрастности.

Абсолютные значения коэффициента неоднородности зависят от качества исходного картографического материала, масштаба почвенной съемки, применяемых классификаций и географических особенностей территории обследования, определяющих разнообразие почвенного покрова, а также от качества измерений площади и периметра отдельных контуров. В связи с этим количественные показатели неоднородности имеют разную интерпретацию для каждого отдельного случая.

В настоящем исследовании принимаются шкалы оценки согласно методике ведения мониторинга земель в Республике Беларусь [13] со следующей интерпретацией (табл. 1).

Таблица 1

Оценка показателей структуры почвенного покрова

Оценка	Коэффициент		
	сложности	контрастности	неоднородности
Оптимальная	Менее 1,0	0,0–1,5	Менее 1,5
Допустимая	1,1–2,5	1,6–3,0	1,6–7,5
Неудовлетворительная	2,5–4,0	3,1–4,5	7,6–18,0
Критическая	Более 4,0	Более 4,5	Более 18,0

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результатом геоинформационного моделирования стали цифровые почвенные карты исследуемых стационарных площадок (рис. 2, 3).

В 1995 г. СП «Третья» был однороден и представлял собой массив торфяных среднетощих почв (табл. 2). За практически 30-летний период можно заметить ряд существенных изменений, заключающихся в трансформации почвенного покрова на более чем 50 % территории. В западной части мощность торфа не превышает 50 см, формируя ареал торфяно-глеевых почв площадью 0,39 га (2,10 % от площади СП), что является следствием проведения более детального почвенного обследования. Большая часть стационарной площадки в настоящее время занята торфяными маломощными почвами, представленными двумя почвенными ареалами площадью 9,28 и 1,49 га. Территории, менее подвергшиеся изменениям, – это массивы торфяных среднетощих почв в северо-восточной части участка (6,68 га) и двумя отдельными ареалами в южной части площадью 0,46 и 0,33 га.

Вызванные качественные изменения структуры почвенного покрова отразились и на его количественных характеристиках. При наличии одного контура в 1996 г., все коэффициенты будут равняться нулю.

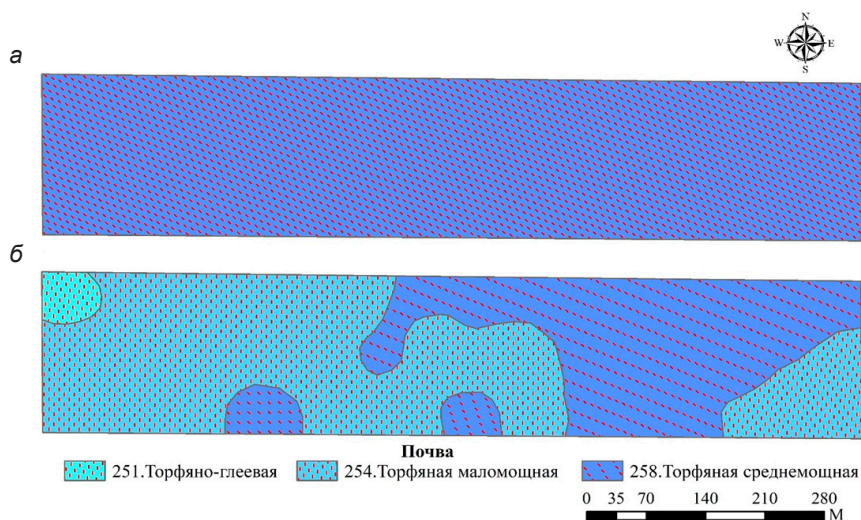


Рис. 2. Почвенная карта СП «Третья»:

а – 1996 г.; б – 2025 г.

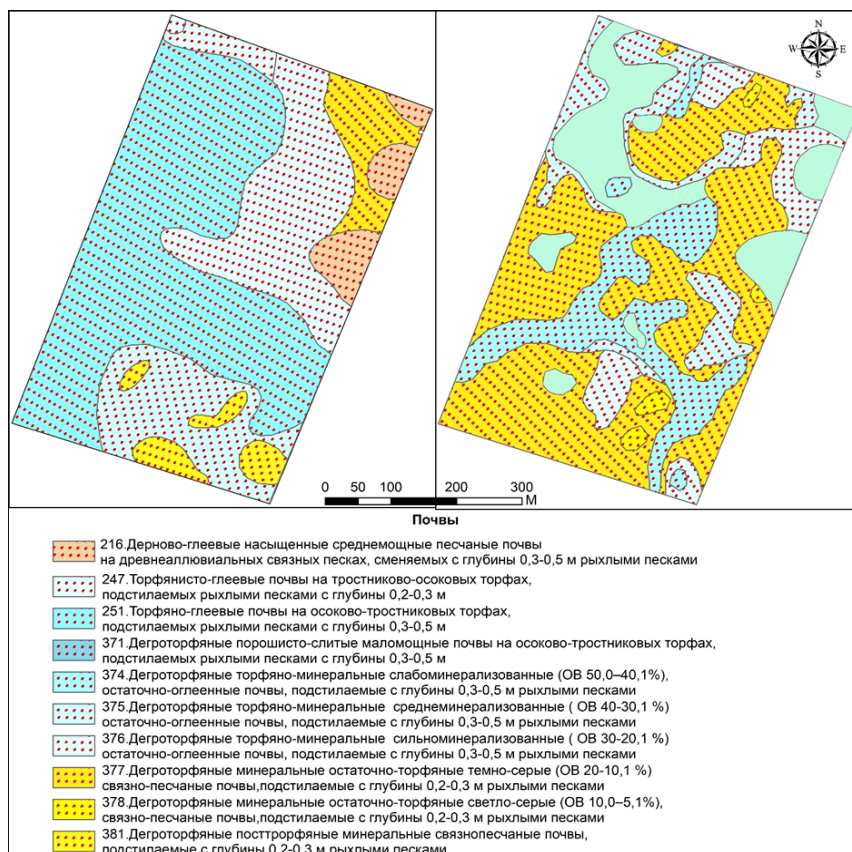


Рис. 3. Почвенная карта второго исследуемого участка:

а – 1996 г.; б – 2025 г.

Таблица 2

Сравнительная оценка показателей структуры почвенного покрова СП «Третья»

Год	Почвенный контур			Коэффициент		
	№ в легенде карты	количество	площадь, га	сложности	контрастности	неоднородности
1995	258	1	18,6	0,00	0,00	0,00
2025	251	1	0,39	0,17	0,04	0,007
	254	2	10,7			
	258	3	7,47			
	Сумма	6	18,6			

В 2025 г. коэффициент сложности составил 0,17, что соответствует оптимальной сложности почвенных контуров, коэффициент контрастности – 0,04 (соответствует оптимальной контрастности) в связи с тем, что изменения, на данный момент, происходят в пределах одного классификационного типа почв (торфяные низинные). Однако, как показываются исследования [1] при более интенсивном сельскохозяйственном использовании (под пашню) произойдет сработка торфяного горизонта и на поверхности сформируются остаточно-торфяные или постторфяные почвы, чтократно увеличивает морфометрические показатели структуры почвенного покрова.

Таким образом, даже при оптимальном использовании осушенных торфяных почв (луговое под многолетние травы) происходит постепенное уменьшение мощности торфа, что без применения почвозащитных систем земледелия может привести к значительному снижению продуктивности осушенных земель.

На СП «ПОСМЗил» в связи с интенсивным использованием земель в севооборотах произошли более значительные изменения в структуре почвенного покрова – отмечена значительная сработка торфа и потеря органического вещества почвы, а также начала выходить на поверхность подстилающая порода – минеральные пески (рис. 3, табл. 3).

В 1996 г. торфяно-глеевые почвы занимали 50,9 % территории (14,4 га) в центральной и западной части участка. Также присутствовали ареалы среднеминерализованных (3,58 га) и сильноминерализованных (5,49 га) дегроторфяных торфяно-минеральных почв с содержанием ОБ от 30,0 до 40,0 % и от 20,0 до 30,0 % соответственно. Незначительные по площади участки были представлены остаточно-торфяными и постторфяными почвами (1,69 и 1,30 га).

В результате активного тридцатилетнего сельскохозяйственного использования участка произошли значительные качественные изменения в структуре почвенного покрова. Контура почвенных разновидностей стали мельче, появились лопастные ареалы, произошло сокращение запасов органического вещества (ОБ), что привело к образованию на 46,6 % (13,2 га) территории остаточно-торфяных темно-серых почв с содержанием ОБ от 10 до 20 %. Торфянисто-глеевые почвы деградировали и превратились в среднеминерализованные, а площадь торфяно-глеевых сократилась практически в 5 раз – до 3,17 га или 11,2 % от площади участка.

Количественно эти изменения отражаются в морфометрических характеристиках данного участка. В 1996 г. коэффициент сложности составлял всего 0,38, а в 2025 г. достиг 1,83, что согласно градации КС, относится к допустимым значениям. Коэффициент контрастности почв, наоборот, уменьшился, в связи со снижением доли торфяно-глеевых и торфянисто-глееватых почв и составил 1,94 (в 1996 г.

равнялся 2,26), что также относится к группе допустимых значений. При этом общий коэффициент неоднородности значительно увеличился – от 0,86 до 3,55 (допустимые значения), что вызвано увеличением КС.

Таблица 3

Сравнительная оценка показателей структуры почвенного покрова СП «ПОСМЗиЛ»

Год	Почвенный контур			Коэффициент		
	№ в легенде карты	количество	площадь, га	сложности	контрастности	неоднородности
1995	216	3	1,21	0,38	2,26	0,87
	247	1	0,59			
	251	1	14,4			
	375	1	3,58			
	376	3	5,49			
	377	1	1,69			
	381	5	1,30			
	Сумма	15	28,3			
2025	178	2	0,32	1,83	1,94	3,55
	216	2	1,21			
	251	4	3,17			
	374	4	4,60			
	375	5	3,09			
	376	5	2,29			
	377	5	13,2			
	378	5	0,42			
	Сумма	32	28,3			

Также в результате проведения исследования была подтверждена взаимосвязь между содержанием органического вещества в почве и коэффициентом отражения ближнего ИК (NIR) (рис. 4).

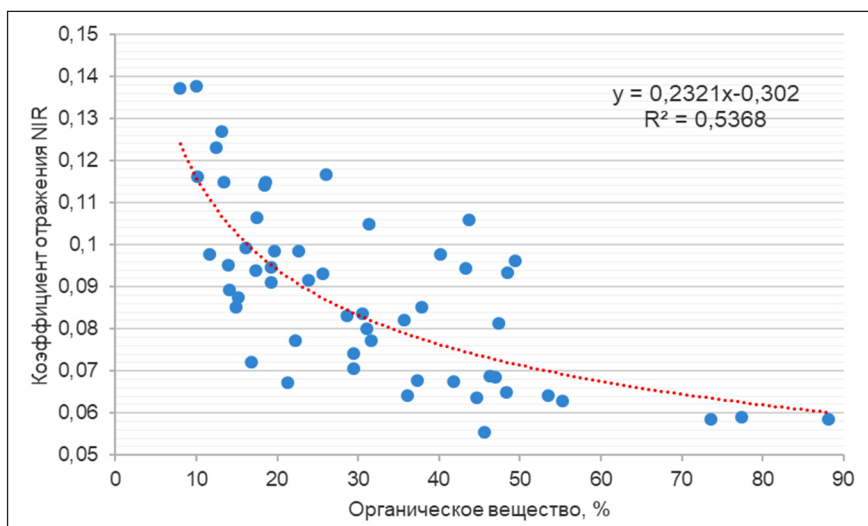


Рис. 4. Взаимосвязь коэффициента отражения ближнего ИК (NIR) и органического вещества

Как и ожидалось, график показывает обратную взаимосвязь между показателями, лучше всего описываемую степенной функцией с коэффициентом детерминации 0,59 и корреляционным отношением 0,77. Данная функция обусловлена тем, что при достижении высокого содержания ОВ цвет почвы перестает изменяться, и, как следствие, коэффициент отражения тоже, и график выходит на плато. Уравнение регрессии имеет следующий вид: $y = 0,2321x - 0,302$.

ВЫВОДЫ

Интенсивность сельскохозяйственного использования земель значительно влияет на темпы протекания процессов деградации почвы, особенно на уязвимых осушенных землях, что требует проведения постоянного мониторинга изменения почвенного покрова и его отдельных свойств. За тридцатилетний период на СП «Третья» среднемошные торфяники трансформировались в торфяные мало-мощные (мощность 50–100 см) на большей части территории исследования, а появление контура торфяно-глеевых почв скорее связано с более детальным обследованием, что позволило с большей детальностью провести почвенное картографирование. Распашка торфяников на участке 2 привела к увеличению сложности и неоднородности почвенного покрова с оптимальной на допустимую ($KC = 1,83$, $KN = 3,55$), при этом коэффициент контрастности незначительно снизился, что связано с переходом большинства почвенных разновидностей в классификационный тип дегроторфяных торфяно-минеральных и остаточно-торфяных.

Выявленные качественные и количественные изменения в структуре почвенного покрова на участке 2, в очередной раз подтверждают необходимость применения почвозащитных севооборотов с насыщением многолетними травами на осушенных торфяных почвах или перевод их в состав луговых земель, что позволит снизить дальнейшие процессы деградации почвы.

Полученные результаты подтверждают необходимость смены вектора с проблемы повышения общего плодородия на проблему детального учета неоднородности структуры почвенного покрова, что возможно при переходе на современные системы адаптивно-ландшафтного земледелия, оценки буферности почв и устойчивости СПП к антропогенному воздействию.

Регрессионный анализ взаимосвязи между коэффициентами отражения и органическим веществом показал значимую взаимосвязь между показателями, что подтверждает результаты исследований, проводимые как в Беларуси [14, 15], так и за рубежом [16] и дает основание полагать, что работы в области применения данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) позволяют усовершенствовать методики цифрового картографирования почв и ее отдельных свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Changes in Soil Cover Structure and Agrochemical Status of Soils in Belarusian Polesie over a 50-Year Period Using the Example of an Experimental Agricultural Landscape / A. A. Bianco, A. L. Kindeev, A. N. Chervan [et al.] // Moscow University Soil Science Bulletin, 2025. – Vol. 80. – № 2. – P. 170–180.

2. Деградація почв сільськогосподарських земель Білорусі: види і кількісна оцінка / А. Ф. Черныш, А. М. Устинова, В. Б. Цырибко [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 7–18.

3. Технологічний регламент формування почвозащитних комплексів на дефлірованих і дефляційнонебезпечних землях / Н. Н. Цыбулько, В. Б. Цырибко, А. М. Устинова [и др.] // Нац. акад. наук Білорусі, Інститут ґрунтознавства і агрохімії. – Мінск: Інститут системних досліджень в АПК НАН Білорусі, 2023. – 24 с.

4. Strip-till, other management strategies, and their interactive effects on corn grain and soybean seed yield / D. J. Potratz [et al.] // Agronomy Journal. – 2020. – Т. 112. – № 1. – С. 72–80.

5. Цыбулько, Н. Н. Дефлірованне ґрунту: дыягностычныя крытэрыі і распаўсюджванне на тэрыторыі Беларусі / Н. Н. Цыбулько, В. Б. Цырибко, Е. В. Алексеевіч // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 1. – С. 77–83.

6. Коноплев, Е. А. Меліорацыя і комплекснае освоенне земляў Полесся / Е. А. Коноплев // Природоабудаванне. – 2013. – № 4. – С. 21–26.

7. Богдэвіч, І. М. Ітогі і перспектывы оптымізацыі агрохімічных паказатэляў плодороддзя пахотных ґрунтаў Беларусі / І. М. Богдэвіч // Известия Национальной академии наук Беларуси, 2023. – 61. – № 1. – С. 22–33.

8. Кур'яновіч, М. Ф. Выкарыстанне інфрачырвоных тэмплых касмічных здымкаў для даследавання ґрунтавага покрыва / М. Ф. Кур'яновіч, Ю. С. Давідовіч, Ф. Е. Шалькевіч // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1. – С. 21–31.

9. Юодис, Ю. К. О структуре почвенного покрова Литовской ССР / Ю. К. Юодис // Почвоведение. – 1967. – № 11. – С. 50–55.

10. Кадастровая ацэнка сільскагаспадарчых земляў. Тэхналогія работ = Кадастравая ацэнка сельскагаспадарчых зямель. Тэхналогія работ: ТКП 302-2025 (33520). – Взамен ТКП 302-2018 (33520); введ. 20.04.2025. – Мн. : Госкомимущество: Гос. ком. по имуществу Республики Беларусь, 2025. – IV, 110 с.

11. Клебано́віч, Н. В. Методы абследаванняў земляў: Заданні і метадычныя ўказанні па выкананні практыкума па курсу «Земельны кадастр». Методы абследаванняў земляў / Н. В. Клебано́віч. – Мн. : БГУ, 2008. – 48 с.

12. Разработать геоинформационную базу пространственных информационно-аналитических данных, отражающих устойчивость различных типов земель агроландшафтов к техногенному воздействию: отчет о научно-исследовательской работе (заключ.) / БГУ; рук. Н. В. Клебано́віч; исполн.: О. М. Олешкевич, А. А. Сазонов, А. Л. Киндеев, В. А. Генин: – Мн., 2019. – 72 с; № ГР 20171089.

13. Методика ведення моніторынгу земляў у Рэспубліцы Беларусь. – Мн. : б.и., 1993. – 66 с.

14. Генин, В. А. Методычныя падыходы к картографіраванню зместу гумуса па даным дыстанцыйнага зондзіравання Зямлі / В. А. Генин // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2. – С. 32–42.

15. Chervan, A. N. Modeling of the 50-year dynamics of the reclaimed lands vulnerability to wind soil erosion in the region of Pripyat Polesye / A. N. Chervan, Y. S. Davidovich, A. L. Kindeev // Geography, environment, sustainability. – 2025. – Т. 17. – № 4. – С. 198–204.

16. Савин, И. Ю. О тоне изображения открытой поверхности почв как прямым дешифровочным признаке / И. Ю. Савин // Бюллетень почвенного института им. В. В. Докучаева. – 2013. – № 71. – С. 52–64.

CHANGES IN THE STRUCTURE OF THE SOIL COVER OF DRAINED LANDS OF THE SOUTHERN SOIL-ECOLOGICAL PROVINCE OF BELARUS AS A RESULT OF AGRICULTURAL ACTIVITIES

**A. L. Kindeev, V. B. Tsyribko, I. A. Lahachou,
H. M. Ustsinava, A. A. Bianco**

Summary

This article presents the results of a study of the soil cover structure of drained lands at two study sites, demonstrating a significant impact of agricultural intensity on peat soil degradation. It has been established that at site 1, with preferential meadow land use, peat depletion occurred on 11,2 hectares (60,3 % of the area) over a 30-year period. At site 2, with intensive arable land use, mineralization and depletion of the peat horizon occurs, resulting in a fivefold decrease in organic matter in peat-gley soils. Analysis of morphometric parameters of the soil cover structure revealed an increase in the complexity and heterogeneity coefficients at site 2 from optimal to acceptable (from 0,38 to 1,83 and from 0,86 to 3,55, respectively). Using Sentinel-2 multispectral images for soil cover mapping, a relationship between organic matter and near-infrared radiance was confirmed, expressed through a power function with a determination coefficient of 0,59 and a correlation ratio of 0,77.

Поступила 26.11.25

УДК 631.4:528.94

КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ И АГРОНОМИЧЕСКОЙ ПРИГОДНОСТИ ПОЧВ ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

М. Е. Гуляй, В. Б. Цырибко, Ф. С. Гутько

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Исследования, проведенные в республике, свидетельствуют, что выработка направлений наиболее эффективного использования почвенно-земельных ресурсов, обоснования видов и объемов защитных мероприятий должны быть адаптированы к компонентному составу почвенного покрова, степени его загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr , а также к технологиям возделывания сельскохозяйственных