

ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ  
И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.48

СОЛЕВОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ В ПОСТИРРИГАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ  
НА ГЕНЕРАЛОВСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ  
В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2022 г. Н. Б. Хитров<sup>а</sup>, \* (ORCID: 000-0001-5151-5109), И. Н. Горохова<sup>а</sup>, \*\*, Е. И. Кравченко<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Пыжжевский пер., 7, стр. 2, Москва, 119017 Россия

\*e-mail: khitrovnb@gmail.com

\*\*e-mail: g-irina14@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.02.2022 г.

После доработки 09.03.2022 г.

Принята к публикации 13.03.2022 г.

Оценены современные тенденции постирригационного изменения солевого состояния почв Генераловской оросительной системы, расположенной в сухостепной зоне Волгоградской области на второй террасе р. Дон возле Цимлянского водохранилища. С середины 1990-х исследуемая территория не орошается. Используются материалы полевых обследований, выполненных на данной территории в 1990 и 2020 гг., результаты водной вытяжки 1 : 5 за оба срока и измерения активностей ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Cl}^-$  в почвенных пастах с влажностью 40–45% с помощью ионоселективных электродов в 2020 г., аэрофотоснимок (1990 г.), космический снимок (2020 г.). В 1990-х гг. отмечалось вторичное засоление почв в результате подъема уровня грунтовых вод выше критического. За 25 лет отсутствия орошения произошло понижение уровня грунтовых вод глубже 5 м, постепенное рассоление вторичнозасоленных почв и развитие ощелачивания верхних горизонтов современных почв. На этом фоне текущее солевое состояние почв преимущественно таковому 25 лет назад, что проявляется в сохранении общей тенденции пространственного распределения содержания солей в исследуемом ландшафте. В 2020 г. в некоторых почвах отмечено присутствие хлоридов кальция. Их наличие является критерием частичного сохранения следов вторичного засоления, возникшего к 1990-м годам. Показана возможность использования сочетания метода катен при наземном обследовании почв, космической информации и цифровых способов обработки данных для картографирования почвенного покрова, находящегося в постирригационных условиях, с отражением основных групп почв, глубины засоленного горизонта и наличия или отсутствия карбонатов с поверхности почв, сведения по которым необходимы при разработке и подборе оптимальных мелиоративных мероприятий.

*Ключевые слова:* постирригационные почвы, солонцеватость почв, активность ионов натрия, признаки вторичного засоления почв, цифровое почвенное картографирование

DOI: 10.31857/S0032180X2208007X

## ВВЕДЕНИЕ

Земли сухостепной зоны России активно используются в сельском хозяйстве под пашню, сенокосы и пастбища. Почвенный покров зоны представлен разнообразными почвенными комбинациями, включающими крупные массивы каштановых несолонцеватых и солонцеватых почв на водораздельных пространствах с хорошей дренированностью, каштановые солонцовые комплексы с разным долевым участием солонцов в автоморфных, полугидроморфных и гидроморфных условиях, сочетания и пятнистости лугово-каштановых, луговых почв разной степени засоления и солонцеватости, аллювиальные почвы в долинах рек. Работами многих советских и российских исследователей установлены основные закономерности

природного состояния почв сухостепной зоны в целинных условиях и на начальных этапах активного сельскохозяйственного освоения: наличие разных видов солонцовых комплексов, их генезис, очаговый характер распределения солей в них и др. [2, 12, 14, 15, 19, 28].

В середине XX в. в европейской части России были построены крупные оросительные системы, которые позволили обеспечивать продовольственную безопасность страны. Наиболее активное строительство оросительных систем проводилось в 50–60-х гг. XX в. [33]. К середине 1980-х гг. количество освоенных площадей орошаемых земель достигло максимума. Однако значительные нормы поливов, отсутствие дренажа на оросительных системах привели в 1990-х гг. к подъему уровня

грунтовых вод (УГВ), возникновению очагов вторичного засоления, осолонцеванию почв, подтоплению и другим негативным явлениям.

По этим причинам исследования были направлены на изучение колебания и подъема УГВ при орошении [1, 11, 24, 27]; ирригационной эрозии орошаемых почв [20, 21], процессов вторичного засоления [12, 18]; деградации структуры почв на макро- и микроуровнях [27], процессов осолонцевания [12]; окарбонирования [4, 22, 23, 31]; влияния оросительных вод на свойства почв [5, 10, 13].

К классическим методам исследования засоленных орошаемых почв в последние годы активно добавляются такие, как электромагнитометры для бесконтактной оценки засоления почв [36, 37], дистанционное зондирование с привлечением спутниковой информации высокого разрешения [7, 41, 42], информации с беспилотных летательных аппаратов [40] и использование параметров, определяемых дистанционно: индексов растительности, засоления и влажности почв, температуры поверхности, топографии; применение различных моделей расчета и картографирования засоленности почв, из которых наиболее востребованы: случайный лес (RF), множественная регрессионная модель (MLR), метод опорных векторов (SVM), искусственные нейронные сети (ANN) [8, 38–41, 43]. Отмечается, что не существует алгоритма, который мог бы идеально работать для всего набора данных, поэтому выбирается тот, который соответствует конкретным целям и подходит для выбранного района исследования [8, 41].

Современное состояние и прогнозирование распространения засоленных почв дистанционными и расчетными методами особенно важны для малодоступных районов, что улучшает стратегию управления всем орошаемым комплексом, а применение новых приборов позволяет сократить временные и материальные затраты на наземные и лабораторные исследования.

Начиная с 90-х гг. XX в. в России произошла структурная перестройка и существенное сокращение площадей орошаемых земель: большие массивы были заброшены и стали многолетней залежью, другая часть земель переведена в богарное использование, на некоторых участках возобновили орошение только после длительного периода залежи или после богарного использования, другие участки поменяли тип орошения. Такие кардинальные изменения в использовании орошаемых земель не могли не сказаться на состоянии почв, в том числе солевом, включающем разные аспекты состава, содержания и пространственного распределения легкорастворимых солей, обменных катионов, карбонатов и гипса. Примером может служить Генераловская ороси-

тельная система (ОС), расположенная в сухостепной зоне Волгоградской области.

Генераловская ОС построена в 1959 г. с водозабором из Цимлянского водохранилища, ее площадь составляла 12439 га [33]. В начале 1990-х гг. орошение на ОС было прекращено. Отмечался высокий УГВ, развитие вторичного засоления на фоне сохранявшегося природного очагового засоления солонцовых комплексов и образование солончаков [6].

В настоящее время, по данным Волгоградской гидрогеолого-мелиоративной партии (ВГМП)<sup>1</sup>, площадь сельскохозяйственных земель Генераловской ОС составляет 4870 га. Земли используются под богарное земледелие, с перспективой возобновить орошение. Возделывают озимые зерновые и технические (горчица) культуры, сохраняется много залежных земель.

Цель исследований – оценить тенденции пост-ирригационного изменения солевого состояния почв Генераловской ОС, вторично засоленных в 1990-х гг. и находящихся в условиях 25-летнего периода прекращения орошения. Для достижения цели поставлены следующие задачи: 1) изучить засоленность почв в современных условиях; 2) сравнить солевое состояние почв в два периода; 3) картографирование почвенного покрова.

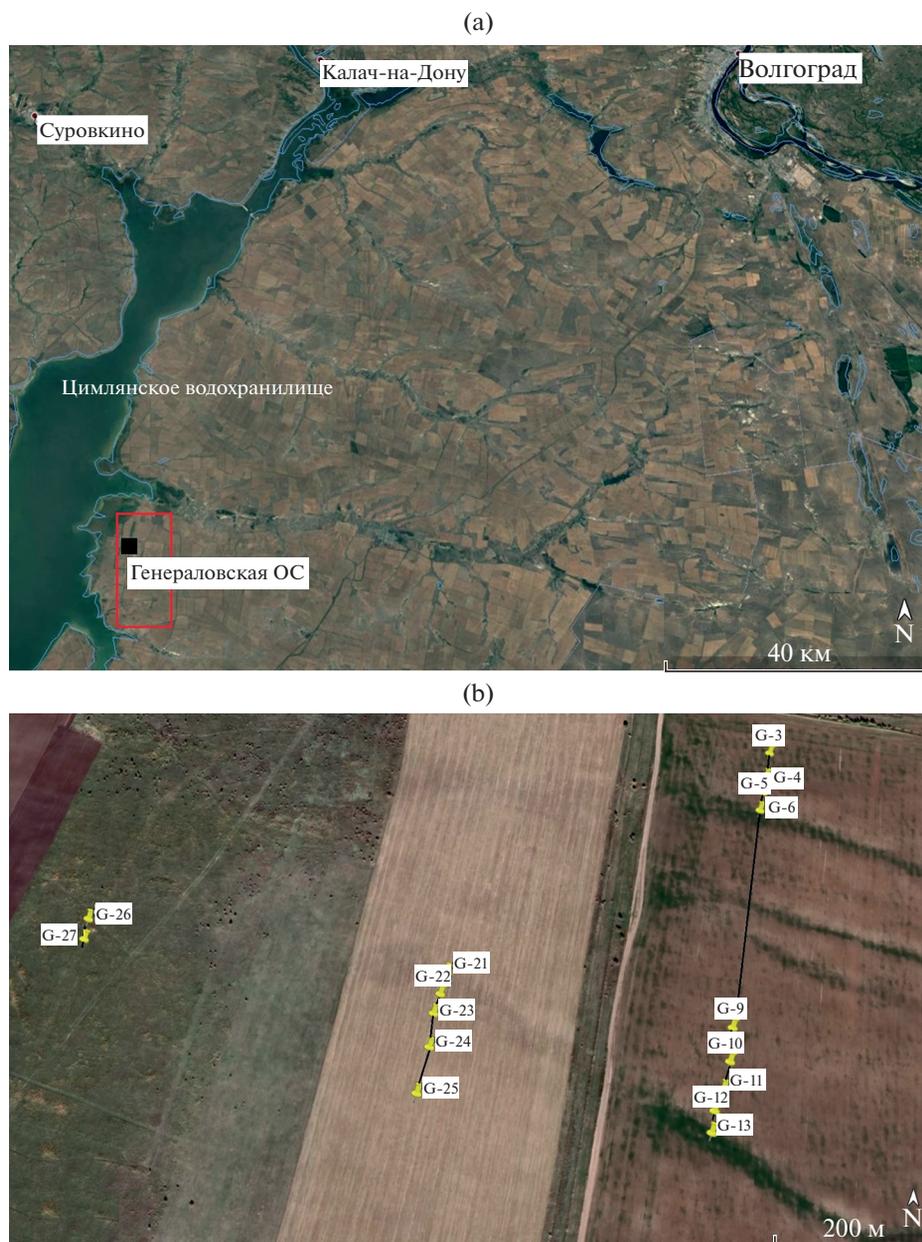
## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований стали почвы Генераловской ОС, расположенной на юге Волгоградской области (рис. 1). Генераловская ОС большей частью находится на второй надпойменной террасе р. Дон (левобережье) и частично на северо-западном склоне возвышенности Ергени в зоне недостаточного увлажнения. Среднегодовое количество осадков колеблется от 270 до 300 мм. В теплый период года выпадает 2/3 осадков, а испаряемость в 2–3 раза больше годового количества осадков [9].

Левобережный комплекс донских террас имеет вид слабонаклонных, плохо различающихся между собой площадок с отметками поверхности не более 60 м. Вторая надпойменная терраса приклонена к третьей и ее ширина значительно меньше третьей, первая надпойменная терраса скрывается под водами Цимлянского водохранилища. Все террасы сложены арчедино-донскими и цимлянскими песками, которые накопились в период таяния днепровского ледника и позднее были погребены под мощным слоем покровных сулинков.

До орошения глубина УГВ в долине р. Дон колебалась от нескольких метров до 10 м [9]. По

<sup>1</sup> Данные Волгоградской гидрогеолого-мелиоративной партии (ВГМП).



**Рис. 1.** Расположение Генераловской ОС и ключевого участка полевых исследований (черный квадрат) (а), точки полевого опробования и почвенно-топографические профили, сделанные на ключевом участке в августе–сентябре 2020 г. (b). Космическое изображение ключевого участка взято с портала Google Earth (27.09.2018).

данным ВГМП, к 1990-м гг. УГВ на оросительной системе повысился и достиг 1.5–3, 3–5 м в долине Дона. Минерализация грунтовых вод увеличилась от 1–3 до 3–10 г/л. Химический состав грунтовых вод был пестрым, с преобладанием сульфатов и хлоридов в различных сочетаниях. В настоящее время на всей площади Генераловской ОС глубина УГВ составляет >5 м. Изменений химического состава грунтовых вод за период орошения не произошло.

Для всей территории Генераловской ОС характерна комплексность почвенного покрова. На

выпуклых и относительно ровных поверхностях распространены каштановые несолонцеватые и солонцеватые почвы с пятнами солонцов, в микропонижениях и днищах широких ложбин – луговато- и лугово-каштановые почвы.

Часть почв террасы Дона претерпела существенные изменения за период орошения. Близкое положение зеркала грунтовых вод к дневной поверхности (1.5–3 м) и повышенная минерализация (3–10 г/л) привели в конце 80–начале 90-х гг. XX в. к формированию лугового солончака из луговато-каштановых почв. Его площадь составляла не-

скольких гектаров. Вокруг него сформировались вторичнозасоленные почвы сильной степени засоления.

В августе–сентябре 2020 г. на Генераловской ОС проведены полевые исследования в пределах второй террасы р. Дон. Заложено и описано 16 разрезов и прикопок, характеризующих сопряжение почв вдоль четырех катен, секущих основной склон в поперечном направлении от водораздельного пространства между широкими ложбинами до днища ложбины, проложено 3 почвенно-топографических профиля (рис. 1б).

Ключевой участок охватывал 3 гипсометрических уровня склона террасы, слаборасчлененного широкими ложбинами, направленными в сторону Цимлянского водохранилища: две катены, поперечные склону, на абсолютной высоте 54–56 м (точки G-3...G-6 и G-9...G-13), одну катену (точки G-21...G-24) на высоте 50–52 м; территорию бывшего солончака на высоте 46.0–46.5 м (точки G-26, G-27).

По данным Гипрозема, до орошения почвенный покров был представлен каштановыми солонцовыми комплексами, включавшими преобладавшие каштановые солонцеватые и несолонцеватые суглинистые почвы с 10–25% каштановых средних и глубоких солонцов, и сочетания каштановых почв с луговато- и лугово-каштановыми почвами в ложбинах. Во время строительства оросительной системы поверхность полей была подвергнута планировке под поверхностный способ полива. Почвы орошались более 30 лет до начала 1990-х.

При полевом обследовании использовали руководство по морфологическому описанию почв [3, 30, 35], название почв давали по трем классификациям: СССР [16] (далее К-1977), России [17, 26] (далее РК-2004(8)) и международной WRB [34] (далее WRB-2015).

Из материалов, полученных в 1990-х гг., использовали послойные (0–50 и 50–100 см) данные содержания солей в водной вытяжке 1 : 5 из 18 почвенных разрезов, имеющих географическую привязку, панхроматический аэрофотоснимок (М 1 : 25000, объединение “Союзгипроводхоз”, 23.06.1990) и результаты полуавтоматической дистанционной диагностики засоления почв. Ключевые участки отличались по комплексу характеристик мелиоративного состояния земель: УГВ, состоянию посевов, засоленности почв.

В почвах, исследованных в 2020 г., содержание водорастворимых солей определяли в стандартной водной вытяжке с соотношением почва : вода 1 : 5 (72 образца), и на основе измерений активностей ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Cl}^-$  в почвенных пастах с влажностью 40–45% [29] с помощью ионоселективных электродов (226 образцов). Для определения степени засоления использовали активность  $\text{Na}^+$  в почвенных пастах (градация <20 ммоль/л соответ-

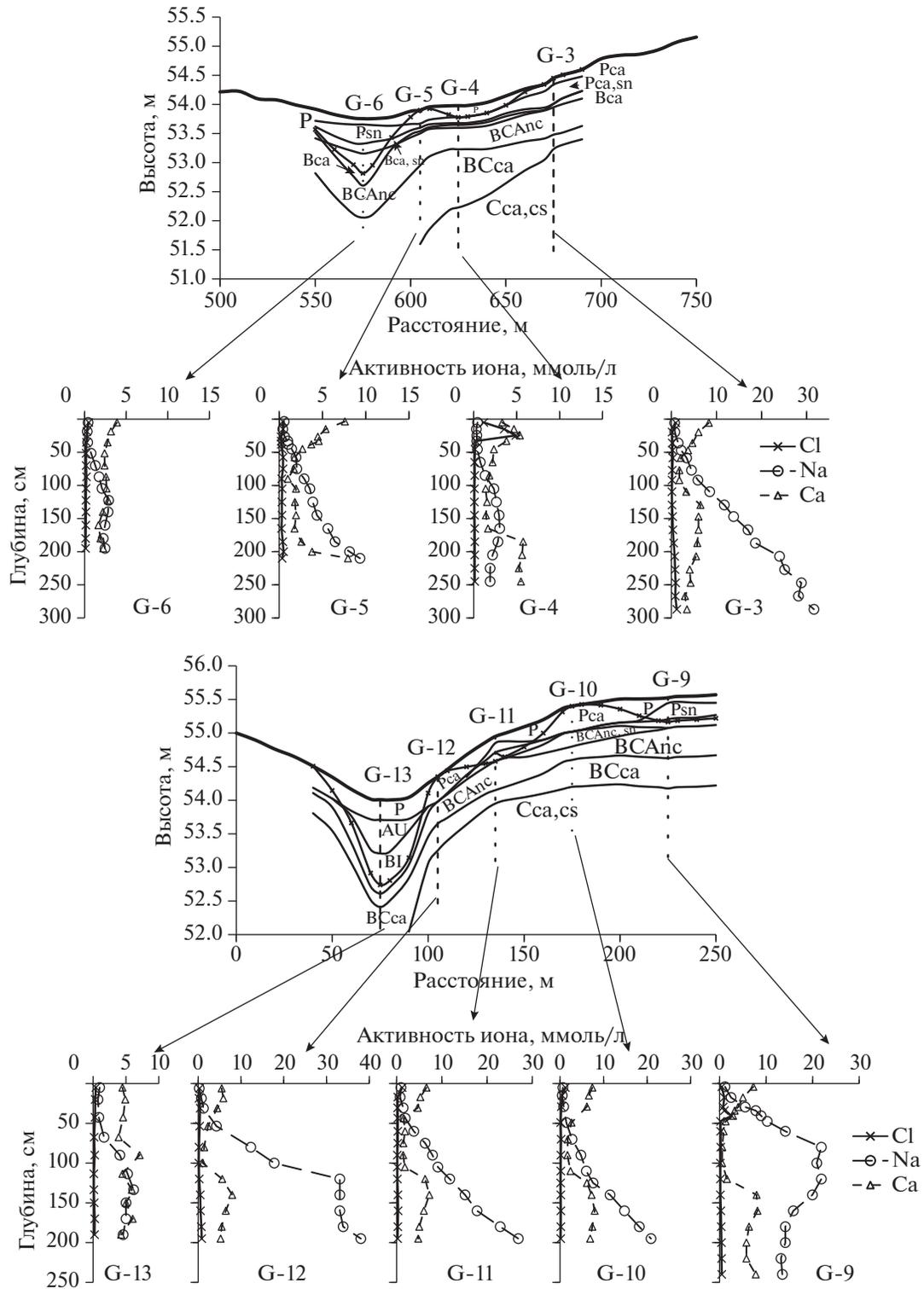
ствует незасоленным разностям, 20–50 ммоль/л – слабозасоленным, 50–150 ммоль/л – средnezасоленными, 150–300 ммоль/л – сильнозасоленным, >300 ммоль/л – очень сильно засоленным разностям). Индикатором вторичного засоления считается соотношение активности ионов, при котором активность хлорид-ионов превышает активность  $\text{Na}^+$ , кроме того, в этих почвенных горизонтах наблюдается высокая активность ионов  $\text{Ca}^{2+}$  (до 10–15 ммоль/л), что свидетельствует о наличии хлорида кальция в почвенном растворе. Долю обменного Na ( $\text{Na}_{\text{обм}}$ , %) оценивали на основе соотношения активности ионов Na ( $a_{\text{Na}}$ ) и Ca ( $a_{\text{Ca}}$ ) по специальной регрессионной модели [32]. Ионный состав воды определяли стандартными методами [29].

Для экстраполяции почвенных разностей и создания почвенной карты на ключевой участок использовали космический снимок с портала Yandex.ru (28.03.2020, Pleiades) и его обработку программным комплексом ENVI 5.1 стандартным алгоритмом ISODATA. Классификатор ISODATA основан на статистическом кластерном анализе k-means (k-средних). В качестве меры близости используется евклидово расстояние. Программа осуществляет разделение по классам, используя максимальное, среднее и минимальное значения яркости и стандартное отклонение в первой итерации, затем классификация проводится по средним значениям и минимальному евклидову расстоянию до получения оптимального разделения классов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Общие черты строения профиля исследованных почв.** Современные почвы имеют агрогумусовый горизонт Р мощностью от 24 до 45 см с медианой 33 см, нижним и верхним квантилями 30 и 38 см соответственно. Он состоит из двух или трех подгоризонтов, отличающихся по вскипанию от HCl, солонцеватости, структурному состоянию, наличию припаханных фрагментов нижележащего горизонта.

В нескольких разрезах (G-4, G-5, G-9, G-11, G-22, G-25) непосредственно под пахотным горизонтом сохранилась нижняя часть ксерометаморфического солонцеватого горизонта ВМКsp, имеющего призматическую структуру и гумусово-глинистые кутаны на боковых гранях агрегатов. Наличие гумусово-глинистых кутан на глыбистых отдельностях пахотного горизонта почв двух катен в верхней части участка на абсолютной высоте 54–56 м свидетельствуют об активной фазе развития солонцового процесса в текущее время. На более низких уровнях общего склона (высота 50–52 и 46–47 м) морфологические признаки солонцеватости встречаются редко (рис. 2, 3).



**Рис. 2.** Профили почв вдоль катен G-3...G-6; G-9...G-13 и вертикальное распределение активности ионов Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, измеренных в пастах с влажностью 40 мас. %.

Все почвы трех катен на высотных уровнях между 50 и 56 м имеют аккумулятивно-карбонатный горизонт ВСА со сплошным вскипанием от НС1 основной массы и карбонатными новообра-

зованиями в виде белоглазки. Его мощность варьирует от 20 до 75 см с медианой 44 см, нижним и верхним квартилями 38 и 54 см. Причем и наибольшие, и наименьшие значения характерны для почв

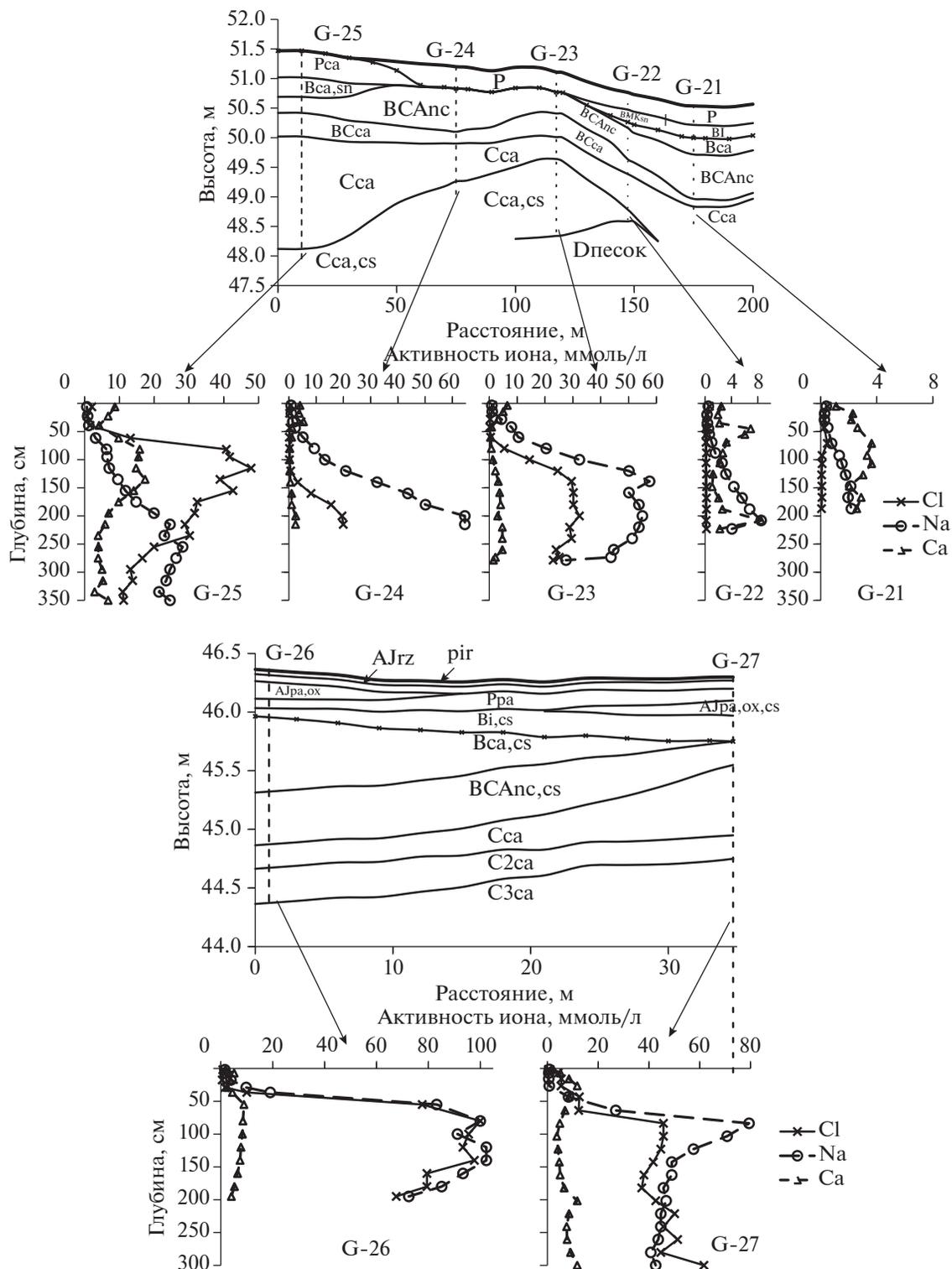


Рис. 3. Профили почв вдоль катен G-21...G-25; G-26...G-27 и вертикальное распределение активности ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ , измеренных в пастах с влажностью 40 мас. %.

днищ ложбин, в которых верхняя граница горизонта ВСА расположена на глубине от 80 до 140 см. Эти почвы представлены агроземами глинисто-иллювиальными (разрез G-6, G-21) и агротемногумусо-

вой глинисто-иллювиальной (разрез G-13) тяжелоуглинистыми на лёссовидных суглинках (луговато-каштановыми почвами по К-1977; Luvic Kastanozem (Loamic, Aric)).

**Таблица 1.** Солевой состав воды в устье р. Есауловский Аксай при ее впадении в Цимлянское водохранилище возле ныне неработающего водозаборного гидроузла Генераловской ОС (дата отбора 01.09.2020)

рН	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Сумма солей, г/л	EC <sub>25</sub> , дСм/м	SAR
	ммоль(экв)/л									
7.8	1.8	27.1	33.4	15.5	11.8	35	0.2	3.93	5.42	9.47

Каштановые почвы по К-1977, имевшие до этапа активного антропогенного воздействия похожее строение профиля, в текущее время имеют два типа почвенного профиля согласно РК-2004(8): с сохранившимся ксерометаморфическим горизонтом ВМК и без него. В первом случае это тип агрокаштановых почв, во втором – тип агроземов аккумулятивно-карбонатных сегрегационных. Агрокаштановые почвы на участке являются солонцеватыми (Luvic Kastanozems (Loamic, Aric, Protosodic, Bathygyptic)), среди агроземов часть разрезов представлены солонцеватыми (Luvic Kastanozems (Loamic, Aric, Protosodic, Bathygyptic)), а другая часть – несолонцеватыми (Haplic Kastanozems (Loamic, Aric, Bathygyptic)) разностями.

На месте лугового солончака, возникшего из луговато-каштановых почв при орошении в 1980–1990-х гг. за счет подъема УГВ до глубины <1.5 м, в 2020 г. под покровом тростника и пырея обнаружены светло-гумусовые аккумулятивно-карбонатные глинисто-иллювирированные постагrogenные окисленно-глееватые срединновскипающие срединногипсодержащие пирогенные слабозасоленные солончаковатые среднесуглинистые почвы на желто-бурых слоистых суглинках. Это означает, что за короткий период (менее полувека) почва прошла два этапа эволюции: интенсивного засоления и в последующем рассоления.

Поскольку предполагается возобновление орошения на Генераловской ОС, оценили состав воды возле ныне недействующего водозаборного сооружения в пос. Пугачевский, находящегося в устье р. Есауловский Аксай, впадающей в Цимлянское водохранилище (табл. 1). Это степная река, имеющая водосборный бассейн на западном склоне Ергеней с распространением солонцовых комплексов. По этой причине вода солоноватая с минерализацией 3.9 г/л и SAR = 9.7. Полив непосредственно такой водой будет обеспечивать накопление обменного натрия 10–12% от ЕКО, вызывая вторичное осолонцевание, а также накопление легкорастворимых солей в корнеобитаемой зоне до уровня слабой степени вторичного засоления. Данный состав воды означает, что при возобновлении орошения необходимы специальные мероприятия по улучшению качества поливной воды, чтобы исключить негативные процессы.

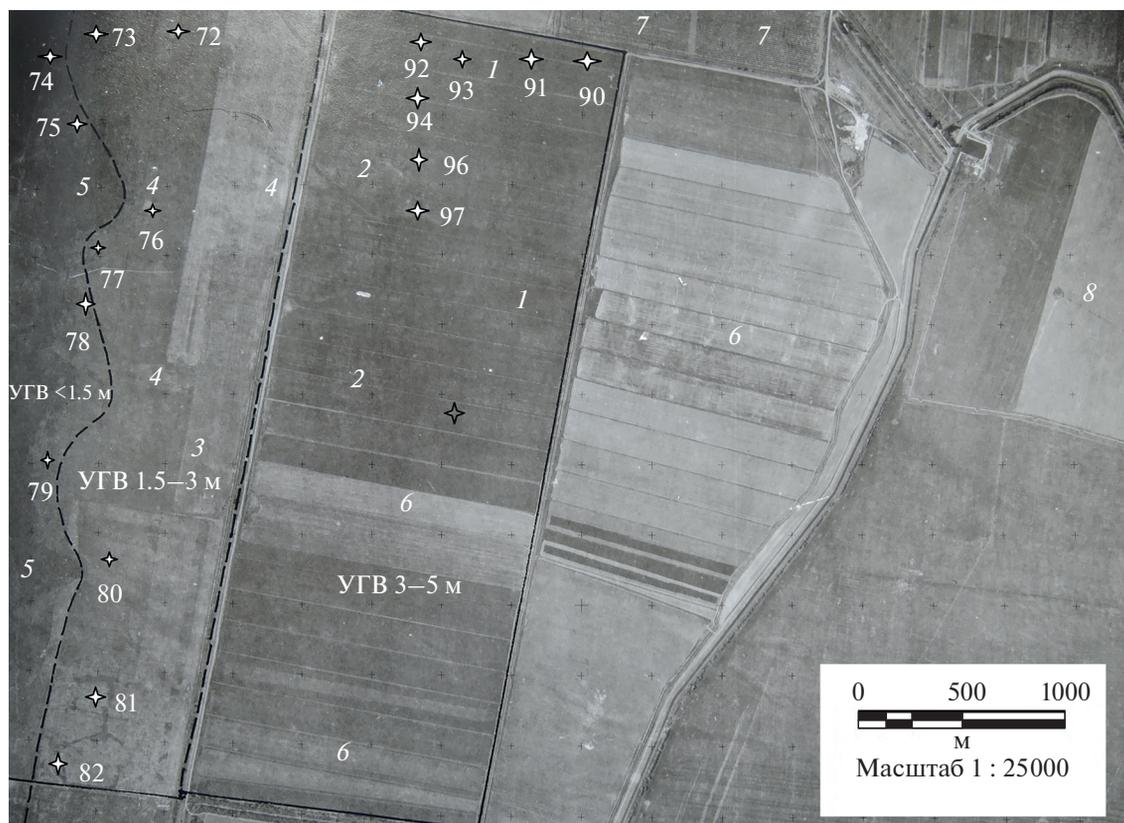
**Солевое состояние почв катен G-3...G-6 и G-9...G-13 на высоте 50–56 м.** Рассмотрим, как изменилось засоление орошаемых почв к настоящему времени на ключевом участке после 25-летнего перерыва в орошении. На поле, расположенном выше основного склона второй террасы Дона на высоте 54–56 м (разрезы G-3...G-13), во время орошения в 1990-х гг. уровень грунтовых вод находился на глубине 3–5 м, а в настоящее время – глубже 5 м. Почвенная комбинация характеризуется тем, что здесь чаще, чем на других участках, встречаются солонцеватые почвы, в которых гумусово-глинистые кутаны на боковых гранях глыбистых агрегатов наблюдаются даже в пахотном горизонте (G-3...G-6, G-9).

По результатам измерения активности ионов в пастах, почвы в днище ложбин и на прилегающей нижней части склона с относительным превышением менее 20 см относительно дна не имеют засоления до глубины более 2 м. Активность Na<sup>+</sup> не превышает 3–7 ммоль/л (или 0.12–0.28 смоль(экв)/кг), активность Cl<sup>-</sup> < 1 ммоль/л (<0.04 смоль(экв)/кг).

На выпуклых участках склона между ложбинами горизонты со слабой степенью засоления залегают с глубины от 80 до 170 см, что соответствует солончаковатым, глубокосолончаковатым и глубоководным разностям. Почвы с засоленным горизонтом глубже 1 м преобладают. В этих почвах (G-3, G-10, G-11) вертикальное распределение солей глубинно-аккумулятивное со сравнительно постепенным увеличением активности ионов натрия вниз по профилю и максимумом на глубине 180–200 см. В нижней части склона на борту более сильно врезанной ложбины (G-12) распределение активности натрия также глубинно-аккумулятивное, но верхний засоленный горизонт располагается ближе к поверхности, чем в верхних частях склона.

К солончаковатым разностям относится только разрез G-9, для которого характерно срединно-аккумулятивное распределение Na<sup>+</sup> с максимумом на глубине 80–130 см. По данным водной вытяжки тип засоления преимущественно натриево-магниевый сульфатный, часто с гипсом.

Для верхних двух катен характерно своеобразное вертикальное распределение активности ионов Ca<sup>2+</sup> с минимальными значениями (0.5–2 ммоль/л)



**Рис. 4.** Территория ключевого участка Генераловской ОС с зонами уровня грунтовых вод (УГВ) в 1990 г.: 3–5, 3–1.5, <1.5 м на изображении панхроматического аэрофотоснимка (объединение “Союзгипроводхоз”, 23.06.1990). Условные обозначения: 1 – участки с люцерной в хорошем состоянии; 2 – пятна разреживания люцерны, связанные с солонцовым и эрозийным процессами; 3 – открытая и частично окошенная поверхность почв; 4 – пятна почв сильного засоления; 5 – луговой солончак; 6 – убранная люцерна; 7 – сады; 8 – богара; 72–97 – номера точек опробования на засоление почв в 1990 г. (см. табл. 2).

в средней части профиля и двумя максимумами (5–8 ммоль/л) в верхних незасоленных и нижних засоленных горизонтах. Исключением являются незасоленные почвы в днищах ложбин. В них активность ионов  $\text{Ca}^{2+}$  имеет приблизительно равномерное вертикальное распределение с варьированием в диапазоне 3–7 ммоль/л.

Минимум активности ионов  $\text{Ca}^{2+}$  в средней части профиля указывает на повышенную щелочность почвенного раствора, возникающую при рассолении ранее засоленных горизонтов. Это сопровождается наличием небольших количеств токсичной щелочности, связанной с Na, в формально незасоленных горизонтах, по данным водной вытяжки.

Обратим внимание, что участок, на котором заложена катена G-3...G-6, в 1990-х гг. характеризовался хорошим состоянием выращиваемых культур с крайне редким проявлением засоления (рис. 4, табл. 2). На рис. 4 эти области отмечены цифрой 1 с однородным фототоном. Соседний участок, на котором заложена катена G-9...G-13, отличался пятнистым засолением с выпадом культур. На рис. 4 он отмечен цифрой 2.

Оценка солевого состояния почв в 2020 г. позволяет утверждать, что различие участков сохранилось в более глубоких горизонтах. В почвах катены G-9...G-13 слабозасоленные горизонты с гипсом расположены на меньшей глубине.

**Солевое состояние почв катены G-21...G-25 на высоте 50–52 м.** Проанализируем состояние почв, находящихся на основном склоне второй террасы р. Дон на поле, в пределах которого в 1990-х гг. УГВ находился на глубине 1.5–3.0 м, и часть почв относилась к солончаковым разностям.

По полевым наблюдениям 2020 г., почвенная комбинация представлена сочетанием-пятнистостью. В днище широких ложбин расположены агроземы глинисто-иллювиальные (лугово-каштановые почвы или Luvic Kastanozem (Loamic, Aric)). На слабовыпуклом наклонном водораздельном пространстве склона между ложбинами – агрокаштановые солонцеватые (каштановые солонцеватые пахотные почвы или Luvic Kastanozem (Loamic, Aric, Protosodic)) и агроземы аккумулятивно-карбонатные (каштановые пахотные смытые почвы или Haplic Kastanozem (Loamic, Aric, Protosodic)) среднесуглинистые на палево-бурых

**Таблица 2.** Степень и химизм засоления почв на ключевом участке Генераловской ОС в июне 1990 г.

№ точки	Средневзвешенная сумма токсичных солей (%) в слое почвы		Химизм засоления	Степень засоления
	0–50 см	50–100 см		
72	0.79	0.88	Хлоридно-сульфатное	Сильная
73	1.02	1.11	—	Очень сильная
74	0.74	0.91	—	Очень сильная
75	1.10	1.39	—	Очень сильная
76	0.73	0.89	—	Сильная
77	0.72	1.12	—	Очень сильная
78	0.91	1.15	—	Очень сильная
79	1.10	1.16	—	Очень сильная
80	0.52	0.82	—	Сильная
81	0.67	0.78	—	Сильная
82	0.76	1.14	—	Очень сильная
90	0.04	0.05	Сульфатное	Нет засоления
91	0.03	0.04	Хлоридно-сульфатное	Нет засоления
92	0.09	0.09	—	Нет засоления
93	0.04	0.07	—	Нет засоления
94	0.04	0.05	—	Нет засоления
96	0.14	0.14	—	Слабое
97	0.08	0.13	—	Слабое

лессовидных суглинках, подстилаемых с 2–2.5 м песком. Местами встречаются сильноперерывные животными (зоотурбированные) и стратифицированные разности с натащенным во время строительных планировок карбонатным материалом на поверхности.

На слабовыпуклой поверхности между ложбинами встречаются солончаковатые (разрез G-23, G-25) и глубокосолончаковатые (разрез G-24) почвы с верхней границей слабозасоленного горизонта на глубине 70–80 и 110 см соответственно. По данным водной вытяжки, тип химизма солей хлоридно-содовый или содово-хлоридный натриевый с суммой токсичных солей  $S_{\text{токс}}$  0.08–0.09%. В горизонтах с морфологическим проявлением прожилок мелкокристаллического гипса на глубине 150–200 см тип химизма становится хлоридно-сульфатным магниевое-натриевым с гипсом. Степень засоления изменяется от слабой до средней ( $S_{\text{токс}}$  0.15–0.23%).

По данным измерения активностей ионов в пастах, почвы в днище и на бортах широкой ложбины (разрезы G-21, G-22) не содержат легкорастворимых солей до глубины 2–2.5 м, включая всю мощность лессовидных суглинков и подстилающие песчаные отложения. Активность хлоридов изменяется от 0.06 до 0.6 ммоль/л (0.002–0.02 смоль(экв)/кг), ионов натрия – 0.25–

2.2 ммоль/л (0.01–0.09 смоль(экв)/кг) в днище ложбины и 0.3–8.5 ммоль/л (0.01–0.34 смоль(экв)/кг) на ее борту с общей тенденцией увеличения значений вниз по профилю.

Распределение засоления по активности натрия глубинно-аккумулятивное в глубокосолончаковатой почве разреза G-24 и срединно-аккумулятивные в солончаковатых почвах G-23 и G-25. Слабая и средняя степень засоления отмечается в нижней части профиля. Верхняя граница засоления по активности ионов  $\text{Na}^+$  расположена на глубине 80 (разрез G-23), 120 (разрез G-24) и 195 см (разрез G-25). По сравнению с почвами верхних катен здесь наблюдаются большие максимальные значения активности ионов натрия в профиле, достигающие 50–60 ммоль/л (2–2.4 смоль(экв)/кг).

Разрез G-25 имеет особенность. В слое 80–150 см наблюдается максимум значений активности  $\text{Cl}^-$  40–48 ммоль/л, соответствующих уровню слабой степени засоления. На этой глубине активность хлоридов превышает в 4 раза активность ионов  $\text{Na}^+$  (7–12 ммоль/л). Хлориды в растворе компенсируются  $\text{Ca}^{2+}$ , активность ионов которого в этом слое 15–18 ммоль/л (соответствует 30–36 ммоль(экв)/л). Глубже активность хлорид-ионов постепенно уменьшается, а с 250 см перестает превышать активность ионов  $\text{Na}^+$ . Наличие хлоридов кальция свидетельствует об остаточных

признаках вторичного засоления [25]. В 1990-х гг. это поле осваивалось частично, УГВ залегал на глубине 1.5–3 м, обеспечивая подъем капиллярной каймы в корнеобитаемую зону, состояние посевов люцерны отличалось пятнистостью и наличием выпадов культуры в местах вторичного засоления почв сильной степени.

В разрезах G-23 и G-24, в которых активность  $\text{Na}^+$  превышает таковую  $\text{Cl}^-$ , вертикальное распределение активности  $\text{Ca}^{2+}$  аналогично описанному выше в разрезах верхних двух катен: минимум (0.3–0.5 ммоль/л) в середине профиля и два максимума (3–6 ммоль/л) в верхних и нижних горизонтах. Это означает наличие щелочных условий в аккумулятивно-карбонатных горизонтах исследуемых почв. Это подтверждают данные водной вытяжки, согласно которым тип засоления хлоридно-содовый натриевый с высокой долей общей щелочности среди анионов и токсичной щелочности, связанной с Na. Глубже он сменяется хлоридно-сульфатным магниевым-натриевым с гипсом.

Таким образом, на территории с близким от поверхности расположением грунтовых вод и солончаковыми и солончаковатыми почвами сильной степени засоления через 25 лет отсутствия орошения произошло частичное рассоление верхних горизонтов почв с сохранением локальных следов былого вторичного засоления в виде наличия хлоридов Ca в почвенных растворах. При этом почвы катены по-прежнему имеют больше легкорастворимых солей в профиле, которые находятся выше в почвенном профиле по сравнению с двумя верхними катенами.

**Солевое состояние почв территории бывшего солончака.** Разрезы G-26 и G-27 заложены на месте бывшего лугового солончака, возникшего из луговато-каштановых почв, где УГВ составлял <1.5 м в 1990 г., почвы имели сильную и очень сильную степень засоления в метровой толще. Участок с абсолютной высотой 46.0–46.5 м ближе всего расположен к Цимлянскому водохранилищу. Поле сплошь поросло тростником. Разрез G-26 характеризует слабовыпуклую фоновую поверхность общего пологого склона с разреженным низкорослым (высотой 1.0–1.3 м) тростником с пыреем и вейником, а разрез G-27 – днище мелкой ложбины с густыми зарослями тростника, имеющего высоту 2–2.5 м, с пыреем во втором ярусе. Почвы лугово-каштановые старопашотные солончаковатые тяжело- и среднесуглинистые на палево-бурых суглинках (K-1977) или светло-гумусовые пирогенные постагрогенные окисленно-глеевые глинисто-иллювирированные высокогипсодержащие срединно-карбонатные глубокосегрегационно-карбонатные тяжело- и среднесуглинистые на палево-бурых пылеватых суглинках, подстилаемых с 1.5 м слоистыми суглинками

(PK-2004), или Luvic Gypsic Kastanozems (Loamic, Oxiaquic, Endoprotosalic).

В связи с периодическим выжиганием тростника на поверхности почв образовался пирогенный слой (признак *pir*) мощностью 3–4 см, состоящий из обугленных растительных остатков с примесью минеральных частиц. Бывший пахотный горизонт за 30 лет постепенно преобразуется в светлогумусовый горизонт AJ под влиянием корневых систем тростника и пырея. В его верхней части сформировалась дернина (признак *gz*) мощностью 4–6 см. Отчасти сохранившаяся глыбистая структура первого порядка с отдельными угловатыми неправильной формы агрегатами (признак *ra* – постагрогенный) стала непрочной и преимущественно раздроблена корнями на зернистые и уплощенно-зернистые агрегаты. Наличие на поверхности многих агрегатов буро-ржавых пленок гидроксидов железа и бурых мягких конкреций диаметром 1–2 мм, сосредоточенных в скоплениях диаметром до 2 см внутри глыбистых отдельностей, отражает периодическое развитие восстановительных условий в поверхностном горизонте, сменяющихся в летний период при высыхании почв окислительными условиями (признак *ox* – окисленно-глееватый).

Начиная с глубины 21–33 см, и далее по профилю до 75–150 см в горизонтах AJ<sub>pa,ox,cs</sub>, Vi<sub>cs</sub>, Vca<sub>cs</sub>, BCAn<sub>cs</sub> отмечается заметное количество прожилков мучнистого гипса. В ложбине (разрез G-27) слой с гипсом меньше по мощности и расположен ближе к поверхности в области распространения крупных корневищ тростника. На слабовыпуклой поверхности (разрез G-26) он начинается чуть глубже за пределами светлогумусового горизонта и распространяется до глубины 150 см.

В 2020 г. поверхностные горизонты бывшего солончака, исключая вновь сформированные пирогенные, оказались рассолены, формально став незасоленными, хотя активность ионов натрия в них от 0.5 до 9 ммоль/л при 40 мас. % влажности свидетельствует о незаконченном процессе. На основной части склона рассоление привело к проявлению токсичной щелочности, связанной с натрием, тогда как в ложбине высокая общая щелочность (0.5–1.0 ммоль(экв)/кг) полностью компенсирована Ca, одним из источников которого является сетка обильных прожилков мучнистого гипса на глубине 20–33 см.

Первый от поверхности слабозасоленный горизонт начинается с глубины 33 см на слабовыпуклой поверхности (разрез G-26) и с 50 см в мелкой ложбине (разрез G-27). Основная часть почвенного профиля от 40–70 до 300 см имеет среднюю степень засоления хлоридного кальциево-магниевым-натриевого или кальциево-натриевого типа химизма ( $S_{\text{токс}}$  0.12–0.17%). На фоновой части склона максимум содержания солей нахо-

дится в середине профиля (40–70 см) в горизонте со сплошным вскипанием от  $\text{HCl}$  и прожилками мучнистого гипса при отсутствии карбонатных новообразований, появляющихся только с глубины 105 см. В ложбине распределение солей имеет преимущественно элювиальный вид с мало изменяющейся суммой токсичных солей (0.11–0.14%) на глубине 1–3 м.

Вместе с тем измерение активности ионов в пастах демонстрирует наличие некоторого максимума содержания  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  на глубине около 1 м, где обнаружено большое количество средних и мелких корней и корневищ тростника. При этом в разрезах G-26 и G-27 характерны наибольшие значения активности  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  на всем исследуемом массиве. В обоих разрезах имеются горизонты с хлоридами Ca и Mg, что является ярким свидетельством сохранившихся признаков вторичного засоления от расположенных близко грунтовых вод в прошлом во время орошения территории.

Важно оценить причину очень близкого залегания грунтовых вод в 1990-х гг. и современного произрастания зарослей тростника в виде широкой полосы на общем склоне второй террасы Дона. Из результатов ручного бурения следует, что глубже 130–150 см наблюдается слоистость суглинистых отложений, способствующая удержанию воды в отдельных слоях. Эти слои имеют мягкопластичную консистенцию и высокую липкость. К ним приурочены живые корни тростника с диаметром 5–6 мм, позволяющие обеспечивать водой надземные органы растений. В пределах трехметровой толщи обнаружено два таких сильно увлажненных слоя (горизонты C<sub>са</sub> и C<sub>3са</sub> на рис. 3), разделенных пылеватыми суглинками с существенно меньшей влажностью (горизонт C<sub>2са</sub> на рис. 3). Наличие слоистости суглинистых отложений террасы в условиях дополнительного поступления воды в ландшафт в период активного орошения вызвало формирование длительной верховодки и солончака. В настоящее время при поступлении только атмосферных осадков эта причина поддерживает устойчивое произрастание растительной ассоциации тростника с пыреем.

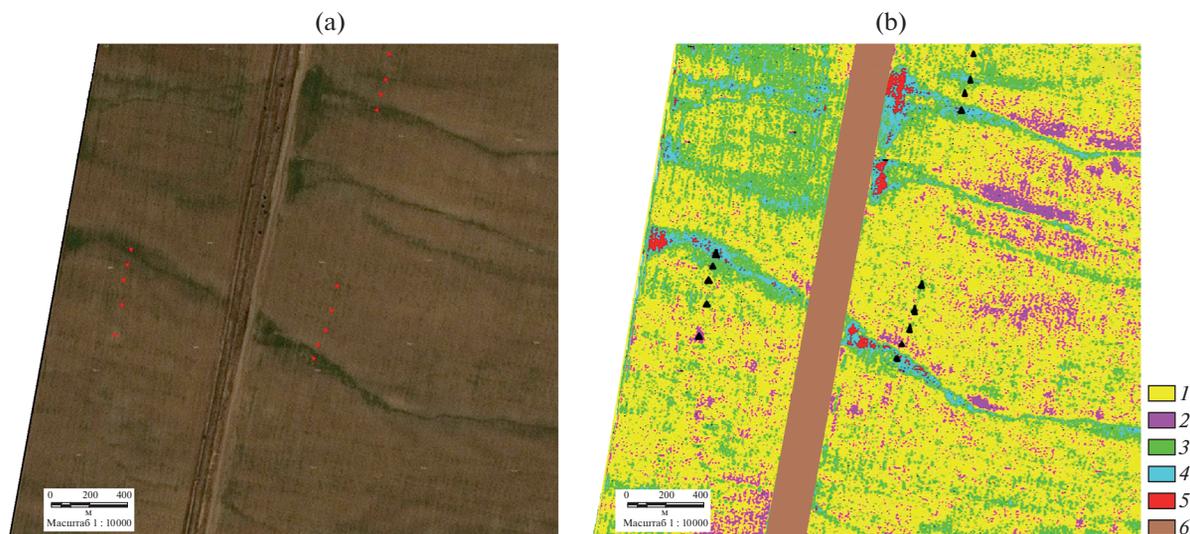
**Тенденции изменения солевого состояния почв в постирригационных условиях.** Анализ текущего солевого состояния почв, выполненный в 2020 г., на участках, характеризовавшихся разным исходным солевым состоянием 30 лет назад, позволяет сделать следующие утверждения. Во-первых, за 25 лет отсутствия орошения под влиянием атмосферных осадков произошло постепенное рассоление вторичнозасоленных почв и развитие ошелачивания верхних горизонтов современных почв. Наиболее ярко это явление наблюдается на месте бывшего вторичного солончака 1990-х гг. Во-вторых, на двух участках с УГВ < 3 м и наиболее сильным засолением в прошлом сохранились признаки вторич-

ного засоления в текущее время в виде наличия хлоридов Ca в почвенных растворах на фоне существенного понижения грунтовых вод. В-третьих, сохранилось различие почв четырех участков по солевому состоянию. Допустимо утверждать о преемственности текущего солевого состояния почв такому 25 лет назад. На участке с общим хорошим состоянием люцерны в период орошения, отражавшим наименьшее засоление почв, в текущее время большая часть почв не засолены до 2 м и редко встречаются только глубокозасоленные разности. Участки, имевшие пятнистое засоление и разное положение уровня грунтовых вод (3–5 и 1.5–3 м) в 1990-х гг., в текущее время включают солончаковатые и глубокосолончаковатые разности почв с относительно более высоким содержанием солей и присутствием хлоридов кальция на исходно более засоленном участке с УГВ 1.5–3 м. Участок бывшего солончака до сих пор остается наиболее засоленным.

**Оценка площадного распространения почв по данным дистанционного зондирования.** Используя полевую диагностику и описание почв, привлекая классификацию (К-1977 и РК-2004(8)), провели кластеризацию космического снимка (Pleiades, 28.03.2020) и экстрополяцию типов почв на фрагмент обработанного изображения, охватывающего часть ключевого участка вокруг катен G-3...G-6, G-9...G-13, G-21...G-25 общей площадью 71 га (без учета территории канала и дороги). Поле с бывшим солончаком из-за малого количества точек полевого опробывания не рассматривали (рис. 5).

Почвы группировали по глубине первого от поверхности солевого горизонта (солончаковые – до 30 см; солончаковатые – 30–80 (100) см; глубокосолончаковатые – 100–150 см; глубокозасоленные – 150–200 см) и по наличию вскипания от 10%-ной  $\text{HCl}$  с поверхности, качественно отражающей наличие или отсутствие карбонатов в пахотном горизонте. Гранулометрический состав почв указывали по данным полевых исследований.

Кластеризация снимка позволила выделить по преобладающим признакам следующие группы почв: 1 – каштановые пахотные (агрокаштановые) солонцеватые глубокосолончаковатые и глубокозасоленные среднесуглинистые; 2 – каштановые пахотные (агроземы аккумулятивно-карбонатные) солонцеватые поверхностно-карбонатные солончаковатые и глубокосолончаковатые среднесуглинистые; 3 – луговато-каштановые пахотные (агроземы глинисто-иллювиальные) незасоленные среднесуглинистые; 4 – лугово- и луговато-каштановые пахотные (агротемногумусовые глинисто-иллювиальные и агроземы глинисто-иллювиальные) незасоленные тяжело- и среднесуглинистые; 5 – лугово-каштановые (агроземы глинисто-ил-



**Рис. 5.** Изображение космического снимка с портала Yandex.ru (a) (28.03.2020, Pleiades), результат его кластеризации и составления почвенной карты на территорию исследуемого участка (b). Условные обозначения: 1 – каштановые пахотные (агрочаштановые) солонцеватые глубокосолончаковатые и глубокозасоленные среднесуглинистые почвы; 2 – каштановые пахотные (агроземы аккумулятивно-карбонатные) солонцеватые поверхностно-карбонатные солончаковатые и глубокосолончаковатые среднесуглинистые почвы; 3 – лугово-каштановые пахотные (агроземы глинисто-иллювиальные) незасоленные среднесуглинистые почвы; 4 – лугово- и лугово-каштановые пахотные (агротемногумусовые глинисто-иллювиальные и агроземы глинисто-иллювиальные) незасоленные тяжело- и среднесуглинистые почвы; 5 – лугово-каштановые (агроземы глинисто-иллювиальные окисленно-глееватые) солончаковатые тяжело- и среднесуглинистые почвы; 6 – заброшенный канал и дорога.

лювиальные окисленно-глееватые) солончаковатые тяжело- и среднесуглинистые (рис. 5b).

Вся рассматриваемая часть ключевого участка распахана и пересечена множеством ложбин, что хорошо видно на космическом снимке (рис. 5a). Если сопоставить изображение современного космического снимка с аэрофотоснимком (1990 г.), то ложбины на последнем просматриваются слабо, а на космическом снимке напротив, отчетливо, что связано с отсутствием планировок полей в пост-ирригационный период и продолжающейся эрозией почв.

Большую часть общего склона (67.9% всей площади), представляющего собой водораздельное пространство между ложбинами, занимают агрокаштановые солонцеватые глубокосолончаковатые и глубокозасоленные среднесуглинистые почвы (рис. 5b, почвы 1).

Агроземы аккумулятивно-карбонатные солонцеватые поверхностно-карбонатные (рис. 5b, почвы 2) расположены на бортах ложбин, где происходит эрозионный смыл почв, и на водораздельной поверхности в местах срезов почв, проводившихся при строительстве и планировке оросительной системы. Их доля составляет 7.5%. Большинство почв этой группы являются глубокосолончаковатыми, но среди них встречаются и солончаковатые разности. Обращает внимание факт несимметричного положения ареалов этих почв на бортах ложбин. Они приурочены преимущественно к

правому северному борту. Такое положение соответствует отклонению временного потока воды вдоль дна ложбины, направленного с востока на запад, под действием силы Кориолиса.

Вогнутые позиции на водораздельном пространстве между ложбинами и вдоль ложбин представлены почвами с выщелоченным от карбонатов глинисто-иллювиальным горизонтом VI. Большая их часть незасоленные. Слабовыраженные западины и слабоврезанные ложбины заняты агроземами глинисто-иллювиальными среднесуглинистыми (лугово-каштановыми почвами) с маломощным горизонтом VI. Их доля составляет 19.8% от общей площади (рис. 5b, почвы 3).

В более глубоковрезанных днищах ложбин сформировались агротемногумусовые глинисто-иллювиальные и агроземы глинисто-иллювиальные незасоленные с глубиной вскипания от HCl, варьирующей от 55 до 145 см. Они составляют 3.5% от общей площади (рис. 5b, почвы 4). Среди этих почв встречаются разности не только среднесуглинистые, но и тяжелосуглинистые.

В редких местах (1.3%) перехвата ложбин линейными объектами (дорога, насыпь канала) сосредоточены небольшие ареалы агроземов глинисто-иллювиальных (лугово-каштановых почв) солончаковатых тяжело- и среднесуглинистых почв (рис. 5b, почвы 5).

Таким образом, представленная карта, созданная путем выделения основных групп почв с помощью классификации космических изображений, ясно отражает современный почвенный покров исследованного участка Генераловской ОС, находящегося в постирригационных условиях. Это позволяет использовать метод катен заложения точек опробования почв при полевом обследовании в сочетании с данными дистанционного зондирования и приемами цифрового картографирования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Под влиянием 30-летней эксплуатации Генераловской оросительной системы к началу 90-х гг. XX в. часть почв долины Дона претерпела существенные изменения. Состояние посевов сельскохозяйственных культур, отражаемое на аэрофотоснимках того времени, заметно различалось от хорошего до крайне угнетенного в зависимости от исходной засоленности каштановых солонцовых комплексов и сформировавшегося режима уровня и минерализации грунтовых вод на орошаемых участках. Высокий УГВ (<1.5 м) и повышенная минерализация (3–10 г/л) привели к формированию солончака площадью в несколько десятков гектаров, вокруг которого сформировались вторичнозасоленные почвы сильной степени.

По результатам 2020 г. установлено, что после 25-летнего периода прекращения орошения на всем исследуемом массиве бывшей оросительной системы УГВ стал глубже 5 м и произошло постепенное рассоление вторично-засоленных почв, включая вторичный солончак. В текущее время слабовыпуклые части склона заняты глубокосолончаковыми и солончаковыми слабозасоленными агрокаштановыми солонцеватыми почвами и агроземами аккумулятивно-карбонатными солонцеватыми (каштановыми пахотными), и в днищах ложбин и слабовогнутых поверхностях — агроземами глинисто-иллювиальными незасоленными (луговато-каштановыми почвами).

На участках, на которых в 1990-х гг. УГВ был <3 м, в текущее время сохранились признаки вторичного засоления в виде наличия хлоридов кальция в почвенных растворах.

Исходное различие почв четырех участков по солевому состоянию сохранилось в том же порядке, но на фоне более слабого засоления. На участке с общим хорошим состоянием люцерны в период орошения в текущее время большая часть почв не засолены до 2 м и редко встречаются глубокозасоленные разности. Участки с пятнистым сильным засолением в прошлом сейчас включают солончаковые и глубокосолончаковые разности почв с относительно более высоким содержанием солей. Территория бывшего солонча-

ка до сих пор остается наиболее засоленной. Это позволяет утверждать о преимуществах текущего солевого состояния почв таковому 25 лет назад.

Сочетание метода катен для заложения точек опробования почв при полевом обследовании с данными дистанционного зондирования и приемами цифрового картографирования обеспечивает возможность площадной оценки наличия или отсутствия карбонатов с поверхности почв, глубины расположения первого от поверхности солевого горизонта, необходимых при разработке и подборе оптимальных мелиоративных мероприятий.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственных заданий АААА-А19-119081690030-0 “Изучить влияние природных условий и особенностей землепользования на почвенный покров с участием засоленных, солонцовых и слитизированных почв” и FGUR-2022-0009 “Изучить трансформацию, эволюцию и деградацию почвенного покрова агроландшафтов на разных уровнях организации, включая внутриполевую неоднородность, с использованием сочетания наземных обследований и цифровых технологий”, № 122022800220-5.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев Г.И., Козлечков Г.А., Родионова Л.М., Семерникова А.И., Градусов Б.Л., Федоров К.И., Чижилова Н.П. Направленность почвообразования в долине Нижнего Дона и Западного Маньча и изменение ее при орошении // Сб. науч. трудов. Вып. XV. Ч. II. Эксплуатация обводнительно-оросительных систем и мелиорация орошаемых земель Сев. Кавказа. Ростов-на-Дону, 1973. С. 255–307.
2. Антипов-Каратаев И.Н. Мелиорация солонцов в СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 563 с.
3. Базовые шкалы морфологических элементов почв. Методическое руководство по описанию почв в поле. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. 1982. 58 с.
4. Барановская А.В., Азовцев В.И. Влияние орошения на миграцию карбонатов в почвах Поволжья // Почвоведение. 1981. № 10. С. 17–26.
5. Безднина С.Я. Качество воды для орошения: Принципы и методы оценки. М.: РОМА, 1997. 185 с.
6. Горохова И.Н. Оценка засоления орошаемых почв Нижнего Поволжья с использованием аэрофотоснимков. Автореф. дис. ... канд. техн. н. М., 1992. 25 с.
7. Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Прокопьева К.О., Харланов В.А. Почвенный покров Светлоярской оросительной системы через полвека мелиоративных воздействий // Почвоведение. 2018. № 8. 1033–1044.  
<https://doi.org/10.1134/S0032180X180801301>

8. *Горохова И.Н., Чурсин И.Н., Хитров Н.Б., Панкова Е.И.* Распознавание сельскохозяйственных угодий по космическим снимкам // Экосистемы: экология и динамика. 2021. Т. 5. № 3. С. 5–33. <https://doi.org/10.24412/2542-2006-2021-3-5-33>
9. *Дегтярева Е.Т., Жулидова А.Н.* Почвы Волгоградской области. Волгоград: Нижне-Волжское книжное изд-во, 1970. 319 с.
10. *Дедова Э.Б.* 2018. Зональная шкала оценки качества поливных вод республика Калмыкия // Синергия. № 1. С. 88–95. <https://veri.ru/wp-content/uploads/2018/10/Sinergiya-2018-1.pdf>
11. *Зайдельман Ф.Р.* Экологическая защита мелиорируемых почв и агроландшафтов // Почвоведение. 1993. № 1. С. 5–12.
12. *Зимовец Б.А.* Экология и мелиорация почв сухостепной зоны. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1991. 248 с.
13. *Зинченко Е.В., Горохова И.Н., Круглякова Н.Г., Хитров Н.Б.* Современное состояние орошаемых почв юга Приволжской возвышенности // Бюл. Почв. ин-та имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 104. С. 68–109. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-104-68-109>
14. *Иванова Е.И.* Очерк почв южной части Подуральского плато и прилегающих районов Прикаспийской низменности. Л.: Изд-во АН СССР, 1928. 320 с.
15. *Иванова Е.Н., Фридланд В.М.* Почвенные комплексы сухих степей и их эволюция // Вопросы улучшения кормовой базы в степной, полупустынной и пустынной зонах СССР. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 162–190.
16. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 47 с.
17. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
18. *Ковда В.А.* Происхождение и режим засоленных почв. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1946–1947. Т. 1. 575 с. Т. 2. 375 с.
19. *Ковда В.А.* Солончаки и солонцы М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1937. 246 с.
20. *Козловский Ф.И.* Современные естественные и антропогенные процессы эволюции почв. М.: Наука, 1991. 198 с.
21. *Кузнецов М.С., Григорьев В.Я., Хан К.Ю.* Ирригационная эрозия почв и ее предупреждение при поливах дождеванием. М.: Наука, 1990. 120 с.
22. *Любимова И.Н., Дегтярева Е.Т.* Изменение карбонатного профиля почв солонцовых комплексов при агрогенном воздействии // Почвоведение. 2000. № 7. С. 855–860.
23. *Любимова И.Н., Новикова А.Ф.* Влияние различных антропогенных воздействий на изменение почв солонцовых комплексов сухостепной зоны // Почвоведение. 2016. № 5. С. 633–643. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16050129>
24. *Минашина Н.Г.* Мелиорация засоленных почв. М.: Колос, 1978. 263 с.
25. Научные основы предотвращения деградации почв – земель сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии: Т. 1. Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв – земель сельскохозяйственных угодий. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2013. 756 с.
26. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
27. *Приходько В.Е.* Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность. М.: Интеллект, 1996. 179 с.
28. *Роде А.А., Польский М.Н.* Почвы Джаныбекского стационара, их морфологическое строение, механический и химический состав и физические свойства // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1961. Т. 56. С. 3–214.
29. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв / Под ред. Н.Б. Хитрова и А.А. Понизовского. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1990. 236 с.
30. Руководство по описанию почв. Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций, 2012. 101 с.
31. *Сиземская М.Л.* Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 276 с.
32. *Хитров Н.Б., Роговнева Л.В.* Пятилетнее изменение засоленности почв и грунтов рисовых систем Прикаркинской низменности после прекращения орошения // Почвоведение. 2021. № 1. С. 120–135. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21010044>
33. *Щедрин В.Н., Колганов А.В., Васильев С.М., Чураев А.А.* Оросительные системы России: от поколения к поколению. Новочеркасск: Геликон, 2013. Ч. 1. 283 с.
34. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. 2015. No. 106. FAO, Rome. 192 p.
35. Guidelines for soil description. The fourth edition. FAO. Rome, 2006. 98 p.
36. *Khongnawang T., Zare E., Srihabun P., Triantafilis J.* Comparing electromagnetic induction instruments to map soil salinity in two-dimensional cross-sections along the Kham-rean Canal using EM inversion software // Geoderma. 2020. V. 377. P. 114611. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114611>
37. *Paz A.M., Castanheira N., Farzadian M., Paz M.K., Gonçalves M.C., Monteiro Santos F.A., Triantafilis J.* Prediction of soil salinity and sodicity using electromagnetic conductivity imaging // Geoderma. 2020. V. 361. P. 114086. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114086>
38. *Ren D., Wei B., Xu X., Engel B., Li G., Huang Q., Xiong Y., Huang G.* Analyzing spatiotemporal characteristics of soil salinity in arid irrigated agro-ecosystems using integrated approaches // Geoderma. 2019. V. 356. P. 113935. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113935>

39. *Taghizadeh-Mehrjardi R., Schmidt K., Toomanian N., Heung B., Behrens T., Mosavi A., Band S.S., Amirian-Chakan A., Fathabadi A., Scholten T.* Improving the spatial prediction of soil salinity in arid regions using wavelet transformation and support vector regression models // *Geoderma*. 2021. V. 383. P. 114793. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114793>
40. *Tian F., Hou M., Qiu Y., Zhang T., Yuan Y.* Salinity stress effects on transpiration and plant growth under different salinity soil levels based on thermal infrared remote (TIR) technique // *Geoderma*. 2020. V. 357. P. 113961. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113961>
41. *Wang F., Shi Z., Biswas A., Yang S., Ding J.* Multi-algorithm comparison for predicting soil salinity // *Geoderma*. 2020. V. 365. P. 114211. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114211>
42. *Wang J., Ding J., Yu D., Ma X., Zhang Z., Ge X., Teng D., et al.* Capability of Sentinel-2 MSI data for monitoring and mapping of soil salinity in dry and wet seasons in the Ebinur Lake region, Xinjiang, China // *Geoderma*. 2019. V. 353. P. 172–187. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.06.040>
43. *Zarea E., Arshad M., Zhao D., Nachimuthu G., Triantafyllis J.* Two-dimensional time-lapse imaging of soil wetting and drying cycle using EM38 data across a flood irrigation cotton field // *Agricultural Water Management*. 2020. V. 241. P. 106383. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106383>

## Soil Salinity Status Under Post-Irrigation Conditions at the Generalovskaya Irrigation System in the Volgograd Region

N. B. Khitrov<sup>1, \*</sup>, I. N. Gorokhova<sup>1, \*\*</sup>, and E. I. Kravchenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Dokuchaev Soil Science Institute, Pizhevskiy per., 7, build. 2, Moscow, 119017 Russia*

*\*e-mail: khitrovn@gmail.com*

*\*\*e-mail: g-irina14@yandex.ru*

The aim is to evaluate recent post-irrigated change of soil salinity status at the Generalovskaya irrigation system located in the dry steppe zone of the Volgograd region of Russia on the second terrace of the river Don near the Tsimlyansk reservoir. Since the middle of 1990s the studied territory remains in conditions of irrigation cessation. Field soil survey materials on the territory carried out in 1990 and 2020, results of water extraction (1 : 5), and measurements of the activities of Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, and Cl<sup>-</sup> ions in soil pastes with a moisture content of 40–45% via ion-selective electrodes, aerial photographs (1990), satellite image (2020) were used. Secondary soil salinization was developed in 1990s due to groundwater table raised higher than critical one. There has been descent of groundwater table deeper 5 m, gradual desalinization of the secondary saline soils and the development of alkalization of the modern topsoil horizons over 25 years of irrigation absence conditions. Against this background, the current soil salinity status is successive to that of 25 years ago, which manifests itself in the preservation of the general trend in the spatial distribution of salt content in the studied landscape. In 2020, in some soils, we noted the presence of calcium chlorides, which are identified as preserved imprints of secondary salinization arisen by the 1990s. We showed the possibility of using a combination of the catena method of ground-based soil survey, space information, and digital data processing methods for mapping the soil cover in post-irrigation conditions, demonstrating the main soil groups, the depth of the upper saline horizon, and the presence or absence of carbonates at the soil surface. Such information is necessary for the development and selection of optimal reclamation events.

*Keywords:* post-irrigation soils, sodicity of soils, activity of sodium ions, signs of secondary salinization of soils, digital soil mapping