

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.481:631.412:631.487

ОТКЛИК ПОЧВ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

© 2021 г. М. В. Ельцов^{а, *}, А. Ю. Овчинников^а, Г. В. Митенко^а, А. О. Алексеев^а

^аИнститут физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – обособленное подразделение
ФИЦ ПНЦБИ РАН, ул. Институтская, 2, корп. 2, Московская область, Пушкино, 142290 Россия

*e-mail: m.v.eltsov@gmail.com

Поступила в редакцию 23.04.2021 г.

После доработки 25.06.2021 г.

Принята к публикации 30.06.2021 г.

Проведены исследования свойств почв степной зоны, приуроченных к естественным пастбищам Волго-Донского междуречья и Северного Прикаспия. Объектами исследований послужили светло-каштановые почвы, каштановые почвы и солонцы (Calcic Cambic Kastanozems, Salic Gypsic Solonetz), расположенные на участках, прилегающих к археологическим памятникам (курганным могильникам). Показано, что повторные обследования изученных 20–40 лет назад почв не зафиксировали заметных изменений их свойств. Распределение по профилю почв карбонатов, содержания $S_{\text{орг}}$ и обменного Na^+ в солонцовых горизонтах практически не изменилось. На уровне общей тенденции отмечено незначительное (не более 0.5% величины плотного остатка водной вытяжки) увеличение засоленности верхней метровой почвенной толщи. На территории Северных Ергеней возросшая за последние 20 лет пастбищная нагрузка вызвала увеличение площади эрозионных микропонижений, занятых корковыми солонцами. Выполнено моделирование пространственного распределения значений индекса аридности с построением изолиний, проанализировано смещение границ степной зоны на территории Нижнего Поволжья в зависимости от динамики климата за последние 60 лет. Тенденция усиления засушливости в начале XXI в. после этапа повышенного увлажнения второй половины XX в. выявлена практически для всей территории юга Восточно-Европейской равнины.

Ключевые слова: степь, изменения климата, каштановые почвы, солонцы, Calcic Cambic Kastanozems, Salic Gypsic Solonetz

DOI: 10.31857/S0032180X21120066

ВВЕДЕНИЕ

Изучение изменений свойств почв в зависимости от динамики климатических условий является одной из основных задач современного почвоведения. Понимание и прогнозирование изменений почвенных свойств, и направления педогенеза в целом, имеют решающее значение во многих вопросах развития человеческого общества (антропогенное изменение климата, качество окружающей среды, продовольственная безопасность и др.). Исследования динамики почв во времени проводят, используя метод почвенных хронорядов. Теоретическое обоснование данного метода отражено в литературе [7, 8, 11, 12, 27]. Суть подхода заключается в сравнении сходных (по литологии, рельефу и др.) объектов, имеющих разный возраст. С применением этого метода изучают природные хроноряды геоморфологических поверхностей, имеющих разный возраст (террасы речных долин, морские равнины, ледниковые отложения и др.). Широкое применение метод хроноря-

дов получил в комплексных исследованиях памятников истории и археологии (курганов, фортификационных сооружений, археологических поселений и др.), так как объектами исследования в данном случае выступают погребенные почвы и почвы, сформировавшиеся (либо являющиеся частью) на рукотворных (искусственных) поверхностях: насыпях, стенах сооружений, пахотных полях и др. Существенное развитие получили работы по изучению изменений свойств почв залежей и сельхозугодий [3, 4, 16, 25, 27]. На современном этапе развития почвоведения появляется возможность проводить оценку изменений состояния почв на основе сравнения данных, полученных в прошлые десятилетия. Это позволяет ретроспективно оценить изменения почвенных свойств на рубеже XX–XXI вв. Подобные методы исследований применяли в черноземной зоне Русской равнины [2, 19, 20], при изучении почвенного покрова солонцовых комплексов Джанибекского стационара [21]. Наиболее заметно преобразование

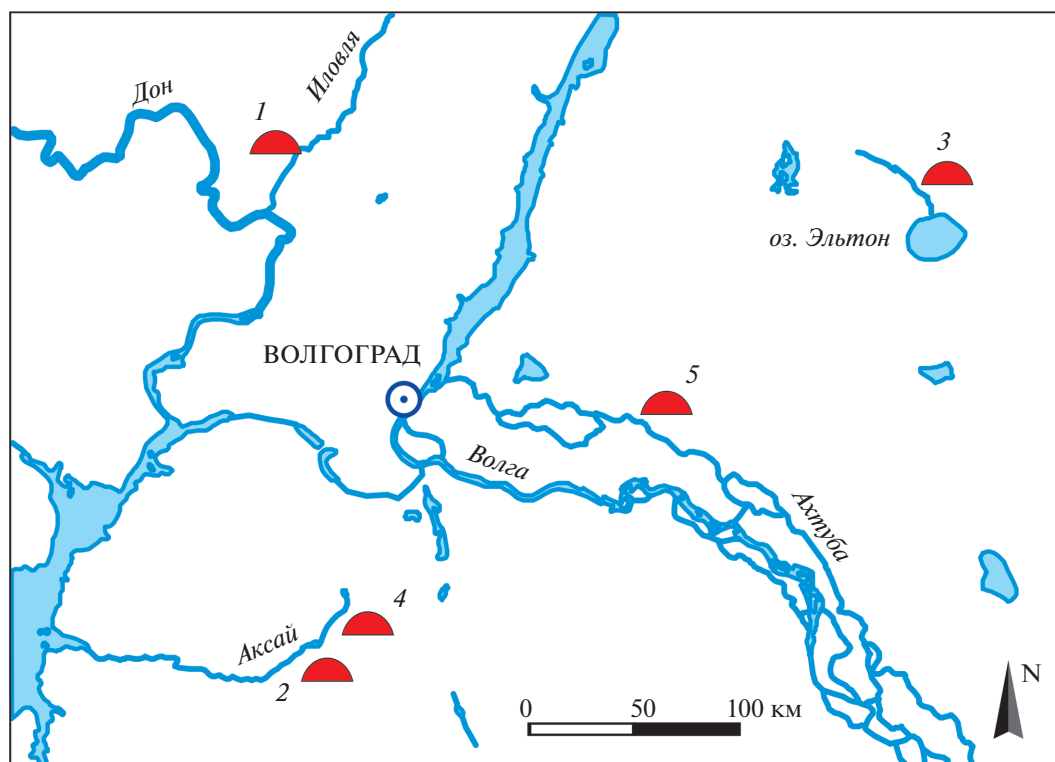


Рис. 1. Карта расположения ключевых участков исследования. Обозначения: 1 – курганный могильник “Авиловский”, 2 – курганный могильник “Перегрузное”, 3 – курганный могильник “Эльтон”, 4 – курганный могильник “Абганерово”, 5 – курганный могильник “Маляевка”.

свойств почв автоморфных ландшафтов выражается в изменении наиболее лабильных почвенных признаков (возрастом от нескольких до нескольких десятков лет), таких как содержание органического вещества, глубина залегания дисперсных карбонатов, легкорастворимых солей (ЛРС) и гипса, степень выраженности солонцеватости [15, 17, 23]. К настоящему времени сотрудниками ИФХиБПП РАН накоплен большой объем фактического материала, полученный в результате проведения почвенно-археологических исследований начиная с 80-х годов прошлого века (работы В.А. Демкина, И.В. Иванова, С.В. Губина, А.О. Алексева, А.В. Борисова и др.). Обязательной составляющей при выполнении почвенно-археологических исследований является изучение фоновых современных почв, прилегающих к археологическим памятникам. Изученные в конце XX в. археологические памятники (в большинстве случаев курганы, объединенные в курганные могильники) имеют известную топографическую привязку, относятся к объектам культурного наследия России, что в последние годы исключает распашку охраняемых территорий, и позволяет проводить повторные исследования в XXI в., оценивая изменения их свойств во времени.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В 2019 г. проведены повторные исследования почв курганных могильников, изученных в конце XX в., и расположенных в пределах зоны распространения каштановых и светло-каштановых почв на территории Волгоградской области (рис. 1). Исследованные участки приурочены к автоморфным ландшафтам Приволжской и Ергенинской возвышенностей, Нижнего Заволжья (высокая терраса р. Ахтубы) и Эльтонской равнины. Точное место для точной закладки разрезов контролировалось съемкой с помощью квадрокоптера “Mavic 2 pro”. В пределах каждого ключевого участка для каждого хроносреза было изучено три почвенных профиля, разрезы закладывали в границах одного почвенного ареала, выбор места уточняли серией прикопок и скважин. Использовали морфолого-генетический и химико-аналитический методы исследования. Аналитические работы проводили по стандартным методикам в ЦКП ИФХиБПП РАН [1, 6]. В число изученных почвенных характеристик входили стратиграфия и морфология профиля, содержание $C_{\text{орг}}$, количество обменного Na^+ в солонцовых горизонтах, величина плотного остатка водной вытяжки, содержание SO_4 гипса, CO_2 карбонатов, гранулометри-

ческий состав. За интегральную характеристику, отражающую временную изменчивость почв, принимали содержание ЛРС (величину плотного остатка водной вытяжки, %) в верхней метровой толще почвенного профиля. Данный показатель является одним из наиболее динамичных и во многом определяет основные свойства почв сухостепной и полупустынной природных зон [23].

Таксономическую принадлежность почв определяли согласно Классификации почв СССР 1977 г. [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Зона каштановых почв. Приволжская возвышенность. Курганный могильник “Авиловский”. Район исследований расположен в южной части Приволжской возвышенности, в междуречье Волги и Дона. Для данной территории среднегодовая температура составляет $+6^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков 400 мм. Ключевой участок находится на высокой правобережной первой надпойменной террасе р. Иловля (левый приток р. Дон) в 1 км к западу от с. Авилов Иловлинского района Волгоградской области. Терраса отчетливо проявляется в рельефе, имеет выраженный уступ высотой 5–10 м над уровнем поймы. Абсолютные отметки составляют 50–85 м.

Почвообразующими породами участка исследований являются покровные лёссовидные суглинки, подстилаемые аллювиальными мелкозернистыми песками. Территория хорошо дренируется ложбинами стока, промоинами, оврагами и балками глубиной до 40–50 м. Грунтовые воды залегают глубже 10 м, имеют незначительную минерализацию (<1 г/л) и гидрокарбонатно-кальциевый состав. Приуроченность к краю террасы и наличие памятников археологии, не позволяли проводить распашку и выгон скота на данном участке. Растительный покров представлен типчаково-полынными ассоциациями (проективное покрытие достигает 70%). В почвенном покрове преобладают каштановые солонцеватые почвы.

Изучены свойства каштановых почв 2000 и 2019 гг. исследований (табл. 1, рис. 2). Почвенные профили представлены сочетанием генетических горизонтов A1–B1–B2ca–BCsa–C–Cs,г, в целом имеют среднесуглинистый гранулометрический состав. Содержание физической глины изменяется от 30 до 50%. Накопление глинистой и илистой фракций отмечается в средней части разреза. Содержание органического углерода в гумусовом горизонте не превышает 1.3%. Для почв характерно наличие хорошо выраженного буро-красно-ореховатой структурной солонцеватой горизонта B1, содержание обменного натрия в котором составляет 2.8–3%. Глубина вскипания от HCl расположена сразу под гумусовым гори-

зонтом, новообразования карбонатов представлены в средней части профиля (гор. BCsa) в виде пятен и хорошо оформленной белоглазки, содержание карбонатов здесь достигает 7%, мощность горизонта в среднем равна 45 см. Аккумуляции содержания ЛРС совмещены и достигают максимума (1.4–1% соответственно) на глубине 1.5–2 м.

Повторно изучен ареал каштановых солонцеватых глубокосолончаковатых почв. В почвах, исследованных в 2019 г., по сравнению с почвами, исследованными в 2000 г., отмечено увеличение (примерно в 3 раза), величины плотного остатка водной вытяжки в верхней метровой части профиля (рис. 3). В целом содержание ЛРС в изученных почвах до глубины 120–130 см незначительно и не превышает 0.5%.

Зона каштановых почв. Ергенинская возвышенность. Курганный могильник “Перегрузное”. Район исследований расположен в южной половине Волго-Донского междуречья, административно приурочен к Октябрьскому району Волгоградской области, в природном отношении относится к зоне сухих степей северной части Ергенинской возвышенности. Климат района умеренно континентальный. Средняя годовая температура воздуха составляет $+8^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков 400 мм. С дневной поверхности территория перекрыта четвертичными лёссовидными карбонатными суглинками. Грунтовые воды залегают на глубине более 20 м. Почвенный покров комплексный, состоящий из каштановых почв и солонцов.

Исследованный курганный могильник “Перегрузное” расположен в краевой части автомобильной водораздельной поверхности р. Россось и Перегрузенской балки (в 1 км к востоку от с. Перегрузное). Абсолютные отметки высот территории составляют 80–85 м.

На ключевом участке сохранилась естественная полынно-злаковая растительность, представленная белополынно-типчаковыми (проективное покрытие 70–80%) и чернополынными (проективное покрытие 10–40%) ассоциациями. Территория используется как круглогодичное пастбище расположенной вблизи овцеводческой фермы. Исследования проводили в 2000 и 2019 гг. В 2000 г. была заложена площадка размером 10×12 м, по сетке с шагом 1 м выполнена нивелирная съемка поверхности с последующим заложением двух разрезов на наиболее контрастных почвенных разностях. В 2019 г. повторно выполнили нивелирную съемку поверхности и провели закладку почвенных разрезов. Для изучения почвенного покрова площадки, через каждый метр по всей площадке закладывали почвенные прикопки, глубиной 30–40 см, с замером мощностей и описанием верхних почвенных горизонтов A1, B1 и B2, для последующего определения типовой и родовой принадлежно-

Таблица 1. Сравнительная характеристика свойств почв сухостепной зоны (ключевые участки “Авиловский”, “Перегрузное”, “Эльтон”). Морфологические свойства представлены в виде средних значений по трем разрезам

Показатель	Ключевой участок, год исследований							
	“Авиловский”		“Перегрузное”				“Эльтон”	
	2000	2019	2000	2019	2000	2019	1985	2019
Мощность горизонтов, см:								
А1	10	10	10	12	5	5	20	17
А1 + В1	26	27	32	33	16	18	40	38
Глубина вскипания, см	26	27	32	32	16	18	40	38
Мощность горизонта ВСса, см	46	42	36	32	34	32	25	25
Глубина залегания аккумуляции гипса, см	130	120	180	140	66	63	105	100
Новообразования гипса	Скопления кристаллов		Скопления кристаллов		Скопления кристаллов		Прожилки, вкрапления	
Содержание $C_{орг}$, %								
гор. А1	1.28	1.12	1.51	1.22	1.60	1.32	0.59	0.89
гор. В1	0.96	1.10	0.78	1.12	0.92	0.66	0.78	0.8
гор. В2са	0.46	0.37	0.47	0.36	0.46	0.53	0.81	0.63
Содержание в ППК, % от суммы								
Ca^{2+}	57.8	59.3	50.2	46.1	54.3	39.0	58.3	59.2
Mg^{2+}	35.3	36.6	0.7	48.0	28.0	54.5	35.8	37.2
Na^{+}	2.8	3.0	44	0.8	15.9	1.4	0.91	1.0
K^{+}	4.0	1.1	5.0	4.3	1.8	5.3	1.76	2.6
Сумма обменных оснований, смоль(экв)/кг	23.2	20.8	35.6	37.1	36.7	38.5	16.9	18.5
Почва	$K2^{сн,гскт}$		$K2^{сн,гскт}$		$СН^к, скт$		$K2^{сн,гскт}$	

Примечание. Здесь и далее, индексы почв: K2 – каштановые, K1 – светло-каштановые, СН – солонцы; индексы родовых и видовых признаков почв: сн – солонцеватые, гскт – глубокосолончаковатые, скт – солончаковатые, к – корковые.

сти почвенных разностей. На основе полученных данных были составлены топопланы и почвенная карта изученных площадок (рис. 4).

Анализ полученных данных показал, что микрорельеф территории за период 2000–2019 гг. не претерпел существенных изменений. В целом, он представлен сочетанием микроповышений и эрозийных микропонижений с относительными высотами около 30 см. Вместе с тем на топоплане 2019 г. отмечено смещение отвешка микропонижения примерно на 2–3 м к западу, с общим увеличением его глубины на 5–10 см.

Почвенный покров ключевого участка представлен мозаикой, состоящей из зональных каш-

тановых солонцеватых почв и солонцов средних, приуроченных к микроповышениям, и солонцов мелких и корковых, занимающих микропонижения. Такой характер взаимосвязи микрорельефа и почв в целом типичен для автоморфных ландшафтов сухих и пустынных степей Русской равнины [5, 12, 18]. В структуре почвенного покрова территории преобладают солонцы (64%), эродированные виды солонцов (мелкие и корковые) составляют 14% (9 и 5 соответственно) от общей площади площадки (рис. 4).

Изучены свойства каштановых солонцеватых почв и солонцов корковых за 2000 и 2019 гг. (табл. 1, рис. 2). Генетические профили представлены со-

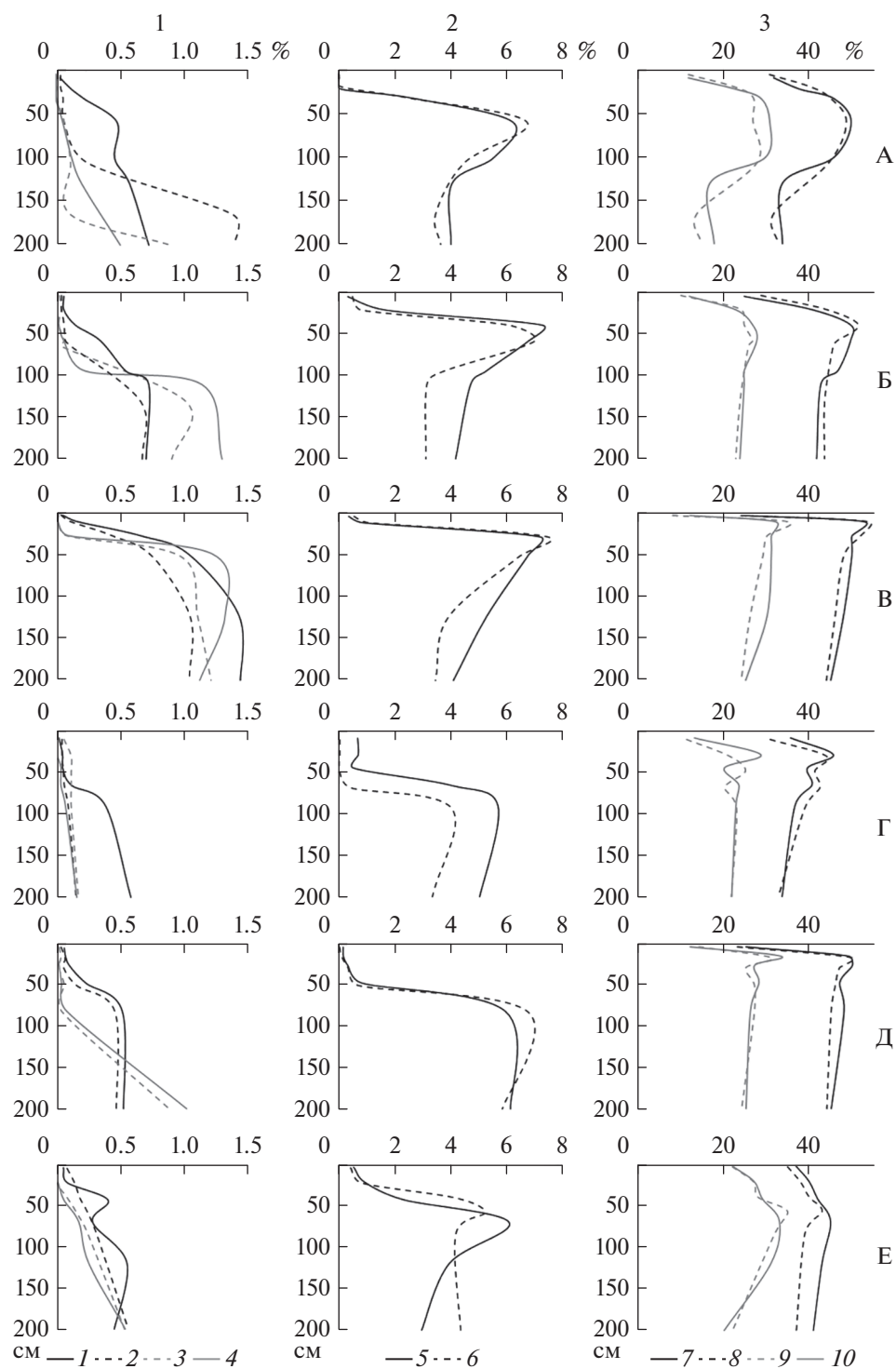


Рис. 2. Химические свойства почв изученных ключевых участков (%). А – курганный могильник “Авиловский”, Б – курганный могильник “Перегрузное” (каштановые почвы); В – курганный могильник “Перегрузное” (солонцы корковые); Г – курганный могильник “Эльтон”; Д – курганный могильник “Абганерово”; Е – курганный могильник “Маляевка”. Профильное распределение (%), архивные данные показаны прерывистой линией, данные 2019 г. – сплошной): 1, 2 – ЛРС; 3, 4 – сульфатов гипса; 5, 6 – CO_2 карбонатов; 7, 8 – физическая глины; 9, 10 – ила.

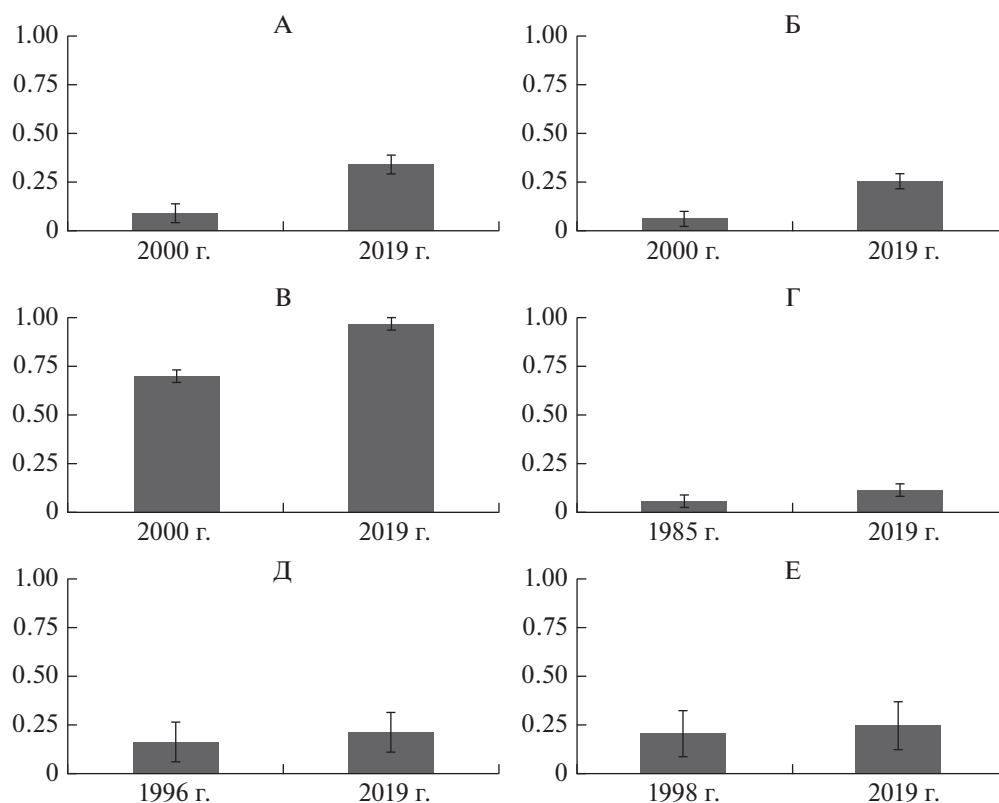


Рис. 3. Средневзвешенное содержание ЛРС (%) в слое 0–1 м почв изученных ключевых участков, средние данные по трем разрезам для каждого хроноинтервала. А – курганный могильник “Авиловский”, Б – курганный могильник “Перегрузное” (каштановые почвы), В – курганный могильник “Перегрузное” (солонцы корковые), Г – курганный могильник “Эльтон”, Д – курганный могильник “Абганерово”, Е – курганный могильник “Маляевка”.

четанием горизонтов А1–В1–В2са–ВСса–С–Сs,г для каштановых почв и А1–В1–В2са–Сса–Сs,г для корковых солонцов. Каштановые почвы, помимо менее выраженного солонцового горизонта, отличаются от солонцов заметным расщеплением почвенного профиля, наличием выраженных органо-глинистых кутов на структурных отдельностях горизонта аккумуляции карбонатов, присутствием промытого горизонта С, ниже которого залегает горизонт аккумуляции ЛРС и гипса. В солонцах аккумуляция ЛРС и гипса залегает сразу под горизонтом скопления карбонатов. В целом исследованные почвы имеют средне-тяжелосуглинистый гранулометрический состав. Накопление глинистых и илистых фракций в каштановых почвах отмечено для карбонатного горизонта, в солонцах аккумуляция мелкодисперсной фракции происходит в солонцовом горизонте. Для почв характерно наличие хорошо выраженного бурого с призмевидно-ореховатой структурой солонцеватого горизонта В1.

Содержание обменного Na^+ в каштановых почвах не превышает 1% и достигает 16% в солонцах корковых. В солонцах средних этот показатель со-

ставляет около 1%. Вскипание от HCl происходит сразу под гумусовым горизонтом, новообразования карбонатов представлены в виде пятен и белоглазки. Содержание карбонатов в аккумулятивном горизонте (гор. ВСса) достигает 7%, и уменьшается к материнской породе до 4%. Аккумуляции гипса и ЛРС совмещены. В каштановых почвах они расположены на глубине 140–180 см, тогда как в корковых солонцах значительно выше (около 60 см от поверхности). Величина плотного остатка и содержание сульфатов гипса в зоне аккумуляции достигает 1.5%.

Сравнительная характеристика данных разных хроносрезов позволяет сделать вывод о том, что с 2000 по 2019 гг. в результате перевыпаса произошло увеличение площади микропонижений, занятых корковыми солонцами. Это привело к повышению (на 40 см) глубин залегания аккумуляций ЛРС и гипса в прилегающих к ним почвах. Величина плотного остатка водной вытяжки в верхней метровой толщии увеличилась в каштановых почвах более чем в 4 раза, с 0.06 до 0.25%, в солонцах корковых увеличение этого показателя менее заметно: с 0.70 до 0.97% (рис. 3).

Зона каштановых почв. Эльтонская равнина. Курганный могильник “Эльтон”. Ключевой участок Эльтон расположен в 3 км к северу от оз. Эльтон и в 14 км к северо-востоку от одноименного поселка, на левом берегу р. Хара. В настоящее время территория относится к охранной зоне заповедника “Эльтонский” и используется как пастбище и сенокос. Эльтонская равнина характеризуется хорошей естественной дренированностью. Она представляет собой полосу шириной 20–30 км вокруг оз. Эльтон с абсолютными отметками 20–35 м. С поверхности равнина сложена хвалынскими морскими суглинками, подстилаемыми супесями и песками. Территория расчленена серией мелких рек и овражно-балочной сетью. Грунтовые воды залегают на глубине 15–25 м. Средняя годовая температура воздуха составляет +8°C, среднегодовое количество осадков 270 мм.

В растительном покрове преобладают полынно-злаковые ассоциации, солянки, в понижениях встречаются заросли камыша и тростника. На Эльтонской равнине развит островной ареал каштановых почв в комплексе с выщелоченными солонцами и лугово-каштановыми почвами. В приозерной части широко распространены солончаки.

Изученный хроноряд представлен каштановыми глубокосолончаковатыми почвами 1985 и 2019 гг. исследований (табл. 1, рис. 2). Профили изученных почв имеют среднесуглинистый гранулометрический состав и представлены следующими горизонтами А1–В1–В2са–В3са–С–Сs,г. Аккумуляция глинистых и илистых фракций происходит в солонцовом горизонте.

Почвы солонцеватые, горизонт В1 коричнево-бурого цвета, призмовидно-ореховатой структуры, содержание обменного Na⁺ в нем не превышает 1%. Содержание C_{орг} в почвах составляет 1–1.5%. Глубина вскипания от HCl располагается ниже гумусового горизонта, новообразования карбонатов представлены в виде пятен и редкой белоглазки. До глубины 0.5 м почвы выщелочены, ниже содержание карбонатов по профилю равно 3–4% в почвах 1985 г. исследований и 4–5% в 2019 г.

Аккумуляции новообразований гипса и ЛРС совмещены, выражены в виде прожилок и вкраплений, встречаются с глубины около 100–105 см. Величина плотного остатка в почвах 1985 г. не превышает 0.15%, в 2019 г. – 0.38%. Содержание сульфатов гипса в зоне аккумуляции составляет 0.16–0.17%.

Таким образом, почвы исследованного ключевого участка “Эльтон” представлены каштановыми солонцеватыми глубокосолончаковатыми почвами. В почвах по состоянию на 2019 г. по сравнению с 1985 г. выявлено небольшое (в 1.2 раза) засоление верхней метровой части профиля (рис. 3).

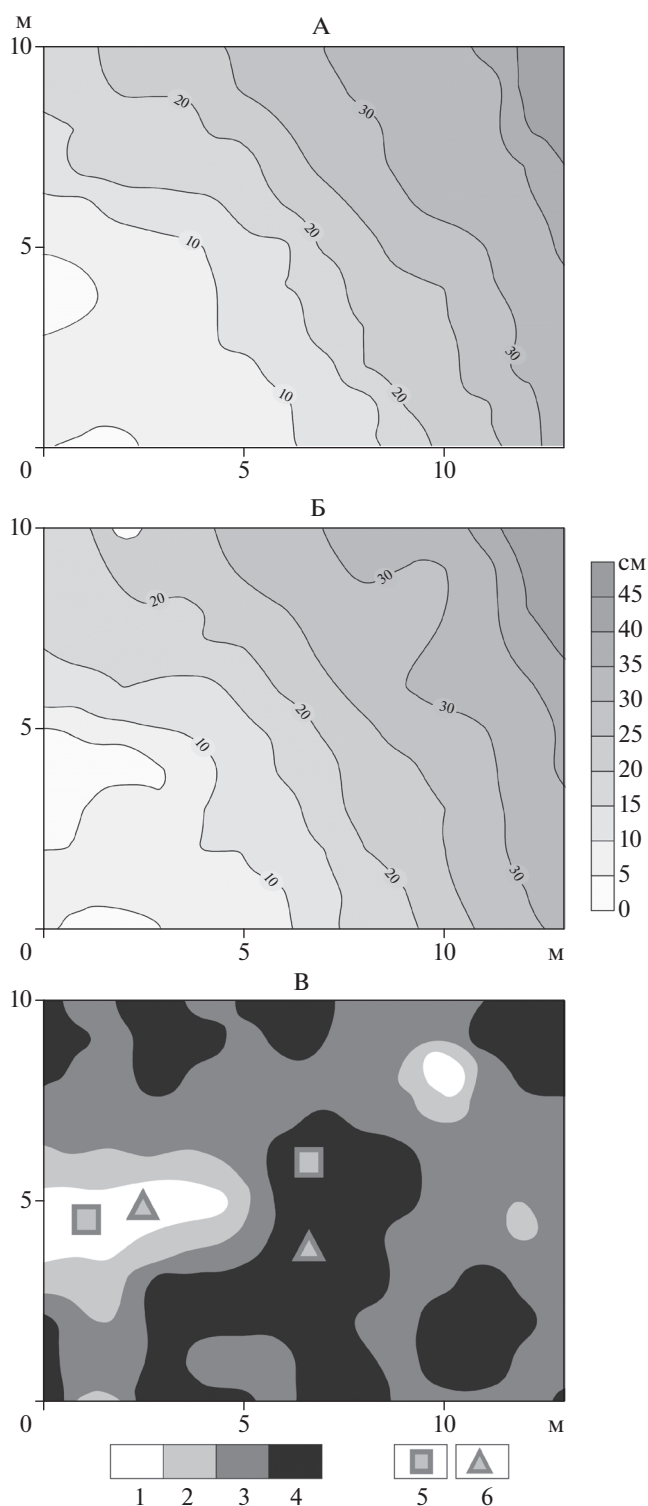


Рис. 4. Топопланы площадок и почвенная карта ключевого участка “Перегрузное”. А – топоплан 2000 г.; Б – топоплан 2019 г.; В – почвенная карта 2019 г. (1 – солонцы корковые солончаковатые; 2 – солонцы мелкие солончаковатые; 3 – солонцы средние глубокосолончаковатые; 4 – каштановые глубокосолончаковатые почвы; 5 – места заложения разрезов в 2000 г.; 6 – места заложения разрезов в 2019 г.).

Таблица 2. Сравнительная характеристика свойств почв пустынно-степной зоны (ключевые участки “Абганерово”, “Маляевка”). Морфологические свойства представлены в виде средних значений по трем разрезам

Показатель	Ключевой участок, год исследований			
	“Абганерово”		“Маляевка”	
	1996	2019	1998	2019
Мощность горизонтов, см:				
A1	11	11	10	8
A1 + B1	25	22	36	36
Глубина вскипания, см	25	22	36	36
Мощность горизонта ВСса, см	30	31	34	40
Глубина залегания аккумуляции гипса, см	66	63	150	150
Новообразования гипса	Прожилки, вкрапления		Прожилки, вкрапления	
Содержание $C_{орг}$, %				
гор. A1	1.21	1.11	0.72	0.71
гор. B1	1.10	0.98	0.58	0.64
гор. B2ca	0.37	0.49	0.24	0.38
Содержание в ППК, % от суммы				
Ca^{2+}	49.2	59.1	53.2	52.6
Mg^{2+}	45.7	35.7	30.7	32.9
Na^+	1.2	0.75	16.4	13.4
K^+	4.1	4.4	0.9	0.8
Сумма обменных оснований, смоль(экв)/кг	31.3	29.8	28.3	29.1
Почва	K1 ^{CH,CKT}		K1 ^{CH,ГСКТ}	

В целом почвы рассолены, содержание ЛРС до глубины 100–130 см составляет не более 0.06%.

Зона светло-каштановых почв. Ергенинская возвышенность. Курганный могильник “Абганерово”. Курганный могильник “Абганерово” располагался в 3 км к югу от с. Абганерово Октябрьского района Волгоградской области и в 25 км к северо-востоку от курганной группы “Перегрузное”.

На данной территории среднегодовая температура воздуха составляет +8°C, среднегодовое количество осадков 350 мм. Археологические памятники приурочены к плоскому дренированному межбалочному водоразделу, ориентированного с востока на запад. Абсолютные отметки высот поверхности равны 90–100 м. Почвообразующими породами являются карбонатные лёссовидные суглинки. Растительный покров представлен типчаково-полынными ассоциациями (проективное покрытие 30–70%). Участок используется как естественное пастбище. В почвенно-географическом отношении исследуемый участок находится в западной части ареала распространения светло-каштановых почв, занимающих вершину и восточный склон Ергенинской возвышенности. Границы почвенных зон имеют меридиональное направле-

ние. В 5–10 км к западу пустынно-степная зона сменяется сухостепной с каштановыми почвами.

Проанализированы профили светло-каштановых почв, изученных в 1996 и 2019 гг. (табл. 2, рис. 2). Почвенные профили имеют средне-тяжелосуглинистый гранулометрический состав. Профиль состоит из следующих генетических горизонтов: A1–B1–B2ca–BCsa–Cs,г. Накопление фракций ила и глины происходит в солонцовом горизонте (гор. B1). Солонцовый горизонт имеет призмочно-ореховатую структуру, с кутанами по граням структурных отдельностей, содержание обменного Na^+ и $C_{орг}$ составляет около 1%. Вскипание от HCl происходит под гумусовым горизонтом. До глубины 0.5 м почвы выщелочены от карбонатов, ниже по профилю их содержание увеличивается до 6–7%. Новообразования карбонатов сосредоточены в горизонте BCsa, их содержание достигает 6–7%, выражены в виде пятен и аморфной белоглазки. Аккумуляции гипса и ЛРС совмещены, представлены в виде вкраплений и прожилок, залегают ниже плотного горизонта аккумуляции карбонатов с глыбистой структурой. Содержание ЛРС и сульфатов гипса в нижней части профиля увеличивается до 0.5 и 1% соответственно.

Исследованные почвы диагностированы как светло-каштановые солонцеватые солончаковые. Почвы 1996 г. исследований характеризуются сравнительно меньшей засоленностью верхней метровой толщи профиля по сравнению с почвами, исследованными в 2019 г. Содержание ЛРС в изученных почвах до глубины 100 см незначительное и не превышает 0.25%.

Зона светло-каштановых почв. Высокая надпойменная терраса р. Ахтуба. Курганный могильник “Маляевка”. Изученный курганный могильник “Маляевка” расположен в 5 км к северо-востоку от с. Маляевка Ленинского района Волгоградской области. Он приурочен к краевой части второй надпойменной, высотой 8–10 м, террасы р. Ахтуба. Территория ключевого участка равнинная со слабым уклоном в сторону долины реки. Абсолютные отметки составляют 20 м. Среднегодовая температура равна +8°C, среднегодовое количество осадков 270–300 мм. Поверхностные отложения представлены желто-бурыми лёссовидными суглинками мощностью до 10 м. Район исследований хорошо дренирован, грунтовые воды залегают на глубине более 10 м. Участки с сохранившейся злаково-полевой естественной растительностью используются как пастбища.

Изученный хроноряд 1998 и 2019 гг. представлен светло-каштановыми почвами (табл. 2, рис. 2). Почвы в целом имеют среднесуглинистый гранулометрический состав. Почвенный профиль состоит из горизонтов: A1–B1–B2ca–BCsa–C–Cs,г. Аккумуляция фракций физической глины и ила приурочена к карбонатному горизонту (гор. BCsa). В строении почвы характерно наличие хорошо выраженного бурого солонцеватого горизонта B1 с призмовидно-ореховатой структурой. Содержание обменного Na⁺ в данном горизонте составляет 13–14%. Содержание C_{орг} в гумусовом горизонте не превышает 1%. Профиль вскипает от HCl под гумусовым горизонтом, новообразования карбонатов представлены в виде пятен и аморфной белоглазки. Карбонатный горизонт очень плотный, структура глыбисто-ореховатая, содержание карбонатов в данном горизонте достигает 5–6%. Профиль промыт от ЛРС. Зоны накопления гипса и ЛРС совмещены, и их содержание в нижней части профиля достигает 0.5%.

Сравнительный анализ свойств разновременных почв позволяет отметить, что в разрезе 2019 г. исследований по сравнению с 1998 г. отмечено небольшое (в 1.2 раза) засоление верхней метровой части профиля (рис. 3). В целом, содержание ЛРС в изученных почвах до глубины 100–130 см и не превышает 0.6%.

Таким образом, проведена сравнительная характеристика свойств почв разных годов исследований расположенных в зонах сухих (Волго-Донское междуречье) и пустынных (Северный При-

каспий) степей. Изученные почвы представлены зональными каштановыми и светло-каштановыми почвами, а также солонцами корковыми. Отмеченные изменения почвенных свойств не превышают пределы их естественного варьирования в границах одного почвенного ареала. Изменения свойств почв пастбищ, сухих степей Ергенинской возвышенности (ключевой участок “Перегруженое”) вызвано изменением особенностей микрорельефа территории. С целью определения динамики климатических показателей региона выполнен анализ имеющихся в открытом доступе метеорологических данных и результатов дистанционного зондирования.

На основе имеющихся климатических данных “Отдела климатических исследований факультета естественных наук Университета Восточной Англии (Climatic Research Unit (CRU))” проведены расчеты индекса аридности (по Де Мортону – IDM) [24] для рассматриваемой территории по нескольким хроносрезам (1960, 1980, 2000 и 2020 гг.).

Данные представлены одним численным значением среднегодовой температуры и осадков в пределах каждой ячейки географической сетки размером 0.5° × 0.5° и соответствует расстоянию около 50 км, полностью или частично находящаяся на исследуемой территории. Выполнено моделирование пространственного распределения значений индекса аридности с построением изолиний. Проанализировано смещение изолиний аридности (IDM = 20, значение соответствует положению границы сухостепной и пустынно-степной зоны) для всех рассмотренных хроносрезов. Анализ полученных данных, приведенных на рис. 5, показал, что за последние 60 лет произошло смещение границы пустынно-степной зоны примерно на 100 км к северу.

Полученные данные согласуются с данными наблюдений на метеостанциях “Волгоград” (СХИ) и “Эльтон” (данные взяты с сайта <http://meteo.ru/data>). Для характеристики изменений климата исследованных ключевых участков рассмотрены данные об изменении среднегодовой температуры воздуха и суммы годовых атмосферных осадков. По данным со станции “Волгоград”, за период с 1980 г. по настоящее время произошло повышение среднегодовой температуры воздуха +8 до +10°C. Данные станции “Эльтон” показали, что температура за это же время увеличилась на +1°C, с +8 до +9°C. Заметное увеличение увлажненности климата составило около 100 мм, в период с 1980 по 1995 гг. для бассейнов рек Волга и Дон. В районе оз. Эльтон количество годовых осадков за то же время увеличилось на 50 мм.

Вместе с тем с 1995 по 2019 гг. атмосферное увлажнение на всех метеостанциях уменьшилось до показателей ниже современной среднегодовой

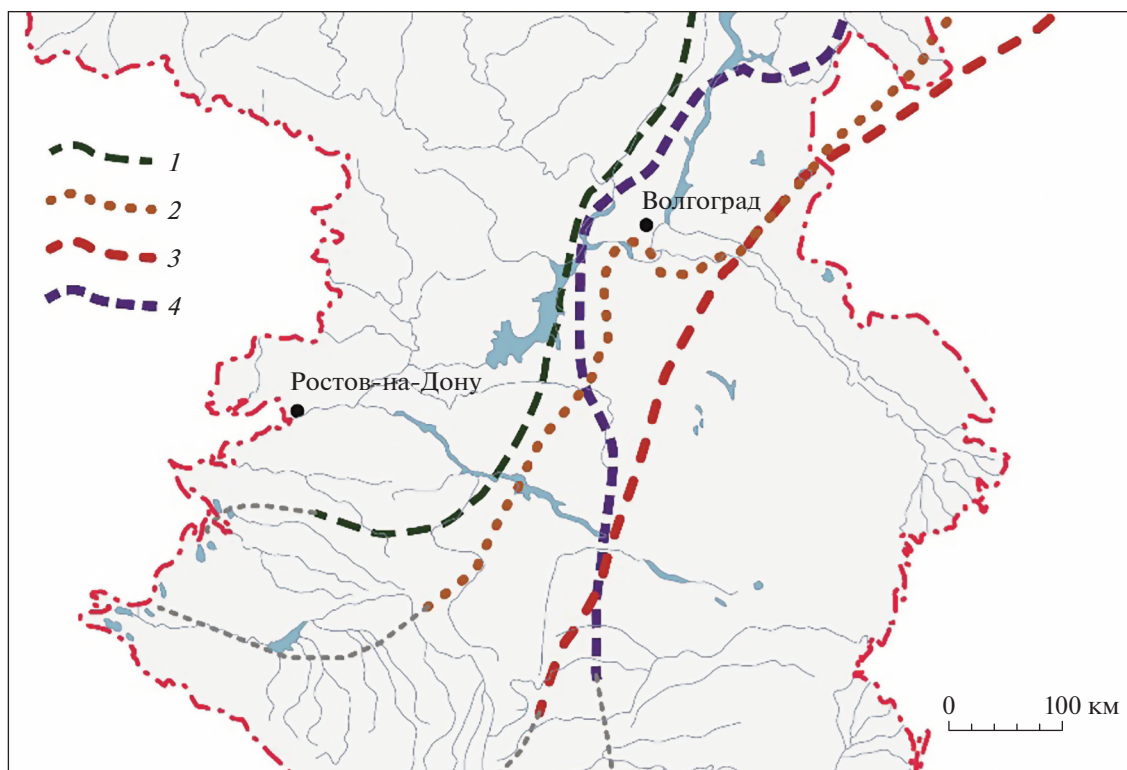


Рис. 5. Изолинии индекса аридности, построенные для 1960, 1980, 2000 и 2020 гг. (индекс аридности IDM = 0), 1 – 2020, 2 – 2000, 3 – 1980, 4 – 1960 гг.

нормы (400 мм для “Волгограда” и 270 мм для “Эльтона”). На фоне повышения годовой температуры это привело к выраженной аридизации климата. Тенденция усиления засушливости в начале XXI в. – после этапа повышенного увлажнения второй половины XX в. – выявлена практически для всей территории юга Русской равнины [4, 10, 22].

Таким образом, несмотря на заметное увеличение аридности климата, существенных изменений в свойствах (почв профильное распределение карбонатов, ЛРС, гипса, содержание $S_{орг}$, обменного Na^+ в солонцовых горизонтах) исследованных участков сухой и пустынной степи не выявлено. На уровне общей тенденции отмечено незначительное (не более 0.5% величины плотного остатка водной вытяжки) повышение засоленности верхней метровой почвенной толщи. Усиление засушливости климата увеличивает антропогенный прессинг на отдельные почвенные свойства и почвенный покров региона в целом. Наиболее заметное изменение в свойствах почв, зафиксированное нами в зоне сухих степей на севере Ергенинской возвышенности (ключевой участок “Перегрузное”), обусловлено изменением микрорельефа участка в результате перевыпаса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ климатических и метеорологических данных за последние 60 лет свидетельствует об усилении засушливости климата Нижнего Поволжья, что выражается, прежде всего, в росте (примерно на $2^{\circ}C$) среднегодовой температуры воздуха. С 1995 г. увеличение аридности сопровождается также снижением (на 50–100 мм) годовой нормы атмосферных осадков. Отмеченные особенности динамика климатических показателей обусловили общее смещение изолиний значений индекса аридности (по Де Мортону – IDM) региона примерно на 100 км к северо-западу. Вместе с тем, повторные исследования почв курганных могильников на территории Волго-Донского междуречья и Северного Прикаспия, не выявили каких-либо заметных изменений в их свойствах. Охватываемый временной диапазон включал периоды 1985–2019 гг. для Заволжья и 1998–2019 гг. для правобережья р. Волги. За это время свойства почв изученных ключевых участков практически не изменились. Отмечено лишь незначительное (на 0.5%) увеличение засоленности верхней метровой толщи. Локальные изменения в строении солевых профилей почв на территории Северных Ергеней вызваны усилением антропогенной нагрузки, это обусловило увеличение площадей за-

нятых корковыми солонцами. Отмеченные особенности во взаимосвязи свойств почв и динамики климата региона свидетельствуют о достаточной стабильности почв степных экосистем в условиях современной аридизации климата.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект 19-29-05178_мк). Аналитические работы осуществляли в ЦКП ИФХиБПП РАН.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
2. *Базыкин Г.С., Овечкин С.В.* Миграционно-мицелярные черноземы Курской области в климатических и биосферных циклах // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2012. Вып. 70. С. 3–18. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2012-70-3-18>
3. *Бульшева А.М., Хохлова О.С., Русаков А.В., Мякшина Т.Н.* Изменение карбонатного состояния пахотных и залежных почв юга лесостепной зоны средне-русской возвышенности (заповедный участок “Лес-на-Ворскле”) // Вестник Томского гос. ун-та. Биология. 2018. № 41. С. 6–26. <https://doi.org/10.17223/19988591/41/1>
4. *Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И.* Климатические изменения и почвы юга России // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Сер. Естественные науки. 2006. № 6. С. 88–92.
5. *Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И.* Почвы Ростовской области: генезис, география и экология. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2012. 316 с.
6. *Воробьева Л.А.* Теория и практика химического анализа. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
7. *Геннадиев А.Н.* Изучение почвообразования методом хронорядов // Почвоведение. 1978. № 12. С. 33–43.
8. *Демкин В.А.* Палеопочвоведение и археология: интеграция в изучении истории природы и общества. Пушино, 1997. 213 с.
9. *Димо Н.А., Келлер Б.А.* В области полупустыни. Почвенные и ботанические исследования на юге Царицынского уезда Саратовской губернии. Саратов, 1907. 215 с.
10. *Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А.* Характеристики весенне-летних засух в сухие и влажные периоды на юге европейской России // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 4(85). С. 76–83. <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2020-10121>
11. *Иванов И.В., Александровский А.Л.* Методы изучения эволюции почв // Почвоведение. 1987. № 1. С. 112–121.
12. *Иванова Е.Н.* Классификация почв СССР. М.: Наука, 1976. 227 с.
13. *Иенни Г.* Факторы почвообразования. М.: Гос. изд-во иностр. лит-ры, 1948. 348 с.
14. *Классификация и диагностика почв СССР.* М.: Колос, 1977. 224 с.
15. *Козловский Ф.И.* Теория и методы изучения почвенного покрова. М.: ГЕОС, 2003. 536 с.
16. *Лисецкий Ф.Н., Маринина О.А., Буряк Ж.А.* Геоархеологические исследования исторических ландшафтов Крыма. Воронеж: Изд. дом ВГУ, 2017. 431 с.
17. *Минкин М.Б., Бабушкин В.М., Садименко П.А.* Солонцы юго-востока Ростовской области. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1980. 272 с.
18. *Роде А.А., Смирнов В.Н.* Почвоведение. М.: Гослесбумиздат, 1955. 516 с.
19. *Смирнова Л.Г., Чендев Ю.Г., Кухарук Н.С., Нарожная А.Г., Кухарук С.А., Смирнов Г.В.* Изменение почвенного покрова в связи с короткопериодическими климатическими колебаниями // Почвоведение. 2019. № 7. С. 773–780.
20. *Хитров Н.Б.* Подход к ретроспективной оценке изменения состояния почв во времени // Почвоведение. 2008. № 8. С. 899–912.
21. *Хитров Н.Б.* Связь почв солонцового комплекса Северного Прикаспия с микрорельефом // Почвоведение. 2005. № 3. С. 271–84.
22. *Черенкова Е.А., Золотокрылин А.Н.* О сравнимости некоторых количественных показателей засухи // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. Т. 2. С. 79–94. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2016-2-79-94>
23. *Элементарные почвообразовательные процессы: Опыт концептуального анализа, характеристика, систематика / Под ред. Н.А. Караваевой, С.В. Зонна.* М.: Наука, 1992. 186 с.
24. *De Martonne E.* Aréisme et indice d'aridité // Compt. Rend. Acad. Sci. 1926. V. 182. P. 1395–1398.
25. *Sandor J.A., Huckleberry G., Hayashida F.M., Parcero-Oubiña C., Salazar D., Troncoso A., Ferro-Vázquez C.* Soils in ancient irrigated agricultural terraces in the Atacama Desert, Chile // Geoarchaeology. 2021. <https://doi.org/10.1002/geo.21834>
26. *Lisetskii F., Marinina O., Stolba V.F.* Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, Steppe Crimea // Geoderma. 2015. V. 239(240). P. 304–316. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.11.006>
27. *Vreeken W.J.* Principle Kinds of chronosequences and their significance in soil history // J. Soil Sci. 1975. V. 26(4). P. 378–394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1975.tb01962.x>

Response of Soils to the Impulsiveness of Climate Change in the Steppe Zone of the European Part of Russia Over the Past Decades

M. V. Eltsov^{1, *}, A. Yu. Ovchinnikov¹, G. V. Mitenko¹, and A. O. Alekseev¹

¹ *Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, 142290 Russia*

**e-mail: m.v.eltsov@gmail.com*

The study of the properties of the soils of the steppe zone, confined to natural pastures of the Volga-Don interfluvium and the Northern Caspian region, was carried out. The objects of research were kastanozems and solonchaks (Calcic Cambic Kastanozems, Salic Gypsic Solonchak), located on sites adjacent to archaeological sites (burial mounds). It is shown that repeated surveys of the soils studied 20–40 years ago did not record any noticeable changes in their properties. The distribution of carbonates, easily soluble salts, gypsum, the content of organic carbon, and the exchange of Na⁺ in the solonchak horizons in the soil profile has not changed much. At the level of the general trend, an insignificant (no more than 0.5% of the value of the dense residue of the water extract) increase in the salinity of the upper meter of the soil profile was noted. On the territory of the Northern Ergeni, the increased pasture load over the past 20 years has caused an increase in the area of erosive micro-depressions occupied by cortical solonchak. The spatial distribution of the aridity index values is modeled with the construction of isolines, and the shift of the steppe zone boundaries in the Lower Volga region depending on the climate dynamics over the past 60 years is analyzed. The trend of increasing aridity at the beginning of the XXI century after the stage of increased moisture in the second half of the XX century was revealed for almost the entire territory of the south of the East European Plain.

Keywords: steppe, climate change, kastanozems, solonchaks, Calcic Cambic Kastanozems, Salic Gypsic Solonchak