

Естественные науки. 2026. № 2 (23). С. 65–76.

Yestestvennyye nauki = Natural Sciences. 2025; 2(23): 65–76 (In Russ.)

Научная статья

УДК 631.46

doi 10.54398/2500-2805.2026.23.2.007

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ БУГРОВЫХ ЛАНДШАФТОВ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ

Фирсова Ксения Сергеевна, Яковлева Людмила Вячеславовна✉

Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева,
г. Астрахань, Россия

yakovleva_lyudmi@mail.ru✉

Аннотация. Представлены результаты исследования биологических свойств бурых аридных почв бэровских бугров с разной степенью деградации в центральной части дельты р. Волги. Проанализированы физико-химические параметры, определяющие биологическую активность почв (плотность почвы, полевая влажность, реакция почвенной среды, содержание гумуса). Установлено, что профиль исследуемых почв характеризуется слабощелочной и щелочной реакцией среды, маломощным гумусовым горизонтом, в котором содержание гумуса не превышает 0,9 %, и имеет выраженную дифференциацию по плотности и наличию карбонатных, солевых и гипсовых включений. Максимальные значения активности фермента каталазы (до 5,25 мл O₂/г) зафиксированы в основании бэровских бугров. Щелочная среда почвенного раствора определяет бактериальный тип микробного сообщества. На вершинах бугров биологическая активность угнетена из-за дефляции, интенсивной минерализации и высокой щелочности.

Ключевые слова: бурые аридные почвы, ферментативная активность, микробиота, дельта Волги, экологический мониторинг

Для цитирования: Фирсова К. С., Яковлева Л. В. Биологические свойства почв бугровых ландшафтов дельты Волги // Естественные науки. 2026. № 2 (23). С. 65–76. <https://doi.org/10.54398/2500-2805.2026.23.2.007>.

BIOLOGICAL PROPERTIES OF SOILS OF VOLGA DELTA HILLY LANDSCAPES

Firsova Kseniya S., Yakovleva Lyudmila V. ✉

Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia

yakovleva_lyudmi@mail.ru ✉

Abstract. The article presents the results of a study of the biological properties of brown arid soils of Baer knolls with varying degrees of degradation in the central part of the Volga River Delta. Physicochemical parameters determining soil biological activity (soil density, field moisture, soil reaction, and humus content) were analyzed. It was established that the profile of the studied soils is characterized by a slightly alkaline to alkaline reaction, a thin humus horizon in which the humus content does not exceed 0.9 % and exhibits pronounced differentiation in density and the presence of carbonate, salt, and gypsum inclusions. Maximum values of catalase activity (up to 5.25 ml O₂/g) were recorded at the base of the Baer knolls. The alkaline environment of the soil solution determines the bacterial type of the microbial community. At the tops of the knolls, biological activity is suppressed due to deflation, intense mineralization, and high alkalinity.

Keywords: brown arid soils, enzymatic activity, microbiota, Volga Delta, environmental monitoring.

For citation: Firsova K. S., Yakovleva L. V. Biological properties of soils of Volga Delta hilly landscapes. *Yestestvennye nauki = Natural Sciences*. 2026; 2 (23): 65–76. <https://doi.org/10.54398/2500-2805.2026.23.2.007>.

Введение. Дельта р. Волги представляет собой сложно организованную в структурно-функциональном отношении экотонную систему, расположенную в пределах двух платформ: значительная часть приурочена к докембрийской Восточно-Европейской платформе, самая южная — к эпигерцинской (надгерцинской) Скифской [5]. Исключение на сугубо равнинной территории составляют бэровские бугры — возвышенности высотой нескольких десятков метров [2].

Бэровские бугры в настоящее время представляют собою удлинённые параллельные ряды в виде гряд с варьирующей высотой от 5 до 12 м. Их основания и шлейфовые зоны сложены элювием хвалыньских глин. В средних и нижних частях склонов бугров происходит накопление делювия. К ложбинным же участкам дельты приурочены аллювиальные отложения [3].

Почвенный покров возвышенных элементов рельефа и бугров Бэра представлен автоморфными бурыми аридными почвами разной степени засоления и солонцеватости, что является зональным типом для территории дельты Волги. Обязательными условиями их формирования являются глубокое залегание грунтовых вод, отсутствие каких-либо паводковых затоплений, высокая температура воздуха при недостаточном увлажнении [10–11].

Биологические свойства определяют способность почвы аккумулировать органическое вещество, химические элементы и энергию [12; 14]. Изучение биологических свойств почв бугровых ландшафтов особенно актуально в связи с их высокой природной и хозяйственной уязвимостью. Разрушение бугров Бэра и изменение гидрологического режима дельты приводят к ухудшению состояния почвенного покрова, снижению содержания гумуса, переуплотнению почв и потере плодородия. Кроме того, колебания уровня Каспийского моря и стока Волги существенно влияют на водно-солевой режим, а значит, и на условия существования почвенной биоты.

Необходимость углубленного изучения биологических свойств почв дельты Волги обусловлена нарастающей аридизацией климата и усилением антропогенного прессинга на уникальные бугровые ландшафты дельты, которые являются ключевыми элементами биоразнообразия Астраханской области.

Материалы и методы исследований. Для изучения биологических свойств почв в центральной части дельты Волги были выбраны два типичных бугровых ландшафта с разной степенью деградации (рис. 1).



Рис. 1. Космоснимок объектов исследования: а) бугровой ландшафт № 1, расположенный вблизи дорог, сильно разрушенный склон; б) бугровой ландшафт № 2, незначительно подверженный разрушению в основании бэровского бугра

1. Ландшафт бугра Бэра № 1 расположен восточнее с. Началово в Приволжском районе Астраханской области, в 15 км от г. Астрахани (бугор имеет разрушение на склоне и у основания со стороны северной экспозиции, рис. 1а).

2. Ландшафт бугра Бэра № 2 расположен западнее с. Началово в Приволжском районе Астраханской области, в 12 км от г. Астрахани (бугор не разрушен, претерпевающим минимальное антропогенное влияние в виде укосов в околобугровом пространстве, рис. 1б).

На каждом бэровском бугре были заложены три почвенных разреза: на вершине, склоне и в основании бугра Бэра, проведено морфологическое описание исследуемых почв (табл. 1–2). Отбор образцов почв проводили с глубины 0–5, 5–10, 10–20 и 20–40 см.

Почвенный покров исследуемых бэровских бугров представлен бурыми аридными почвами, которые относятся к стволу постлитогенные, отдел светлогумусовые аккумулятивно-карбонатные [7–8].

Профиль исследуемых почв характеризуется маломощным гумусовым горизонтом (0–2 см) с поверхностной пористой корочкой, сменяющимся уплотнённым бурым ксерометаморфическим горизонтом с ореховато-призматической структурой. Ниже залегают аккумулятивно-карбонатные и гипсово-солевые горизонты. Вскипание от HCl отмечается с поверхности, что подтверждает карбонатность.

Таблица 1. Морфологическое описание и фото почвенного разреза бурой аридной почвы (вершина бэровского бугра № 1)

Бурая аридная почва	Горизонты	Морфологическое описание
	AKL, 0–2 см	Светло-серый, бесструктурный с поверхностной крупнопористой корочкой, сухой, рыхлый, обилие мелких корней, присутствует вскипание от HCl, переход по плотности
	BMK, 4–12 см	Светло-бурый, крупнокомковатый, уплотнённый, вскипает, переход по плотности
	BMK _{sn} , 12–41 см	Жёлто-бурый, плотный, наблюдается наличие мелких корней, присутствует вскипание от HCl, ореховато-призматическая структура, лёгкий суглинок, отсутствуют карбонаты и гипс, сухой, резкий переход по плотности и по наличию пятен гипса
	BCA, 41–61 см	Жёлто-бурый, очень плотный, встречаются одиночные мелкие корни, комковато-ореховатый, выделения карбонатов в виде белоглазки
	BC _{CA} , 61–100 см	Переходный к породе, содержит карбонаты, гипс, водорастворимые соли

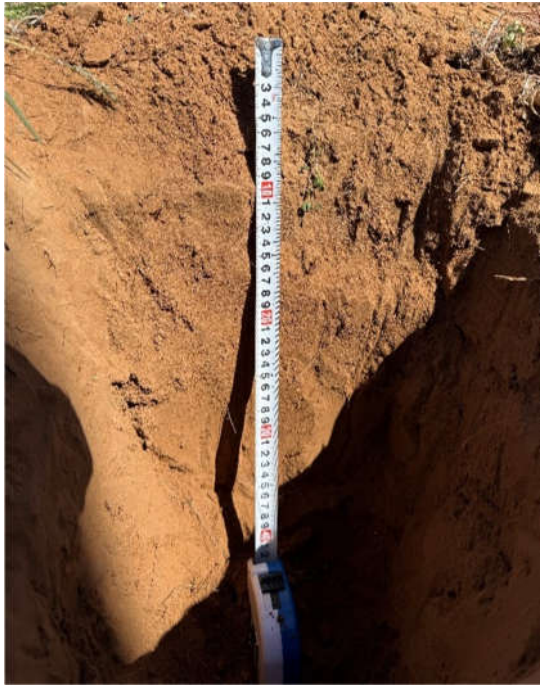
В профиле чётко выражена дифференциация по плотности, структуре и характеру включений (карбонаты, гипс, легкорастворимые соли).

В профиле бурых аридных почв (табл. 1–2) имеются опесчаненные горизонты желтовато-бурого цвета, переход по окраске и смене гранулометрического состава, наблюдаются корни растений. Вскипание с HCl присутствует. Каждый генетический горизонт имеет различный экологический ресурс.

В геоморфологическом отношении исследуемая территория расположена в Волжско-Камском геоморфологическом районе, соответствующем участку современной долины р. Волги с широким развитием комплек-

са плоских плейстоценовых террас, сложенных песчано-глинистыми аллювиальными отложениями.

Таблица 2. Морфологическое описание и фото почвенного разреза бурой аридной почвы (вершина бэровского бугра № 2)

Бурая полупустынная почва	Горизонты	Морфологическое описание
	AKL, 0–2 см	Светло-бурый, бесструктурный с поверхностной непрочной корочкой, сухой, рыхлый, обилие мелких корней, присутствует вскипание от HCl, переход по плотности
	BMK _{sp} , 2–23 см	Бурый, плотный, наблюдается наличие мелких корней, присутствует вскипание от HCl, ореховато-призматическая структура, лёгкий суглинок, отсутствуют карбонаты и гипс
	BCA, 23–57 см	Светло-бурый, в нижней части темнее за счёт влажности, большое скопление солей, плотный, блеск кристаллов гипса
	BCCA, 57–87 см	Влажный, бурый, постепенное исчезновение скоплений солей, более рыхлый

Физические свойства почв (влажность, плотность почвы) определяли общепринятыми полевыми и лабораторными методами [1; 9]. Реакцию почвенного раствора (pH) определяли с помощью портативного потенциометра «Эксперт-pH». Общее содержание гумуса определялся титриметрическим методом по Тюрину [4]. Каталазную активность почвы определяли газометрически по Галстяну [6]. Для определения биологической активности использовался подсчёт численности азотобактерий методом посева на плотные питательные среды.

Результаты исследования и их обсуждение. Плотность почвы и pH являются важными факторами, влияющими на биологическую активность почв [13]. Изменение плотности, особенно переуплотнение, приводит к деформации почвы и уменьшению общей порозности. Это напрямую влияет на распределение микроорганизмов в поровом пространстве, что является ключевым фактором, контролирующим трансформацию органического вещества. Для нормального функционирования биоты оптимальные значения плотности находятся в пределах от 1,07 до 1,26 г/см³.

На рисунке 2 представлены результаты исследования плотности почв в бугровых ландшафтах.

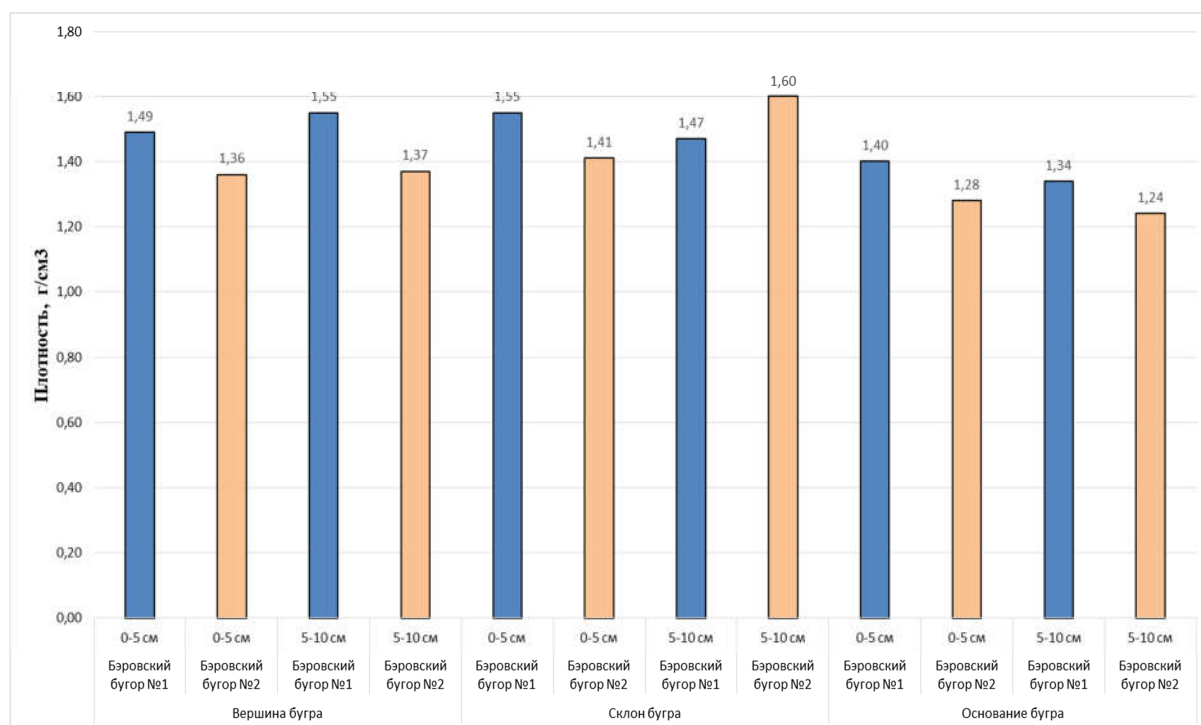


Рис. 2. Результаты исследования плотности почв в бугровых ландшафтах

Значение плотности на обоих исследованных буграх находится в пределах для естественных ландшафтов и не достигают величины выше $1,7 \text{ г/см}^3$ на глубине от 0 до 10 см. Плотность почвы закономерно снижается от вершины к основанию: от $1,49$ до $1,40 \text{ г/см}^3$ для бэровского бугра № 1 и от $1,36$ до $1,28 \text{ г/см}^3$ для бэровского бугра № 2 на глубине 0–5 см.

Полевая влажность — один из ключевых факторов, определяющих жизнь почвы: она управляет активностью микроорганизмов, скоростью разложения органики и может повлиять на состав микробного сообщества. На рисунке 3 приводятся результаты изучения полевой влажности почв в бугровых ландшафтах.

Значение влажности на глубине 5–10 см выше, чем на глубине 0–5 см. Это связано с тем, что верхний слой подвержен интенсивному испарению и иссушению ветром.

Высокое значение полевой влажности на глубине 5–10 см на вершине бэровского бугра связана с утяжелением гранулометрического состава, что способствует удержанию влаги в почве.

Реакция почвенного раствора характеризуется слабощелочной и щелочной. Значения pH варьируют от 7,28 до 8,16. Большинство значений находятся в диапазоне 7,3–7,9 (табл. 4).

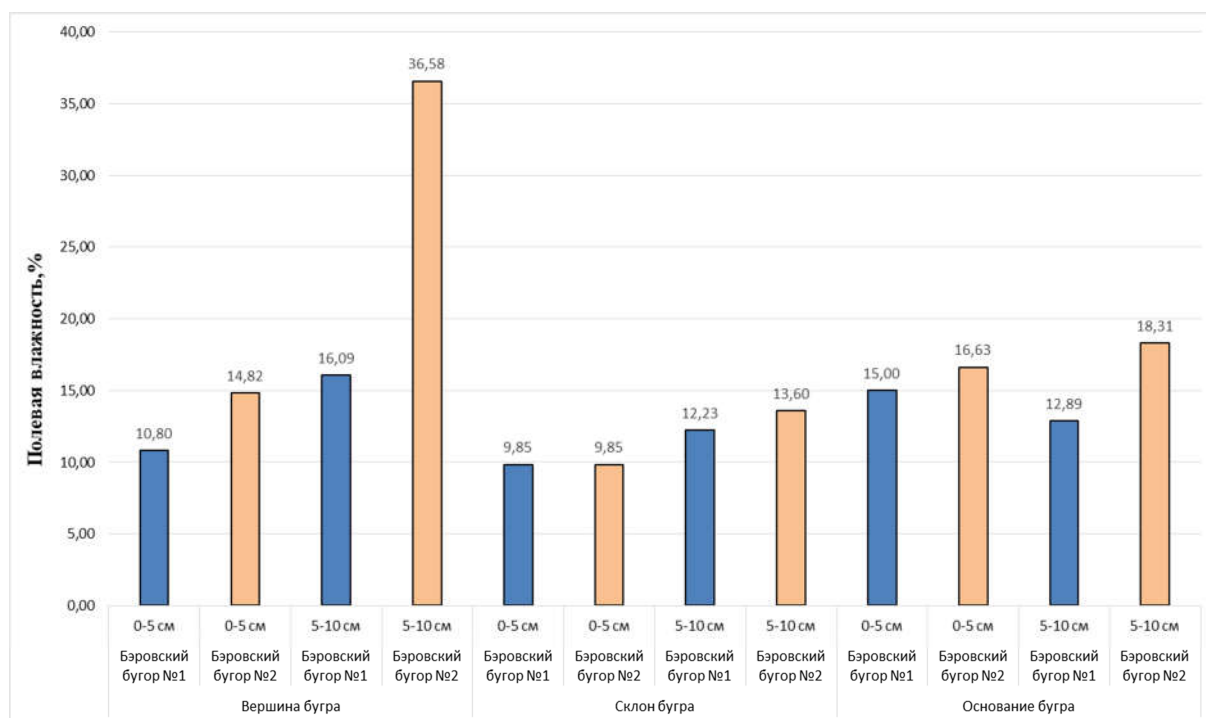


Рис. 3. Результаты исследования полевой влажности в бугровых ландшафтах

Таблица 4. Результаты исследования pH почвенного раствора

Место взятия пробы		Глубина, см	pH	Реакция
Бэровский бугор № 1	Вершина бугра Т1 (В)	0–5	8,14	Щелочная
		5–10	7,40	
		10–20	7,28	
		20–40	7,30	
	Склон бугра Т1 (С)	0–5	7,87	Слабощелочная
		5–10	7,89	
		10–20	7,93	
		20–40	8,03	
	Основание бугра Т1 (О)	0–5	7,84	
		5–10	7,53	
		10–20	7,51	
		20–40	7,54	
Бэровский бугор № 2	Вершина бугра Т2 (В)	0–5	8,03	Щелочная
		5–10	7,70	
		10–20	7,67	
		20–40	7,67	
	Склон бугра Т2 (С)	0–5	8,06	
		5–10	8,00	
		10–20	7,62	
		40	7,38	
	Основание бугра Т2 (О)	0–5	7,95	
		5–10	8,07	
		10–20	8,16	
		20–40	7,70	

Щелочная среда характерна для всех изученных почв, что определяет бактериальный тип микробного сообщества.

Различие в pH между разными частями бэровского бугра (вершина, склон, основание) могут повлиять на распределение биологической активности почв. На склонах бэровских бугров, где pH высок (около 8,0), условия оказываются наиболее благоприятными для развития азотфиксирующих бактерий. В верхних слоях на вершинах бэровских бугров, где pH приближается к 8,1 и выше, биологическая активность угнетается.

Содержание гумуса во всех исследуемых почвах бэровских бугров крайне низкое (от 0,17 до 0,90 %). Это является результатом сочетания аридности климата, щелочной реакции среды и особенностей распределения органического вещества по элементам рельефа, где процессы гумификации ослаблены из-за дефицита влаги, а минерализация органического вещества преобладает над его накоплением.

Значения активности каталазы варьируют в пределах 1,25–5,25 мл O₂/г почвы/мин, что указывает на значительную пространственную неоднородность ферментативной активности в зависимости от положения в рельефе и на глубине (рис. 4).

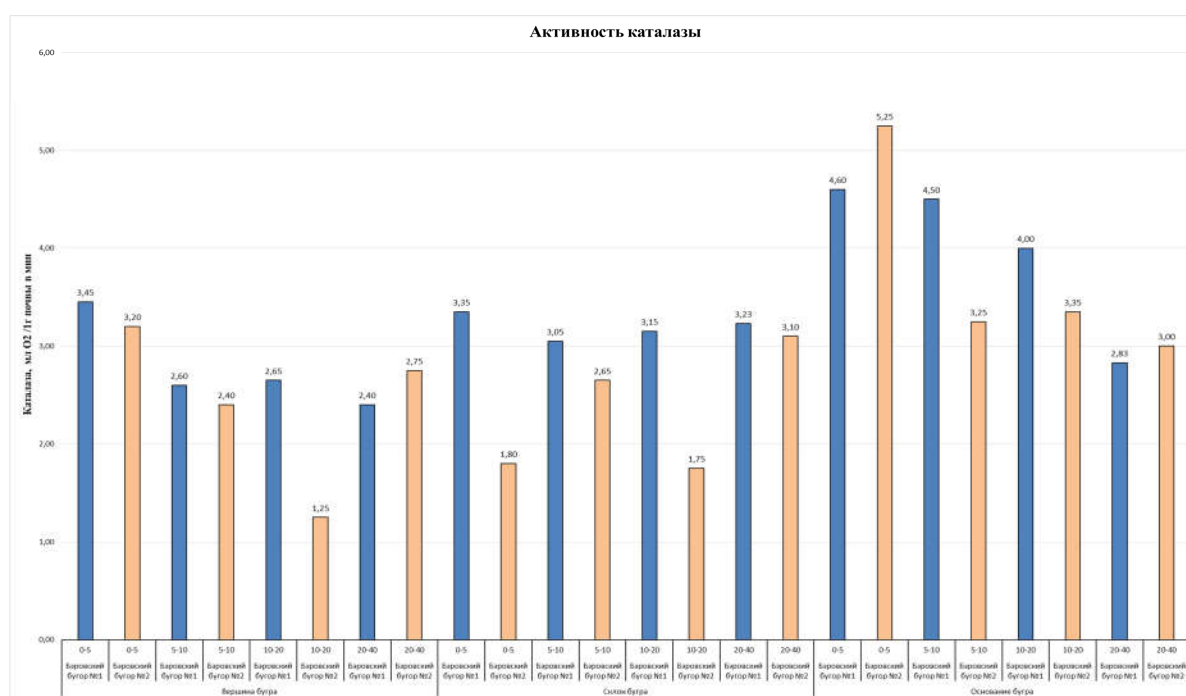


Рис. 4. Результаты исследования активности каталазы в бугровых ландшафтах

Активность каталазы возрастает от вершины к основанию бугра в обоих исследуемых объектах. В основании бэровского бугра № 2 зафиксированы максимальные значения активности каталазы — до 5,25 мл O₂/г почвы/мин. Это объясняется накоплением органики (0,8 % гумуса) и влаги у основания бугра, что создаёт благоприятные условия для развития микрофлоры.

На вершине бугра значения активности каталазы не превышают 3,45 мл O_2 /г почвы/мин.

Ферментативная активность каталазы чётко дифференцирована по рельефу (основание > склон = вершина), что связано с миграцией влаги и органического вещества.

Для выявления азотобактера в почве и определения его относительного содержания в работе использовали метод почвенных комочков. Исследуемые почвенные образцы, отобранные по элементам рельефа двух бугров Бэра на глубине 0–5 см, богаты азотобактером, т. к. во всех образцах на десятый день исследования зафиксировано 100 % обрастание комочков.

Результаты изучения учёта азотфиксирующих микроорганизмов показали, что максимальное содержание азотфиксирующих микроорганизмов обнаружено в образце почвы склона бэровского бугра и составило 39 %. Наименьшее обрастание комочков (2 %) обнаружено в почвенном образце вершины бугра № 1. Исследуемый показатель в остальных почвенных образцах варьировал от 32 до 8 %.

Заключение. Проведённые исследования показали, что плотность почвы снижается от вершины к основанию бугров (от 1,49 до 1,40 г/см³ на бугре № 1 и от 1,36 до 1,28 г/см³ на бугре № 2 в слое 0–5 см), что связано с накоплением органического вещества в понижениях. Полевая влажность выше у основания бугров (до 18,3 %) тогда как на вершинах и склонах она минимальна (9,8–10,8 %), что обусловлено интенсивным испарением и иссушением верхних слоёв.

Реакция почвенного раствора слабощелочная и щелочная (рН 7,28–8,16) во всех элементах рельефа, что характерно для почв аридных территорий, которые определяет бактериальный тип микробного сообщества. Содержание гумуса крайне низкое — от 0,17 до 0,90 %. Максимальные значения приурочены к основанию бэровских бугров. На вершинах бугров содержание гумуса минимально из-за дефляции и интенсивной минерализации.

Прослеживается возрастание активности каталазы от вершины к основанию бугров (максимум (5,25 мл) у основания бугра № 2), что соотносится с накоплением влаги и органического вещества. Наиболее низкие значения отмечены в средней части профиля бугра № 2 (1,25–1,75 мл), что указывает на уплотнение и угнетение ферментативной активности.

Методом посева на плотные среды выявлено значительное разнообразие микроорганизмов: гетеротрофы (включая сапротрофы и олиготрофы), микроскопические грибы, актиномицеты, спорообразующие и грамотрицательные палочки.

Список источников

1. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. — Москва : Агропромиздат, 1986. — 416 с.
2. Валов, М. В. Экотонные геосистемы дельты р. Волги: структурно-динамические особенности функционирования почвенно-растительного покрова / М. В. Валов, А. Н. Бармин, Е. А. Бармина, О. С. Ерошкина, Е. Е. Жаднов // Современные проблемы территориального. — 2017. — № 3.
3. Владыченский, С. А. Характеристика засоленных почв Волго-Ахтубинской поймы и дельты / С. А. Владыченский // Почвоведение. — 1953. — № 6. — С. 31–39.
4. Воробьева, Л. А. Химический анализ почв / Л. А. Воробьева. — Москва : Московский гос. ун-т, 1998.
5. Доскач, А. Г. Геоморфологические наблюдения в районе развития бугров Бэра / А. Г. Доскач // Труды Института географии АН СССР. — 1949. — Т. 43, вып. 2. — С. 19–32.
6. Казеев, К. Ш. Биодиагностика почв: методология и методы исследований / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. — Ростов-на-Дону : Южный федер. ун-т, 2012. — 257 с.
7. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шилов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. — Смоленск : Ойкумена, 2004. — 342 с.
8. Полевой определитель почв. — Москва : Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. — 182 с.
9. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв / под ред. Е. В. Шеина. — Москва : Московский гос. ун-т, 2001. — 200 с.
10. Федотова, А. В. Физические свойства почв дельт аридных территорий (на примере дельты Волги) / А. В. Федотова. — Астрахань, 2006. — 259 с.
11. Яковлева, Л. В. Закономерности пространственного распределения солей в почвах бугровых ландшафтов дельты р. Волги / Л. В. Яковлева. — Астрахань : Астраханский университет, 2010. — 186 с.
12. Burns, R. G. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions / R. G. Burns, J. L. DeForest, J. Marxsen, R. L. Sinsabaugh, M. E. Stromberger, M. D. Wallenstein, M. N. Weintraub, A. Zoppini // Soil Biology and Biochemistry. — 2013. — Vol. 58. — P. 216–234. — doi: 10.1016/j.soilbio.2012.11.009.
13. Le, Q. Biological crusts increase soil microbial biomass and alter bacterial and fungal community compositions under pine restored over ten years in a Pisha sandstone soil / Q. Le, M. Ru, R. Weibo, Z. Min, M. Wentao, Y. Ting, L. Yaling, Y. Feng // Frontiers in Ecology and Evolution. — 2025. — Vol. 13. — P. 1524202. — doi: 10.3389/fevo.2025.1524202.
14. Smith, J. Soil Microbial Diversity in Delta Landscapes: A Case Study of the Volga Delta / J. Smith, T. Brown // Journal of Soil Biology. — 2022. — Vol. 15, no 2. — P. 123–135. — doi: 10.1016/j.jsb.2022.01.005.

References

1. Vadyunina, A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv = Methods for Studying the Physical Properties of Soils*. Moscow: Agropromizdat; 1986: 416 p.
2. Valov, M. V., Barmin, A. N., Barmina, Ye. A., Yeroshkina, O. S., Zhadnov, Ye. Ye. Ecotone Geosystems of the Volga River Delta: Structural and Dynamic Features of the Functioning of the Soil-Vegetation Cover. *Sovremennye problemi territorialnogo razvitiya = Modern problems of territorial development*. 2017;3.

3. Vladichenskiy, S. A. Characteristics of Saline Soils of the Volga-Akhtuba Floodplain and Delta. *Pochvovedenie = Soil Science*. 1953;6:31–39.
4. Vorobeva, L. A. *Khimicheskii analiz pochv = Chemical Analysis of Soils*. Moscow: Moscow State University; 1998.
5. Doskach, A. G. Geomorphological Observations in the Area of Development of the Baer Knolls. *Trudy Instituta geografii AN SSSR = Proceedings of the Institute of Geography of the USSR Academy of Sciences*. 1949;43(2):19–32.
6. Kazeev, K. Sh., Kolesnikov, S. I. *Biodiagnostika pochv: metodologiya i metody issledovaniy = Soil Biodiagnostics. Methodology and Research Methods*. Rostov-on-Don: Southern Federal University; 2012:257 p.
7. Shilov, L. L., Tonkonogov, V. D., Lebedeva, I. I., Gerasimova, M. I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii = Classification and Diagnostics of Soils of Russia*. Smolensk: Oikumena; 2004:342 p.
8. *Polevoy opredelitel pochv = Field Guide to Soils*. Moscow: V. V. Dokuchaev Soil Institute; 2008:182 p.
9. *Polevie i laboratornie metody issledovaniya fizicheskikh svoystv i rezhimov pochv = Field and Laboratory Methods for Studying the Physical Properties and Regimes of Soils*. Ed. by E. V. Shein. Moscow: Moscow State University; 2001:200 p.
10. Fedotova, A. V. *Fizicheskie svoystva pochv delt aridnykh territorii (na primere delti Volgi) = Physical Properties of Soils in Arid Deltas (using the Volga Delta as an Example)*. Astrakhan; 2006:259 p.
11. Yakovleva, L. V. *Zakonomernosti prostranstvennogo raspredeleniya soley v pochvakh bugrovikh landshaftov delti r. Volgi = Regularities of spatial distribution of salts in soils of hilly landscapes of the Volga River delta*. Astrakhan: Astrakhan State University; 2010:186 p.
12. Burns, R. G., DeForest, J. L., Marxsen, J., Sinsabaugh, R. L., Stromberger, M. E., Wallenstein, M. D., Weintraub, M. N., Zoppini, A. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. *Soil Biology and Biochemistry*. 2013;58:216–234. doi: 10.1016/j.soilbio.2012.11.009.
13. Le, Q., Ru, M., Weibo, R., Min, Z., Wentao, M., Ting, Y., Yaling, L., Feng, Y. Biological crusts increase soil microbial biomass and alter bacterial and fungal community compositions under pine restored over ten years in a Pisha sandstone soil. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2025;13:1524202. doi: 10.3389/fevo.2025.1524202.
14. Smith, J., Brown, T. Soil Microbial Diversity in Delta Landscapes: A Case Study of the Volga Delta. *Journal of Soil Biology*. 2022;15(2):123–135. doi: 10.1016/j.jsb.2022.01.005.

Информация об авторах

Фирсова К. С. — магистрант;

Яковлева Л. В. — доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой.

Information about the authors

Firsova K. S. — master's degree;

Yakovleva L. V. — Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 07.04.2026; одобрена после рецензирования 15.04.2026; принята к публикации 29.05.2026.

The article was submitted 07.04.2026; approved after reviewing 15.04.2026; accepted for publication 29.05.2026.