

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2023-115-107-128



Ссылки для цитирования:

Федотова А.В., Умарова А.Б., Шваров А.П., Яковлева Л.В. Динамика физических свойств почв и запасов гумуса в засоленных почвах в условиях опустынивания // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. Вып. 115. С. 107-128. DOI: 10.19047/0136-1694-2023-115-107-128

Cite this article as:

Fedotova A.V., Umarova A.B., Shvarov A.P., Yakovleva L.V., Dynamics of physical properties of soils and humus reserves in salted soils under desertification, Dokuchaev Soil Bulletin, 2023, V. 115, pp. 107-128, DOI: 10.19047/0136-1694-2023-115-107-128

Динамика физических свойств почв и запасов гумуса в засоленных почвах в условиях опустынивания

© 2023 г. А. В. Федотова^{1*}, А. Б. Умарова^{2**}, А. П. Шваров²,
Л. В. Яковлева^{1***}

¹Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева,
Россия, 414056, Астрахань, ул. Татищева, д. 20а,

*<https://orcid.org/0000-0003-0241-1797>, e-mail: fedotova@asu.edu.ru,

***<https://orcid.org/0000-0002-2240-9291>.

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия,
119991, Москва, Ленинские горы, 1,

**<https://orcid.org/0000-0003-2124-8657>.

Поступила в редакцию 02.03.2023, после доработки 23.03.2023,
принята к публикации 27.06.2023

Резюме: Представлена динамика физических свойств и запасов гумуса в засоленных почвах засушливой полупустынной зоны. Основой для исследований явились данные наблюдений за 2010–2022 гг. в типичном бугровом ландшафте Астраханской области. Была заложена сетка 100 × 100 м. Исследования почв проводили в узлах сетки по слоям опробования. Изучали изменение физических свойств (влажность почвы; содержание солей по величине плотного остатка; плотность почвы; коэффициент фильтрации; порозность почвы; запас влаги), запасов

гумуса и солевого состояния засоленных почв в условиях опустынивания. Сравнительный анализ показал, что на исследуемой территории произошли негативные изменения и можно констатировать интенсивное развитие процессов деградации почв и опустынивания. Установлено, что в почвенном слое 0–40 см произошло значимое сокращение запасов почвенной влаги на фоне увеличения максимальных температур воздуха и поверхности почвы, а также изменения гидрологического режима в результате обваловки территории. Наблюдаются процессы дегумификации. Наиболее четко отрицательный тренд выявлен для луговых солончаков. Изменение гидрологического режима территории в результате обваловки способствует увеличению ареалов автоморфных почв в ландшафте и сокращению площадей луговых почв. Зафиксировано возрастание степени засоления и уплотнения для автоморфных зональных почв. Физическое разрушение бугров Бэра усугубляет процессы деградации и развития опустынивания в подобных условиях.

Ключевые слова: аридизация, деградация почв, засоление почв, дегумификация, запас влаги, плотность почвы, Астраханская область, бугры Бэра.

Dynamics of physical properties of soils and humus reserves in salted soils under desertification

© 2023 A. V. Fedotova^{1*}, A. B. Umarova^{2**}, A. P. Shvarov²,
L. V. Yakovleva^{1***}

¹*Astrakhan Tatishchev State University,
20a, Tatischev Str., Astrakhan 414056, Russian Federation,
*<https://orcid.org/0000-0003-0241-1797>, e-mail: fedotova@asu.edu.ru,
***<https://orcid.org/0000-0002-2240-9291>.*

²*Lomonosov Moscow State University,
1 Leninskie Gori, Moscow 119234, Russian Federation,
**<https://orcid.org/0000-0003-2124-8657>.*

Received 02.03.2023, Revised 23.03.2023, Accepted 27.06.2023

Abstract: The dynamics of the physical properties and reserves of humus in saline soils of an arid semi-desert zone is presented. The basis for the research was observational data for 2010–2022. in a typical hilly landscape of the Astrakhan region. A grid of 100 × 100 m was laid. Soil studies were carried out at the grid nodes along the sampling layers. We studied the change in physical properties (soil moisture; salt content according to the amount of

dense residue; soil density; filtration coefficient; soil porosity; moisture reserve), humus reserves and salt state of saline soils under desertification. Comparative analysis showed that negative changes have taken place in the study area and it can be stated that the processes of soil degradation and desertification are intensively developing. It has been established that in the soil layer of 0–40 cm there was a significant reduction in soil moisture reserves against the background of an increase in maximum air and soil surface temperatures, as well as changes in the hydrological regime because of the embankment of the territory. Dehumification processes are observed. The most clearly negative trend was revealed for meadow solonchaks. The change in the hydrological regime of the territory because of embankment contributes to an increase in the areas of automorphic soils in the landscape and a reduction in the areas of meadow soils. An increase in the degree of salinity and compaction was recorded for automorphic zonal soils. The physical destruction of the Baer's hills exacerbates the processes of degradation and the development of desertification in such conditions.

Keywords: aridization, soil degradation, soil salinization, dehumification, moisture reserve, soil density, Astrakhan region, Baer's hills.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема деградации почвенного покрова и опустынивания является неоспоримым фактом в глобальном масштабе (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/>). Можно говорить о катастрофическом развитии негативных процессов в почве практически во всех природно-климатических зонах. Для России наиболее сложная ситуация сложилась в южных засушливых регионах, усугубляемая развитием опустынивания.

Как правило, деградационные процессы экосистем, в том числе под влиянием климатических изменений, фиксируют по изменению состава растительных сообществ. В засушливых регионах индикаторами деградации и опустынивания является смещение видового состава растительности в сторону ксерофитов и галофитов (Яшин и др., 2012; Пугачева, 2020). По динамике растительных сообществ под влиянием климатических изменений существует большое число работ (Parmesan, Yohe, 2003; Dietrich et al., 2022), но особенности происходящих изменений в почвах освещены крайне скудно.

Однако происходящие изменения в растительном покрове

являются следствием нарушения экологических функций почвы, где именно физические свойства являются основой формирования лимитирующих факторов для развития растений. Важную роль в меняющихся климатических условиях имеет понимание вектора смещения физических свойств в условиях прогрессирующего опустынивания, осложненного засолением почв.

Термин “опустынивание” впервые использовал французский ученый Анри Обревиль в 1949 г. в докладе “Климат, леса и опустынивание в тропической Африке” ([Aubreville, 1949](#)). Опустынивание является следствием воздействия целого ряда факторов как природного, так и антропогенного характера и трактуется достаточно широко. Причиной опустынивания часто называют увеличение аридизации климата. Под понятием аридизации традиционно подразумевается сочетание дефицита влаги в атмосфере и в почве.

Дефицит почвенной влаги на фоне дефицита атмосферной влаги при глубоком залегании грунтовых вод, усиливающийся деградационными процессами, сопровождается изменением физических свойств/процессов. То есть ухудшаются водно-физические свойства почв, что, в свою очередь, ведет к “опустыниванию почв”. На это указывали Б.Г. Розанов, И.С. Зонн ([Розанов, Зонн, 1981](#)): “... степень аридизации почв можно количественно устанавливать в конкретных показателях водно-физических свойств и водного режима”.

А.Н. Золотокрылин ([2011](#)) утверждает, что динамика опустынивания является следствием взаимодействия процессов аридизации и деградации земель ([Золотокрылин, 2011](#)).

Однако в работе того же автора, спустя 10 лет, отмечено, что проведенные исследования трендов увлажнения в засушливых зонах Юга России показали взаимную компенсацию колебаний индекса аридности и отсутствие развития аридизации более чем за 100 лет. Авторы приходят к выводу, что основным фактором опустынивания все же является интенсивная деградация земель ([Золотокрылин, 2020](#)). А физическая деградация почв служит спусковым механизмом для большого количества опасных природных явлений, например, пыльных бурь, количество которых увеличилось в разы за последнее десятилетие в засушливых реги-

онах ([Zucca et al., 2022](#); [Leroy et al., 2022](#)).

Целью данного исследования явилось изучение динамики физических свойств и запасов гумуса засоленных почв в условиях опустынивания.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Анализ многолетних трендов (2000–2018 гг.) показал, что скорость роста деградации земель на фоне увеличения альbedo поверхности в засушливых регионах Европейской части России наиболее высока в Астраханской области, и здесь же отмечается положительный тренд для индекса аридности – около 5% ([Золотокрылин, 2020](#)).

Динамику физических свойств почвы, а также запасов почвенной влаги и гумуса изучали на территории заложенного в 2010 г. стационарного участка в Икрянинском районе на юго-западе Астраханской области в пределах западной периферии Волжской дельты и восточной окраины района Западных подстепных ильменей. К числу наиболее распространенных процессов деградации почв в этой зоне относятся засоление, дефляция, обесструктуривание. В южных районах – опесчанивание.

Объект исследования представляет собой типичный антропогенно измененный бугровой ландшафт на территории дельты Волги в Астраханской области, имеющий специфический водный режим, осложненный обваловкой территорий в 70-е годы XX в.

Климат резко континентальный. Годовое количество осадков – на уровне 180–200 мм. Длительность безморозного периода – 170–190 дней.

По данным Астраханского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, максимальные величины температуры воздуха за 2000–2022 гг. характеризуются устойчивой тенденцией к увеличению и часто превышают отметку +40 °С. Средняя годовая температура воздуха также имеет тенденцию к незначительному увеличению (рис. 1а). В течение указанного периода отклонение от климатической нормы находилось в положительных пределах и в среднем составило +1.15 °С (максимальное в 2010 г. – +2.11 °С, минимальное в 2003 г. – +0.10 °С). Климат характеризуется значительными амплитудами колебания температур

воздуха, как годовых, так и суточных.

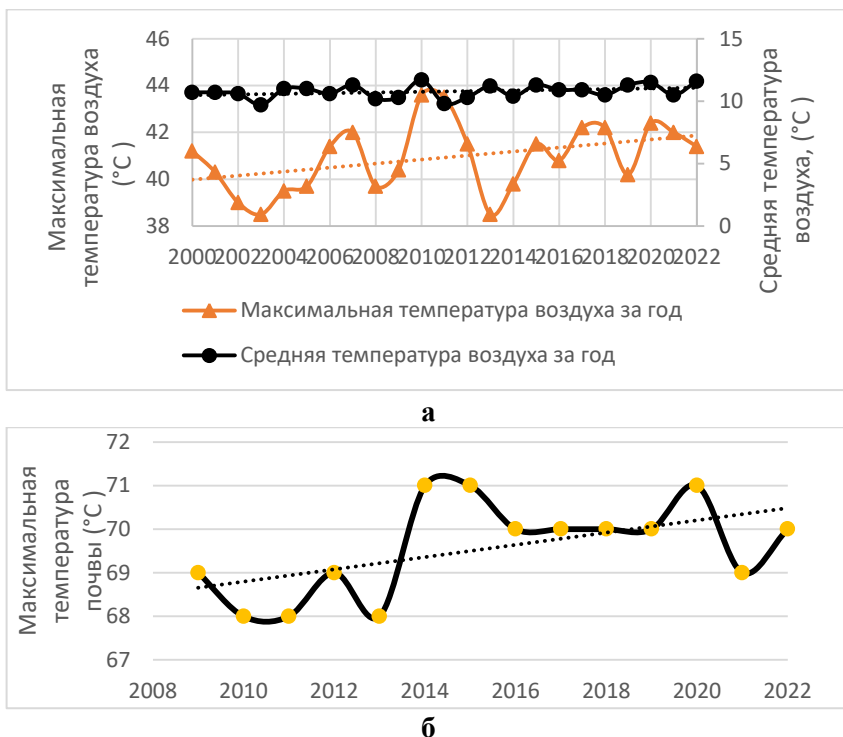


Рис. 1. Максимальные и средние температуры воздуха 2000–2022 гг. (а) и максимальные температуры поверхности почвы 2008–2022 гг. (б).

Fig. 1. Maximum and mean air temperatures 2000–2022 (а) and maximum soil surface temperatures 2008–2022 (б).

Максимальные температуры поверхности почвы в летний период выше +67 °С (рис. 1б) и имеют тенденцию к увеличению.

Рельеф представлен морской аккумулятивной равниной с ильменно-грядовыми ландшафтами, осложненной полигенетическими образованиями – бэровскими буграми и ильменями в межбугровом пространстве ([Нижняя Волга..., 2002](#)).

Особенностью территории является наличие обвалованных участков, представленных постагрогенными почвами, выведен-

ными их хозяйственного использования более 30 лет назад, ранее используемых для выращивания пасленовых и культуры риса. Обваловка существенно изменила гидрологический режим участка. Территория оказалась отрезанной от влияния поверхностных паводковых вод в период весенне-летних половодий. Источниками поступления влаги в почву остались немногочисленные осадки и минерализованные грунтовые воды. Началось интенсивное развитие деградационных процессов, в первую очередь засоление, сопутствующее опустыниванию. Это привело к формированию на значительной площади солончаков. Засоление на объекте исследования присутствует исторически долго, трансформация экосистемы вышла на стационарный уровень. Хорошо видны зоны деградации и даже деструкции в результате засоления.

Наблюдения за динамикой базовых физических свойств почв, солевого состояния, запасов гумуса и почвенной влаги проводили с 2010 по 2022 гг. Характер динамики некоторых физических свойств может существенно отличаться по периодам в зависимости от климатических и гидрологических условий в конкретный момент времени.

Для выбора срока проведения ежегодных исследований был проведен анализ многолетних архивных климатических и гидрологических данных за 2000–2009 гг., который показал, что наименьшие амплитуды колебания температуры воздуха (средняя месячная температура воздуха 26.08 °С), количества осадков (среднемесячное количество осадков 5.88 мм) и низкий уровень воды в водотоках дельты Волги (средний уровень воды по гидропосту рукава Бахтемир составляет 277.00 см) характерны для августа месяца. Исходя из этого, полевые исследования и отбор почвенных проб проводился в августе (ориентировочно с 10 по 20 августа). За время проведения полевых исследований на объекте дни с осадками отсутствовали. В этих условиях многолетние стационарные наблюдения позволили установить общие тенденции изменения почв, определяющиеся почвенно-климатическими параметрами конкретного участка.

Одними из важнейших параметров, характеризующих степень деградации и опустынивания, являются физические свойства почв: влажность, запас влаги, плотность, порозность, водопрони-

цаемость, а также солевое состояние и запасы гумуса.

Отбор проб для лабораторных анализов и стационарные определения почвенных свойств почв осуществляли непосредственно на исследуемом участке в узлах равномерной сетки с шагом 10 м на участке 100 × 100 м. Перепад высот составил 11.9 м (самая высокая отметка – вершина бугра Бэра).

Количество пробных площадок составило 120 шт., что достаточно для корректной аппроксимации результатов и достоверного анализа полученных выборок данных.

Исследованная территория разделена на три почвенных участка (ПУ) в зависимости от положения в рельефе: ПУ № 1 – вершина бугра Бэра; ПУ № 2 – восточный склон бугра Бэра (оба участка представлены зональными бурами аридными сильнозасоленными почвами, не подверженными влиянию антропогенного фактора); ПУ № 3 – шлейф восточной части бугра Бэра, солончак типичный луговой ([Полевой определитель..., 2008](#)). Все ПУ представляют собой генетически однотипные биогеоценозы, имеющие сходные уровни нагрузки.

При полевых исследованиях почвы использовали экспресс-методы определения физических свойств ([Полевые..., 2001](#)). Определение свойств и отбор проб для проведения лабораторных анализов осуществлялись по слоям 0–10 см, 10–20 см, 20–40 см и 40–50 см без учета генетических горизонтов, что вполне согласуется с задачами.

Влажность почвы (W , %) определяли на влагомере МХ-50; плотность почвы (ρ_b , г/см³) буровым методом с использованием бура Качинского объемом 100 см² в трехкратной повторности; водопроницаемость (K_f , см/час) почв послойно определяли методом трубок с переменным напором. Изучение солевого состояния почв проведено по величине плотного остатка. Содержание гумуса определялось по методу И.В. Тюрина ([ГОСТ 26213-2021..., 2021](#)).

Полученные массивы экспериментальных данных были структурированы в выборки по годам, далее по ПУ в соответствии с изучаемыми свойствами.

Статистический анализ данных выполняли в среде программирования R с использованием общеизвестных статистических методов (уровень значимости $p = 0.05$). Обработку результатов

проводили методами описательной статистики. Для оценки различия выборочных средних применяли непараметрический критерий Манна–Уитни, это позволяет избежать проверки каждого свойства на нормальность распределения в силу возможности несоответствия такового. Результаты визуализировали с использованием диаграммы размаха (Box, Whiskers).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение состояния объекта исследования за период 2010–2022 гг. представлено на рисунке 2. Значительно увеличились площади деградированных участков, лишенных растительности. В 2010 г. целостность бугра Бэра была сохранена. В 2022 г. бугор Бэра находится в стадии физического разрушения. Материал бугра используется населением для хозяйственных нужд.

Значительный интерес представляет изменение базовых физических свойств почвы, а также запасов влаги и гумуса в условиях развития деградационных процессов на фоне обваловки территории и повышения среднегодовых температур воздуха.

В условиях малой влагообеспеченности и крайне скудного растительного опада процессы гумусообразования значительно замедляются. За период наблюдений установлена отрицательная тенденция запасов влаги и гумуса (рис. 3).

Анализ результатов описательной статистики выборок данных по изученным свойствам за 2010 и 2022 гг. (табл. 1) показал, что запасы влаги в почве сократились на 13%, запасы гумуса – на 11%. Увеличилось содержание солей в почве (от 2.15 до 2.30%), которое изначально и так было очень высокое. Показатели порозности почвы уменьшились с 39 до 35%.

Как видно из таблицы 1, в абсолютных величинах изменения зафиксированы для всех выбранных почвенных свойств.

В целом для всей территории исследования проверка равенства выборочных средних с использованием критерия Манна–Уитни показала, что с 2010 по 2022 гг. статистически значимо в слое 0–40 см изменились величины влажности почвы ($p = 2.2E-16$), запасы почвенной влаги ($p = 2.61E-09$) и гумуса ($p = 0.0008$). Плотность, порозность, содержание солей и водопроницаемость почвы значимо не изменились.



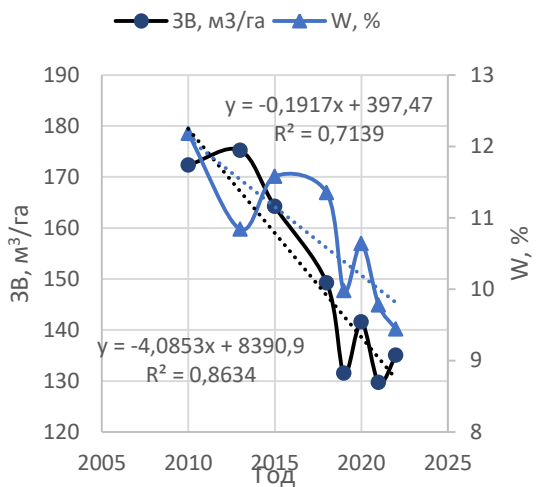
а



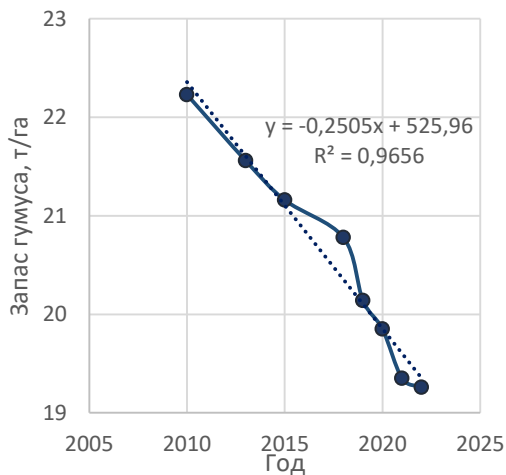
б

Рис. 2. Космический снимок объекта исследования. Астраханская область, Икрянинский район (даты снимков: **а** – 10.08.2010; **б** – 06.09.2022, рамкой обозначен стационарный участок).

Fig. 2. Satellite image of the study site. Astrakhan oblast, Ikryaninsky region (dates of images: **а** – 10.08.2010; **б** – 06.09.2022, stationary site is marked by the frame).



а



б

Рис. 3. Динамика запасов влаги (а) и гумуса (б).

Fig. 3. Dynamics of moisture reserves (а) and humus (б).

Таблица 1. Статистические показатели свойств почв (n = 120)

Table 1. Statistical indicators of soil properties (n = 120)

Параметр	mean		median	
	2010	2022	2010	2022
год				
W, %	12.18	9.44	11.98	9.48
Sol, %	2.15	2.30	1.61	1.83
ρ_b , г/см ³	1.42	1.43	1.43	1.45
Kf, см/час	3.84	3.39	2.13	1.74
ϵ , %	39.00	36.00	38.00	36.00
ЗГ, т/га	22.23	19.26	19.81	16.76
ЗВ, м ³ /га	172.35	135.02	150.28	128.86

Примечание. Здесь и далее: mean – среднее значение; median – медианное значение; W, % – влажность почвы; Sol, % – содержание солей по величине плотного остатка; ρ_b , г/см³ – плотность почвы; Kf, см/час – коэффициент фильтрации; ϵ , % – порозность почвы; ЗГ, т/га – запас гумуса; ЗВ, м³/га – запас влаги в почве.

Note. Hereinafter: mean – mean value; median – median value; W, % – soil moisture; Sol, % – salt content according to the value of solid residue; ρ_b , g/cm³ – soil density; Kf, cm/hour – filtration coefficient; ϵ , % – porosity of soil; ЗГ, t/ha – soil humus reserve; ЗВ, m³/ha – soil moisture reserve.

Как уже было отмечено, исследуемая территория находится в пределах бугрового ландшафта и обобщенные результаты, полученные для всей территории, не позволяют сделать достоверные выводы о происходящих изменениях, а лишь констатируют общие тенденции.

С целью уточнения временной динамики физических свойств по разным геоморфологическим элементам ландшафта анализировали выборки данных для каждого ПУ за 2010 и 2022 гг. Статистические результаты представлены в таблице 2 и на рисунке 4.

Анализ данных показал, что в зависимости от положения ПУ в рельефе, величины имеют значительную пространственную вариабельность.

Таблица 2. Статистические показатели свойств почв (n = 40 для каждого ПУ)

Таблица 2. Statistical indicators of soil properties (n = 40 for each soil site)

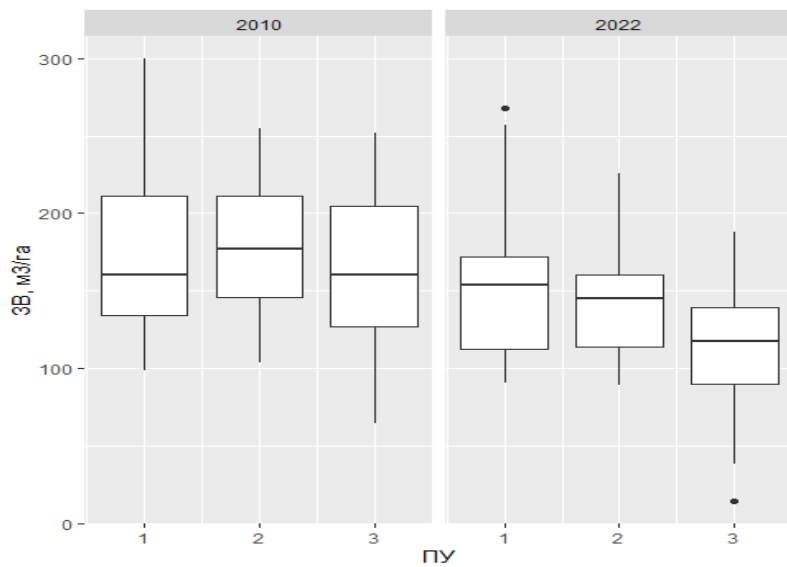
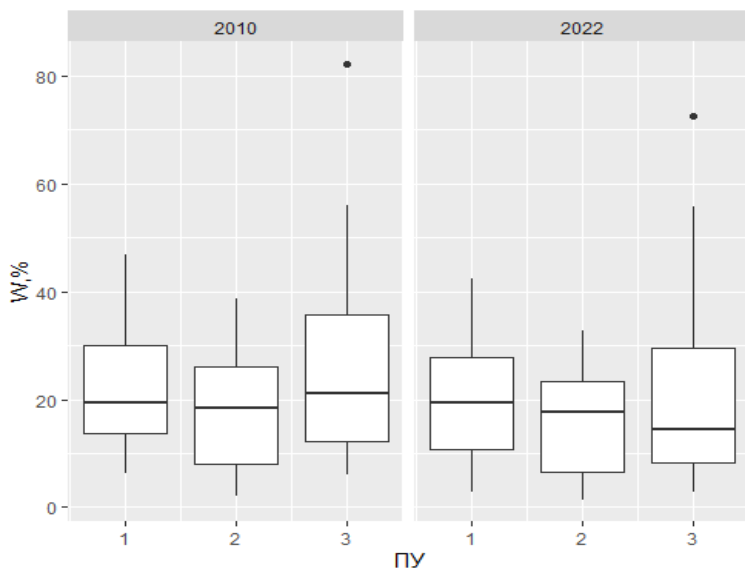
Параметр	mean		median		sd		R	
	2010	2022	2010	2022	2010	2022	2010	2022
ПУ № 1 (вершина бугра Бэра)								
W, %	12.27	10.40	11.75	10.02	3.66	3.05	13.75	12.11
Sol, %	2.13	2.55	1.78	2.20	1.40	1.58	4.97	5.51
ρ_b , г/см ³	1.44	1.45	1.44	1.45	0.08	0.08	0.37	0.36
Kf, см/час	3.24	2.84	1.48	1.00	5.24	5.05	30.30	30.30
ϵ , %	38.00	38.00	38.50	38.50	5.31	5.29	24.00	24.00
ЗГ, т/га	22.35	20.06	19.44	19.44	11.66	10.68	40.44	39.42
ЗВ, м ³ /га	175.92	150.55	160.29	153.63	52.68	45.34	201.62	177.50
ПУ № 2 (склон бугра Бэра)								
W, %	12.44	9.66	12.78	10.03	3.01	2.45	10.82	8.78
Sol, %	2.84	2.84	2.84	2.84	1.80	1.80	5.80	5.80
ρ_b , г/см ³	1.44	1.40	1.44	1.47	0.09	0.11	0.66	0.65
Kf, см/час	3.48	3.06	1.94	1.54	4.59	4.45	23.54	23.22
ϵ , %	36.00	36.00	35.00	34.50	6.71	6.93	23.00	23.00
ЗГ, т/га	17.88	16.00	18.36	17.58	10.67	9.63	36.65	31.21
ЗВ, м ³ /га	178.51	140.76	177.25	145.02	42.07	35.15	151.45	136.51

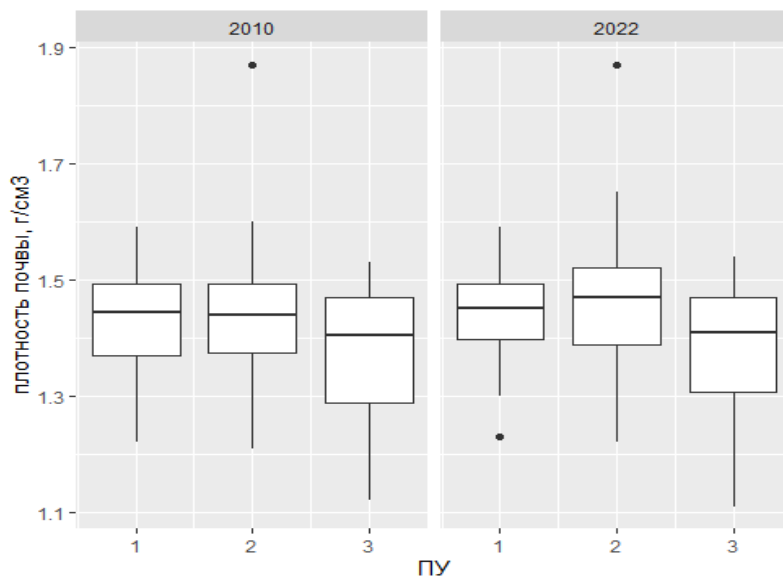
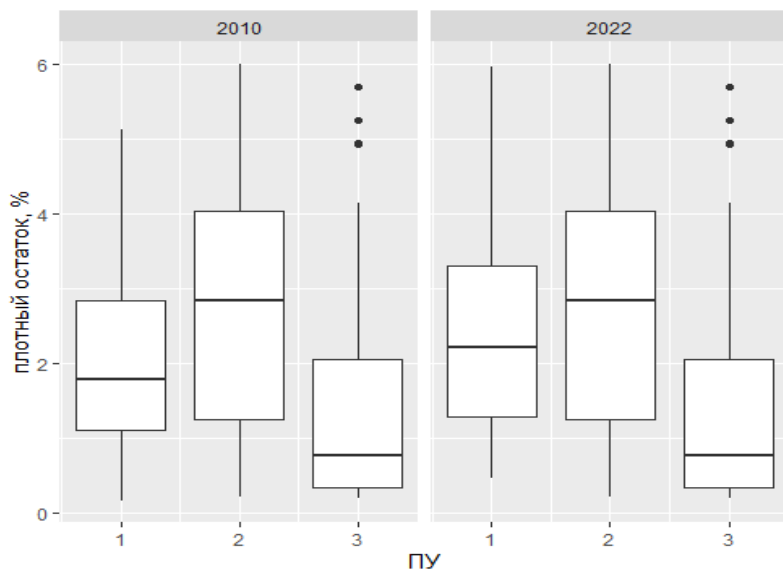
Продолжение таблицы 2
Table 2 continued

Параметр	mean		median		sd		R	
	2010	2022	2010	2022	2010	2022	2010	2022
ПУ № 3 (шлейф бугра Бэра)								
W, %	11.83	8.27	11.77	8.18	3.20	2.44	12.10	9.13
Sol, %	1.50	1.50	0.76	0.76	1.65	1.65	5.51	5.51
ρ_b , г/см ³	1.37	1.39	1.40	1.41	0.11	0.11	0.41	0.43
Kf, см/час	4.81	4.27	2.94	2.67	4.87	4.57	19.47	19.71
ϵ , %	41.00	40.00	41.00	41.50	7.85	8.55	30.00	34.00
ЗГ, т/га	26.46	21.71	21.19	17.07	17.84	17.07	76.04	69.64
ЗВ, м ³ /га	162.62	113.75	160.25	117.77	45.79	37.00	187.31	173.75

Примечание. Здесь и далее: R – размах; sd – стандартное отклонение.

Note. Hereinafter: R – values diapason; sd – standard deviation.





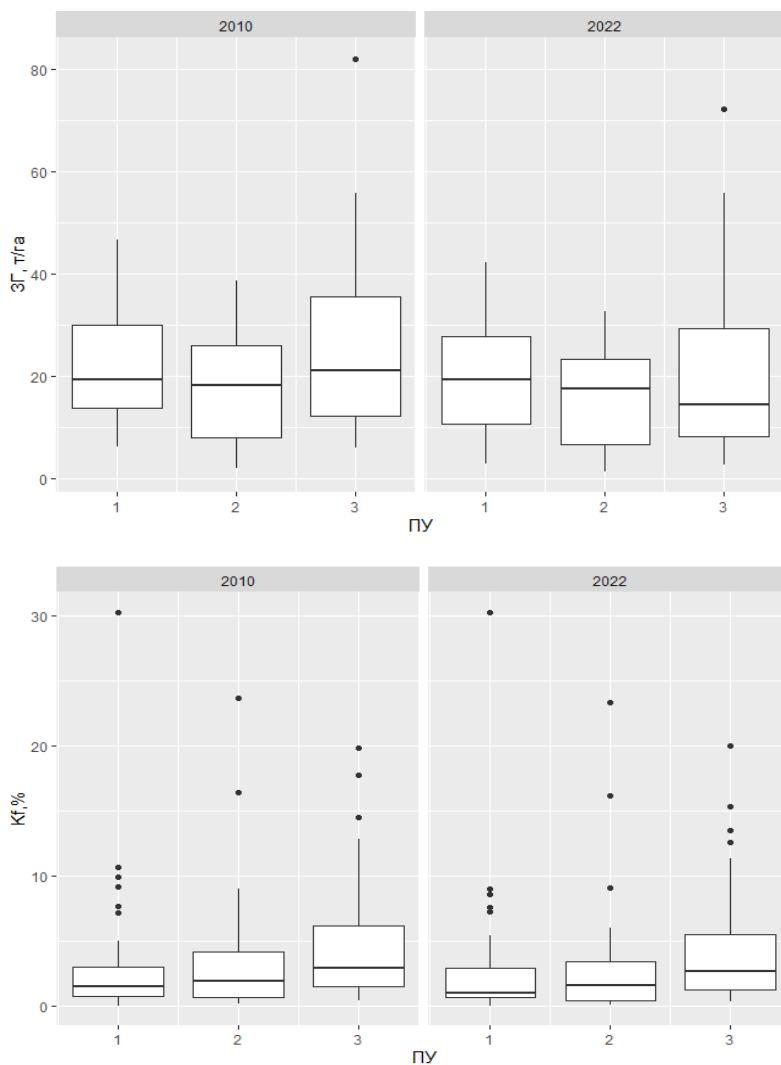


Рис. 4. Диаграммы размаха физически свойств в 2010 и 2022 гг. по почвенным участкам.

Fig. 4. Diagrams of values diapasons for physical properties in 2010 and 2022 on each soil site.

В результате дефицита почвенной и атмосферной влаги произошло уменьшение запасов почвенной влаги и гумуса повсеместно на всей исследованной территории. Наиболее выражена дегумификация в околобугровом пространстве, что связано еще и с уничтожением поверхностного слоя почвы в результате разрушения бугра Бэра. Содержание солей незначительно увеличилось лишь на вершине бугра (ПУ № 1).

Значимость различий в 2010 и 2022 гг. величин физических свойств и запасов гумуса по выделенным почвенным участкам устанавливали с помощью критерия Манна–Уитни (табл. 3).

Таблица 3. Уровень достоверности различий ($p = 0.05$) физических свойств и запасов гумуса на ПУ в 2010 и 2022 гг.

Table 3. Level of reliability of differences ($p = 0.05$) in physical properties and humus reserves on soil sites in 2010 and 2022

Параметр	ПУ № 1	ПУ № 2	ПУ № 3
W, %	0.023*	1.27E-4*	2.42E-06*
Sol, %	0.047*	0.248	0.857
ρ_b , г/см ³	0.566	0.250	0.654
Kf, см/час	0.554	0.421	0.424
ϵ , %	0.406	0.242	0.175
ЗГ, т/га	0.061	0.083	0.121
ЗВ, м ³ /га	0.033*	1.6E-4*	8.01E-06*

Результаты сравнения выборочных средних изученных свойств подтвердили, что статистически значимо ($p = 0.05$) за выбранный временной диапазон изменились влагообеспеченность почвы на всей территории исследования и солесодержание на вершине бугра Бэра.

Почвенный покров бугра Бэра представлен бурыми аридными засоленными почвами, отрезанными от влияния грунтовых вод. За счет малого количества растительности, представленной видами пустынной флоры (полынь, верблюжья колючка), почвы

подвержены ветровой эрозии и дефляции. Влажность почвы на поверхности в летний период находится на уровне гигроскопической (2–4%). В результате высоких температур воздуха и значительного нагрева почвы вершины бугра происходит интенсивное испарение влаги из нижележащих слоев почвы, что способствует подъему солей под действием капиллярных сил. Под влиянием немногочисленных осадков в почвенном профиле развиваются процессы осолонцевания, что проявляется в увеличении плотности автоморфных почв. Почвы склона бугра (ПУ № 2) характеризуются более высокими величинами ЗГ и ЗВ в силу более тяжелого гранулометрического состава за счет сноса материала с вершины бугра.

ПУ № 3 (гидроморфный луговой солончак) приурочен к пониженным элементам ландшафта. Нижняя часть почвенного профиля подвержена влиянию минерализованных грунтовых вод во время весенне-летних половодий на глубине порядка 1 м. До обваловки участок подвергался затоплению паводковыми водами. На фоне высоких температур воздуха происходит интенсивное испарение и пересыхание почвы. На поверхности образуются многочисленные трещины, что способствует значительной вариабельности величины коэффициента водопроницаемости почвы и перераспределению гранулометрических фракций. Физическое разрушение бугра приводит к выходу на поверхность подстилающей породы, что способствует прогрессирующей дегумификации, ветровой эрозии и в последствии появлению открытых песков.

В околобугровом пространстве за счет микрорельефа и изменения гидрологического режима произошло перераспределение солей в пространстве, однако количественное содержание значительно не изменилось.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение многолетней динамики физических свойств и запасов гумуса засоленных засушливых почв Астраханской области показало, что за период с 2010 по 2022 гг. развитие деградационных процессов обвалованных территорий усилилось на фоне повышения температуры воздуха. На статистически значимом уровне существенно уменьшились запасы влаги и гумуса в почве,

отмечается тенденция увеличения плотности и содержания солей в автоморфных почвах. Наибольшие негативные изменения почвенных свойств приурочены к пониженным элементам рельефа, где наблюдается устойчивая дегумификация почвы. Значительное уменьшение влагообеспеченности почв и дефицит атмосферной влаги в условиях изменения водного режима в результате обваловки территории приводят к увеличению скорости развития деградации и опустынивания почв. Устойчивая тенденция негативных изменений в почвенном покрове подобных территорий может привести в ближайшем будущем к необратимым изменениям и экологическому бедствию. Необходимы срочные меры по восстановлению подобных территорий в виде разваловки территорий и применения комплексных технологий по борьбе с опустыниванием и деградацией почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 26213-2021. Межгосударственный стандарт. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 7 с.
2. *Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б.* Аридизация засушливых земель европейской части России и связь с засухами // Известия РАН. Серия географическая. 2020. Т. 84. № 2. С. 207–217.
3. *Золотокрылин А.Н.* Опустынивание засушливых земель Европейской России в контексте изменений климата // Вестник Института комплексных исследований аридных территорий. 2011. Т. 2. № 2(23). С. 116–119.
4. Нижняя Волга: геоморфология, палеогеография и русловая морфодинамика / под ред. *Г.И. Рычагова* и *В.Н. Коротаева*. М.: ГЕОС, 2002. 242 с.
5. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
6. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв / под ред. *Е.В. Шеина*. М.: Изд-во МГУ, 2001. 200 с.
7. *Пугачева А.М.* Климатические флуктуации сухих степей и их роль в процессе демутиации // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 3 (84). С. 14–22.
8. *Розанов Б.Г., Зонн И.С.* План действий по борьбе с опустыниванием в СССР: оценка, мониторинг, предупреждение и борьба с ним // Проблемы освоения пустынь. 1981. № 6. С. 22–31.

9. Яшин И.М., Васенев И.И., Ворников Д.В., Петухова А.А. Экологическое состояние и деградация черноземов Приволжской возвышенности // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2012. № 1. С. 41–52.
10. *Aubreville André*. Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Paris: Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1949. 351 p.
11. *Dietrich P.P., Schumacher J., Eisenhauer N., Roscher C.* Eco-evolutionary dynamics modulate plant responses to global change depending on plant diversity and species identity // *Elife*. 2022. Vol. 11. P. e74054.
12. *Keselman H.J., Rogan J.C.* The Tukey multiple comparison test: 1953–1976 // *Psychological Bulletin*. 1977. Vol. 84. No. 5. P. 1050.
13. *Leroy S.A.G., Gracheva R., Medvedev A.* Natural hazards and disasters around the Caspian Sea // *Nat. Hazards*. 2022. Vol. 114. P. 2435–2478.
14. *Parmesan C., Yohe G.* A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems // *Nature*. 2003. Vol. 421(6918). P. 37–42.
15. The Sustainable Development Goals. Report 2022. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/>.
16. *Zucca C., Fleiner R., Bonaiuti E., Kang U.* Land degradation drivers of anthropogenic sand and dust storms // *CATENA*. 2022. Vol. 219. P. 106575.

REFERENCES

1. GOST 26213-2021. Interstate standard. Soils. Methods of determination of organic matter, Moscow: Russian Institute for Standardization, 2021, 7 p.
2. Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A., Titkova T.B., Aridizatsiya zasushliviyykh zemel' evropeiskoi chasti rossii i svyaz' s zasukhami (Aridization of arid lands in the European part of Russia and connection with droughts), *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2020, Vol. 84, No. 2, pp. 207–217.
3. Zolotokrylin A.N., Opustynivanie zasushliviyykh zemel' Evropeiskoi Rossii v kontekste izmenenii klimata (Desertification of arid lands in European Russia in the context of climate change), *Vestnik Instituta kompleksnykh issledovaniy aridnykh territorii*, 2011, Vol. 2, No. 2(23), pp. 116–119.
4. Zaitsev A.A., Ivanov V.V., Korotaev V.N., Labutina I.A., Luk'yanova S.A., Tszunshyan' Li, Rimskii-Korsakov N.A., Rychagov G.I., Svitoch A.A., Sidorchuk A.Yu., Sychev V.V., Chernov A.V., *Nizhnyaya Volga: geomorfologiya, paleogeografiya i ruslovaya morfodinamika* (Lower Volga: geomorphology, paleogeography and channel morphodynamics), Moscow: GEOS, 2002, 242 p.
5. *Polevoi opredelitel' pochv Rossii* (Field soil qualifier of Russia), Moscow: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2008, 182 p.

6. Shein E.V. (Ed.), *Polevye i laboratornye metody issledovaniya fizicheskikh svoystv i rezhimov pochv* (Field and laboratory methods for studying the physical properties and regimes of soils), Moscow: Izd-vo MGU, 2001, 200 p.
7. Pugacheva A.M., Climatic Fluctuations in Dry Steppes and Their Role in the Demutation Process, *Arid Ecosystems*, 2020, Vol. 10, No. 3, pp. 181–187.
8. Rozanov B.G., Zonn I.S., Plan deistvii po bor'be s opustynivaniem v SSSR: otsenka, monitoring, preduprezhdenie i bor'ba s nim (Action Plan to Combat Desertification in the USSR: Assessment, Monitoring, Prevention and Control), *Problemy osvoeniya pustyn'*, 1981, No. 6, pp. 22–31.
9. Yashin I.M., Vasenev I.I., Vornikov D.V., Petukhova A.A., Ekologicheskoe sostoyanie i degradatsiya chernozemov Privolzhskoi vozvysheynosti (Ecological state and degradation of chernozems of the Volga Upland), *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2012, No. 1, pp. 41–52.
10. Aubreville André, *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*, Paris: Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1949, 351 p.
11. Dietrich P.P., Schumacher J., Eisenhauer N., Roscher C., Eco-evolutionary dynamics modulate plant responses to global change depending on plant diversity and species identity, *Elife*, 2022, Vol. 11, e74054.
12. Keselman H.J., Rogan J.C., The Tukey multiple comparison test: 1953–1976, *Psychological Bulletin*, 1977, Vol. 84, No. 5, p. 1050.
13. Leroy S.A.G., Gracheva R., Medvedev A., Natural hazards and disasters around the Caspian Sea, *Nat. Hazards*, 2022, Vol. 114, pp. 2435–2478.
14. Parmesan C., Yohe G., A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems, *Nature*, 2003, Vol. 421(6918), pp. 37–42.
15. The Sustainable Development Goals. Report 2022. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/>.
16. Zucca C., Fleiner R., Bonaiuti E., Kang U., Land degradation drivers of anthropogenic sand and dust storms, *CATENA*, 2022, Vol. 219, 106575.