

Оригинальная статья / Original article
УДК 631.41
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-99-113

Современное состояние гумусированности пахотных черноземов настоящих степей (на примере Ростовской области)

Ольга В. Чернова¹, Ирина О. Алябина², Ольга С. Безуглова³, Юрий А. Литвинов³

¹Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

³Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

Контактное лицо

Ольга В. Чернова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН; 119071 Россия, г. Москва, Ленинский пр., 33.

Тел. +74959395587

Email ovcher@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8416-0746>

Формат цитирования

Чернова О.В., Алябина И.О., Безуглова О.С., Литвинов Ю.А. Современное состояние гумусированности пахотных черноземов настоящих степей (на примере Ростовской области) // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 4. С. 99-113. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-99-113

Получена 22 июня 2020 г.

Прошла рецензирование 14 июля 2020 г.

Принята 5 сентября 2020 г.

Резюме

Цель. Оценить содержание и запасы гумуса в пахотных черноземах двух провинций почвенно-экологического районирования (Предкавказской и Южно-Русской) в пределах территории Ростовской области, а также перспективы оптимизации их гумусового состояния в современных условиях.

Материал и методы. В исследовании использована почвенная и общегеографическая информация, аккумулированная в Информационной системе Почвенно-географическая база данных Российской Федерации, база данных «Красная книга почв Ростовской области», а также переведенные в цифровую форму архивные данные почвенных обследований 1977-1995 гг. и данные последнего тура агрохимического мониторинга 2012-2017 гг.

Результаты. Показана стабилизация содержания гумуса в пахотных черноземах Предкавказской провинции на протяжении последних десятилетий, которая может объясняться снижением темпов дегумификации в условиях минимальной обработки почвы. В почвах Южно-Русской провинции среднее содержание гумуса снизилось приблизительно на 0,5% за тот же период, что может быть результатом высокой доли пропашных культур в структуре посевов в условиях эрозионноопасной территории. Современное среднее содержание гумуса в пахотных черноземах очень низкое, оно приближается к критическому уровню, ниже которого происходит снижение урожайности, несмотря на достаточное применение минеральных удобрений.

Заключение. Основные причины дегумификации почв региона – агрогенная минерализация гумуса при постоянном недостатке компенсирующих доз свежего органического материала, дефляция мелкозема с распаханной поверхности и водная эрозия. В современных условиях для снижения интенсивности этих процессов требуется оптимизация структуры земельных угодий и структуры посевов с учетом специфических характеристик территорий.

Ключевые слова

Ростовская область, черноземы, дегумификация, запасы гумуса, мониторинг, землепользование.

The current state of the humus content of arable chernozems of the true steppes (the example of the Rostov region, Russia)

Olga V. Chernova¹, Irina O. Alyabina², Olga S. Bezuglova³ and Yurii A. Litvinov³

¹Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

³Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Principal contact

Olga V. Chernova, PhD, Senior Researcher, Severtsov Institute of Ecology and Evolution Russian Academy of Sciences; 33 Leninskiy pr., Moscow, Russia 119071. Tel. +74959395587

Email ovcher@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8416-0746>

How to cite this article

Chernova O.V., Alyabina I.O., Bezuglova O.S., Litvinov Yu.A. The current state of the humus content of arable chernozems of the true steppes (the example of the Rostov region, Russia). *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 4, pp. 99-113. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-4-99-113

Received 22 June 2020

Revised 14 July 2020

Accepted 5 September 2020

Abstract

Aim. To estimate the humus content and stocks of arable chernozems of two soil-ecological zones (Predcaucasia and Yuzhno-Russkaya) within the Rostov region, as well as the possibility of the optimization of the state of their humus under current conditions.

Material and Methods. The following data sources were used: soil and general geographic information accumulated in the Soil-geographic Database of the Russian Federation information system, the Red Book of the Rostov Region Soils database, digitised archived soil survey data of 1977-1995 and agrochemical monitoring data of 2012-2017.

Results. The stabilisation of the humus content of the arable chernozems of the Predcaucasian zone in recent decades has been demonstrated and can be explained by a decrease in the dehumification rate under minimal tillage. The average humus content in the soils of the Yuzhno-Russkaya zone decreased by approximately 0.5% during the same period, which may be caused by the high proportion of row-crops cultivated in an erosion-prone area. The current average humus content in arable chernozems is very low, it is close to the critical level, below which crop yield is decreased despite of sufficient mineral fertilizers using.

Conclusion. The main causes of soil dehumification in the region are agrogenic humus mineralization due to a constant deficit of compensating amounts of fresh organic matter, deflation of fine soil material from ploughed surfaces and water erosion. The optimisation of land use structure and crop structure, which takes into account the characteristics of these territories, is required to reduce the intensity of these processes under current conditions.

Key Words

Rostov region, chernozems, dehumification, humus stock, monitoring, land use.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время 30-50% земной поверхности изменено в результате различных видов антропогенного использования, оказывающего значительное, часто негативное, влияние на свойства почв [1 и др.]. Самый широко распространенный вид антропогенного воздействия – преобразование природных экосистем в сельскохозяйственные. Наиболее часто используемым критерием изменения качества почвы при таких преобразованиях выступают запасы органического углерода как интегральное отражение продукционной и углерод-депонирующей функций почвенного покрова. Известно, что используемые в сельском хозяйстве почвы содержат на 25-75% меньше органического вещества, чем их естественные аналоги [2]. В глобальном масштабе потери органического углерода из почвенного покрова планеты за 12 000 лет оседлой сельскохозяйственной деятельности оцениваются в 37, 75 и 116 Гт в верхних 30, 100 и 200-см слоях почв, соответственно [3]. Скорость современных потерь углерода в результате изменения характера землепользования составляет 1.6 ± 0.8 Гт (Пг) углерода в год [4]. Эти глобальные оценки характеризуются высокой неопределенностью, что обусловлено изменчивостью запасов почвенного углерода в различающихся по природным, экономическим и историко-культурным условиям регионах планеты, а также сложностью экстраполяции эмпирических данных. Поскольку разработка и реализация мероприятий по оптимизации землепользования осуществляется в приложении к конкретным территориям, к региональным оценкам предъявляются особые требования, позволяющие учесть природные и социально-экономические особенности регионов.

В максимальной степени сельскохозяйственным использованием изменены наиболее плодородные в естественном состоянии темноцветные почвы, более 80 % их площади на Земном шаре нарушено и преобразовано [5]. В России черноземы составляют основную часть пахотного фонда страны. Согласно расчетам, удельный вес черноземов в общей площади пашни России на 1996 г. составлял 52.6%, в том числе, черноземов обыкновенных – 15.1% [6]. Распашка черноземов превышает 70%, что значительно выше допустимого порога для экологически устойчивого состояния. Особенно высока распашанность черноземов европейской части страны, соответственно, процессы деградации почв, стимулированные земледельческой деятельностью, на этой территории выражены очень ярко. В Ростовской области, например, этот процент еще выше (74,4%), в то время как для степных ландшафтов он не должен превышать 65% [7].

Одной из основных форм антропогенной деградации почв является дегумусирование, которое проявляется в снижении содержания и ухудшении качества почвенного органического вещества, а также в уменьшении мощности гумусированной толщи. Оценить объем деградационных изменений гумусового состояния конкретной почвы непросто, поскольку в

большинстве случаев исходное состояние не известно, а выбор аналогичной ненарушенной (эталонной) почвы субъективен и достаточно сложен, особенно в условиях высокой антропогенной измененности территории. В большинстве случаев такие исследования проводятся на примере единичных объектов (разрезов, участков), а полученные результаты экстраполируются на обширные территории, в большей или меньшей степени аналогичные по природно-хозяйственным характеристикам. Преобладание таких подходов обусловлено малой доступностью архивной информации, в большинстве случаев не систематизированной, сохраняющейся на бумажных носителях, а во многих случаях и утерянной.

За последние годы применение информационных технологий для обработки данных и инвентаризации почв, осуществления мониторинга состояния почвенного покрова и принятия управленческих решений в целях рационального использования земельных ресурсов стало первостепенной задачей административных органов разного уровня и научного сообщества в области сельского хозяйства. В России создана и функционирует Информационная система на основе Почвенно-географической базы данных Российской Федерации (ИС ПГБД РФ), представляющая собой программное средство и Интернет-ресурс [8-9]. В ИС ПГБД объединяются разнородные (по тематике, масштабу, источнику и времени) данные, для работы с которыми используются технологии больших данных; подсистемы ИС ПГБД функционируют за счёт применения стандартов (GeoRSS, WFS, WMS, GeoJSON), основанных на структурированном гипертекстовом представлении пространственно-атрибутивной информации в сети Интернет, с использованием ГИС-серверов и SQL-серверов баз данных [8-11].

Формирование единого фонда данных в нашей стране осуществляется в соответствии с «Положением о государственном экологическом мониторинге и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга» (Постановление Правительства РФ от 9 августа 2013 г. № 681) на основе государственных информационных ресурсов с использованием современных информационных технологий, включая геоинформационные технологии. Государственный мониторинг земель сельскохозяйственного назначения находится в компетенции Министерства сельского хозяйства РФ, его осуществляют 110 центров и станций Агрехимической службы Минсельхоза РФ, расположенные на сельскохозяйственных землях страны. Формируемые Агрехимической службой информационные ресурсы о почвах состоят из: почвенных карт в границах хозяйств масштаба 1:5 000 – 1:25 000; баз данных регулярных почвенных обследований; архивных данных почвенных обследований за период более 50 лет. Интеграция этой информации в распределённую ИС ПГБД позволяет оперативно решать задачи мониторинга состояния почвенного покрова, государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения, управления зе-

мельными ресурсами на региональном и федеральном уровнях.

Одним из первых субъектов РФ, вовлеченных в ИС ПГБД РФ является Ростовская область. Работы по сбору и систематизации архивных материалов начались в 2002 г., в настоящее время массивы почвенной и общегеографической информации, характеризующие территорию Ростовской области, сосредоточены и обрабатываются в Южном федеральном университете, Государственном центре агрохимической службы «Ростовский» и в Почвенном дата-центре МГУ. Наличие большого количества цифровых данных, включенных в ИС ПГБД, позволило оценить состояние и динамику гумусированности пахотных почв Ростовской области.

Целью работы является:

- оценка гумусированности пахотных черноземов двух почвенно-экологических провинций – Предкавказской и Южно-Русской – зоны обыкновенных и южных черноземов степи в пределах территории Ростовской области;

- анализ динамики содержания и запасов гумуса в черноземах Ростовской области при сельскохозяйственном использовании;

- оценка перспектив сохранения и оптимизации гумусового состояния пахотных черноземов юга России в современных условиях.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ростовская область характеризуется умеренно континентальным климатом с мягкой зимой и жарким летом, в направлении на юго-восток климат становится более континентальным. Среднегодовая температура воздуха в Ростове-на-Дону +9,9°C, климат засушливый с $K_{\text{увл}}=0,6-0,7$. Почвенный покров представлен черноземами обыкновенными и южными с преобладанием карбонатных родов, к юго-востоку области они сменяются различными каштановыми почвами, часто солонцеватыми.

Сельскохозяйственное освоение территории современной Ростовской области началось в последние десятилетия XVIII в., к 70-м годам XIX в. пашнями было занято почти 20% площади, далее степень распаханности территории продолжала расти: в течение 40-50 лет – значительно, в последующем – более постепенно, и к 70-м гг. XX в. превысила 55% [12]. В настоящее время, согласно данным Росстата на 2019 г., сельскохозяйственные угодья занимают 87,3% территории, причем на пашню приходится 69,9% от этой площади, или 59% общей площади области. Для сравнения: в 1967 г. – 85, 68 и 58%, соответственно. В некоторых районах, например, в зерноградском, к сельскохозяйственным землям относится более 90% площади, почти 90% которых используется под пашню. В области практически полностью распаханно все пространство, занятое южными и обыкновенными черноземами. Естественная растительность настоящих степей, покрывающая в прошлом большую часть территории, практически не сохранилась, остатки ее можно

встретить только по склонам и днищам отдельных балочных систем.

Наши исследования были сосредоточены на рассмотрении почвенного покрова двух провинций почвенно-экологического районирования (ПЭР) [13], относящихся к зоне обыкновенных и южных черноземов степи: Предкавказской черноземов обыкновенных и южных мицелярно-карбонатных мощных и сверхмощных малогумусных и Южно-Русской черноземов обыкновенных среднемогучных малогумусных и южных средне- и маломощных малогумусных и слабогумусированных (рис. 1). Провинции несколько различаются по климатическим параметрам, характеристикам рельефа, почвообразующих пород и истории освоения; в Предкавказской провинции преобладают мощные и сверхмощные черноземы, а черноземы Южно-Русской провинции в большинстве характеризуются меньшей мощностью (средне- и маломощные).

В исследовании была использована следующая почвенная и общегеографическая информация, аккумулированная в ИС ПГБД РФ:

- векторные версии Почвенных карт Ростовской области М:1:500 000 (1939 и 1985 гг.), цифровая почвенная карта области, составленная на основе векторизованных карт административных районов (М:1:100 000); векторизованные почвенные карты отдельных хозяйств и районов (М:1:10 000, 1:25 000);

- занесенные в ПГБД РФ описания и аналитические характеристики опорных разрезов из отчетов регулярных почвенных обследований хозяйств Ростовской области, проведенных НИИ ЮжГИПРОзем в 1977-1995 гг.;

- информация о показателях почвенного плодородия земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области по 9 турам агрохимического обследования, выполненных в 1964-2020 гг.;

- база данных «Красная книга почв Ростовской области», созданная по результатам обследования почв особо охраняемых природных территорий (ООПТ);

- фрагмент Карты почвенно-экологического районирования Российской Федерации (М: 1:2 500 000) [13] на территорию Ростовской области.

Наряду с этим использовали фрагмент оцифрованной Карты геоморфологического районирования СССР (М: 1:8 000 000) и параметры рельефа геоморфологических районов на исследуемую территорию [14; 15].

Основные массивы использованной почвенной информации относятся к административным районам: Зерноградскому (Предкавказская провинция), Миллеровскому и Чертковскому (Южно-Русская провинция). Территории перечисленных районов характеризуются типичным для соответствующих провинций почвенным покровом и обеспечены максимальными объемами почвенной информации, переведенными в цифровую форму и пригодными для корректной обработки.

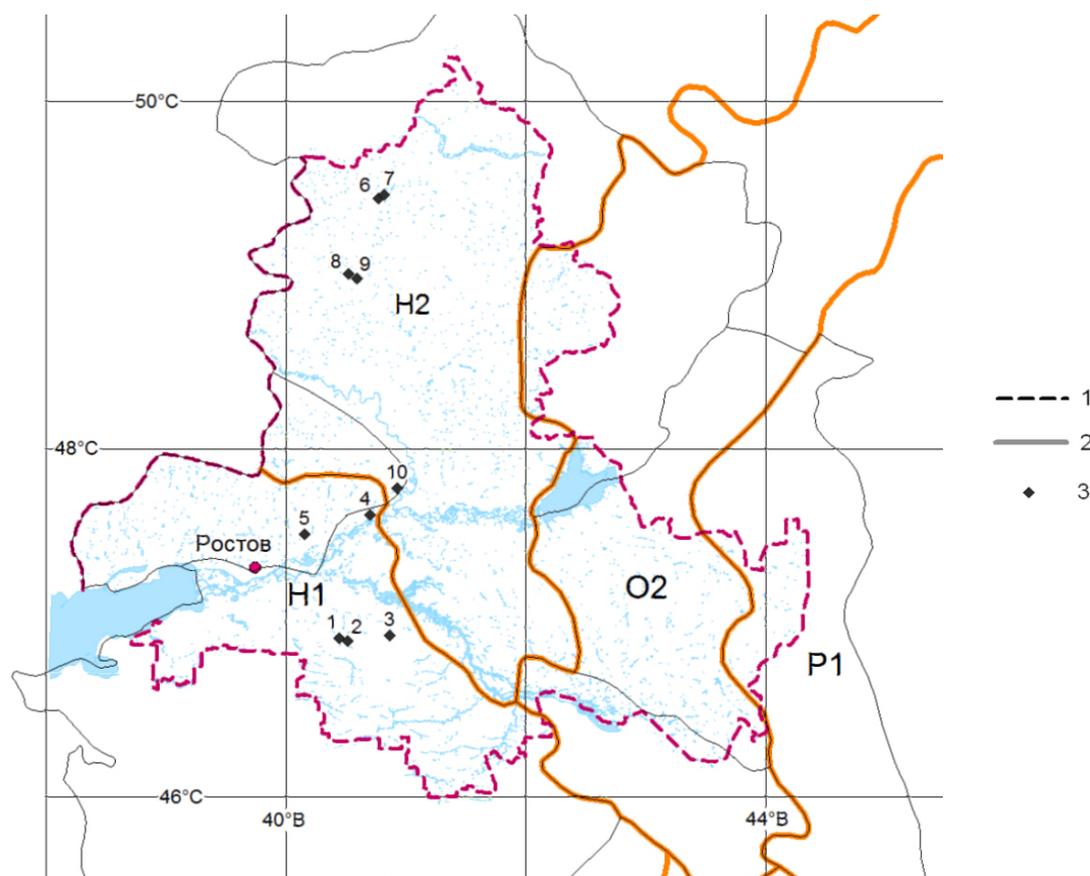


Рисунок 1. Фрагмент карты Почвенно-экологического районирования РФ на территорию Ростовской области и расположение разрезов черноземов в ООПТ

Условные обозначения: 1 – граница Ростовской области; 2 – границы провинций ПЭР: Н1 – Предкавказская, Н2 – Южно-Русская (полные названия провинций в тексте); 3 – разрезы черноземов ООПТ: обыкновенные легкоглинистые: 1 – эродированный, 2 – слабоэродированный (Хороли); 3 – обыкновенный тяжелоуглинистый слабоэродированный (Разнотравно-типчаково-ковыльная степь); 4 – обыкновенный тяжелоуглинистый (Раздорские склоны); 5 – обыкновенный тяжелоуглинистый целинный (Персиановская степь); южные легкоуглинистые: 6 – среднесмытый, 7 – неполноразвитый (Разнотравно-типчаково-ковыльная степь); 8, 9 – южные легкоглинистые целинные (Фоминская дача); 10 – слабообразованная супесчаная почва (Кундрюченские пески)

Figure 1. Section of map of soil-ecological zoning of the Russian Federation for the Rostov region and profiles of chernozem locations in nature-protected areas

Legend: 1 – border of Rostov region; 2 – boundary of the soil-geographical zones: H1 – Ciscaucasia, H2 – Yuzhno-Russkaya; 3 – chernozem profiles: ordinary clay chernozems: 1 – eroded, 2 – slightly eroded (Horoli); 3 – ordinary clay loamy slightly eroded chernozem (herbaceous-fescue-feather grass-steppe); 4 – ordinary clay loamy chernozem (Razdorskie skloni); 5 – ordinary clay loamy virgin chernozem (Persianovskaya zapovednaya step); southern loamy chernozems: 6 – medium-deep, 7 – poorly developed (herbaceous-fescue-feather grass-steppe); 8, 9 – southern clay virgin chernozems (Fominskaya dacha); primitive sandy loamy soil (Kundryuchenskie peski)

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гумусированность пахотных черноземов

Определение содержания органического углерода в пахотном слое почвы, мощность которого в Ростовской области составляет 25-27 см, входит в перечень обязательных анализов при ведении агрохимического мониторинга сельскохозяйственных земель. Обследования проводятся регулярно, очередной тур обследования обычно занимает 5 лет.

Проведенный анализ динамики усредненных показателей гумусированности почв по природно-сельскохозяйственным зонам Ростовской области показал, что начиная с 2000-х годов содержание гумуса практически не изменяется, по данным последнего тура обследований оно составляет 3,1% [16; 17]. Согласно классическим представлениям, распашка це-

линных почв сопровождается на начальном этапе усиленной минерализацией легкоразлагаемых компонентов почвенного органического вещества, приводя к резкому снижению его содержания в обрабатываемой почве. Со временем почва переходит в относительно стационарное состояние, когда процесс минерализации гумуса замедляется и устанавливается квазиравновесие в новых агроэкологических условиях. Авторы исследования связывают стабильность усредненных показателей содержания гумуса именно с достижением такого равновесия в существующих биоклиматических и производственных условиях.

Наши расчеты с использованием данных последнего тура агрохимического мониторинга показали, что содержание гумуса в пахотных горизонтах почв обеих провинций несколько выше, чем в среднем по

области (табл. 1). Гумусированность почв Южно-Русской провинции достоверно ниже и характеризуется более высокой изменчивостью по сравнению с Предкавказской, что может быть обусловлено как видовыми различиями доминирующих почв (в концепции Классификации и диагностики почв СССР, 1977 [18]) и большей гомогенностью почвенного покрова Предкавказской провинции, так и разной динамикой гумусирования в процессе сельскохозяйственного использования.

Далее оценено содержание гумуса в пахотных горизонтах почв опорных разрезов на основе аналитических данных из отчетов обследований почвенного покрова сельскохозяйственных земель, проводившихся в Ростовской области в 70-90-е годы XX в. (табл. 1). Отмечено сходство современных показателей гумусированности с данными 30-35-летней давности для почв Предкавказской провинции и заметное их снижение для Южно-Русской провинции (табл. 1).

Таблица 1. Описательная статистика содержания гумуса в пахотных горизонтах почв Предкавказской и Южно-Русской почвенно-экологических провинций

Table 1. Descriptive statistics of data on humus content of the arable soil horizons in Predcaucasia and Yuzhno-Russkaya soil-ecological zones

Провинции ПЭР, почвы Soil-ecological zones, soils	Среднее арифметическое \pm ошибка среднего Mean \pm Error of the mean	Размах значений Minimum – Maximum	Границы типичных значений (1-3 квантили) Lower quartile – Upper quartile	Стандартное отклонение Standard deviation	N Sample size	V, % Coefficients of variation	
Последнее агрохимическое обследование (2012-2017 гг.) Recent agrochemical monitoring data (2012-2017)							
Предкавказская Ciscaucasia	4,2 \pm 0,007	2,6–5,1	4,0–5,0	0,346	2563	8	
Южно-Русская Yuzhno-Russkaya	3,6 \pm 0,016	0,7–5,7	3,1–4,1	0,830	2832	23	
Опорные разрезы почв без разделения (обследования 80-90-х годов XX в.) Reference soil profiles without division (survey data of the 80s-90s of the 20 th century)							
Предкавказская Ciscaucasia	4,3 \pm 0,052	3,1–5,8	3,9–4,6	0,539	106	13	
Южно-Русская Yuzhno-Russkaya	4,5 \pm 0,195	1,8–6,4	4,1–5,3	1,169	39	26	
Опорные разрезы черноземов (обследования 80-90-х годов XX в.) Reference chernozem profiles (surveys data of the 80s-90s of the 20 th century)							
Предкавказская, черноземы обыкновенные Ciscaucasia, ordinary chernozems	Мощные Deep	4,1 \pm 0,044	3,5–4,8	3,9–4,4	0,353	34	9
	Среднемощные Middle-deep	4,0 \pm 0,067	3,1–5,0	3,6–4,3	0,435	40	11
Южно-Русская, черноземы южные Yuzhno-Russkaya, southern chernozems	Тяжелосуглинистые, глинистые Clay loamy, clay	4,7 \pm 0,118	2,8–6,4	4,2–5,3	0,881	32	19
	Супесчаные, легкосуглинистые Sandy-loamy, loamy	1,9	1,4–2,3			4	

Чтобы минимизировать влияние неоднородного состава почвенного покрова на результаты расчетов, из общих выборок были удалены данные, относящиеся к сопутствующим почвам (лугово-черноземные, черноземно-луговые и луговые почвы – в Предкавказской провинции, солонцеватые – в Южно-Русской), а оставшиеся выборки поделены на относительно однородные группы: по мощности гумусового горизонта или по гранулометрическому составу. Расчеты показали, что гумусированность пахотных горизонтов черноземов обыкновенных Предкавказской провинции незначи-

тельно изменилась за последние 35-40 лет. Несколько более высокие современные показатели, рассчитанные по всему массиву данных агрохимических обследований, обусловлены, по-видимому, значительным участием в почвенном покрове региона почв с дополнительным увлажнением, часто более гумусированных, чем черноземы. Гумусированность черноземов Южно-Русской провинции за тот же период достоверно снизилась: средние значения и даже 1-ый квартиль значений содержания гумуса в тяжелых по гранулометрическому составу черноземах 35-летней давности превы-

шают 3-ий квартиль массива значений последнего тура агрохимических обследований. Массив данных обследований легких по гранулометрическому составу почв недостаточен для корректных расчетов.

Обсуждение стабилизации содержания гумуса сельскохозяйственных почв Ростовской области требует оценить уровень их квазиравновесной гумусированности. В почвоведении существует понятия «критического уровня» [19] или «порогового содержания» [20; 21] органического вещества в почве, соответствующие уровню, ниже которого проявляются признаки деградации и ухудшения качества почвы. Почва определенного типа и гранулометрического состава характеризуется своим критическим уровнем содержания органического вещества.

Согласно предложенным Б.М. Когутом [22] градациям пахотных почв Российской Федерации по степени их гумусированности, тяжелосуглинистые и глинистые обыкновенные черноземы, абсолютно преобладающие в почвенном покрове Предкавказской про-

винции, попадают в первый, минимальный по содержанию гумуса класс (табл. 1, 2). Согласно представлениям автора, первый класс с содержанием гумуса «меньше минимального» включает в себя почвы, частично утратившие инертную компоненту гумуса в результате эрозионного выноса почвенных частиц. Черноземы Предкавказской провинции изначально относились к малогумусным, что обусловлено особенностями климата, содержание гумуса в них составляло в начале прошлого столетия около 6% [23]. Соотношение вкладов водной и ветровой эрозии в регионе сложно оценить. Однако водная эрозия в регионе морфологически ярко выражена только на склонах балочных систем и по берегам рек, а процессы дефляции, по видимому, охватывают всю распаханную практически полностью территорию провинции. Поэтому снижение содержания гумуса, в основном, обусловлено повышенной агрогенной минерализацией, хроническим недополнением вынесенных с урожаем элементов плодородия и развитием ветровой эрозии.

Таблица 2. Градации пахотных черноземов по содержанию гумуса, % [22]

Table 2. Gradations of humus content in chernozems, % [22]

Почвы Soils	Гранулометрический состав* Texture	Классы по степени гумусированности Gradations of humus content			
		Меньше минимального содержания гумуса Less than minimum humus content	Слабогумусированные Low humus	Среднегумусированные Medium humus	Сильногумусированные High humus
Черноземы южные Southern chernozems	A B	<1.6–2.5 <2.0–3.0	<2.5–3.5 <3.0–4.0	<3.5–4.5 <4.0–5.0	>4.5 >5.0
Черноземы обыкновенные Ordinary chernozems	A B B	<3.0–4.0 <4.0–5.0 <5.0–6.0	<4.0–5.0 <5.0–6.0 <6.0–7.0	<5.0–6.0 <6.0–7.0 <7.0–8.0	>6.0 >7.0 >8.0

Примечание: *А – песчаные и супесчаные; Б – легко- и среднесуглинистые; В – тяжелосуглинистые и глинистые
Note: *A – Sandy and sandy loamy; B – Silty/clay loamy; B – Loamy clay and clay

Класс «слабогумусированные» включает почвы, в значительной степени утратившие трансформируемую часть органического вещества в результате минерализации. Усредненные показатели содержания гумуса в южных черноземах Южно-Русской провинции к 80-90-м гг. XX в. (табл. 1) находились на уровне градаций «минимальное содержание» и «слабогумусированные», учитывая, что часть пахотного фонда региона представлена почвами супесчаного, легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава (табл. 1, 2). Гумусированность почв Южно-Русской провинции, в отличие от Предкавказской, снижалась: за последние 30-35 лет среднее уменьшение содержания гумуса в почвах Северо-Западной природно-сельскохозяйственной зоны Ростовской области – типичной части территории Южно-Русской провинции – превысило 0,5% [17]. Не исключено, что часть пахотного фонда региона перешла минимальную по содержанию гумуса градацию.

Распределение гумуса по профилям пахотных и естественных черноземов

Для оценки потери гумуса в пахотных черноземах области логично было бы сравнить их с показателями ненарушенных аналогов. К сожалению, в пределах Ростовской области практически отсутствуют участки с ненарушенными черноземами под естественной или минимально нарушенной растительностью, большая часть таких территорий приурочена к овражно-балочным системам. В рамках работы над Красной книгой почв Ростовской области обследовали почвенный покров ООПТ области, особое внимание уделяли описанию и обследованию черноземов под естественной и старозалежной растительностью [24]. Полученные материалы аккумулированы в базе данных «Красная книга почв Ростовской области», их использовали для сравнения распределения гумуса в черноземах ООПТ с таковым в опорных разрезах аналогичных па-

хотных черноземов по данным обследований 80-90-х годов XX в. (рис. 2).

Распределение гумуса по профилям пахотных черноземов представлено без дифференциации разрезов по гранулометрическому составу и мощности. Однако легкие по гранулометрическому составу черноземы Южно-Русской провинции четко отличаются от тяжелых разновидностей низким содержанием гумуса и более равномерным его распределением по профилям (рис. 2Б). Б.М. Когутом [25] на основании обобщения эмпирических данных показано, что минимальное содержание органического вещества в пахотном слое черноземов (в условиях, когда в почву не поступают

растительные остатки и она в течение длительного времени обрабатывается) приближается к его содержанию в 30-50 см слое. Именно такая картина гумусированности наблюдается в подавляющем большинстве пахотных черноземов Ростовской области, согласно данным обследований 80-90-х гг. (табл. 1, рис. 2). Таким образом, легкоразлагаемая часть органического вещества в пахотном слое черноземов области была полностью минерализована уже к 90-м гг. XX в., по-видимому, этим фактом объясняется отмечаемая в последние десятилетия стабилизация содержания гумуса.

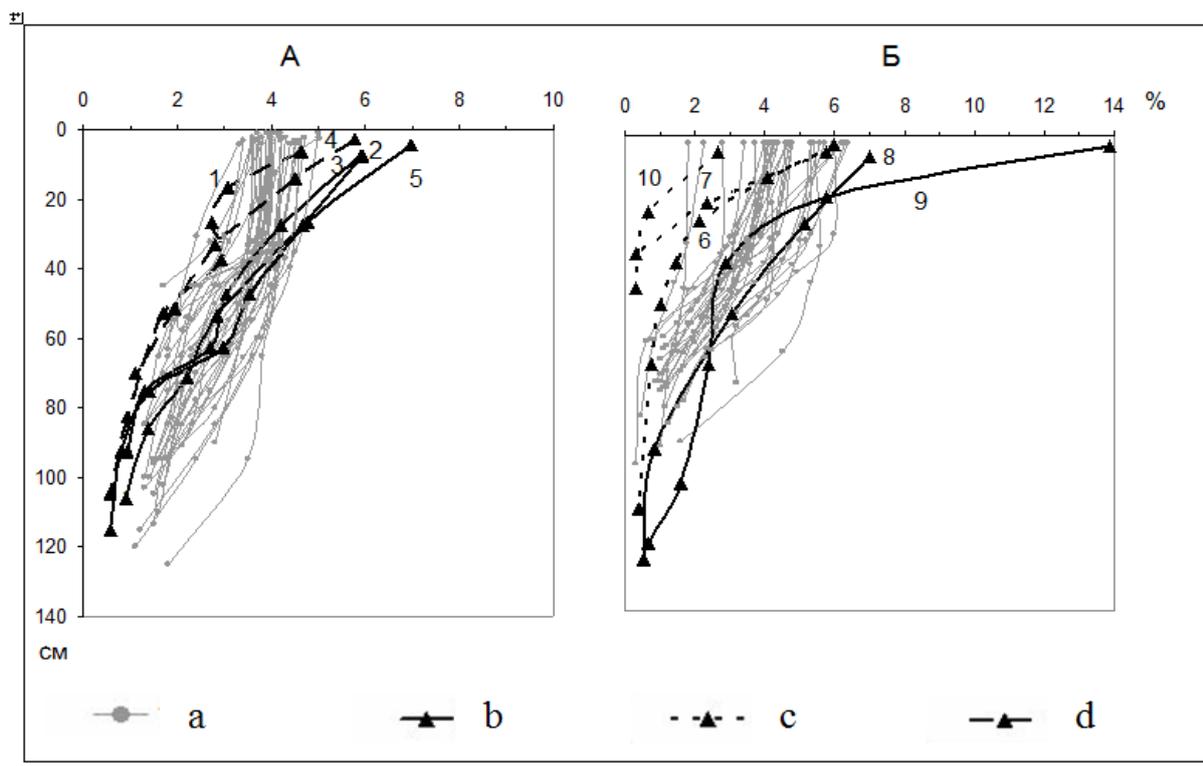


Рисунок 2. Распределение гумуса по профилям пахотных и естественных черноземов Ростовской области

Условные обозначения: провинции: А – Предкавказская, Б – Южно-Русская; черноземы:

а – пахотные; b, c, d – целинные и старозалежные в пределах ООПТ, в том числе:

b – наименее нарушенные тяжелого гранулометрического состава, c – супесчаного, легкосуглинистого гранулометрического состава, d – с признаками эрозии;

Разрезы черноземов ООПТ – условные обозначения к рисунку 1

Figure 2. Humus distribution in profiles of arable and natural chernozems of the Rostov region

Legend: soil-geographical provinces: А – Ciscaucasia, Б – Yuzhno-Russkaya; chernozems:

а – arable; b, c, d – virgin and abandoned lands in protected areas, including: b – natural,

clay and silty, c – sandy and loamy, d – eroded; chernozem profiles in protected areas – legend for figure 1

Гумусированность поверхностных горизонтов черноземов ООПТ выше, чем пахотных аналогов, причем максимальные показатели (более 7%) отмечены в тяжелых по гранулометрическому составу целинных (не распавшихся более 100 лет) черноземах под лесной и степной растительностью (рис. 2, pp. 5, 8, 9). Положительный эффект воздействия залежного режима на восстановление гумусового состояния черноземов отчетливо проявляется при сравнении характеристик пахотного обыкновенного чернозема, исследованного в 1983 г., с почвой в залежном режиме на ООПТ «Хороли», разрез которой был заложен в 2015 г. в точке с практически теми же координатами (р. 2). Содержание органического

го вещества в поверхностном слое этой почвы за 25 лет залежного режима выросло на 1,5% [24].

В нижней части профилей (ниже 35-45 см) гумусированность пахотных, залежных и целинных черноземов внутри каждой из рассмотренных провинций сходны, что позволяет считать сельскохозяйственное воздействие на органическое вещество в этой части профиля минимальным.

Запасы гумуса в пахотных и естественных черноземах

Известно, что запасы почвенного органического вещества, в отличие от его содержания, дают более точное

представление об истинных масштабах потерь или накопления гумуса в результате сельскохозяйственного использования [26]. По запасам гумуса в различных толщах почвы (0-25, 25-50 и 50-100 см), сравнивали пахотные черноземы (результаты обследований 80-90-х гг. XX в.) с целинными и залежными черноземами ООПТ, обследованными в 2015-2018 гг. Поскольку подобрать точные аналоги пахотных и нарушенных черноземов не удалось, были проанализированы результаты статистической обработки относительно однородных массивов данных по пахотным черноземам (полнопрофильные суглинистые и легкосуглинистые без признаков дополнительного увлажнения и осолонцевания) в сравнении с результатами обследований единичных разрезов ООПТ, отдельно для

территорий Предкавказской и Южно-Русской провинций.

Предкавказская провинция

Массив данных по черноземам Предкавказской провинции достаточно однороден, поэтому закономерности изменения гумусированности при сельскохозяйственном использовании проследить несложно. В целинных и залежных незероированных почвах по сравнению с пахотными отмечены более высокие запасы органического вещества в верхних горизонтах (0-25; 25-50 см). На глубине 50-100 см значения выравниваются, причем запасы гумуса в черноземах ООПТ оказались ниже усредненных показателей, характерных для пахотных почв (табл. 3).

Таблица 3. Запасы гумуса в черноземах Предкавказской провинции, т/га

Table 3. Humus stocks (t ha⁻¹) in chernozems of the Predcaucasia zone

Параметры Parameters	Пахотные (1975-1990 гг.), n=74 Arable (1975-1990)	Почвы ООПТ Soils in protected areas		
		Целинные (разрез 5) Virgin (profile 5)	Залежные (разрезы 2, 3) Abandoned lands (profiles 2, 3)	Залежные эродированные (разрезы 1, 4) Abandoned lands, eroded (profiles 1, 4)
0-25 см / cm				
Среднее арифметическое ± ошибка среднего / значения для почв ООПТ Mean ± Error of the mean / Values of soils in protected areas	110±1.3	148	123, 114	94, 137
Границы типичных значений (1-3 квантили) Lower quartile – Upper quartile	103–118			
25-50 см / cm				
Среднее арифметическое ± ошибка среднего / индивидуальные значения для почв ООПТ Mean ± Error of the mean / Values of soils in protected areas	104±1.7	132	118, 103	81, 74
Границы типичных значений (1-3 квантили) Lower quartile – Upper quartile	95–112			
50-100 см / cm				
Среднее арифметическое ± ошибка среднего / индивидуальные значения для почв ООПТ Mean ± Error of the mean / Values of soils in protected areas	149±6.3	143	127, 109	77, 78
Границы типичных значений (1-3 квантили) Lower quartile – Upper quartile	121–178			

Считая гумусированность чернозема в нижней части профиля (ниже 50 см) унаследованной от естественной почвы, можно предположить, что в настоящее время в

пределах ООПТ Ростовской области в целинном (и залежном) состоянии сохраняются не самые лучшие представители черноземов провинции (рис. 1, 2; табл.

3; pp. 2, 3, 5). Не исключено, что до начала распашки значительная часть черноземов региона характеризовалась более высокой гумусированностью, чем почвы современных охраняемых территорий.

В залежных почвах с выраженными признаками эрозии (рис. 1, 2; табл. 3; p. 1, 4) запасы гумуса во всех горизонтах и в профиле в целом ниже, чем в остальных целинных и пахотных почвах, лишь слой 0-25 см может характеризоваться повышенной гумусированностью (например, p. 4). То есть, переводение в залежный режим почв, заметно деградированных в результате водной эрозии, способствует повышению запасов органического вещества в поверхностных горизонтах, но не позволяет восстановить его запасы до показателей, сравнимых с целинными и старозалежными почвами.

Таким образом, расчеты показали, что за 50-60 лет распашки (с 20-30-х по 80-90-е гг. XX в.) черноземы Ростовской области в пределах Предкавказской провинции утратили 25-40% гумуса из слоя 0-25 см и 15-35% – из слоя 25-50 см, что составило более 65 т/га из слоя почвы 0-50 см или в среднем 110 г/м²/год. Эти показатели в два раза превышают ежегодные минерализационные потери гумуса в обыкновенных черноземах, оцениваемые А.В. Смагиным в 40-60 г/м²/год [27]. По-видимому, по меньшей мере, половина общего снижения запасов гумуса в почвах региона обусловлена процессами эрозии. Часть территории Предкавказской провинции в пределах Ростовской области практически целиком расположена в пределах Ейско-Сальского геоморфологического района. Эта эрозионно-аккумулятивная лёссовая равнина при глубине расчленения 20-70 м и абсолютных высотах до 140 м почти полностью распахана, что позволяет основными причинами дегумификации почв считать следующие процессы: агрогенную минерализацию гумуса при постоянном недостатке компенсирующих доз свежего органического материала, дефляцию мелкозема с обширных распаханных поверхностей, многолетнюю слабо выраженную водную эрозию на выровненной пашне и более активную – на крутых склонах. Мы полагаем, что вклад перечисленных процессов в дегумификацию почв в пределах рассмотренной территории снижается в указанном порядке.

На протяжении последних 70-80 лет территория Предкавказской провинции в пределах Ростовской области характеризуется крайне высокой степенью распаханности. По состоянию на 2006 г. пашня в различных административных районах занимает 67-84% площади, на сенокосы и пастбища приходится 8-12%, а лесными и кустарниковыми насаждениями, включая защитные, покрыто лишь 3-4% общей площади [28]. Для сравнения, параметры пространственной структуры землепользования степной зоны, обеспечивающие устойчивое функционирование агроландшафтов, следующие: доля лесопокрытых площадей – не менее 10-15%, пашни – не более 60% общей площади; а кормовые угодья и лесозащитные полосы должны занимать не менее 30 и 4-5% от площади пашни, соответственно [29]. Региональным экологическим нормативом оптимального соотношения площадей, отведенных под

пашни и пастбища, ростовскими специалистами признается соотношение 55/32 [30]. Таким образом, современная структура землепользования на территории Предкавказской провинции в пределах Ростовской области не может обеспечить устойчивое функционирование агроландшафтов региона.

Южно-Русская провинция

Почвенный покров провинции неоднороден, территория характеризуется разнообразием геоморфологических условий и почвообразующих пород, что затрудняет интерпретацию полученных результатов, кроме того, исследованные целинные представители южных черноземов провинции сохраняются под лесной растительной ассоциацией, что обуславливает не типичное профильное распределение гумуса в почвах (рис. 2; pp. 8, 9). В верхнем слое (0-25 см) целинных и залежных черноземов ООПТ (табл. 4; pp. 6, 8, 9) отмечены более высокие запасы гумуса по сравнению со средними показателями пахотных почв. В нижней части профилей целинных южных черноземов под лесной растительностью (pp. 8, 9) запасы гумуса выше, а в залежном легкоуглинистом (pp. 6) – ниже, чем усредненные параметры пахотных почв (табл. 4).

Согласно ориентировочным оценкам, пахотные черноземы провинции за период сельскохозяйственного использования (к 80-90-х гг. XX в) утратили 15-30% гумуса из верхнего 25-см слоя почвы и до 20% из слоя 25-50 см, что составляет около 40 т/га, или в среднем 65 г/м²/год. Учитывая, что аналитические характеристики пахотных почв получены 30-35 лет назад, а за прошедшие годы содержание гумуса в пахотных почвах снизилось приблизительно на 0,5%, к настоящему времени общие потери гумуса оказываются несколько выше. Таким образом, расчеты показали, что потери органического вещества пахотных черноземов Южно-Русской провинции оказались менее значительны по сравнению с черноземами Предкавказской провинции, несмотря на длительный период активного сельскохозяйственного использования территории (с конца XVIII в.) и низкие усредненные показатели гумусированности почв. В настоящее время в различных административных районах РО в пределах Южно-Русской провинции пашня занимает 53-58% площади, на сенокосы и пастбища и покрытые лесными насаждениями территории приходится 26-35 и 7-8% общей площади, соответственно [28], по-видимому, такая структура земельных угодий, приближающаяся к оптимальной для степных территорий, сдерживает интенсивность процессов дегумификации почв региона.

Вместе с тем средняя скорость снижения запасов гумуса в черноземах провинции несколько превышает ориентировочные оценки интенсивности его минерализационных потерь, что позволяет предполагать вклад в дегумификацию процессов эрозии. В пределах возвышенных волнисто-увалистых и грядово-увалистых эрозионных равнин Южно-Русской провинции высокая выраженность водной эрозии весьма вероятна. Большая часть территории провинции находится в границах Придонецкого (южный склон Донской гряды с увалистым долинно-балочным расчленением) и Калачского (возвышенность с интенсивно расчлененным овражно-балочным рельефом) геоморфологических районов.

Параметры рельефа – глубина расчленения и абсолютные высоты – составляют здесь, соответственно, 50-75 м, 150-200 м для Придонецкого района и 100-150 м, 200-240 м для Калачского. По-видимому, основными причинами дегумификации почв региона являются минерализация гумуса и водная эрозия, интенсивность которой повышается при возрастании в посевах доли пропашных культур, в частности, подсолнечника [7].

В условиях выявленного критически низкого содержания гумуса в пахотных черноземах РО поддержание плодородия почв становится особенно актуальным. Поскольку внесение высоких доз органических удобрений в регионе практически сплошной распашки реализовать очень сложно, наиболее перспективным способом повышения гумусированности почв представляется оптимизация структуры посевов.

Таблица 4. Запасы гумуса в средне- и тяжелосуглинистых черноземах Южно-Русской провинции, т/га

Table 4. Humus stocks (t ha⁻¹) in silty/clay loamy chernozems of the Yuzhno-Russkaya zone

Параметры Parameters	Пахотные (1980-1990 гг.) n=32 Arable (1980-1990)	Почвы ООПТ Soils in protected areas	
		Целинные (разрезы 8, 9) Virgin (profiles 8, 9)	Залежные (разрез 6) Abandoned lands (profile 6)
0-25 см / cm			
Среднее арифметическое ± ошибка среднего / индивидуальные значения для почв ООПТ Mean ± Error of the mean / Values of soils in protected areas	130±3.3	168, 151	142
Границы типичных значений (1-3 квартили) Lower quartile – Upper quartile	106–151		
25-50 см / cm			
Среднее арифметическое ± ошибка среднего / индивидуальные значения для почв ООПТ Mean ± Error of the mean / Values of soils in protected areas	107±3.2	130, 88	63
Границы типичных значений (1-3 квартили) Lower quartile – Upper quartile	87–127		
50-100 см / cm			
Среднее арифметическое ± ошибка среднего / индивидуальные значения для почв ООПТ Mean ± Error of the mean / Values of soils in protected areas	82±3.6	105, 145	49
Границы типичных значений (1-3 квартили) Lower quartile – Upper quartile	54–103		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получение большого объема разновременной и разнородной пространственно-атрибутивной информации, аккумулированной в цифровой форме в объединенных в единую систему почвенных дата-центрах, позволило оценить и сравнить актуальную гумусированность и снижение запасов гумуса в пахотных черноземах Ростовской области в пределах двух провинций ПЭР: Предкавказской черноземов обыкновенных и южных мицеллярно-карбонатных мощных и сверхмощных малогумусных и Южно-Русской черноземов обыкновенных среднемощных малогумусных и южных средне- и маломощных малогумусных и слабогумусированных.

Показано относительно устойчивое содержание гумуса в пахотных черноземах Предкавказской провинции на протяжении последних десятилетий, которое может объясняться снижением темпов дегумификации в условиях минимальной обработки почвы. Выявлено, что в почвах Южно-Русской провинции среднее содержание гумуса за этот же период снизилось приблизительно на 0,5%, что может быть результатом высокой доли пропашных культур в структуре посевов в условиях эрозионноопасной территории.

Отмеченная при агрохимическом мониторинге стабилизация среднего содержания гумуса в пахотных почвах ряда регионов области вызывает сдержанный

оптимизм, поскольку корректные расчеты для черноземов показали, что уровень стабилизации очень низок, он приближается, а в некоторых случаях уже достиг критического для черноземов показателя, ниже которого происходит снижение урожайности, несмотря на достаточное применение минеральных удобрений.

В условиях выявленного критически низкого содержания гумуса актуально внесение высоких доз органических удобрений для компенсации минерализационных потерь гумуса, а также предотвращение выноса почвенного материала при водной эрозии и дефляции. Анализ особенностей почвообразования, структуры землепользования и динамики дегумификации пахотных черноземов двух рассмотренных провинций ПЭР в пределах Ростовской области позволил наметить основные подходы к повышению общей экологической устойчивости регионов и решению проблемы дегумификации пахотных черноземов настоящих степей с учетом специфических характеристик территорий.

Внесение высоких компенсирующих доз свежего органического материала для восполнения потерь легкоразлагаемых компонентов гумуса актуально для пахотных почв всей территории РО. Поскольку черноземы Ростовской области характеризуются очень высокой степенью распашки, применение органических удобрений в нужных количествах экономически затратно и организационно сложно, более реальным способом повышения поступления свежего органического материала в пахотные почвы является корректировка структуры посевных площадей, предусматривающая поступление в почвы компенсирующих доз свежего органического вещества (возделывание сидератов, многолетних трав).

Для территории Предкавказской провинции с крайне неблагоприятной структурой земельных угодий также актуальна оптимизация землепользования, включая повышение доли пастбищ и сенокосов за счет пашни, повышение контурности ландшафта, восстановление и реконструкция деградированных, а также создание новых защитных насаждений и увеличение количества и размеров участков восстановленной растительности. Широкомасштабный вывод земель из сельскохозяйственного использования в регионе невозможен по экономическим соображениям, но оптимизация структуры сельскохозяйственных земель повысит дефляционную устойчивость территории и будет способствовать регулированию водного режима.

Особенности геоморфологии Южно-Русской провинции, а также значительное участие в почвенном покрове неполноразвитых и маломощных почв среднего и легкого гранулометрического состава предопределяют высокую вероятность проявления процессов водной эрозии. При относительно благоприятной для степных регионов структуре земельных угодий этой территории и продолжающейся дегумификации пахотных почв, по-видимому, основное внимание следует сконцентрировать на изменении структуры, плана размещения сельскохозяйственных насаждений и проведении агротехнических мероприятий, преследующих целью снижение интенсивности водной эрозии.

По-видимому, регулирование структуры посевов и земельных угодий необходимо осуществлять на областном или даже государственном уровнях, учиты-

вая стратегические перспективы развития и устойчивого функционирования регионов, поскольку субъекты хозяйствования ориентируются в первую очередь на краткосрочную экономическую выгоду.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают признательность специалистам из центра Агрохимической службы «Ростовский» за предоставленные для работы аналитические данные. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту № RFMEFI60719X0298.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the specialists of the Agrochemical data center "Rostovsky" for the provided analytical data. Financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation project (Grant No. RFMEFI60719X0298) is gratefully acknowledged.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vitousek P.M., Mooney H.A., Lubchenco J., Melillo J.M. Human domination of Earth's ecosystems // *Science*. 1997. V. 277. Iss. 5325. P. 494-99. DOI: 10.1126/science.277.5325.494
2. Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change // *Geoderma*. 2004. V. 123. Iss. 1-2. P. 1-22. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.01.032
3. Sanderman J., Hengl T., Fiske G.J. Soil carbon debt of 12,000 years of human land use // *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2017. V. 114. Iss. 36. P. 9575-9580. DOI: 10.1073/pnas.1706103114
4. Smith P. Soil Organic Carbon Dynamics and Land-Use Change. In: *Land Use and Soil Resources*. Braimoh A.K., Vlek P.L.G. (eds). Dordrecht: Springer. 2008. P. 9-22. DOI: 10.1007/978-1-4020-6778-5_2
5. Shangguan W., Gong P., Liang L., Dai Y.J., Zhang K. Soil Diversity as Affected by Land Use in China: Consequences for Soil Protection // *The Scientific World Journal*. 2014. V. 2014. Article ID 913852. URL: <https://doi.org/10.1155/2014/913852> (дата обращения 23.05.2020)
6. Романенко Г.А., Комов Н.В., Тютюнников А.И. Земельные ресурсы России, эффективность их использования. М.: Россельхозакадемия, 1996. 306 с.
7. Шишкина Д.Ю. Экологическая оценка динамики сельскохозяйственных земель Ростовской области // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. 2017. N 3-1. С. 122-128. DOI: 10.23683/0321-3005-2017-3-1-122-128
8. Информационная система «Почвенно-географическая база данных России». URL: <https://soil-db.ru/> (дата обращения: 20.10.2020)
9. Шоба С.А., Алябина И.О., Голозубов О.М., Иванов А.В., Иванов А.Л., Колесникова В.М., Крыщенко В.С., Молчанов Э.Н., Рожков В.А., Шеремет Б.В. Информационная система на основе Почвенно-географической базы данных России (ИС ПГБД РФ). Свидетельство о регистрации электронного ресурса. N 19661. 06.11.2013
10. Голозубов О.М., Рожков В.А., Алябина И.О., Иванов А.В., Колесникова В.М., Шоба С.А. Технологии и стандарты в информационной системе почвенно-

- географической базы данных России // Почвоведение. 2015. N 1. С. 3-13. DOI: 10.7868/S0032180X15010062
11. Hoffmann C., Golozubov O., Alyabina I., Heinrich U. Глава 1/12: Стандартизация сбора, обработки хранения и распространения почвенных данных: два проекта национального уровня // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири (в пяти томах). Т. 1. Ландшафты в XXI веке: анализ состояния, основные процессы и концепции исследований. Москва: Изд-во ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова». 2018. pp. 85-89. DOI: 10.25680/6422.2018.85.59.012
12. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.
13. Урусевская И.С., Алябина И.О., Винюкова В.П., Востокова Л.Б., Дорофеева Е.И., Шоба С.А., Щипихина Л.С. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации Масштаб 1:2500000. 2013.
14. Карта геоморфологического районирования СССР. Масштаб 1:8 000 000 / Под ред. А.И. Спиридонова. М.: ГУГК, 1983.
15. Воскресенский С.С., Леонтьев О.К., Спиридонов А.И., Лукьянова С.А., Ульянова Н.С., Ананьев Г.С., Андреева Т.С., Варущенко С. И., Спасская И. И. Геоморфологическое районирование СССР и прилегающих морей. М.: Высшая школа, 1980. 344 с.
16. Безуглова О.С., Назаренко О.Г., Ильинская И.Н. Динамика деградации земель в Ростовской области // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. N 2 (83). С. 10-15. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10090
17. Экологический вестник Дона. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2019 году. Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области. Ростов-на-Дону. 2020, 372 с. URL: <https://xn--d1ahaoghbejbc5k.xn--p1ai/projects/19/> (дата обращения: 20.05.2020)
18. Классификация и диагностика почв СССР. Москва: Колос, 1977. 224 с.
19. Шарков И.Н. Концепция воспроизводства гумуса в почвах // Агрохимия. 2011. N 12. С. 21-27.
20. Loveland P., Webb J. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review // Soil and Tillage Research. 2003. V. 70. Iss. 1. P. 1-18. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/soil-and-tillage-research/vol/70/issue/1> (дата обращения: 20.05.2020)
21. Janzen H.N., Olson B.M., Zvomuya F., Larney F.J., Ellert B.H. Long-term Field Bioassay of Soil Quality // Prairie Soils and Crops Journal. 2012. V. 5. P. 165-168. URL: <https://prairiesoilsandcrops.ca/articles/volume-5-17-screen.pdf> (дата обращения: 20.05.2020)
22. Когут Б.М. Оценка содержания гумуса в пахотных почвах России // Почвоведение. 2012. N 9. С. 944-952.
23. Прасолов Л.И. О черноземе Приазовских степей // Почвоведение. 1916. N 1. С. 23-46.
24. Чернова О.В., Безуглова О.С. Принципы и особенности создания Красных книг почв степных регионов (на примере Ростовской области) // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. N 1 (74). С. 38-48. DOI: 10.24411/1993-3916-1995-10005
25. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
26. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Реальные и кажущиеся потери органического вещества почвами Российской Федерации // Почвоведение. 1996. N 2. С. 197-207.
27. Смагин А.В. Динамика черноземов: реконструкция развития и прогноз агродеградации // Проблемы агрохимии и экологии. 2012. N 3. С. 31-38.
28. Национальный атлас почв Российской Федерации / Гл. ред. С.А. Шоба, отв. ред. И.О. Алябина, И.С. Урусевская, О.В. Чернова. М.: Астрель: АСТ, 2011. 632 с.
29. Орлова И.В. Динамика и сбалансированность структуры землепользования приграничных степных районов Западной Сибири // Степной бюллетень. 2006. N 21-22. URL: <http://savesteppe.org/ru/archives/2498> (дата обращения: 23.05.2020)
30. Кузнецов В.В., Гарькавый В.В., Лысенко Е.Г., Тарасов А.Н. Экология и производство в аграрном секторе экономики. Ростов-на-Дону, 1997. 228 с.

REFERENCES

1. Vitousek P.M., Mooney H.A., Lubchenco J., Melillo J.M. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 1997, vol. 277, iss. 5325, pp. 494-99. DOI: 10.1126/science.277.5325.494
2. Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 2004, vol. 123, iss. 1-2, pp. 1-22. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.01.032
3. Sanderman J., Hengl T., Fiske G.J. Soil carbon debt of 12,000 years of human land use. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, vol. 114, iss. 36, pp. 9575-9580. DOI: 10.1073/pnas.1706103114
4. Smith P. Soil Organic Carbon Dynamics and Land-Use Change. In: *Land Use and Soil Resources*. Braimoh A.K., Vlek P.L.G. (eds). Dordrecht, Springer, 2008, pp. 9-22. DOI: 10.1007/978-1-4020-6778-5_2
5. Shangguan W., Gong P., Liang L., Dai Y.J., Zhang K. Soil Diversity as Affected by Land Use in China: Consequences for Soil Protection. *The Scientific World Journal*, 2014, vol. 2014, article ID 913852. Available at: <https://doi.org/10.1155/2014/913852> (accessed 23.05.2020)
6. Romanenko G.A., Komov N.V., Tyutyunnikov A.I. *Zemel'nye resursy Rossii, effektivnost' ikh ispol'zovaniya* [Land resources of Russia, efficiency of their use] Moscow, Russian Agricultural Academy Publ., 1996, 306 p. (In Russian)
7. Shishkina D.Yu. Environmental assessment of the dynamics of agricultural land of the Rostov region. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Natural science*, 2017, no. 3-1, pp. 122-128. (In Russian) DOI: 10.23683/0321-3005-2017-3-1-122-128
8. *Informatsionnaya sistema «Pochvenno-geograficheskaya baza dannykh Rossii»* [Information System «Soil-Geographical Database of Russia»]. Available at: <https://soil-db.ru/> (accessed 20.10.2020)
9. Shoba S.A., Aljabina I.O., Golozubov O.M., Ivanov A.V., Ivanov A.L., Kolesnikova V.M., Kryshhenko V.S., Molchanov Je.N., Rozhkov V.A., Sheremet B.V. *Informatsionnaya sistema na osnove Pochvenno-geograficheskoi bazy dannykh Rossii (IS PGBD RF)* [Information system based on the Soil

- Geographical Database of Russia (IS SGDB RF)]. Svidetel'stvo o registratsii elektronnoho resursa, no. 19661, 06.11.2013
10. Golozubov O.M., Rozhkov V.A., Alyabina I.O., Ivanov A.V., Kolesnikova V.M., Shoba S.A. Technologies and Standards in the Information Systems of the Soil-Geographic Database of Russia. *Eurasian Soil Science*, 2015, vol. 48, no. 1, pp. 1-10. DOI: 10.1134/S1064229315010068
11. Hoffmann C., Golozubov O., Alyabina I., Heinrich U. Chapter I/12: Standards for the Collection, Management and Provision of Soil Research Data: Two National Case Studies. *Novel Methods and Results of Landscape Research in Europe, Central Asia and Siberia (in five volumes)*. vol. 1. Landscapes in the 21st Century: Status Analyses, Basic Processes and Research Concepts. Moscow, Publishing House FSBSI «Pryanishnikov Institute of Agrochemistry», 2018, pp. 85-89. DOI 10.25680/6422.2018.85.59.012
12. Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.G. *Dinamika sel'skokhozyaistvennykh zemel' Rossii v XX veke i postagrogennoe vosstanovlenie ras-titel'nosti i pochv* [Dynamics of agricultural land in Russia and postagrogenic restoration of plants and soils]. Moscow, GEOS Publ., 2010, 416 p. (In Russian)
13. Urusevskaya I.S., Alyabina I.O., Vinyukova V.P., Vostokova L.B., Dorofeeva E.I., Shoba S.A., Shchipikhina L.S. *Karta pochvenno-ekologicheskogo raionirovaniya Rossiiskoi Federatsii Masshtab 1:2500000* [The map of soil-ecological zoning of the Russian Federation. Scale: 1:2,5 mln]. 2013. (In Russian)
14. Spiridonov A.I., ed. *Karta geomorfologicheskogo raionirovaniya SSSR. Masshtab 1:8 000 000* [Map of geomorphological zoning of the USSR. Scale: 1:8 mln]. Moscow, GUGK Publ., 1983. (In Russian)
15. Voskresenskii S.S., Leont'ev O.K., Spiridonov A.I., Luk'yanova S.A., Ul'yanova N.S., Anan'ev G.S., Andreeva T.S., Varushchenko S.I., Spasskaya I.I. *Geomorfologicheskoe raionirovanie SSSR i prilegayushchikh morei* [Geomorphological zoning of the USSR and adjacent seas]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980, 344 p. (In Russian)
16. Bezuglova O.S., Nazarenko O.G., Ilyinskaya I.N. Dynamics of Land Degradation in the Rostov Region. *Arid ecosystems*, 2020, vol. 26, no. 2(83), pp. 10-15. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10090
17. *Ekologicheskii vestnik Dona. O sostoyanii okruzhayushchei sredy i prirodnykh resursov Rostovskoi oblasti v 2019 godu* [Don's ecological bulletin. The state of the environment and natural resources of the Rostov region in 2019]. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Rostov Region. Rostov-on-Don, 2020, 372 p. (In Russian) Available at: <https://xn--d1ahaoghbejbc5k.xn--p1ai/projects/19/> (accessed 20.05.2020)
18. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils in the USSR]. Moscow, Kolos Publ., 1977, 224 p. (In Russian)
19. Sharkov I.N. The concept of humus reproduction in soils. *Agrokhimiya* [Agrochemistry]. 2011, no. 12, pp. 21-27. (In Russian)
20. Loveland P., Webb J. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil and Tillage Research*, 2003, vol. 70, no. 1, pp. 1-18. Available at: <https://www.sciencedirect.com/journal/soil-and-tillage-research/vol/70/issue/1> (accessed 20.05.2020)
21. Janzen H.H., Olson B.M., Zvomuya F., Larney F.J., Ellert B.H. Long-term field bioassay of soil quality. *Prairie Soils and Crops Journal*, 2012, vol. 5, pp. 165-168. Available at: <https://prairiesoilsandcrops.ca/articles/volume-5-17-screen.pdf> (accessed: 20.05.2020)
22. Kogut B. M. Assessment of the humus content in arable soils of Russia. *Eurasian Soil Science*, 2012, vol. 45, no. 9, pp. 843-851. DOI: 10.1134/S1064229312090062
23. Prasolov L.I. About the chernozem of the Azov steppes. *Pochvovedenie* [Soil science]. 1916, no. 1, pp. 23-46. (In Russian)
24. Chernova O.V., Bezuglova O.S. Principles and Features of the Compilation of the Red Data Book of Soils of the Steppe Regions (on Example of the Rostov Oblast). *Arid Ecosystems*, 2018, vol. 8, no. 1, pp. 28-37. DOI: 10.1134/S207909611801002X
25. Semenov V.M., Kogut B.M. *Pochvennoe organicheskoe veshchestvo* [Soil Organic Matter]. Moscow, GEOS Publ., 2015, 233 p. (In Russian)
26. Orlov D.S., Biryukova O.N., Rozanova M.S. Real and apparent losses of organic matter by the soils of the Russian Federation. *Eurasian Soil Science*, 1996, vol. 29, no. 2, pp. 174-183.
27. Smagin A.V. Dynamics of chernozems: reconstruction and prediction of agrodegradation. *Problemy agrokhimii i ekologii* [Problemy Agrokhimii i Ekologii]. 2012, no 3, pp. 31-38. (In Russian)
28. Shoba S.A., ed. *Natsional'nyi atlas pochv Rossiiskoi Federatsii* [National atlas of soils of the Russian Federation]. Moscow, Astrel', AST Publ., 2011, 632 p. (In Russian)
29. Orlova I.V. *Dinamika i sbalansirovannost' struktury zemlepol'zovaniya prigranichnykh stepnykh raionov Zapadnoi Sibiri* [Dynamics and balance of the structure of land use in the border steppe regions of Western Siberia]. *Steppe bulletin*, 2006, no. 21-22. Available at: <http://savesteppe.org/ru/archives/2498> (accessed 23.05.2020) (In Russian)
30. Kuznetsov V.V., Gar'kavyi V.V., Lysenko E.G., Tarasov A.N. *Ekologiya i proizvodstvo v agrarnom sektore ekonomiki* [Ecology and production in the agricultural sector of the economy]. Rostov-on-Don, 1997, 228 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ольга В. Чернова анализировала и интерпретировала результаты исследований, подготовила рукопись. Ирина О. Алябина принимала участие в обработке данных и написании статьи. Ольга С. Безуглова принимала участие в анализе и интерпретации полученных результатов. Юрий А. Литвинов осуществил подбор массивов аналитических данных и статистическую обработку материала. Все авторы в равной степени несут ответственность при

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga V. Chernova analysed and interpreted the research results and prepared the manuscript. Irina O. Alyabina participated in data processing and writing the article. Olga S. Bezuglova participated in the analysis and interpretation of research results. Yurii A. Litvinov carried out the selection of analytical data arrays and statistical processing of the material. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

обнаружении плагиата, самоплагиата или других этических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Ольга В. Чернова / Olga V. Chernova <https://orcid.org/0000-0001-8416-0746>

Ирина О. Алябина / Irina O. Alyabina <http://orcid.org/0000-0003-0718-8600>

Ольга С. Безуглова / Olga S. Bezuglova <https://orcid.org/0000-0003-4180-4008>

Юрий А. Литвинов / Yurii A. Litvinov <https://orcid.org/0000-0001-7204-2734>