УДК 631.417.1+631.417.2(470.57)
DOI: 10.31677/2072-6724-2023-69-4-58-73

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ДМИТРИЕВСКОГО СЕЛЬСКОГО СОВЕТА УФИМСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Р.Р. Мирсаяпов, кандидат сельскохозяйственных наук старший научный сотрудник
И.Г. Асылбаев, доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник
Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия
E-mail: mirsaj@bk.ru

Ключевые слова: почвенный органический углерод, гумус, почва, секвестрация углерода.

Реферат. *Депонирование углерода в почве является существенной функцией, возникающей при взаимодействии экологических процессов. Человек, своей деятельностью влияя на эти процессы, приводит к дегумусированию или, наоборот, депонированию почвенного углерода. В статье даны материалы анализа литературных источников по тематике карбонового земледелия, а также содержания органического вещества в почвах сельскохозяйственных угодий южной лесостепи Республики Башкортостан в условиях карбонового полигона в Уфимском районе. Целью исследования является анализ запасов углерода в гумусово-аккумулятивном горизонте почв карбонового полигона на землях сельскохозяйственного назначения, находящихся в Дмитриевском сельском совете Уфимского района Республики Башкортостан. Проведен агрохимический анализ накопления органического вещества почвы, определена мощность гумусового горизонта почв данного участка. Запасы углерода в исследуемых почвах определяли согласно методике количественного определения объемов выбросов и поглощений парниковых газов (Приказ Минприроды России от 27.05.2022 № 371, Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов). Содержание углерода в органическом веществе почв принимается равным 58 %. Пересчет на запас почвенного углерода производился с учетом плотности сложения почвы. Рассчитана степень насыщенности почв изучаемых участков, в том числе и карбонового полигона, углеродом. Определены запасы органического углерода под отдельными разновидностями почв гумусово-аккумулятивном горизонте – 4616360 т.*

CARBON RESERVES ON THE SOILS OF THE DMITRIEVSKY VILLAGE COUNCIL OF THE UFA DISTRICT OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

R.R. Mirsayapov, PhD in Agricultural Sciences, Senior Researcher
I.G. Asylbaev, Doctor of Biological Sciences, Professor, Senior Researcher
Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia
E-mail: mirsaj@bk.ru

***Keywords*:** soil organic carbon, humus, soil, carbon sequestration.

Abstract. *The research was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation "Program for the creation and operation of a carbon landfill in the Republic of Bashkortostan "Eurasian carbon landfill" for 2022-2023 (Publication number: FEUR-2022-0001). Carbon deposition in the soil is an essential function arising from the interaction of ecological processes. Human activity influencing these processes leads to dehumidification or, conversely, deposition of soil carbon. The article presents the materials of the analysis of literary sources on the subject of carbon farming, as well as the content of organic matter in the soils of agricultural lands of the southern forest-steppe of the Republic of Bashkortostan in the conditions of a carbon landfill in the Ufa district (Russian Federation). This study aims to analyse carbon reserves in the humus-accumulative soil horizon of a carbon landfill on agricultural lands in the Dmitrievsky Village Council of the Ufa district of the Republic of Bashkortostan. An agrochemical analysis of the accumulation of soil organic matter was carried out, and the capacity of the humus horizon of the soils of this site was determined. Carbon reserves in the studied soils were determined according to the methodology for quantifying greenhouse gas emissions and uptake [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia No. 371 dated 05/27/2022, Guidelines for Quantifying the volume of greenhouse gas uptake]. The carbon content in the organic matter of soils is assumed to equal 58%. The conversion to the stock of soil carbon was carried out, considering the density of the soil composition. The degree of saturation of the soils of the studied sites, including the carbon landfill, is*

calculated. The reserves of organic carbon under individual varieties of soils in the humus-accumulative horizon - 4616360 tons were estimated.

Суммарные запасы органического и минерального углерода в почвах России оцениваются в 337 Гт для верхнего метрового слоя. В соответствии с прогнозами изменений климата, гетеротрофное дыхание почв на территории Российской Федерации может увеличиться в среднем на 10–12% и достичь к 2050 г. 3,5 Гт С/год. Изменения климата оказывают неоднозначное воздействие на баланс углерода в почвах: увеличение среднегодовой температуры воздуха может инициировать деградацию органического вещества и приводить к отрицательному балансу, а увеличение среднегодового количества осадков стимулирует повышение запасов органического вещества и соответствует положительному балансу углерода. Предполагается, что общие тенденции изменения климата приведут к суммарно положительному балансу (аккумуляции) углерода в почвах России. Применение более рациональных систем землепользования на сельскохозяйственных землях России имеет значительный потенциал увеличения поглощения углерода. Международные оценки более осторожны: во всем мире методы управления почвенным углеродом вряд ли позволят сбалансировать более 5% годовых глобальных выбросов CO_2 в результате сжигания ископаемого топлива [1].

Ученые считают, что карбоновое земледелие – отличный вариант для России. Сейчас в стране, по разным оценкам, от 40 до 80 млн га сельскохозяйственных земель расположено вдали от крупных городов и в неудобных рельефах, которые не используются для выращивания сельскохозяйственных культур. Если засадить все 80 млн га, ежегодная прибыль на продаже углеродных квот составит десятки миллиардов долларов. Каждый гектар молодого леса поглощает в год 7–8 т CO_2 [2].

Почвы играют ведущую роль в биогеохимическом цикле углерода. Пул почвенного углерода превышает его запасы в биомассе суши и атмосфере. В настоящее время в связи с проблемами глобального изменения климата и обеспечения продовольственной безопасности очень большое внимание уделяется уточнению оценок запасов почвенного органического вещества [3].

Рациональное использование почвы и восстановление деградированных земель может смягчить последствия изменения климата и повысить уровень продовольственной безопасности. Связывание, мониторинг и сохранение углерода в почвах может так же повысить устойчивость к изменению климата,как и «здоровое» количество органического углерода в почве может помочь растительному покрову. Восстановление почв на сельскохозяйственных и деградированных землях может удалить до 51 Гт углерода из атмосферы [4, 5].

Основным источником почвенного углерода является гумус. Содержание его в почвах зависит от применяемых технологий возделывания сельскохозяйственных культур и от интенсификации производства.

Гумус представляет собой подсистему почвенного органического вещества (ПОВ), сформированную из органических материалов и соединений растительного, животного и микробного происхождения, прошедших гумификационные и негумификационные стадии стабилизации, со временем полного разложения составляющих компонентов более 10 лет [6]. Гумусом следует считать только ту часть ПОВ, которая относится к медленному и пассивному пулам со временем оборачиваемости углерода соответственно 10–100 и более 100 лет в отличие от быстрооборачиваемого активного пула со временем оборачиваемости углерода от нескольких суток и месяцев до 10 лет [7–9].

Перевод атмосферного углекислого газа в живое органическое вещество растений (фотосинтез) с последующей трансформацией формирующейся мортмассы в гумус составляет от 10 до 100 лет. Чтобы считаться секвестрированным, органическое вещество должно не просто поступить в почву, а стабилизироваться, приобретя защищенность от быстрого разложения, но быть способным к медленной минерализации. Углерод со временем полного оборота более 100 лет следует считать депонированным. Наиболее употребляемые способы оценки почвенной секвестрации углерода – это

определение изменений валового содержания $C_{орг}$ в почве или его запасов в слое 0–20 (0–50, 0–100) см за какой-либо период или содержания $C_{орг}$ в гранулометрических фракциях пыли и глины размером менее 0,05 (0,02) мм [10–12].

По утверждению Б.М. Когута и др. [10], депонирование органического углерода в почве – это долговременное запасание $C_{орг}$ преимущественно в виде гумуса с периодом полного разложения (минерализации) составляющих его компонентов более 100 лет в верхнем 0–30º сантиметровом слое почв и/или захоронение неживого органического вещества в почвенном профиле на глубине более 50 см. Если почвенная секвестрация углерода обязательно предусматривает удаление CO_2 из атмосферы за счет получения новой биомассы, то депонирование направлено на сохранение $C_{орг}$ в почве и предотвращение относительно быстрого его возврата из почвы в атмосферу в ходе минерализации.

Запасы углерода в почвах в зависимости от целей исследования рассчитывают для слоев различной мощности. Для обобщенных оценок обычно выбирают метровую толщу, поскольку в большинстве почв в ней сосредоточены основные запасы органического углерода и она является зоной, активно участвующей в современном биологическом круговороте элементов. При агрохимических обследованиях и мониторинге земель сельскохозяйственного назначения в большинстве случаев ограничиваются пахотным слоем почвы мощностью 20–30 см. Слой 0–30 см предложен в качестве целевого при реализации проекта ФАО ООН Всемирная карта запасов органического углерода в почве (GSOC – 17) [13]. Расчеты для слоя почвы 0–50 см часто используются в региональных оценках и исследованиях динамики запасов углерода при смене характера землепользования. Нами в качестве расчетного была выбрана мощность гумусово-аккумулятивного горизонта, так как здесь и происходит депонирование углерода.

Точность региональных оценок запасов почвенного углерода зависит от способа расчета плотности почв. Об этом свидетельствуют результаты специально проведенного исследования на примере почв Китая. Были выявлены различия в величинах запасов почвенного углерода, полученных на основе одного массива данных, включающего характеристики 1007 профилей почв Китая, но с использованием шести способов определения недостающих значений плотности почв [14]. Подбор педотрансферных функций, позволяющих с наименьшей ошибкой определить плотность почв конкретных регионов, является важной задачей [15–18].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на землях сельскохозяйственного назначения Дмитриевского сельского совета муниципального образования Уфимский район. Дмитриевский сельский совет относится к южной лесостепной зоне и расположен в западной платформенной области Башкортостана и большей частью относится к морфоструктуре под названием Камско-Бельское понижение.Северо-западная окраина южной лесостепной зоны входит в Бугульминско-Белебеевскую возвышенность – одну из морфоструктур указанной геологической области. Платформенная часть относится к восточной окраине Русской платформы, в пределах которой осадочные породы мощностью 1600–2500 м лежат сравнительно спокойно на жестком фундаменте из кристаллических пород архея и протерозоя. В узкой полосе, примыкающей к Уральским горам, фундамент опущен [19].

Камско-Бельская равнина занимает наибольшую часть территории западной платформенной области Башкирии и протягивается полосой между Белебеевской возвышенностью, Общим Сыртом и Южно-Уральским хребтом. Равнина возникла за счет прогиба земной коры в неогене. Абсолютные отметки колеблются от 60–80 м в долинах рек до 120–130 м в среднем течении р. Белой, достигая 200–240 м на водораздельных элементах рельефа. Равнина сложена верхнепермскими песчаниками, глинами, мергелями и известняками, перекрытыми четвертичными отложениями.

Границами южной лесостепной зоны Башкирии служат: на востоке – предгорные районы правобережья р. Белой, на юге и юго-западе – р. Белая, на западе – долина р. Белой и прилегающая к ней левобережная водораздельная равнина, на северо-западе – часть границы Татарстана, на севере и северо-востоке – р. Белая

в ее нижем течении. Общая площадь южной лесостепной зоны 26,5 тыс. м^2, или 18% всей территории республики.

По природным условиям южная лесостепь подразделяется на три агропочвенных района: левобережный прибельский, правобережный предгорный и приикский увалистый.

В левобережном прибельском районе рельеф волнисто-увалистый с широкими водоразделами. Степень расчленения 0,5–1,5 км, глубина местных базисов эрозии 25–125 м, средние уклоны 1–3°, часто встречаются овраги.

В левобережном прибельском районе годовое количество осадков колеблется от 350 до 500 мм. Однако их количество постоянно изменяется как по годам, так и по периодам года. Больше всего осадков выпадает в июле и в августе. Устойчивый снежный покров устанавливается в среднем в середине ноября и сходит во второй половине апреля. Наибольшей высоты снежный покров достигает в феврале – начале марта. Высота снежного покрова в этот период составляет 42–50 см с колебаниями в отдельные годы от 14 до 80 см.

Обычно в южной лесостепи весна довольно дружная и быстротечная, средняя продолжительность ее 53 дня. От начала интенсивного снеготаяния (от момента установления средней суточной температуры воздуха выше 0°С) до разрушения устойчивого снежного покрова проходит в среднем 10 дней.

Глубина зимнего промерзания почвы в Южной лесостепи Башкирии – в среднем 70–90 см с колебаниями в отдельные годы от 30 до 150 см.

Среднегодовая температура воздуха – 2,5°С.

Среднемноголетняя продолжительность безморозного периода – 107–128 дней с колебаниями от 100 до 145. Сумма положительных температур за период с температурой выше 15°С – 1531–1689°С, гидротермический коэффициент – 1,0–1,2 [20].

Растительный покров Южной лесостепной зоны Республики Башкортостан разнообразен. В недавнем прошлом преобладающим растительным покровом были леса, площадь которых к настоящему времени значительно сокращена. Сохранившиеся леса претерпели серьезные изменения. В левобережье р. Белой встречаются в основном дубовые леса с примесью березы, липы, ильма, клена и вяза, более увлажненные места заняты осиной и реже березой. В подлеске часто встречаются орешник, крушина, бересклет, вишня и др.

Травянистая растительность на безлесных пространствах лесостепи была представлена луговым разнотравьем, но в настоящее время сохранилась лишь отдельными островками, так как основные массивы давно распаханы. В основном сохранились типчаково-ковыльные степные группировки. Сорно-полевая растительность отличается большим разнообразием. Наиболее распространенными в лесостепной зоне являются: вьюнок полевой, осот розовый, осот полевой, пырей ползучий, хвощ полевой, пастушья сумка, василек синий, овсюг обыкновенный, марь белая, щирица запрокинутая, куриное просо, щетинник зеленый, конопля, чертополох курчавый и др.

Южная лесостепь Башкирии в настоящее время представляет освоенную в сельскохозяйственном отношении территорию, поэтому большую роль в защите почвы от эрозии играют возделываемые сельскохозяйственные культуры.

Обследование территории состояло из четырёх этапов:

– первый этап, подготовительный: собраны и оцифрованы материалы 1972 г. обследования, в программе MapInfo составлен макет оцифрованной почвенной карты, на котором отмечена примерная сеть маршрутов движения;

– второй этап, полевой: заложены почвенные разрезы и отмечены GPS-координатами навигатором GarminMontana 680, уточнены границы эродированных земель согласно Общесоюзной инструкции по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований. Проведена также топографическая съемка обследуемой территории в масштабе 1:25000. Почвенные карты составлялись с помощью программ MapInfo, ArcGIS 10.4.1 и иллюстратора AdobeIllustrator CS5;

– третий этап, лабораторно-аналитический: проведён агрохимический анализ на содержание органического вещества в почвах методом Тюрина (ГОСТ 26213-91). Образцы почв отбирали по основным генетическим горизонтам почвенного профиля после закладки почвенного разреза, включающим гумусово-аккумулятив-

ный горизонт (А), иллювиальный (В) и почвообразующую породу (С). Плотность сложения почвы по генетическим горизонтам определяли методом Качинского цилиндрами объемом 100 см^3. При отборе почвенных образцов учитывали закономерности формирования почвенного покрова в ландшафтах. Генетические горизонты выделяли визуально. Масса пробы почв составила 0,2–0,3 кг;

– четвёртый этап, камеральный: уточнены наименования почвенных разновидностей согласно Классификации и диагностике почв СССР (1977), подсчитаны площади земель сельскохозяйственного назначения. Полученные результаты обработаны с помощью программных продуктов MicrosoftOfficeExcel 2003 и Statistica 10.0.

Лабораторные исследования проведены лабораторией ФГБУ «Центр агрохимической службы “Башкирский”». Виды анализов и методика их выполнения приняты согласно Общесоюзной инструкции по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. Содержание органического вещества определяли по ГОСТ 26213-91.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Было обследовано12486,8 га сельскохозяйственных земель Дмитриевского сельсовета Уфимского района. В почвенном покрове на землях сельскохозяйственного назначения в границах СП Дмитриевский сельский совет при корректировке почвенных карт выделено 7 типов (серые лесные, черноземы, лугово-черноземные, луговые, лугово-болотные, торфяные и почвы овражно-балочного комплекса), 9 подтипов, 22 разновидности почв.

Был заложен дополнительный почвенный разрез на карбоновом полигоне –опытном поле Учебно-научного центра ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ. Ниже приведено его описание (табл. 1). Почва – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый среднемощный на делювиальных карбонатных суглинках.

В табл.2 представлена экспликация почвенных разновидностей СП Дмитриевский сельсовет.

Таблица 1

Морфологические признаки чернозема выщелоченного
Morphological characteristics of leached chernozem

Горизонт	Глубина залегания, см	Характеристика
$A_{пах}$	0–12	Темно-серый, свежий, среднесуглинистый, комковато-пылеватый, рыхлое сложение, единичные мелкие корни, переход в следующий горизонт постепенный
A_1	12–38	Темно-серый, свежий, тяжелосуглинистый, структура зернисто-комковатая рассыпчатая, уплотненный, мелкие корни растений, кротовины, переход постепенный
A_1B	38–55	Темно-серый с буроватым оттенком, свежий, тяжелосуглинистый, структура комковато-ореховатая, уплотненный ближе к плотному, мелкие корни, кротовины, переход заметный
B	55–69	Бурый, плотный, свежий, тяжелосуглинистый, структура непрочнокомковато-ореховатая, заметны гумусовые затеки, единичные корни растений, переход постепенный
BC	69–98	Светло-бурый, свежий, тяжелосуглинистый, плотный, структура ореховато-призмовидная, переход постепенный. Вскипание от HCl на глубине 88 см слабое и сильное на глубине 96 см
C	98 и ниже	Светло-бурый, свежий, призмовидная структура, тяжелосуглинистый

Таблица 2

Экспликация почвенных разновидностей СП Дмитриевский сельсовет
Explication of soil varieties SP Dmitrievsky village council

Номер почвенной разности	Название почвы	Гранулометрический состав	Почвообразующие и подстилающие породы	Площадь, га
1	2	3	4	5
1	Темно-серая лесная	Легкоглинистый	Элювий, делювий бескарбонатных глин, суглинков	517,19
2	Темно-серая лесная слабосмытая	Легкоглинистый	Элювий, делювий бескарбонатных глин, суглинков	449,42
3	Темно-серая лесная глубоко-глеенная	Легкоглинистый	Древнеаллювиальные глины, суглинки	175,04
4	Чернозем слабовыщелоченный тучный мощный	Легкоглинистый	Элювий, делювий карбонатных глин, суглинков	58,26
5	Чернозем слабовыщелоченный тучный среднемощный	Тяжелосуглинистый	Элювий, делювий карбонатных глин, суглинков	671,41
6	Чернозем слабовыщелоченный среднемощный среднегумусный	Тяжелосуглинистый	Элювий, делювий карбонатных глин, суглинков	1910,81
7	Чернозем слабовыщелоченный среднегумусный слабосмытый	Легкоглинистый	Элювий, делювий карбонатных глин, суглинков	568,49
8	Чернозем слабовыщелоченный среднемощный среднегумусный слабосмытый	Тяжелосуглинистый	Элювий, делювий карбонатных глин, суглинков	341,23
9	Чернозем слабовыщелоченный маломощный среднегумусный слабосмытый	Тяжелосуглинистый	Элювиально-делювиальные карбонатные суглинки	170,32
10	Чернозем типичный карбонатный маломощный среднегумусный	Тяжелосуглинистый	Элювий известняков, карбонатных суглинков	125,33
11	Чернозем типичный маломощный среднегумусный слабосмытый	Тяжелосуглинистый	Элювий известняков, карбонатных суглинков	201,36
12	Чернозем типичный среднемощный среднегумусный	Тяжелосуглинистый	Делювий карбонатных суглинков	1384,94
13	Лугово-черноземная слабовыщелоченная среднемощная среднегумусная	Легкоглинистый	Элювий древнеаллювиальных карбонатных глин, суглинков	2338,65
14	Лугово-черноземная типичная среднемощная среднегумусная	Легкоглинистый	Элювий древнеаллювиальных карбонатных глин	727,37
15	Влажно-луговая выщелоченная среднемощная среднегумусная	Тяжелосуглинистый	Элювий древнеаллювиальных карбонатных глин	93,27

Окончание табл.2

1	2	3	4	5
16	Влажно-луговая карбонатная среднемощная среднегумусная слабозасоленная сульфатная солончаковая	Легкоглинистый	Элювий древнеаллювиальных карбонатных гипсоносных глин	1040,45
17	Влажно-луговая карбонатная среднемощная среднегумусная среднезасоленная хлоридно-сульфатная солончаковая	Легкоглинистый	Элювий древнеаллювиальных карбонатных гипсоносных глин, суглинков с некоторым содержанием хлоридов	138,76
18	Влажно-луговая карбонатная среднемощная среднегумусная сильнозасоленная хлоридно-сульфатная солончаковая	Легкоглинистый	Элювий древнеаллювиальных карбонатных гипсоносных глин, суглинков с некоторым содержанием хлоридов	61,08
19	Лугово-болотная карбонатная слабозасоленная хлоридно-сульфатная солончаковая	Легкоглинистый	Плотные, пластичные древнеаллювиальные глины, суглинки	200,59
20	Торфянисто-глеевая		Озерно-болотные отложения	1191,39
21	Торфяные		Озерно-болотные отложения	74,28
22	Овражно-балочные дерновые намытые		Делювиальные отложения	43,91
23	Карьер			3,25
Итого				12486,8

В районе исследований наибольшие территории заняты черноземными почвами – 5432,15 га, в т.ч. выщелоченные – 3720,52, типичные – 1711,63 га. На долю аллювиальных луговых почв приходится 2060,93 га земель. Серые лесные почвы представлены подтипом темно-серых лесных почв, которые занимают 1141,65 га. В градацию не вошли почвы овражно-балочные дерновые намытые и карьеры, которые занимают 47,16 га территории.

Одним из важных показателей почв, особенно используемых в сельскохозяйственном производстве, является гумусное состояние. По содержанию гумуса изучаемые почвы в большинстве среднегумусные, среднемощные (рис. 1, 2).

Органическое вещество является ключевым компонентом почвы, влияющим на ее физические, химические и биологические свойства, способствуя ее нормальному функционированию. Выгоды от большего содержания почвенного органического вещества включают улучшение качества почвы за счет увеличения удержания воды и питательных веществ, что приводит к большей продуктивности растений в естественной среде и в условиях культуры. Рациональное управление почвенным органическим углеродом и проблема деградации почвенного плодородия в последнее время становится все более актуальными.

Органическое вещество почв в определенной степени оказывает влияние на глобальные циклы углерода и климатические флуктуации, связанные с парниковым эффектом, и играет первостепенную роль в простом и расширенном воспроизводстве плодородия почв. Рассчитать приблизительную ежегодную скорость почвенной секвестрации углерода особой сложности не представляет. Однако теоретические расчеты не могут дать актуальную и достоверную информацию о движении почвенного углерода. Для того чтобы иметь достоверную информацию, необходимо провести практические расчеты на типичных почвенных разновид-

ностях применительно к конкретным зонам сельскохозяйственного районирования.

Исходя из этого нами был рассчитан запас углерода почв Дмитриевского сельского совета Уфимского района. Обследуемые участки сельскохозяйственных угодий имели неоднородный почвенный покров. В основном изучаемые участки – пахотные угодья, сенокосы и пастбища. Присутствовали участки пашни, занятые молодой порослью деревьев. В целом мощность гумусового горизонта черноземных почв в зависимости от подтипа и уровня эродированности составила от 25 до 82 см. Мощность гумусового горизонта серых лесных почв колебалась от 35 до 41 см. Аллювиальные луговые почвы имеют мощность от 48 до 75 см. Агрохимическая характеристика почв представлена в табл. 3.

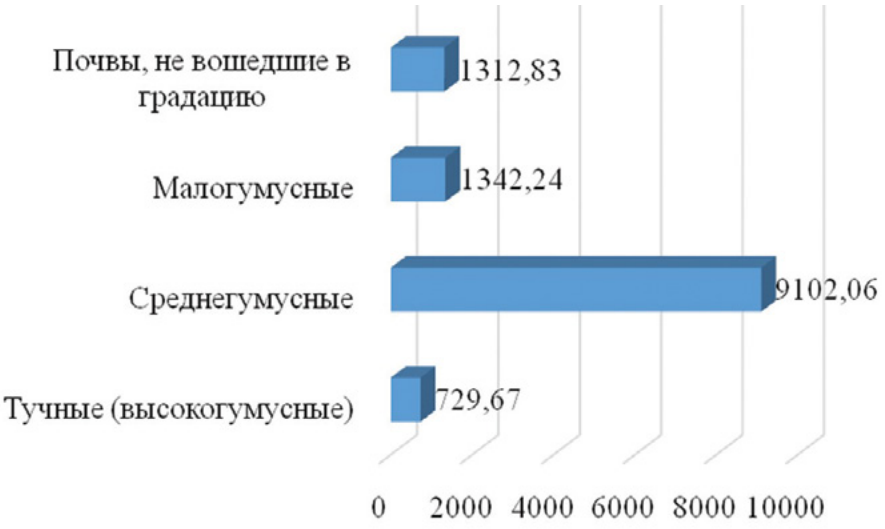

Рис. 1. Площади почв СП Дмитриевский сельсовет по содержанию гумуса
Soil areas of the joint venture Dmitrievsky Village Council for humus content

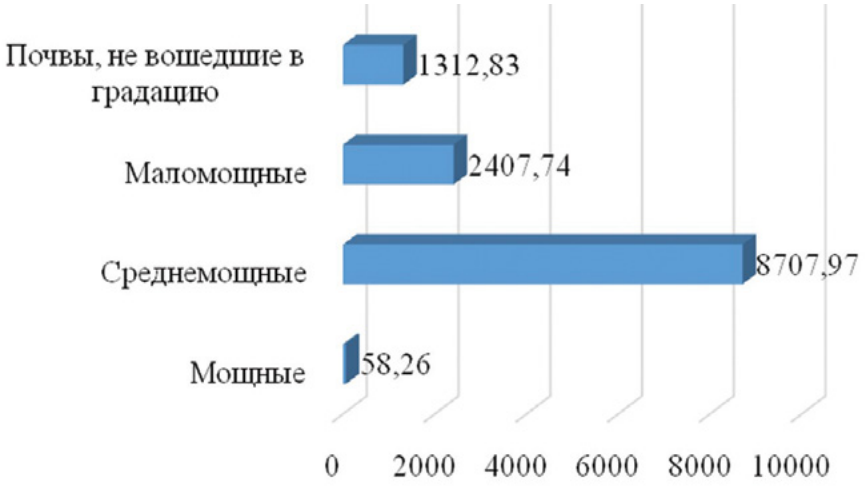

*Рис. 2.*Площади почв СП Дмитриевский сельсоветпо мощности гумусового горизонта
Soil area of the joint venture Dmitrievsky village council according to the thickness of the humus horizon

Таблица 3

Агрохимическая характеристика почв
Agrochemical characteristics of soils

Подтипы почв	Агрохимические показатели
Темно-серые лесные	Содержание гумуса 7,0–7,7 %; реакция почвенной среды нейтральная – 6,5; содержание подвижного фосфора колеблется от 82,0 до 155, обменного калия – 90 до 100 мг/кг
Черноземы выщелоченные	Содержание гумуса в зависимости от видового признака колеблется от 6,0 до 8,8%; реакция почвенной среды близка к нейтральной и нейтральная, pH 5,6–7,0; содержание элементов питания: подвижного фосфора – 51–160, обменного калия – 90–110 мг/кг
Черноземы типичные	Содержание гумуса в зависимости от видового признака колеблется от 8,4 до 9%; реакция почвенной среды нейтральная, pH 6,5–6,8; содержание элементов питания: подвижного фосфора – 45, обменного калия – 210 мг/кг
Лугово-черноземные	Содержание гумуса в зависимости от видового признака колеблется от 6,6 до 9%; реакция почвенной среды изменяется – у выщелоченных нейтральная, pH 6,5–6,6, у типичных pH 6,8; содержание элементов питания: подвижного фосфора – 43-83, обменного калия – 70–110 мг/кг
Влажно-луговые	Содержание гумуса 6,6–7,5%; реакция почвенной среды нейтральная, pH 6,4–6,5; содержание элементов питания: подвижного фосфора – 44–120, обменного калия – 150–170 мг/кг
Лугово-болотные	Содержание гумуса 8,5%; pH нейтральная – 6,5;содержание элементов питания: подвижного фосфора – 210, обменного калия – 110 мг/кг
Торфянисто-глеевые	Содержание гумуса 19,5%; pH 6,7 – нейтральная; содержание элементов питания: подвижного фосфора –130, обменного калия –360 мг/кг
Торфяные	Содержание гумуса – 19%; реакция почвенной среды нейтральная – pH 6,25; содержание обменного калия 220 мг/кг
Овраги	Показатели не определялись

По мнению многих исследователей, основной целью климатической стратегии является снижение выбросов парниковых газов и увеличение накопления углерода, которое достигается за счет восстановления биосферы планеты, где важнейшим компонентом являются почвы. Почва – глобальный самоочищающийся и самовосстанавливающийся естественный биосферный фильтр, от его работы зависят темпы поступления и миграции химических соединений в атмосферу и гидросферу. Почва – это наше национальное достояние, залог благополучия поколений [20].

Запасы углерода в исследуемых почвах определяли по формуле

$$С_{почва} = Орг\% \cdot Н \cdot Об.\ масса \cdot 58 / 100,$$

где $С_{почва}$ – запас углерода в пуле почвы, т С/га;

Орг% – содержание органического вещества в смешанном почвенном образце, %;

Н – глубина отбора проб почвы, мощность горизонта, см;

Об. масса – объемная масса почвы, г/см^3;

58/100 – коэффициент для перевода в единицы углерода.

Согласно методике количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов (Приказ Минприроды России от 27.05.2022 № 371, Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов: утв. распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 №20-р) содержание углерода в органическом веществе почв принимается равным 58 %.

Пересчет на запас углерода почвы производился с учетом объемной массы почвы (г/см^3).

Таблица 4

Содержание углерода по разновидностям почв Дмитриевского сельского совета Уфимского района
Carbon content by soil types of Dmitrievsky village council of Ufa region

№ п/п	Название почвы	Глубина взятия образца, см	Плотность сложения, г/см^3	Гумус, %	Площадь, га	Запасы углерода			
						по горизонтам, т/га	в гумусово-аккумулятивном горизонте, т/га	по горизонтам, т	в гумусово-аккумулятивном горизонте, т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Темно–серая лесная	0–24	1,08	7,0	517,19	105,23	189,68	54426,59	98102,25
		24–40	1,30	7,0		84,45		43675,66	
2	Темно–серая лесная слабосмытая	0–25	1,20	5,6	449,42	97,44	115,76	43791,48	52025,85
		26–35	1,30	2,7		18,32		8234,363	
3	Темно–серая лесная глубоко оглеенная	0–24	1,22	6,9	175,04	117,18	196,57	20510,94	34407,84
		24–41	1,32	6,1		79,39		13896,90	
4	Чернозем слабовыщелоченный тучный мощный	0–24	1,15	9,2	58,26	147,27	365,63	8580,16	21301,45
		24-43	1,16	8,8		112,49		6553,79	
		43–82	1,20	3,9		105,86		6167,49	
5	Чернозем слабовыщелоченный тучный среднемощный	0–20	1,10	9,1	671,41	116,12	223,37	77961,44	149974,90
		20–41	1,19	7,4		107,26		72013,48	
6	Чернозем слабовыщелоченный среднемощный среднегумусный	0–20	1,10	7,5	1910,81	95,70	212,28	182864,50	405626,70
		20–45	1,20	6,7		116,58		222762,20	
7	Чернозем слабовыщелоченный среднегумусный слабосмытый	0–20	1,10	8,1	568,49	103,36	154,55	58756,85	87859,63
		20–31	1,18	6,8		51,19		29102,78	
8	Чернозем слабовыщелоченный среднемощный среднегумусный слабосмытый	0–23	1,00	7,1	341,23	94,71	200,80	32319,26	68517,62
		23–48	1,18	6,2		106,08		36198,36	

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	Чернозем слабовыщелоченный маломощный среднегумусный слабосмытый	0–18	0,98	6,7	170,32	68,55	142,56	11675,27	24280,32
		18–38	1,16	5,5		74,01		12605,04	
10	Чернозем типичный карбонатный маломощный среднегумусный	0–25	1,20	7,6	125,33	132,24	132,24	16573,64	16573,64
11	Чернозем типичный маломощный среднегумусный слабосмытый	0–24	1,12	6,5	201,36	101,38	155,56	20405,34	31324,62
		24–37	1,24	5,8		54,28		10919,29	
12	Чернозем типичный среднемощный среднегумусный	0–22	1,08	8,4	1384,94	115,76	241,54	160318,90	334515,00
		22–39	1,20	8,4		99,39		137647,50	
		39–46	1,25	5,2		26,39		36548,57	
13	Лугово-черноземная слабовыщелоченная среднемощная среднегумусная	0–39	1,15	7,8	2338,65	202,90	258,09	474515,40	603592,00
		39–51	1,30	6,1		55,19		129076,60	
14	Лугово-черноземная типичная среднемощная среднегумусная	0–18	1,15	7,8	727,37	93,65	232,96	68115,87	169450,20
		18–38	1,2	7,3		101,62		73912,43	
		38–48	1,30	5,0		37,70		27421,85	
15	Влажно-луговая выщелоченная средне-мощная среднегумусная	0–28	1,05	2,8	93,27	47,75	87,97	4453,23	8205,37
		28–44	1,20	1,5		16,70		1557,98	
		44–70	1,30	1,2		23,52		2194,16	
16	Влажно-луговая карбонатная среднемощная среднегумусная слабозасоленная сульфатная солончаковая	3 –42	1,02	6,6	1040,45	163,99	201,49	170625	209638,70
		42– 60	1,20	2,0		25,06		26069,52	
		60–75	1,30	1,1		12,44		12944,24	
17	Влажно-луговая карбонатная среднемощная среднегумусная среднезасоленная хлоридно-сульфатная солончаковая	4 –36	1,05	7,6	138,76	166,62	234,25	23120,52	32504,59
		36 –51	1,20	3,3		34,45		4780,56	
		51 –73	1,30	2		33,18		4603,50	

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	Влажно-луговая карбонатная среднемощная среднегумусная сильнозасоленная хлоридно-сульфатная солончаковая	3 –23	1,05	7,5	61,08	105,05	125,72	6416,61	7679,20
		23 –50	1,20	1,1		20,67		1262,60	
19	Лугово-болотная карбонатная слабозасоленная хлоридно-сульфатная солончаковая	0–21	0,81	8,5	200,59	83,86	175,69	16821,34	35241,22
		21–60	1,01	3,5		79,96		16039,52	
		60–75	1,24	1,1		11,87		2380,36	
20	Торфянисто-глеевая	2 –12	0,41	19,5	1191,39	55,64	235,44	66295,13	280507,10
		12 –27	0,8	15,2		105,79		126039,50	
		27 –56	1,10	4		74,01		88172,39	
21	Торфяные	0–25	0,23	19	74,28	63,36	142,24	4706,75	10565,96
		25–50	0,20	22		63,80		4739,06	
		50–75	0,16	6,5		15,08		1120,14	
22	Овражно-балочные дерновые намытые				43,91				
23	Карьер				3,25				
	И т о г о				12486,8			2681894	2681894

О преимуществе данного метода расчета углерода почвы говорится в работах некоторых авторов. Дж. Форафельнер и др. [21] отмечают, что это доступный и очень полезный инструмент вычисления запаса углерода на основе концентрации органического вещества почвы и плотности сложения. Это особенно полезно при проведении метаанализа. Поскольку в оригинальных статьях наблюдения SOC часто представлены для нескольких подслоев, но не для полного почвенного профиля, метааналитики, как правило, извлекают все доступные наблюдения за исследование, что приводит к независимости размеров эффекта. С помощью этого инструмента можно «объединить» результаты всех слоев в один, независимый размер эффекта [21].

Запасы углерода по разновидностям почв приведены в табл. 4.

Почвенный органический углерод (углерод, содержащийся в почвенном органическом веществе) имеет решающее значение для здоровья почвы, плодородия и экосистемных услуг, в том числе производства пищевых продуктов. Его сохранение и восстановление имеет важное значение для устойчивого развития.

Содержание органического вещества в значительной степени зависит от характера и способа землепользования. Оно возрастает в почвах, занятых многолетними старовозрастными травами, независимо от подтипа почв. При возрастании степени смытости наблюдается уменьшение содержания углерода в почвах до минимального в сильносмытых почвах. Черноземные почвы в целом содержат больше углерода, чем серые лесные и аллювиальные почвы.

Следует отметить, что деградация почв очень сильно влияет на содержание органического вещества. Так, например, черноземы выщелоченные мощные аккумулируют его в гумусово-аккумулятивном горизонте 366 т/га, а черноземы выщелоченные маломощные – 143 т/га (рис. 3).

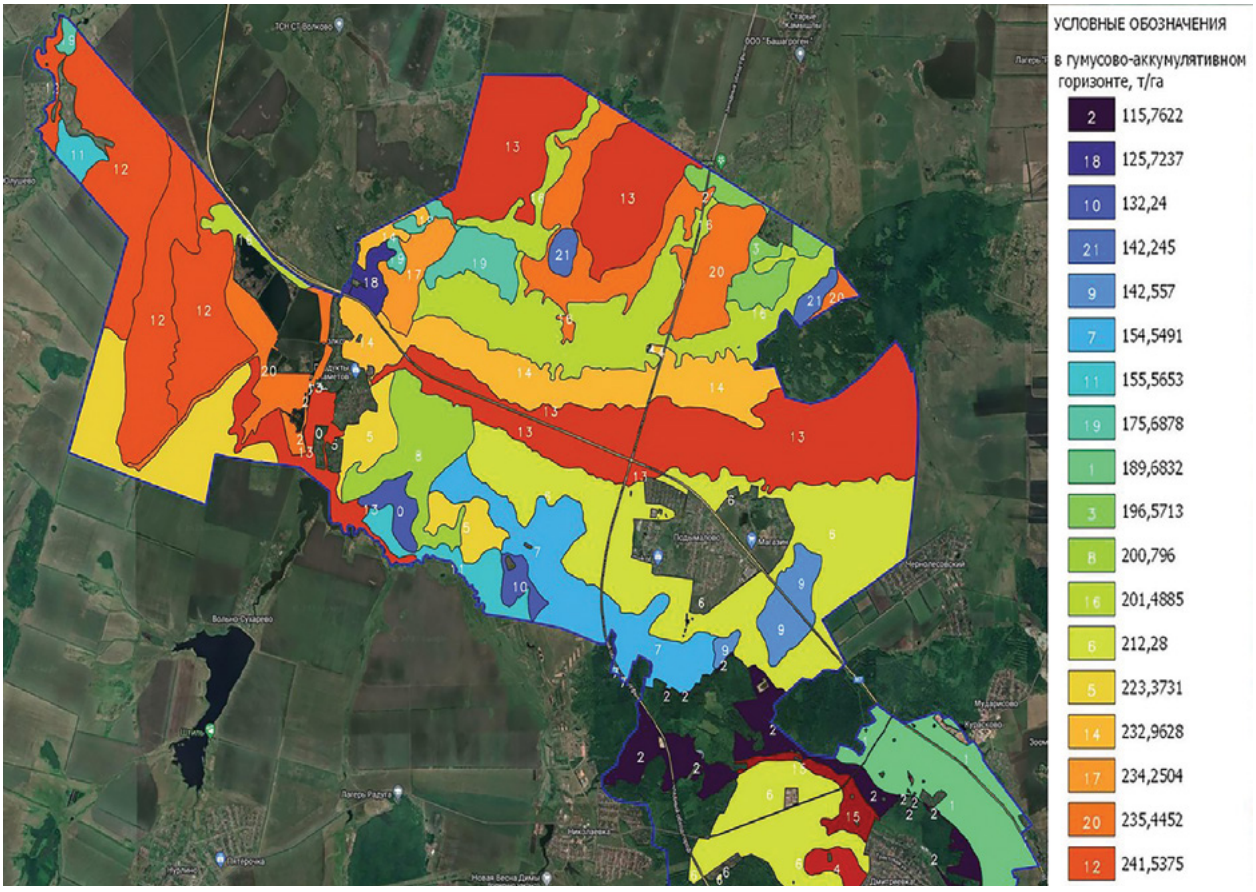

Рис. 3. Запасы углерода по почвенным разновидностям СП Дмитриевский сельсовет
Carbon stocks by soil varieties SP Dmitrievsky village council

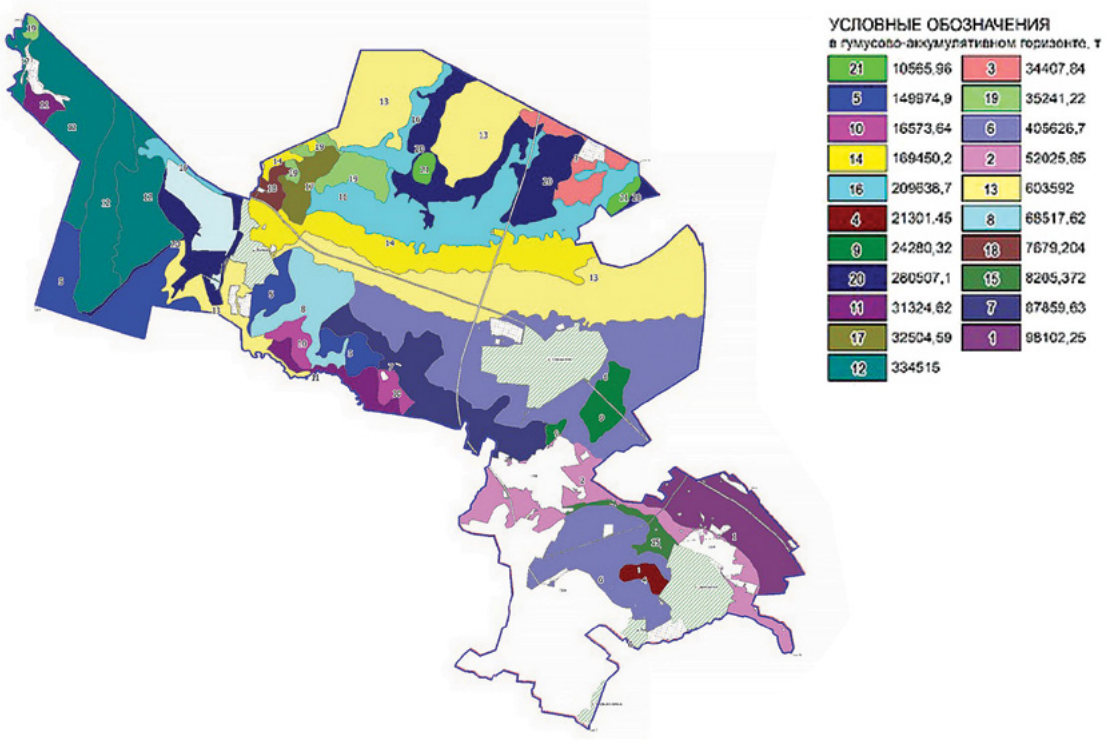

Рис. 4. Запасы углерода в гумусово-аккумулятивном горизонте почв СП Дмитриевский сельсовет, т.
Carbon reserves in the humus-accumulative horizon of soils of the joint venture Dmitrievsky village council, t

На рис. 4 показано, что самый большой вклад в запасы органического углерода вносят черноземные почвы.

ВЫВОДЫ

1. Преобладающим типом почв в Дмитриевском сельсовете Уфимского района являются черноземные почвы выщелоченного и типичного подтипов, сформированные в основном на делювиальных карбонатных суглинках.Запасы углерода в черноземных почвах на площади 5432,15 га составили 1965472 т, или 362 т на 1 га сельскохозяйственных угодий; в аллювиальных луговых и лугово-черноземных почвах – 790196,1 т на площади 4600,2 га, или 172 т/га; в подтипе темно-серых лесных почв – 318165,4 т на площади 1141,65 га, или 279 т/га.

2. Рассчитаны общие запасы органического углерода с учетом площадей, занимаемых отдельными разновидностями почв. Общий запас органического углерода в гумусово-аккумулятивном горизонте исследованного участка составляет 4616360 т.

3. Проведенное почвенное обследование дало пространственную информацию о состоянии земель сельскохозяйственного назначения, полученные материалы послужили основой для создания, оцифровки и корректировки почвенных карт. Оцифрованные карты с учетом современного состояния плодородия почв позволяют разработать проекты межхозяйственного и внутрихозяйственного землеустройства организаций агропромышленного комплекса, провести кадастровую оценку сельскохозяйственных земель, определить налог в соответствии с плодородием почвы и разработать мероприятия по повышению их плодородия.

Исследования проведены в рамках государственного задания Минобрнауки РФ «Программа создания и функционирования карбонового полигона на территории Республики Башкортостан «Евразийский карбоновый полигон» на 2022-2023 годы (Номер для публикаций: FEUR-2022-0001).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Третий* оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. – 124 с.
2. *Битва* за климат: карбоновое земледелие как ставка России: экспертный доклад / А.Ю. Иванов, Н.Д. Дурманов, М.П. Орлов [и др.]. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. – 120 с.
3. *Чернова О.В., Рыжова И.М., Подвезенная М.А.* Оценка запасов органического углерода лесных почв в региональном масштабе // Почвоведение. – 2020. – № 3. – С. 340–350.
4. *Asylbaev I.G., Gabbasova I.M., Khabirov I.K.* Bioaccumulation of Chemical Elements by Old-aged Pine Trees in the Southern Urals // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2018. – T. 13, N S11, – P. 8746–8751.
5. *Почва* – крупнейшее хранилище углерода // Ресурсосберегающее земледелие. – 2021. – № 3 (51). – С. 30–34.
6. *Когут Б.М., Семенов В.М.* Количественный подход к формулировке понятия «гумус» пахотных почв // Сб. докл. III Всерос. открытой конф. «Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов». – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2019. – С. 165–169.
7. *Семенов В.М., Когут Б.М.* Почвенное органическое вещество. – М.: ГЕОС, 2015. – 233 с.
8. *Влияние* агробиотехнологий на запасы и состав органического вещества чернозема типичного слабоэродированного / Н.П. Масютенко, А.В. Кузнецов, М.Н. Масютенко [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 10. – С. 45–50.
9. *The knowns*, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon / U. Stockmann, M. Adams, J. Crawford [et al.] // Agricult. Ecosyst. Environ. – 2013. – Vol. 164. –P. 80–99.
10. *Дегумусирование* и почвенная секвестрация углерода / Б.М. Когут, В.М. Семенов, З.С. Артемьева [и др.] // Агрохимия. – 2021. – № 5. – С. 3–13.
11. *Когут Б.М., Семенов В.М.* Оценка насыщенности почвы органическим углеродом // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2020. – Вып. 102. – С. 103–124.
12. *Пути* снижения выброса в атмосферу диоксида углерода на производственных процессах в растениеводстве / Р.Н. Хафизов, Ф.Х. Халиуллин, К.А. Хафизов [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16, № 3 (63). – С. 38–42.
13. *Soil* Organic Carbon: the hidden potential // Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. Italy. – FAO, 2017. – 77 p.
14. *Xu L., He N., Yu G.* Methods of evaluating soil bulk density: Impact on estimating large scale soil organic carbon storage // Catena. – 2016. – Vol. 144. – P. 94–101.
15. *Pedotransfer* functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil / V.M. Benites, P.L.O.A. Machado, E.C.C. Fidalgo [et al.] // Geoderma. – 2007. – Vol. 139, N 1–2. – P. 90–97.
16. *How* accurate are pedotransfer functions for bulk density for Brazilian soils? / R.S. Boschi, F. Bocca, M. Lopes-Assad, E.D. Assad // Sci. Agric. – 2018. – Vol. 75, N 1. – P. 70–78.
17. *Hollis J.M., Hannam J., Bellamy P.H.* Empirically-derived pedotransfer functions for predicting bulk density in European soils // Eur. J. Soil Sci. – 2012. – Vol. 63. – P. 96–109.
18. *A pedotransfer* function for estimating bulk density of forest soil in Japan affected by volcanic ash / K. Nanko, S. Ugawa, S. Hashimoto [et al.] // Geoderma. – 2014. – Vol. 213. – P. 36–45.
19. *Кадильников И.П., Тайчинов С.Н.* Почвы Башкирии. Т. 1.: Генезис, классификация, география, физические и химические свойства. – Уфа: АН БФАН СССР, 1973. – 459 с.
20. *Почвы* Башкортостана. Т. 2: Воспроизводство плодородия: зонально-экологические аспекты / Ф.Х. Хазиев, Г.А.Кольцова, Р.Я. Рамазанов [и др.]. – Уфа: Гилем, 1997. – 328 с.
21. *Quality* assessment of meta-analyses on soil organic carbon / J. Fohrafellner, S. Zechmeister-Boltenstern, R. Murugan, E Valkama // SOIL. – 2023. – Vol. 9. – P. 117–140. – https://doi.org/10.5194/soil-9-117-2023.

REFERENCES

1. *Tretii otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii. Obshchee rezyume* (Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary), Sankt-Peterburg: Naukoemkietekh-nologii, 2022, 124 p.

2. Ivanov A.Yu., Durmanov N.D., Orlov M.P. [i dr.], *Bitva za klimat: karbonovoe zemledelie kak Stavka Rossii: ekspertnyi doklad*, Moscow: Izd. Dom Vysshei shkoly ekonomiki, 2021, 120 p. (In Russ.)
3. Chernova O.V., Ryzhova I.M., Podvezennaya M.A., *Pochvovedenie*, 2020, No. 3, pp. 340–350. (In Russ.)
4. Asylbaev I.G., Gabbasova I.M., Khabirov I.K., Bioaccumulation of Chemical Elements by Old-aged Pine Trees in the Southern Urals, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2018, T. 13, No. S11, pp. 8746–8751.
5. *Resursosberegayushchee zem-ledelie*, 2021, No. 3 (51), pp. 30–34, URL: https://agriecomission.com/. (In Russ.)
6. Kogut B.M., Semenov V.M., *Sovre-mennye problem izucheniya pochvennykh I zemel'nykh resursov* (Modern problems of studying soil and land resources), Moscow: Pochv. in. im. V.V. Dokuchaeva, 2019, pp. 165–169. (In Russ.)
7. Semenov V.M., Kogut B.M., *Pochvennoe organicheskoe veshchestvo* (Soil organic matter), Moscow: GEOS, 2015, 233 p.
8. Masyutenko N.P., Kuz-netsov A.V., Masyutenko M.N. [i dr.], *Dostizheniya nauki I tekhniki APK*, 2021, T. 35, No. 10, pp. 45–50. (In Russ.)
9. Stockmann U., Adams M., Crawford J. [et al.], The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil or-ganic carbon, *Agricult. Ecosyst. Environ.*, 2013, Vol. 164, pp. 80–99.
10. Kogut B.M., Semenov V.M., Artem'eva Z.S. [i dr.], *Agrokhimiya*, 2021, No. 5, pp. 3–13. (In Russ.)
11. Kogut B.M., Semenov V.M., *Byulleten' Pochvennogoinstitutaim. V.V. Dokuchaeva*, 2020, Vyp. 102, pp. 103–124. (In Russ.)
12. Khafizov R.N., Khaliullin F.Kh., Khafizov K.A. [i dr.], *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, T. 16, No. 3 (63), pp. 38–42. (In Russ.)
13. Soil Organic Carbon: the hidden potential, *Food and Agriculture Organi-zation of the United Nations Rome*. Italy, FAO, 2017, 77 p.
14. Xu L., He N., Yu G., Methods of evaluating soil bulk density: Impact on es-timating large scale soil organic carbon storage, *Catena*, 2016, Vol. 144, pp. 94–101.
15. Benites V.M., Machado P.L.O.A., Fidalgo E.C.C. [et al.], Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil, *Geoderma*, 2007, Vol. 139, No. 1–2, pp. 90–97.
16. Boschi R.S., Bocca F., Lopes-Assad M., Assad E.D., How accurate are pedotransfer functions for bulk density for Brazilian soils? *Sci. Agric*, 2018, Vol. 75, No. 1, pp. 70–78.
17. Hollis J.M., Hannam J., Bellamy P.H., Empirically-derived pedotransfer functions for predicting bulk density in European soils, *Eur. J. Soil Sci.*, 2012, Vol. 63, pp. 96–109.
18. Nanko K., Ugawa S., Hashimoto S. [et al.], A pedotransfer function for estimating bulk density of forest soil in Japan affected by volcanic ash, *Geoderma*, 2014, Vol. 213, pp. 36–45.
19. Kadil'nikov I.P., Taichinov S.N., *Pochvy Bashkirii. T. 1.: Genezis, klassifikatsiya, geografiya, fiziche-skie-ikhimicheskiesvoistva* (Soils of Bashkiria. T. 1.: Genesis, classification, geography, physical and chemical properties), Ufa: AN BFAN SSSR, 1973, 459 p.
20. Khaziev F.Kh., Kol'tsova G.A., Ramazanov R.Ya. [i dr.], *Pochvy Bashkortostana. T. 2: Vosproizvodstvo plodorodiya: zonal'no-ekologicheskie aspekty* (Soils of Bashkortostan. T. 2: Reproduction of fertility: zonal-ecological aspects), Ufa: Gilem, 1997, 328 p.
21. Fohra-fellner J., Zechmeister-Boltenstern S., Murugan R., Valkama E., Quality assessment of meta-analyses on soil organic carbon, *SOIL*, 2023, Vol. 9, pp. 117–140, https://doi.org/10.5194/soil-9-117-2023.