

УДК 504.53; 504.53.062.4; 631.483

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ЗАСУШЛИВЫХ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ПОЧВАХ ЮГА РОССИИ

© 2025 г. А.В. Федотова, В.И. Емельяненко

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения РАН*

Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский просп., д. 97. E-mail: fedotova-a@vfanc.ru

Поступила в редакцию 30.01.2025. После доработки 01.02.2025. Принята к публикации 01.03.2025.

Засушливым регионам в исследованиях по управлению углеродом до сих пор уделялось мало внимания. В статье обсуждаются результаты оценки и сравнения запасов органического углерода в аридных почвах разной степени деградации в засушливой зоне южной части России (Астраханская область). На основе анализа данных, характеризующих 263 профиля почв, установлено, что с возрастанием степени деградации запасы углерода снижаются. Наблюдается значительная пространственная вариабельность как между биогеоценозами, так и внутри них. Результаты показали, что автоморфные почв имеют более низкую способность к депонированию органического углерода по сравнению с гидроморфными. В автоморфных почвах запасы углерода составляют 9.37 ± 1.02 т га⁻¹, что в 4 раза ниже, чем в гидроморфных, где они составляют 37.01 ± 2.34 т га⁻¹. Установлено, что гидроморфные солончаки прибрежных пространств корковых солончаков очень сильной степени деградации при полном отсутствии растительного покрова имеют запасы органического углерода на уровне автоморфных зональных почв.

Ключевые слова: углерод, аридные почвы, опустынивание, деградация, автоморфные почвы, гидроморфные почвы.

DOI: 10.24412/1993-3916-2025-2-61-68

EDN: JOPMDY

Многочисленные климатические модели прогнозируют, что в течение XXI века многие наземные экосистемы станут более сухими. Из-за увеличения глобальной засушливости площади аридных почв увеличатся на 13-23% (Naogem et al., 2023). Влияние засушливости на флору и фауну является предметом многих исследований. Изучению почвенных процессов на фоне изменения климата в засушливых регионах уделяется намного меньше внимания (Spinoni, 2020).

Ожидается, что изменение климата и изменение погодных условий в результате деятельности человека еще больше усугубят и без того тяжелую ситуацию. Почвы в засушливых регионах значительно более хрупкие и сильнее деградировали по сравнению с почвами других климатических зон. Негативные изменения в состоянии аридных почв прежде всего выражены в устойчивом снижении органического вещества почв и запасов почвенной влаги (Федотова и др., 2023).

Территории с высоким индексом аридности характеризуются сложными условиями окружающей среды, часто осложненными засолением почв. Засушливые почвы экологически уязвимы к смене землепользования, имеют плохую структуру и высокую скорость ветровой эрозии почв. Традиционные методы оценки функционирования экосистем и плодородия почв, разработанные для гумидных и полугумидных зон, не эффективны для засушливых районов (Hag Husein et al., 2021). Засоление засушливых почвы является значительным экологическим ограничением (Zhang et al., 2023), как и дефицит почвенной влаги для процессов гумусообразования.

Даже небольшое изменение запаса почвенного органического вещества может привести к значительным изменениям концентрации CO₂ в атмосфере. Учитывая такой сценарий развития, для максимального нивелирования влияния климатических изменений на экосистемы необходимо понимать протекающие процессы в засушливой окружающей среде. Важно разработать или усовершенствовать доступные технологии, которые могут смягчить воздействие лимитирующих факторов, связанных с почвой (Чотте и др., 2019).

До недавнего времени основное внимание уделялось депонированию и секвестрации углерода лишь тропическими лесами. В начале XXI века был предложен более целостный подход к исследованию углерода в разных климатических зонах в глобальном масштабе (The Terrestrial Carbon ..., 2008).

Интерес к засушливым регионам в углеродной повестке крайне мал. Но исследования показали, что общие запасы углерода в засушливых районах составляют более одной трети мировых запасов (Trumper et al., 2008; Yalin et al., 2023).

Для оценки секвестрационного потенциала засушливых территорий Юга России необходимы комплексные исследования масштабов поглощения природной средой карбонового следа с учетом особенностей почвенно-климатических условий. Основные климатические факторы, влияющие на функционирование экосистем в засушливых регионах, это температура воздуха и количество осадков. Повышение температуры влияет на динамику общего содержания углерода (C) в почве и может привести к разложению $C_{орг}$ (Conrad et al., 2017; Bayat et al., 2023; Crowther et al., 2017).

Снижение поступления углерода в почву в подавляющем большинстве случаев является следствием потери растительного покрова. Деграция экосистем снижает способность почвы накапливать углерод. В данной работе впервые были оценены запасы органического углерода в засушливых почвах разной степени и вида деграции в условиях интенсивного опустынивания.

Материалы и методы

Оценку запасов углерода в аридных почвах различной степени и вида деграции проводили на основе результатов собственных исследований в зоне пустынь и полупустынь юго-восточной части Восточно-Европейской равнины в пределах Прикаспийской низменности (Астраханская область).

Климат региона резко континентальный, с высокими температурами воздуха (максимальные – выше 40°C) и почвы (максимальные – выше 60°C) летом, холодной зимой (температура воздуха может быть ниже –30°C), малым количеством осадков (около 150 мм/год) и высокой испаряемостью с поверхности почвы. Для региона типичны восточные, юго-восточные и северо-восточные ветры. В весенний и осенний сезоны характерны длительные периоды (до нескольких недель) сильных восточных ветров, скорость которых достигает более 20 м/с. Ветровой режим способствует значительной дефляции почвенного покрова и резкому дефициту почвенной влаги.

Согласно результатам расчетов будущих изменений климата на территории России с помощью ансамбля глобальных климатических моделей, принявших участие в 6 фазе международного проекта сравнения объединенных моделей CMIP6 (Катцов и др., 2022), температура воздуха у поверхности почвы в Астраханской области к концу столетия повысится на $6.4 \pm 1.2^\circ\text{C}$ (рис. 1).

Засушливые почвы уже сейчас значительно ограничены доступностью питательных элементов для растений, которая, вероятно, еще больше снизится при увеличении засушливости и среднегодовой температуры воздуха (Jiao et al., 2016).

Климатические условия региона, особенности почвообразования и ветрового режима формируют особые гидротермические условия и способствуют развитию деграционных процессов в почвах (засоление, дефляция, опустынивание, в прибрежных зонах гидроморфизм и оглеение). Особенности гидрологического режима в дельте Волги способствуют образованию комплексного почвенного покрова.

Объектами исследования явились почвы типичных для данного региона природных ландшафтов и агроэкосистем, различающиеся по почвенно-гидрологическим и почвенно-климатическим условиям, а также степени и виду деграции. На каждом объекте были выбраны участки 50×50 м, на которых были заложены почвенные разрезы.

Объекты исследования условно ранжировали по виду и степени проявления деграции почвенного покрова (табл. 1). Степень деграции почв характеризовали пятью уровнями (Методы оценки ..., 2015): 1 – слабодеграцированные, 2 – среднедеграцированные, 3 – сильнодеграцированные, 4 – очень сильнодеграцированные (разрушенные), в т.ч. с уничтожением почвенного покрова.

Всего проанализированы результаты по 263 разрезам аридных почв в условиях опустынивания с различными формами проявления деграции: из них 50 – на очень сильно деграцированных почвах с полным отсутствием растительного покрова, 30 – на сильнодеграцированной почве, 146 – со средней степенью деграции, 47 – на слабодеграцированной почве.

Определения проводили в слое 0-30 см, основываясь на рекомендациях Продовольственной и сельскохозяйственной ООН для первичной оценки запасов углерода (FAO, 2017).

В исследовании применяли известные в почвоведении методы. Плотность почв (ρ_b) определяли по 10-сантиметровым слоям в 3-кратной повторности буровым методом Качинского (бур Качинского $V = 100 \text{ см}^3$; Полевые ..., 2001).

Содержание органического вещества ($C_{\text{орг}}$) в средних образцах почв, отобранных с указанных глубин, определяли по ГОСТ 26213-91 (1991) методом окисления бихроматом калия по Тюрину с фотометрическим окончанием.

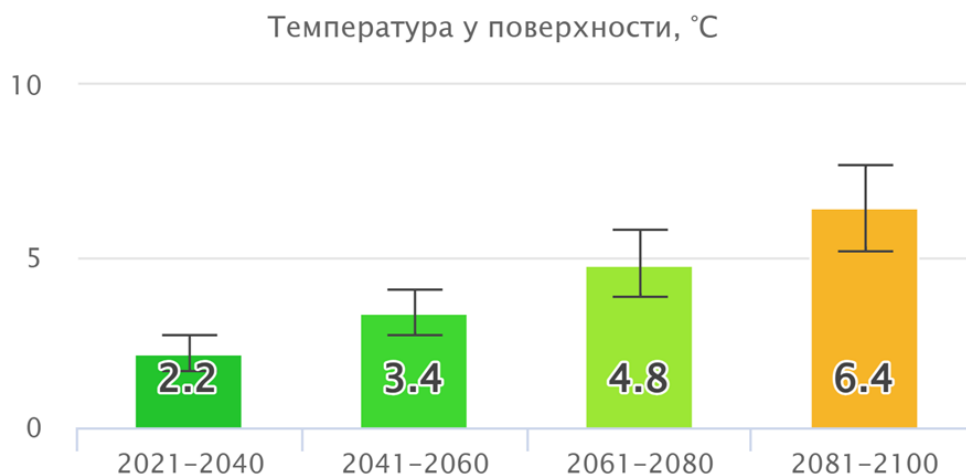


Рис. 1. Прогностические величины повышения средней годовой температуры воздуха у поверхности почвы в Астраханской области (Климатический центр Росгидромета, 2024).

Определение суммарных запасов органического углерода в почвенных слоях (англ. «Soil organic carbon» или SOC, т га^{-1}) проводили по известной формуле расчета запасов вещества с использованием величин мощности слоя (h , см), содержания углерода ($C_{\text{орг}}$, %) и плотности почвы (ρ_b , г см^{-3}), 0.58 – коэффициент пересчета: $\text{SOC} = 0.58 \cdot h \cdot C_{\text{орг}} \cdot \rho_b$ (1).

Расчет суммарных запасов углерода определяли простым суммированием результатов определения для каждого слоя: $\text{SOC} = \text{SOC}_{0-10} + \text{SOC}_{10-20} + \text{SOC}_{20-30}$ (2).

Статистический анализ данных проводили в среде программирования R при уровне значимости $p = 0.05$. Обработка результатов включала описательную статистику для выборок данных по слоям и объектам исследования. Статистическую значимость различий для выборочных средних значений SOC в различных почвах определяли с применением дисперсионного анализа. Парные множественные сравнения выполнены с использованием поправки Тьюки. Изучение влияния степени деградации на запасы органического углерода выполняли методом кластерного анализа.

Результаты и обсуждение

Интерес представляла оценка как биогеоценозной, так и внутрибиогеоценозной вариабельности. В силу климатических особенностей в засушливых почвах, как правило, фиксируется низкое содержание органического вещества, плохая доступность питательных веществ, высокое содержание карбонатов, засоление, неудовлетворительные влагопроводящие свойства и бесструктурность, что обуславливает низкую биопродуктивность, и, соответственно, почвы в засушливых регионах имеют низкий запас органического углерода (табл. 2).

Результаты позволили установить, что в зависимости от почвенно-климатических условий объекта исследования величина SOC имеет высокую вариабельность как между биогеоценозами, так и внутри (табл. 2; рис. 2). Парное сравнение выборочных средних показало статистически значимое различие величин SOC ($p < 0.05$) объекта AC-SM от других объектов. Кроме того, установлены значимые различия между запасами органического углерода в автоморфных и гидроморфных почвах. Медианы распределений для автоморфных почв смещены в сторону больших значений, для гидроморфных – в сторону меньших.

Наибольший запас органического углерода соответствует гидроморфной луговой дельтово-аллювиальной засоленной почве (АС-SM: 37.01 ± 2.34 т га⁻¹) и пашне (АС-НА: 20.98 ± 2.14 т га⁻¹).

Таблица 1. Общая характеристика объектов исследования.

Объект	Характеристика	Почва (Полевой определитель ..., 2008; IUSS Working Group WRB ..., 2006)
АС-BB	Вершина бугра Бэра Степень деградации – 3 Формы деградации – дефляция, засоление, осолонцевание, опустынивание	Бурая аридная солонцеватая, солончаковатая; <i>Calcisols Endosalic</i>
АС-SM	Околобугровое пространство бугра Бэра Степень деградации – 2 Форма деградации – засоление, опустынивание	Дельтово-аллювиальная постагrogenная луговая маломощная поверхностно солончаковатая карбонатная; <i>Fluvisols calcaric</i>
АС-НА	Пашня Степень деградации – 1 Форма деградации – дефляция, разрушение структуры	Агробурая аридная почва, агрогумусовая; <i>Haplic calcisols</i>
АС-НС	Залежь Степень деградации – 2 Форма деградации – дефляция, опустынивание	Постагrogenная бурая аридная; <i>Haplic calcisols</i>
АС-ZS	Приильменное пространство соленого водоема (корковый солончак) Степень деградации – 4 Форма деградации – засоление, оглеение, гидроморфизм	Гидроморфный солончак оглеенный; <i>Solonchaks Gleyic</i>
АС-ZP	Приильменное пространство пресного водоема. Степень деградации – 2 Форма деградации – оглеение, гидроморфизм	Дельтово-аллювиальная луговая маломощная оглеенная; <i>Solonchaks Gleyic</i>
АС-SB	Наносной эоловый песчаный массив. Степень деградации – 4 Форма деградации – дефляция, опустынивание	Песчаная почва; <i>Arenosols</i>

На объекте АС-SM (рис. 2) большой внутрибиогеоценозный размах значений SOC обусловлен несколькими факторами. Территория приурочена к пониженным элементам рельефа и имеет специфический водный режим. Нижняя часть почвенного профиля находится в зоне воздействия минерализованных грунтовых вод, глубина залегания которых зависит от высоты стояния воды в водотоках дельты Волги. Во время высоких и продолжительных паводков в период весенне-летних половодий возможно затопление территории поднявшимися грунтовыми водами. В это время на поверхности почвы происходит отложение плодородного наилка и различных взвесей, содержащихся в паводковой воде. Понижение уровня грунтовых вод и интенсивное испарение способствуют аккумуляции солей в профиле. За счет микрорельефа происходит перераспределение влаги и растворимых солей в пространстве. Почвы западин более увлажнены, поэтому процессы гумусообразования здесь протекают быстрее. В результате подобные ландшафты характеризуются значительной неоднородностью почвенного покрова по содержанию органического вещества. Отметим, что пестрота почвенного покрова сопровождается соответствующей сменой

растительности. Присутствие различных видов травянистых растений с различными фенологическими особенностями обеспечивает прирост растительного опада в течение всего вегетационного периода: анабазис безлистный (*Anabasis aphylla* L.), качим метельчатый (*Gypsophila paniculata* L.), лебеда татарская (*Atriplex tatarica* L.), мартук восточный (*Eremopyrum orientale* (L.) Jaub. & Spach) и пшеничный (*Eremopyrum triticeum* (Gaertn.) Nevski), полынь Лерхе (*Artemisia lercheana* Weber ex Stechm.), солянка южная (*Salsola tragus* L.), терескен серый (*Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst.), шведка (*Suaeda altissima* (L.) Pall.).

Таблица 2. Оценка содержания углерода в засушливых почвах.

Объект	Запасы органического углерода в слое 0-30 см, т га ⁻¹				
	п	Среднее значение	Медиана	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
АС-ВВ	30	9.37	11.05	5.59	60
АС-СМ	80	37.01	35.04	20.94	57
АС-НА	47	20.98	16.55	14.64	70
АС-НС	33	14.01	14.54	4.47	32
АС-ZS	31	9.51	8.28	3.04	32
АС-ZP	23	13.33	11.47	7.86	59
АС-SB	19	3.78	4.02	1.47	39

Почвы объекта АС-НА представляют собой агрогенную пашню. Распашка проводится до посадок и после уборки урожая. За счет комплексности выраженного микрорельефа территории глубина вспашки почвы неравномерная. Перемешивание поверхностного гумусового горизонта и нижележащего иллювиального обуславливают большую внутрибиогеоценозную пространственную вариабельность SOC в 30-сантиметровом поверхностном слое (коэффициент вариации – 70%).

Наименьший размах величин запасов $C_{\text{орг}}$ приурочен к очень сильно деградированному ландшафту песчаного массива эолового происхождения (АС-SB). Отсутствие растительного покрова на большей части массива обуславливают крайне малое содержание органического вещества и дефицит почвенной влаги. Однако существуют мнения, что не всегда песчаные почвы имеют низкий уровень органического углерода. Ряд исследований показал, что уровень SOC в поверхностном слое песчаных почв может достигать 50 г кг⁻¹ почвы, а в подслое – до 20 г кг⁻¹ (Jonczak, 2015). Однако этот углерод подвержен значительным потерям из-за интенсивного развития опустынивания.

Наибольший интерес вызывают процессы секвестрации и депонирования углерода гидроморфными почвами приильменных пространств. Особенностью этих почв является сезонное затопление в результате поднятия уровня воды в водотоках. Прибрежные территории пресных ильменей (АС-ZP), сохранивших связь с водотоками, во время весенне-летних половодий затопляются пресными поверхностными водами за счет поднятия уровня воды в водоёме. Приильменные пространства соленых ильменей (АС-ZS), потерявших связь с водотоками, подвергаются затоплению минерализованными грунтовыми водами в результате поднятия их уровня.

Ежегодный период затопления подобных территорий длится от 2 до 6 недель. За это время происходит осаждение частиц из воды (размер частиц зависит от высоты паводка) и отложение поверхностного слоя на поверхность почвы. Формируется аллювиальный профиль, для которого характерна специфическая слоистость. Толщина и гранулометрический состав слоя зависят от высоты и длительности паводка. Несмотря на отсутствие растительного покрова, осажденные илистые частицы богаты питательными веществами и являются носителями органического вещества, которое и определяет величину SOC.

Автоморфные почвы бугров Бэра оторваны (АС-ВВ) от влияния грунтовых вод. Интенсивно развиваются процессы опустынивания, дефляции. Растительный покров, представленный пустынной флорой, такой как солянка южная (*Salsola tragus* L.), камфоросма монпельская (*Camphorosma monspeliaca* L.), анабазис безлистный (*Anabasis aphylla* L.) и рогач песчаный (*Ceratocarpus arenarius* L.), сильно изрежен. Влажность поверхностного слоя находится на уровне гироскопической (2-3%). Высокие летние температуры воздуха прогревают почву до 70°C и более. Обеспечение

органическим веществом крайне низкое, величина SOC в среднем находится на уровне 10 т га^{-1} . Однако данные почвы содержат большое количество карбонатов, что является интересным в плане оценки запасов неорганического углерода.

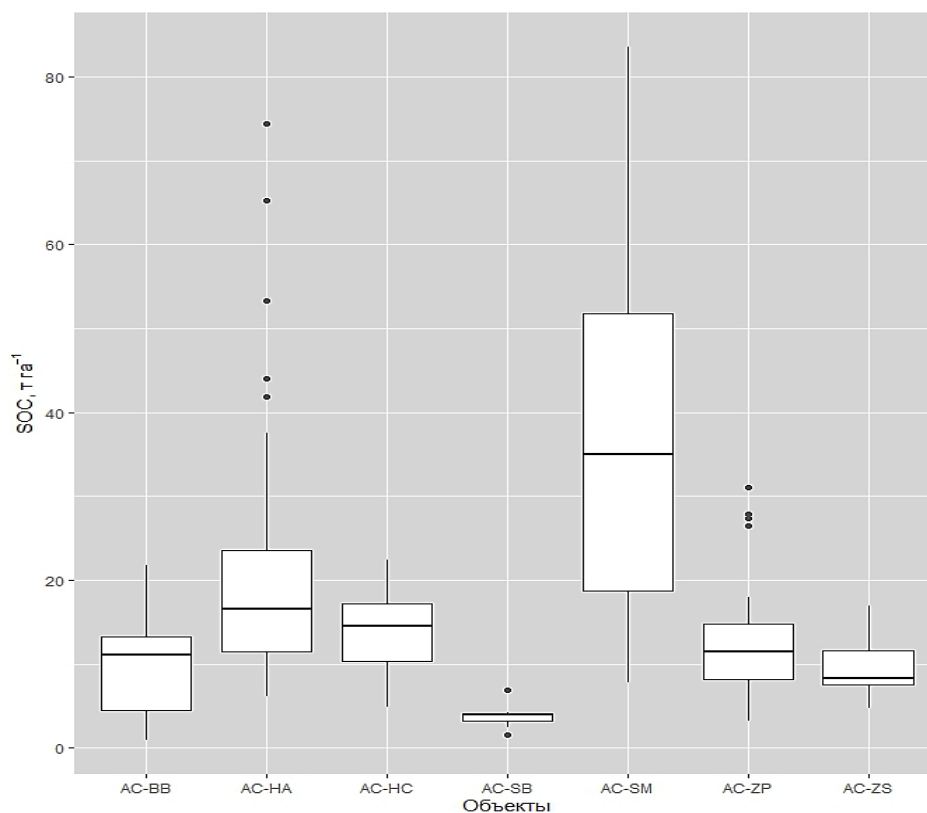


Рис. 2. Диаграммы размаха запасов органического углерода (SOC, т га^{-1}).

Состояние песчаных массивов (AC-SB) оценивается как наибольшая степень деградации и средняя величина SOC в поверхностном 30-ти сантиметровом слое не превышает 4 т га^{-1} .

В целом можно констатировать, что с увеличением степени деградации почвы запас органического углерода уменьшается. Однако необходимо отметить, что гидроморфные участки более устойчивы к «сохранности» органического углерода в силу наличия илистых частиц, насыщенных органическим веществом, и более высокой влажности почв. Это подтверждают результаты определения SOC в прибрежной зоне соленого ильменя, представляющего собой корковый солончак. Несмотря на полное отсутствие растительности в силу очень сильной степени засоления и деградации, запасы органического углерода здесь выше, чем в почвах бэровских бугров.

Выводы

Результаты проведенных исследований позволили впервые оценить запасы органического углерода в почвах типичных для Астраханской области ландшафтов. Установлено, что в целом величина SOC для исследованных аридных биогеоценозов не превышает 40 т га^{-1} . Внутрибиогеоценозная вариабельность запасов органического углерода определяется для естественных и постагрогенных почв в первую очередь микрорельефом, а также вариабельностью плотности почвы. Внутри биогеоценоза вариабельность величин SOC может достигать 70%. Наибольшая вариабельность запасов углерода (70%) характерна для аллювиально-луговых засоленных почв (англ. «Fluvisols calcaric»). Для агрогенных почв пространственная изменчивость определяется главным образом хозяйственным воздействием в виде вспашки и внесения удобрений.

Автоморфные почвы наиболее подвержены деградации и потере почвенной влаги, в силу чего их способность к депонированию и секвестрации углерода ниже, чему у гидроморфных и полугидроморфных почв.

Дальнейшее изменение климата в сторону увеличения засушливости повлечет за собой ухудшение автоморфных аридных почв, уже сейчас находящихся в неудовлетворительном экологическом состоянии.

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН № № FNFE-2025-0012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 26213-91. Методы определения органического вещества. Госстандарт СССР. 8с.
- Катцов В.М., Павлова Т.В., Говоркова В.А., Мелешко В.П., Спорышев П.В., Хлебникова Е.И., Школьник И.М.* 2022. Сценарные прогнозы изменений климата на территории России в XXI веке на основе ансамблевых расчетов с моделями CMIP6 // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. № 604. С. 5-54.
- Климатический центр Росгидромета. 2024 [Электронный ресурс <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/klimat/izmenenie-klimata-rossii-v-21-veke-cmip6> (дата обращения 1.12.2024)].
- Методы оценки степени деградации сельскохозяйственных земель: научное издание. 2015. Коломна: ИП О.М. Воробьев. 32 с.
- Полевой определитель почв России. 2008. М. 182 с.
- Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв: методическое руководство. 2001 / Ред. Е.В. Шейн. М.: Изд-во МГУ. 200 с.
- Федотова А.В., Умарова А.Б., Шваров А.П., Яковлева Л.В.* 2023. Динамика физических свойств почв и запасов гумуса в засоленных почвах в условиях опустынивания // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. № 115. С. 107-128.
- Чотте Жю Л., Айнекулу Э., Коуи А., Кэмпбелл Э., Влек П., Лал Р., Капович-Соломун М., фон Мальтиц Г., Куст Г., Баргер Н., Варгас Р., Гастроу С.* 2019. Углеродные выгоды практик устойчивого землепользования: руководство по оценке почвенного органического углерода для планирования и мониторинга нейтрального баланса деградации земель. Доклад Механизма научно-политического взаимодействия. Bonn, Germany: United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). 108 с
- Bayat O., Karimi A., May J.-H., Fattahi M., Wiesenberg G.L.B., Egli M.* 2023. High-resolution record of stable isotopes in soil carbonates reveals environmental dynamics in an arid region (Central Iran) during the last 32 ka // *Frontiers in Earth Science*. Vol. 11. Article No. 1154544.
- Conrad K.A., Dalal R.C., Dalzell S.A., Allen D.E., Menzies N.W.* 2017. The sequestration and turnover of soil organic carbon in Subtropical Leucaena-grass pastures // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 248. P. 38-47.
- Crowther T.W., Todd-Brown K.E.O., Rowe C.W., Wieder W.R., Carey J.C., Machmuller M.B., Snoek B.L., Fang S., Zhou G., Allison S.D., Blair J.M., Bridgham S.D., Burton A.J., Carrillo Y., Reich P.B., Clark J.S., Classen A.T., Dijkstra F.A., Elberling B., Emmett B.A., Estiarte M., Frey S.D., Guo J., Harte J., Jiang L., Johnson B.R., Kröel-Dulay G., Larsen K.S., Laudon H., Lavallee J.M., Luo Y., Lupascu M., Ma L.N., Marhan S., Michelsen A., Mohan J., Niu S., Pendall E., Peñuelas J., PfeiferMeister L., Poll C., Reinsch S., Reynolds L.L., Schmidt I.K., Sistla S., Sokol N.W., Templer P.H., Treseder K.K., Welker J.M., Bradford M.A.* 2016. Quantifying global soil carbon losses in response to warming // *Nature*. Vol. 540. P. 104-108.
- FAO. 2017. Soil Organic Carbon: the hidden potential. Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome [Электронный ресурс <http://www.fao.org/3/a-i6937e.pdf> (дата обращения 01.02.2022)].
- Hag Husein H., Lucke B., Bäumler R., Sahwan W.* 2021. A Contribution to Soil Fertility Assessment for Arid and Semi-Arid Lands // *Soil Systems*. Vol. 5. No. 3. P. 42.
- IUSS Working Group WRB. 2006. World Reference Base for Soil Resources 2006. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 103. Rome: FAO. 132 p.
- Jiao F., Shi X.R., Han F.P., Yuan Z.Y.* 2016. Increasing aridity, temperature and soil pH induce soil CNP

- imbalance in grasslands // Scientific Reports. Vol. 6. No. 1. P. 19601.
- Jonczak J.* 2015. Vertical Distribution of Cu, Ni and Zn in Brunic Arenosols and Gleyic Podzols of the Supra-Flood Terrace of the Słupia River as Affected by Litho-Pedogenic Factors // For. Res. Pap. Vol. 75. P. 333-341.
- Naorem A., Jayaraman S., Dang Y.P., Dalal R.C., Sinha N. K., Rao C.S., Patra A.K.* 2023. Agronomy, Soil constraints in an arid environment – challenges, prospects, and implications // Agronomy. No. 13 (1). P. 220.
- Spinoni J.* 2020. Future Global Meteorological Drought Hot Spots: A Study Based on CORDEX Data // Journal of Climate. No. 33 (9). P. 3635- 3661.
- The Terrestrial Carbon Group. 2008. How to Include Terrestrial Carbon in Developing Nations in the Overall Climate Change Solution. 39 p.
- Trumper K., Ravilious C., Dickson B.* 2008. Carbon in Drylands: Desertification, climate change and carbon finance // Proceedings of the A UNEP-UNDP-UNCCD Technical Note for Discussions at CRIC 7, Istanbul, Turkey, 3-14 November, 2008. 12 p.
- Yalin D., Qubaja R., Tatarinov F., Rotenberg E., Yakir D.* 2023. Soil moisture manipulation in a semi-arid pine forest demonstrates large changes in carbon turnover time with no change in soil carbon stock, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24-28 April, 2023. Article No. EGU23-11793.
- Zhang X., Shu C., Wu Y., Ye P., Du D.* 2023. Advances of coupled water-heat-salt theory and test techniques for soils in cold and arid regions: A review // Geoderma. Vol. 432. P. 116378.