

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

обеспечивающих положительный углеродный баланс агропочв, расширенное воспроизводство их плодородия и устойчивость производства сельскохозяйственной продукции, а также решение проблемы утилизации отходов животноводства.

Региональный мониторинг углеродного баланса планируется вести в системе, включающей сеть экспедиционных пунктов наблюдения с модельными участками, представленными основными типами почв Белгородской области, в разных хозяйственных ситуациях. Среди них – залежи на деградированных агропочвах, моделирующие природный тренд гумусонакопления; почвы участков с травопольным севооборотом; почвы с нулевой обработкой; агропочвы с равновесным балансом органического вещества; агропочвы на реперных участках без использования удобрений.

В сеть экспедиционных пунктов региональной сети мониторинга углеродного баланса будут включены также ренатурационные экосистемы, активно накапливающие углерод в постселитебных (заброшенные поселения) и посттехногенных ландшафтах (заброшенные карьерно-отвальные комплексы).

Мониторинг углеродного баланса зональных ландшафтов, находящихся в стационарном состоянии, будет проводиться на участках федеральных и региональных ООПТ, представленных лугово-степными, широколиственно-лесными, кальцефитными экосистемами, для интразональных – экосистемами низинных болот.

Работа выполнена в рамках реализации НИУ «БелГУ» программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

УДК 631.41:631.483

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ДЕГРАДАЦИИ И ВОСПРОИЗВОДСТВА ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА У ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ ЮГО-ЗАПАДА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ

Лисецкий Ф.Н., Буряк Ж.А., Украинский П.А.
*ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный
исследовательский университет», Белгород, Россия*
E-mail: liset@bsu.edu.ru

На пути к климатической нейтральности в России развивается сеть карбоновых полигонов, что позволяет на новой методологической основе определить качественные и количественные параметры почвенного органического вещества (ПОВ) и гумусовых веществ, необходимые для расчета углеродных единиц при экономической оценке «углеродного следа» (Абакумов и др., 2022). Создание карбоновых полигонов, нацеленных на исследование нетто-годового баланса биогенных углеродсодержащих парниковых газов, стимулирует адаптацию и внедрение новых видов землепользования, обеспечивающих рост эффективности поглотителей и сокращение источников климатически активных газов (Karelin et al., 2023). Особое внимание исследователей обращено на такие изменения в землепользовании, которые способствуют накоплению органического углерода почвы, включая залежный режим как модельный для секвестрации углерода. При этом, как показал обзор литературы (Post, Kwon, 2000; Hussain et al., 2021; Tiefenbacher et al., 2021), выясняется, что продолжительность и скорость накопления углерода в почве сильно различаются в зависимости от продуктивности регенерирующей растительности, физических и биологических условий в почве, а также прошлой истории поступления

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

органического углерода в почву и физического воздействия (агротурбаций). Химические свойства серий новообразованных почв свидетельствуют о различиях в вариантах воспроизводства в зависимости от степени нарушения/сохранности профиля почвы-предшественника (Голеусов, Малышев, 2022). Как показано ранее (Лисецкий и др., 2016), для древнеземледельческих регионов именно исторические особенности антропогенных трансформаций и залежного режима выступают ключевым классификационным признаком при группировке почвенных объектов из различных исследовательских полигонов.

Регионы, которые имеют длительную аграрную историю, характеризуются сходными видами почвенных деградаций: потерей питательных веществ из-за биологического выноса, минерализацией гумуса и его «выгоранием» при обороте пласта, деструктуризацией, снижением активности мезофауны, почвоутомлением, дефляцией и др. (Крупеников, 2008). Темпы этих процессов можно оценить, как путем сопоставления пахотных почв с эталонами (целинными почвами), так и использованием результатов исторически первых определений содержания $C_{орг}$, представленных как органическое вещество (ОВ) или гумус. Впервые значительный массив таких данных был привлечен для написания книги «Русский чернозем» (1883) основателем генетического почвоведения В.В. Докучаевым. Этот ученый придавал большое значение ОВ как источнику плодородия, а также компоненту почвенной системы, имеющему важное значение при диагностике почв (Когут, 2017). В этой связи его крылатое выражение о том, что чернозем по своему габитусу можно считать «царем почв», обусловлено аккумулятивным типом распределения ОВ по профилю этой почвы. Используя выборку из 250 определений гумуса в верхнем слое почв европейской части России, взятых в близких условиях рельефа (на водоразделах) в 1877–1878 гг. (Когут, 2017), Докучаев составил первую карту изогумусовых полос черноземной зоны европейской части Российской империи. При анализе этой карты он установил в черноземной зоне пять субширотных полос дифференциации $C_{орг}$, вытянутых с северо-востока на юго-запад, а также показал изменение этого показателя с запада на восток. Черноземы юго-запада в тот период содержали 2,3–2,9 % $C_{орг}$, центральных районов – 4,1–5,8 %, а начиная с левого берега реки Волга было отмечено его максимальное содержание – 5,8–9,3 % (Когут, 2017).

Информационной основой проведенного авторами исследования послужило обобщение многолетних данных, отражающих содержание органического углерода ($C_{орг}$) при различных типах землепользования и в целинных аналогах по четырем регионам черноземной полосы юго-запада Восточно-Европейской равнины: Молдова с Бессарабией (Лисецкий и др., 2013), юг Украины (Лисецкий, Родионова, 2015); Степной Крым (Лисецкий и др., 2017), Центральное Черноземье (Голеусов, Лисецкий, 2009). Наиболее репрезентативными были данные по почвам Республики Молдова, так как авторы привлекли статистически обработанные оценки из справочников по этому региону (Статистические..., 1978–1981).

Для представления об исходном (на 70-е гг. XIX века) содержании $C_{орг}$ нами в ГИС была выполнена оценка распределения площадей по трём градациям $C_{орг}$ для четырех полигонов в границах вышеуказанных регионов. Полученные результаты детализируют те географические закономерности в распределении $C_{орг}$, на которые указывал В.В. Докучаев. Два первых регионов (Таблица 1), где развиты черноземы лесостепной зоны, имеют наибольшие площади почв с градацией $C_{орг}$ 4–7 %. Черноземы в степной зоне даже 145 лет назад не имели содержания $C_{орг}$ >4 %.

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ
В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

Таблица 1

Соотношение площадей с различным содержанием $C_{орг}$
для полигонов исследования

Регион	Площади (%) по градам $C_{орг}$ (%)		
	0.5–2	2–4	4–7
ЦЧР	15	41	44
Молдова	31	61	7
Юг Украины	58	42	0
Степной Крым	100	0	0

Ранее карта Докучаева уже была использована для оценки потерь $C_{орг}$ за вековой период. В частности, в работе (Ковда, Самойлова, 1983) было показано, что с 1881 по 1981 гг. черноземы лесостепи в слое 0–50 см утратили ОВ 50–70 т/га, или 30–40 % от первоначального содержания. Утрата ОВ происходит по-разному в верхнем и нижнем полуметровом слое почвенного профиля. За всю историю земледельческого освоения лесостепных почв (средний возраст распашки 240 лет) потери ОВ в слое 0–100 см составили 24 % исходных запасов, а его ежегодная убыль оценивается массой в 540 кг/га (Длительные..., 2011). Потери органического вещества черноземов центра Восточно-Европейской равнины в результате «выпахивания» (без учета эрозии) продолжаются на протяжении всего периода непрерывного земледельческого освоения территории (столетия). При этом интенсивность дегумификации после 50–70 лет пребывания черноземов в пахотном состоянии заметно снижается (Длительные..., 2011).

Общая выборка обобщённых данных по содержанию органического углерода ($C_{орг}$) для четырех регионов черноземной полосы юго-запада Восточно-Европейской равнины ($n = 511$) имела следующее распределение по объему данных: Молдова и Бессарабия ($n = 109$); Северное Причерноморье ($n = 98$); Степной Крым ($n = 134$); Центрально-Черноземный район (ЦЧР) ($n = 170$). Средние величины содержания $C_{орг}$ представлены в Таблице 2.

Таблица 2

Среднее (\bar{X}) содержание органического углерода ($C_{орг}$) в горизонте А
почв юго-запада Восточно-Европейской равнины с учетом выборки данных (n)

Регионы	Целина	Пашня >100 лет	Пашня <100 лет	Залежь, $n < 10$ лет	Залежь >100 лет
ЦЧР: \bar{X}	4,26	2,94	3,82	2,77	3,21
ЦЧР: n	31	48	28	33	30
Молдова: \bar{X}	2,75	2,26	1,52	2,41	1,71
Молдова: n	18	30	25	17	19
Юг Украины: \bar{X}	2,07	1,18	1,52	1,44	1,80
Юг Украины: n	17	26	17	16	22
Степной Крым: \bar{X}	2,44	1,80	1,65	1,98	2,80
Степной Крым: n	24	20	19	17	54

Цель статистического анализа, выполненного в среде для статистических вычислений R 3.4.4, заключалась в выявлении различий содержания $C_{орг}$ между исследуемыми полигонами и оценке статистической значимости этих различий. Внутри каждого варианта землепользования было выполнено сравнение исследуемых полигонов по средним значениям содержания $C_{орг}$, используя *Kruskal-Wallis H test*. Чтобы выявить в каких конкретно парах полигонов наблюдаются различия, были проведены апостериорные

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ
В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

сравнения по *Mann–Whitney U test*. Разброс значений содержания $C_{орг}$ у современных почв показан на рисунке. Для всех типов землепользования отмечаются сходные изменения при переходе от одного полигона к другому. В направлении от более северного к более южному полигону наблюдается уменьшение содержания $C_{орг}$, сменяющееся на увеличение при переходе к Степному Крыму, который, как и самый западный полигон (Молдова и Бессарабия) с его чернозёмной зоной, относятся, согласно почвенно-географическому районированию, к теплой понтической южноевропейской фации. Чем дальше друг от друга расположены полигоны, тем меньше диапазоны значений содержания $C_{орг}$ у них перекрываются.

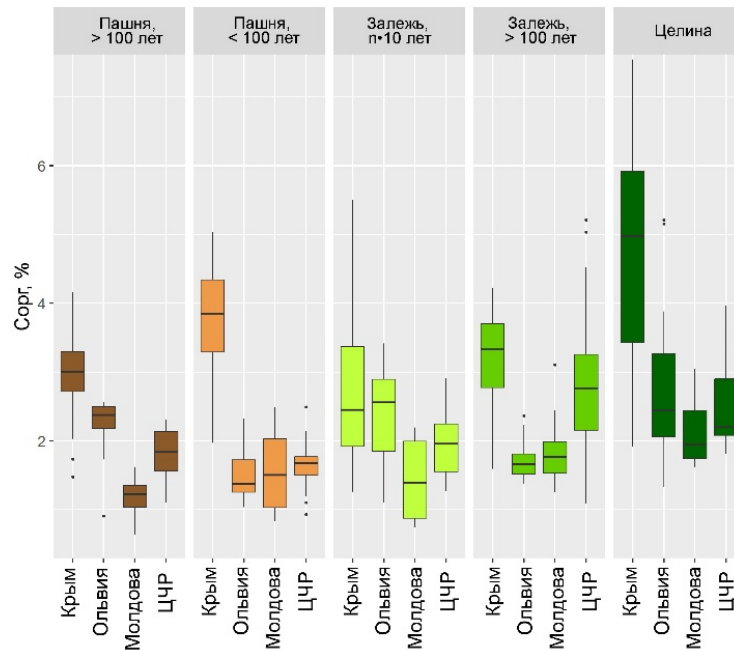


Рис. Диаграммы размахов содержания $C_{орг}$ в горизонте А при различиях типов землепользования по четырём полигонам исследования

Пахотные почвы длительного использования и недавно освоенные мало различаются в двух районах: Северное Причерноморье и Степной Крым (таблица 2). В зависимости от длительности обработки почв наиболее значительные потери $C_{орг}$ (на 20 относительных %) отмечены для почв ЦЧР, обогащенных $C_{орг}$. Пахотные почвы в Молдове отличаются тем, что пашня нового этапа освоения уступает по содержанию $C_{орг}$ в 1,5 раза старопахотным почвам. По всей видимости, в этом специфическом по биоклиматическим условиям регионе отмечается эффект проградации. При этом важно отметить, что история земледелия у племен, которые жили в границах современных Румынии и Молдовы, начинается наиболее рано – 8000 лет назад.

Метод рядов агрогенных изменений почв, когда различия в содержании $C_{орг}$ анализируют путем сопоставления целинных почв и пахотных почв с различной длительностью освоения и окультуривания, используя принцип единственного различия, был основным при организации полевых исследований. Однако и при интеграции совокупности полночленных рядов агрогенных изменений почв в широтно-провинциальном аспекте географии черноземов могут быть обнаружены устойчивые закономерности трансформации $C_{орг}$ в конкретных биоклиматических условиях. Из-за того, что ЦЧР находится в лесостепной и степной зоне, здесь доминируют чернозёмы. Часть этого региона с наиболее благоприятными биоклиматическими условиями занята типичными мощными черноземами, которые содержат $C_{орг}$ до 5,2–5,5 %, а в южно-лесостепной подзоне представлены чернозёмы обыкновенные с содержанием $C_{орг}$ 4,1–

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

4,9 %. При высоких запасах $S_{орг}$ даже сельскохозяйственные нагрузки за 200–300 лет определили особое положение этих почв в координатах агрогенного ряда. Целинные почвы и разновременные пахотные почвы по содержанию $S_{орг}$ сохраняют устойчивую закономерность снижения величин от Молдовы к Степному Крыму и к Северному Причерноморью, однако в Степном Крыму регенерационный потенциал по разновременным залежным почвам более значительный и в случае с старозалежными почвами сопоставимый (статистически близкий) с почвами ЦЧР.

Результаты попарных сравнений с помощью U -теста *Mann-Whitney* показывают, что для каждого типа землепользования статистически значимые различия отмечаются в нескольких парах сравнений. Для пахотных почв >100 лет статистически значимые различия содержания $S_{орг}$ наблюдаются во всех шести парах сравнений. Для залежей >100 лет статистически значимые различия содержания $S_{орг}$ наблюдаются в четырех парах сравнений из шести. Для остальных вариантов землепользования значимые различия содержания $S_{орг}$ наблюдаются в трех парах сравнений из шести. Таким образом, агрогенная эволюция почв, которая отражается в характерных параметрах содержания $S_{орг}$ для пахотных почв с длительностью земледелия >100 лет, приводит к индивидуализации отдельных регионов черноземной полосы юга Восточно-Европейской равнины (Молдова, юг Украины, юго-запад России). Специфика регионов по гумусному состоянию почв сохраняется даже при длительном режиме залежей (>100 лет), хотя при общем сравнении более западных регионов (Молдова с Бессарабией и юг Украины) с регионами с умеренно континентальным климатом (ЦЧР и Степной Крым) в этом отношении отмечены статистически незначимые различия содержания $S_{орг}$.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00169, <https://rscf.ru/project/23-17-00169/>

Список литературы

1. Абакумов, Е.В. Подходы и методы изучения органического вещества почв карбоновых полигонов России (обзор) / Е.В. Абакумов, В.И. Поляков, С.Н. Чуков // Почвоведение. – 2022. – № 7. – С. 773-786. – <https://doi.org/10.31857/S0032180X22070024>.
2. Голеусов, П.В. Воспроизводство почв в антропогенно нарушенных ландшафтах лесостепи / П.В. Голеусов, Ф.Н. Лисецкий ; Белгородский гос. ун-т, Российский фонд фундаментальных исслед. – Москва : ГЕОС, 2009. – ISBN 978-5-89118-495-4.
3. Голеусов, П.В. Воспроизводство профиля чернозёма при различной степени нарушения военными действиями / П.В. Голеусов, А.В. Малышев // Региональные геосистемы. – 2022. – Т. 46, № 3. – С. 463-472. – <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-3-463-472>.
4. Длительные изменения содержания гумуса в пахотных черноземах центра восточно-европейской равнины / Ю.Г. Чендев, Л.Г. Смирнова, А.Н. Петин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 8. – С. 6-9.
5. Ковда В.А., Самойлова Е.М. (ред.). Русский чернозем – 100 лет после Докучаева. Москва : Наука, 1983. – 304 с.
6. Когут, Б.М. Органическое вещество чернозема / Б.М. Когут // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2017. – № 90. – С. 39-55. – <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-90-39-55>.
7. Крупеников, И.А. Черноземы. Возникновение, совершенство, трагедия деградации, пути охраны и возрождения. / И.А. Крупеников. Кишинев: Pontos; 2008. – 288 с. – ISBN 978-9975-102-66-7
8. Лисецкий, Ф.Н. Биогеохимические особенности разновременных залежей в степной зоне / Ф.Н. Лисецкий, Т.Н. Смекалова, О.А. Маринина // Сибирский экологический журнал. – 2016. – Т. 23, № 3. – С. 436-448. – <https://doi.org/10.15372/SEJ20160314>.

9. Лисецкий, Ф.Н. Геоархеологические исследования исторических ландшафтов Крыма / Ф.Н. Лисецкий, О.А. Маринина, Ж.А. Буряк. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2017. – 432 с. – ISBN 978-5-9273-2546-7.

10. Лисецкий, Ф.Н. Изменение почв сухой степи в результате многовековых агрогенных воздействий (в окрестностях античной Ольвии) / Ф.Н. Лисецкий, М.Е. Родионова // Почвоведение. – 2015. – № 4. – С. 397. – <https://doi.org/10.7868/S0032180X1504005X>.

11. Лисецкий, Ф. Н. Развитие черноземов Днестровско-Прутского междуречья в голоцене / Ф.Н. Лисецкий, П.В. Голуусов, О.А. Чепелев // Почвоведение. – 2013. – № 5. – С. 540. – <https://doi.org/10.7868/S0032180X13050109>.

12. Статистические параметры состава и свойств почв Молдавии / И.А. Крупеников, Т.Б. Махлин, З.И. Поляк [и др.]. Части 1–2. Кишинев: Штиинца, 1978, 1981.

13. Hussain, S.; Carbon sequestration to avoid soil degradation: A review on the role of conservation tillage / S. Hussain, S. Hussain, R. Guo, M. [et al.] // Plants. – 2021. – No 10. – Art. No 2001. – <https://doi.org/10.3390/plants10102001>.

14. Karelin, D.V. Annual carbon budget of biogenic greenhouse gases under mixed land use: Lgov district as a model object of the Central Chernozem zone of Russia / D.V. Karelin, O.E. Sukhovееva, M. V. Glagolev [et al.] // Eurasian Soil Sc. – 2023. – No 56. – P. 1043–1054. – <https://doi.org/10.1134/S1064229323600872>.

15. Post, W. M. Soil carbon sequestration and land-use change: Processes and potential / W. M. Post, K. C. Kwon // Glob. Change Biol. – 2000. – No 6. P. 317–327. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x>.

16. Tiefenbacher, A. Optimizing carbon sequestration in croplands: A synthesis / A. Tiefenbacher, T. Sandén, H.P. Haslmayr, // Agronomy. – 2021. – No 11. – Art. No 882. – <https://doi.org/10.3390/agronomy11050882>.

УДК 633.11/621:631.5

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ В СКЛОНОВОМ АГРОЛАНДШАФТЕ

Глазунов Г.П.

ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»,
г. Курск, Российская Федерация
E-mail: gennadij-glazunov@yandex.ru

Аннотация. На основе методов цифрового моделирования рельефа с использованием ГИС-технологий проведен морфометрический анализ его характеристик, созданы электронные карты, дана комплексная таксономическая оценка неоднородности распределения в ландшафте агрохимических свойств и влажности почвы. Результаты исследований могут быть использованы для оценки и рационального использования природно-ресурсного потенциала агроландшафтов.

Ключевые слова: склоновый агроландшафт, черноземные почвы, природно-ресурсный потенциал, почвенное плодородие, ГИС-технологии

Введение. Для разработки новых систем земледелия, основанных на адаптивно-ландшафтном подходе, необходима объективная комплексная оценка природно-ресурсного потенциала, учитывающая показатели и критерии, в полной мере характеризующие особенности агроландшафта. Однако общепринятые методики агрохимического обследования и отбора почвенных проб [1] не позволяют адекватно оценить степень