

УДК 631.4

## ИЗМЕНЕНИЕ ЗАСОЛЕННОСТИ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ УЧАСТКА ЧЕРВЛЕНОЕ ЗА ЧЕТВЕРТЬ ВЕКА (ВОЛГОГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2020 г. И. Н. Горохова<sup>а, \*</sup>, Н. Б. Хитров<sup>а</sup>, Е. И. Кравченко<sup>а</sup><sup>а</sup>Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Пыжжевский пер., 7, Москва, 119017 Россия

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

Поступила в редакцию 22.04.2019 г.

После доработки 26.07.2019 г.

Принята к публикации 27.11.2019 г.

На территорию орошаемого участка Червленое Светлоярской оросительной системы созданы карты засоленности и токсичной щелочности почв по состоянию на 2017–2018 гг. и проведено их сравнение с картами, отражающими состояние почв в целинных условиях и в период орошения на 1992 и 2006 гг. Участок расположен возле Волго-Донского канала на северных склонах возвышенности Ергени (Вологоградская область). Почвенный покров до орошения был представлен комплексом светло-каштановых солонцеватых суглинистых почв (Sodic Cambisols (Loamic, Ochric, Magnezic, Bathyprotosalic)) и степных солонцов (Endosalic Solonetz (Albic, Loamic, Columnic, Cutanic, Differentic, Ochric, Magnezic)) на лёссовидных суглинках. В ходе строительства оросительной системы почвенный покров заметно преобразован планировкой поверхности, а в ходе эксплуатации в 1970–1990 гг. из-за повышенных поливных норм подвергся вторичному засолению. Обсуждается изменение солевого состояния почв в течение последних 20–25 лет. Отмечаются как позитивные процессы частичного рассоления почв, так и негативные — ошелачивание верхних горизонтов.

*Ключевые слова:* токсичная щелочность, вторичное засоление, картографирование засоленных почв

**DOI:** 10.31857/S0032180X20040061

### ВВЕДЕНИЕ

Современный мелиоративный комплекс Волгоградской области (180,7 тыс. га орошаемых земель на 01.01.2016 г.) [8] развивается на базе существующих и вновь создаваемых оросительных системах. В настоящее время одно из основных требований, которое предъявляется к мелиоративному комплексу, заключается в сохранении и воспроизводстве плодородия почв. Для выполнения этого требования необходимо понимание того, как трансформируется почвенный покров в результате орошения, проводя постоянный контроль за возникающими деградационными процессами, одними из которых являются вторичное засоление и осолонцевание почв.

Вопрос о вторичном засолении и осолонцевании при орошении почв детально проанализирован в работах классиков-почвоведов Ковды [12], Антипова-Каратаева [1], Бирюковой [3], Болышева [4], Базилевич, Панковой [2], Розанова [18], Зимовца [11] и др., основанных на анализе материалов, полученных в результате экспериментов.

На сегодняшний день, помимо традиционного наземного исследования [14, 19], привлекается множество других методов оценки засоленности почв. Обзор современной отечественной и зару-

бежной литературы за последние пять лет показывает, что идентификация засоленности почв активно ведется с привлечением гиперспектральной [23, 27] и мультиспектральной съемки [6, 21], геостатистических и статистических методов обработки данных [7, 13, 28], путем установления связи между засоленностью почв и различными природными факторами и элементами [25, 26, 28] и др.

Гиперспектральное дистанционное зондирование (Hyperion EO-1, HJ-1A1) — наиболее перспективно для количественной оценки засоления почв. Метод основан на выявлении чувствительных спектральных диапазонов (областей длин волн) для определения засоления почв в поверхностном горизонте и установлении взаимосвязи между спектральными показателями и значениями электропроводности [22, 23, 27]. Однако существуют ограничения, например, наличие растительности, которые препятствуют точности определения содержания солей в почве. Поэтому, такие исследования предлагается проводить по открытой поверхности почв [23].

Цзян и Шу [21] использовали оптическую и мультиспектральную съемку со спутника ETM+ для определения засоления почв с разных глубин (0–10, 10–30 и 30–50 см) на территории оазиса

Хиньянг (Китай). Полученные данные показали, что существует высокая корреляция между отражательной способностью и засолением почвы. Связь наиболее тесно проявляется в слое почвы 0–10 см и имеет  $R^2 = 0.752$ . Установлено, что засоление в слое 30–50 см соотносится с засолением почвы в слое 0–10 см и, опираясь на это соотношение, оценена засоленность почвы более глубоких горизонтов. Другими авторами [28] выявлен высокий потенциал коротковолновых инфракрасных (SWIR) полос со спутника Landsat для идентификации засоленных почв в районе Южного Туниса.

На территории равнины Сонгнен (Китай) в районе распространения содово-засоленных почв, которые часто дают усадку и трещины, проводился анализ взаимосвязи между характеристиками трещин и свойствами почв. Среди показателей, отражающих состояние трещин, наиболее сильна ( $R^2 > 0.87$ ) была связь длины трещин с уровнем засоленности почв [26].

Изучением влияния высоты, уклона местности и др. на засоленность почв занимаются в странах Северной Африки [25, 28]. Для этого используется цифровая модель рельефа, откуда берутся значения уклонов и высоты поверхности с соответствующими выборками в поле. Результаты показывают, что в одних случаях высота и уклон местности влияют на концентрацию солей в почве [28], в других – засоленность почвы не имеет корреляции с градиентом уклона местности, но обнаружена хорошая связь между спектральными значениями, полученными с помощью космических снимков Landsat-7, и величиной электропроводности, что привело к созданию нового индекса засоленности почвы (SASI) [25].

Для пространственного изучения засоленности почв часто используется кригинг [7, 13, 28]. Некоторые результаты показывают, что техника кригинга обеспечивает надежные характеристики для классификации засоленных почв со среднеквадратической погрешностью 0.018 [28].

Отмечается, что современные данные с аэрофотоснимков, беспилотных летательных аппаратов, аэронавигационной электромагнитной разведки, мультиспектральных, гиперспектральных и микроволновых спутниковых материалов, радиолокационных и радиоэлектронных устройств удельного сопротивления, а также усовершенствованных методов обработки данных в ГИС повысили возможности точной идентификации и диагностики засоленности почв и грунтовых вод. Тем не менее наземное обоснование и лабораторный анализ остаются неотъемлемыми методами для достижения точности в определении засоленности и прогноза развития засоленности почв [24].

Как следует из литературного обзора, в настоящее время доминирует комплексный подход исследований засоленности почв, когда наземные методы сочетаются с использованием дистанционной информации, картографированием, геоэлектроникой и статистической обработкой полученных результатов.

Цель работы – анализ изменения засоленности и осолонцевания почв на орошаемом участке (ОУ) Червленое Светлоярской оросительной системы за длительный период мелиоративных воздействий, путем сравнения карт засоления почв, составленных за разные годы орошения, начиная с целинных условий и заканчивая современным периодом.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлся ОУ Червленое Светлоярской оросительной системы, расположенной на юге Волгоградской области. История развития почв на участке Червленое существенно отличается от Светлоярского ОУ, исследованного ранее [6]. ОУ Червленое занимает два орошаемых массива на северных склонах возвышенности Ергени. Оросительная вода на участки подается из Волго-Донского канала. Полевые исследования на объекте проводили в начале августа 2017 г. На четырех маршрутах было заложено 34 точки опробования (скважины, прикопки и разрезы), отобрано 365 почвенных образцов. Дополнительно использовали данные Волгоградской гидрогеолого-мелиоративной партии (ВГМП) о составе водной вытяжки 1 : 5 образцов почв ОУ Червленое, полученных в ходе выполнения плановой солевой съемки в 2017–2018 гг. (36 точек, 324 образца) (рис. 1) и 2010–2012 гг. (24 точки, 216 образцов).

**Природные условия.** Возвышенность Ергени, служащая водоразделом Черного и Каспийского морей, расположена на юге Волгоградской области. С поверхности возвышенность покрыта мощной толщей лёссовидных суглинков (до 30 м), выходы коренных (морских) пород встречаются лишь в самых глубоких балках.

Наличие рыхлых песчано-глинистых отложений и положение северных Ергеней в тектонически погруженной зоне обусловило основные черты рельефа района. Отметки поверхности здесь не превышают 150–180 м, преобладают волнистые водоразделы и плавные склоны речных долин и балок. Территория имеет ассиметричное строение. Для возвышенности Ергени характерны ландшафты сухостепной зоны. Грунтовые воды залегают на глубине 30–40 м, но в балках глубина уменьшается до 1 м [9].

Почвенный покров северной части возвышенности Ергени в целинных условиях был представлен степными каштановыми солонцовыми ком-

плексами, развитыми на лёссовидных суглинках и глинах. В составе комплексов преобладали светло-каштановые солонцеватые почвы (Sodic Cambisols (Loamic, Ochric, Magnezic, Bathyprotosalic)) и солонцы (Endosalic Solonetz (Albic, Loamic, Columnic, Cutanic, Differentic, Ochric, Magnezic)). Несолонцеватые светло-каштановые почвы (Eutric Cambisols (Loamic, Ochric)) встречались редко. Разнообразие комплексов почвенного покрова дополняли лугово-, луговато-каштановые почвы (Eutric Cambisols (Loamic, Ochric) or Haplic Kastanozems (Loamic, Cambic)) потяжин, блюдцеобразных западин, а также перерытые и насыпанные почвы мест поселения землероев [10]. На рис. 2 представлен фрагмент карты ОУ Червленое, составленной в начале 1960-х Ленгипроводхозом [15].

Целинные светло-каштановые солонцеватые почвы характеризовались слабым или средним засолением, начинающимся глубже 50–100 см, сульфатно-хлоридно-натриевого или хлоридно-сульфатно-натриевого состава. Глубже 1.5 м засоление усиливалось и становилось хлоридно-сульфатно-натриевым. Среди солонцов преобладали средние и глубокие, засоленные начиная с 20–40 см. Засоление хлоридно-сульфатно-натриевое или сульфатно-хлоридно-натриевое средней и сильной степени, часто с участием соды в солонцовом горизонте. Глубже 1 м засоление хлоридно-сульфатно-натриевое [10, 16].

При изучении почв ОУ Червленое использовали комплексный подход. Морфологический: полевое описание разрезов и скважин до глубины 2 м, отбор образцов сплошной колонкой с шагом 10–30 см. Аналитический: водная вытяжка (1 : 5) из почвенных образцов и измерение активности ионов  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  в почвенных пастах с постоянной влажностью 40% ионоселективными электродами. Картографический: построение карт засоления почв с использованием панхроматических аэрофотоснимков (визуальное дешифрирование) (1992), методом картографической интерполяции (2006) и методом интерполяции кригинг, с привлечением космического снимка Канопус-В (август 2017 г.).

Методика составления карты засоления почв по панхроматическим аэрофотоснимкам (М 1 : : 25000) в 1992 г. опиралась на визуальное дешифрирование снимков по косвенному признаку – состоянию люцерны, так как в то время данная культура являлась преобладающей. Уровень грунтовых вод (УГВ) в 1990-х годах в результате орошения из-за переполивов стал высоким 2.5–1.5 м. Поля с люцерной в таких условиях на аэрофотоснимках выглядели как неоднородные, пятнистые. Пятна выпадов люцерны по фототону – светлые. Рисунок выпадов люцерны на снимках в зависимости от размера пятен делился на мелкопятнистый



Рис. 1. ОУ Червленое на фоне RGB-снимка со спутника Канопус-В (август 2017 г.). Условные обозначения: а – авторские точки отбора почвенных образцов на местности (август, 2017 г.), б – точки отбора почвенных образцов ВГМП (2017–2018 гг.).

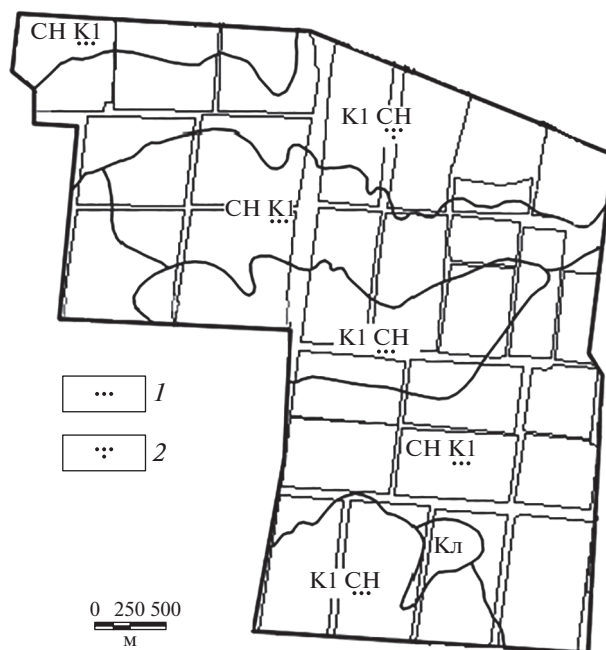


Рис. 2. Фрагмент почвенной карты ОУ Червленое, составленной на начало орошения Ленгипроводхозом (1965 г.). К1 – светло-каштановые почвы, СН – солонцы степные. Содержание компонентов в почвенных комплексах: 1 – 25–35%, 2 – 35–50% [15].

(отдельные пятна не превышали 50 м<sup>2</sup>) и пятнистый (пятна 100–500 м<sup>2</sup>).

По данным химических анализов в 1992 г., почвы светлых пятен относились к сильнозасоленным почвам в метровом слое, независимо от размеров пятен. Темно-серый элемент крупнопятнистого неоднородного контура характеризовался слабо-средним засолением почв. А темно-серый элемент мелкопятнистого контура – незасоленным-слабозасоленным [5].

Карта засоления почв 2006 г. была создана методом картографической интерполяции по равномерно-распределенным точкам пробоотбора [15].

Построение карт засоления почв за 2017–2018 гг. и осолонцевания почв (за 2010–2012 и 2017–2018 гг.) было выполнено в пакете программ Surfer-13 методом интерполяции крикинг, учитывая анизотропию расположения точек по широте и долготе. Крикинг предполагает, что объекты, которые находятся поблизости, более схожи, чем объекты, удаленные друг от друга. При этом каждая точка пробоотбора оказывает локальное влияние, которое уменьшается с увеличением расстояния. При расчете значения в точке, где не было пробоотбора, используются точки, значения показателя в которых известны, при этом вес точек стремительно уменьшается как функция от расстояния.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ материалов [5, 15–17], включая авторские, собранные в 2017 г. на территорию ОУ Червленое Светлоярской оросительной системы, позволил проследить за изменением засоления почв от целинных условий до настоящего времени. ОУ Червленое орошается с 60-х годов прошлого века. В результате планировки полей, распашки, орошения и др., почвы претерпели серьезное изменение, трансформировавшись в агроземы. Участок орошался и орошается водами Волго-Донского канала с минерализацией 0.5–2 г/л при отсутствии дренажа. Первоначально орошение проводилось поверхностным способом, начиная с 2000-х годов применяется полив дождеванием [15].

С 80-х и до начала 90-х годов прошлого века почвы ОУ Червленое подвергались вторичному засолению. В 1988 г. УГВ из-за завышенных поливных норм, приводящих к большим потерям воды, находился преимущественно на глубине 2.0–2.5 м, на некоторых участках достигал 1.5 м. Воды характеризовались минерализацией 3–10 г/л и хлоридно-натриевым составом. Повсеместно отмечалось вторичное засоление почв от слабого до сильного. До орошения среди почв, засоленных в первом метре, преобладали солонцы, которые составляли 25–50 и более 50%. После подъема УГВ вторичному засолению дополнительно подверглись глубоко- и потенциально-за-

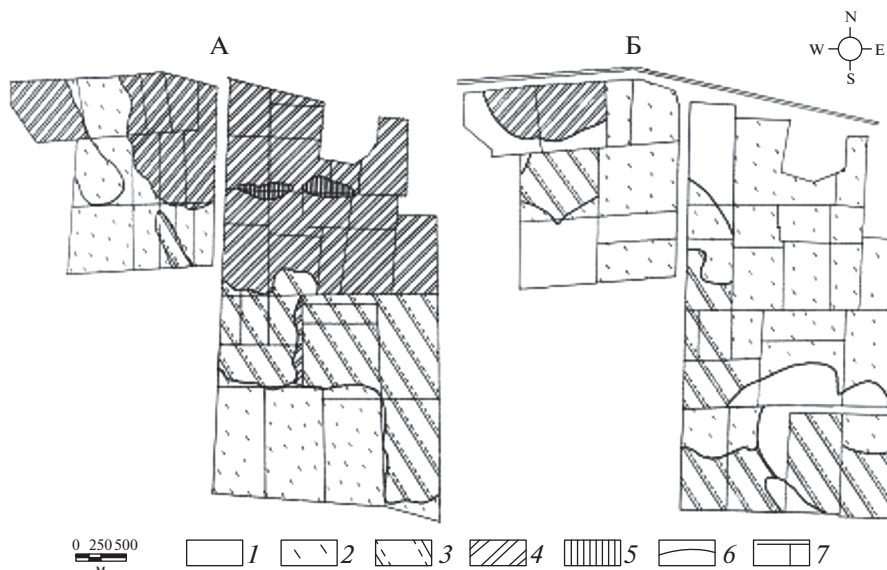
солонные светло-каштановые и незасоленные лугово-каштановые почвы [17].

К 1992 г. вторичное засоление в метровом слое почвы в сильной и очень сильной степени распространялось на 40% территории: в северо-западной, северо-восточной (массив 1) и северной (массив 2) частях ОУ Червленое, где УГВ составлял 1.5–2.5 м. Среднее засоление было приурочено к центральной и восточной частям (массив 2) и также обусловлено близким УГВ (1–3 м). На остальной территории отмечалось слабое засоление, преимущественно при более глубоком (2.5–5 м) залегании грунтовых вод (рис. 3А) [5].

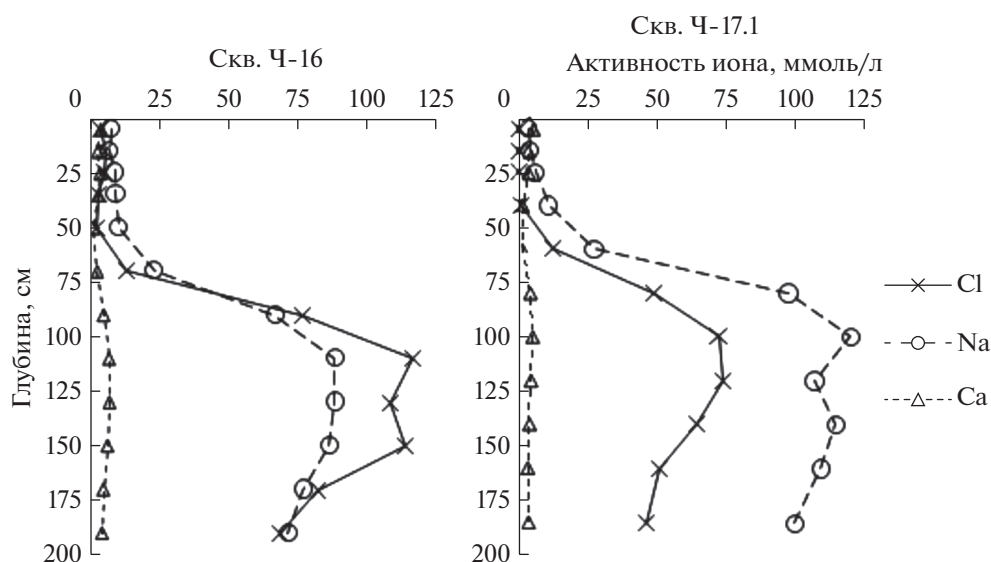
После 1992 г. орошение и возделывание культур было практически прекращено или проводилось на 1–2 полях в течение 15–18 лет. Прекращение орошения на значительной части участка привело к понижению УГВ до 3–5 м и существенному изменению засоления ранее орошаемых почв. Большинство сильнозасоленных почв трансформировались в средне-, слабо- и незасоленные. В первую очередь эти изменения коснулись вторично-засоленных светлокаштановых почв [15]. Карта засоленных почв (2006 г.), созданная по данным ВГМП и данным Почвенного института им. В.В. Докучаева [15] показывает, что большинство средне- и слабозасоленных почв, которые отмечались в девяностых годах прошлого столетия, трансформировались в слабо- и незасоленные почвы. Сильнозасоленные почвы сохранились лишь на незначительной площади (северо-западная часть массива 1) при повышенной минерализации грунтовых вод (5–10 г/л), залегающих на глубине 3–5 м.

В то же время отмечались площади, где степень засоления (слабая или средняя) по сравнению с 1992 г. сохранилась, а также участки, где степень засоления увеличилась со слабой до средней. Подобное явление свидетельствует о миграции солей в пределах метровой толщи и связано с варьированием засоленности почв (рис. 3, Б) [15].

В настоящее время на ОУ Червленое наблюдаются следующие изменения. УГВ находится ниже 5 м в течение многих (8–9) лет, выращиваются разные кормовые культуры (житняк, люцерна), полив осуществляется на отдельных полях дождеванием. Часть полей является залежью (5–7 лет). Профиль большинства почв промыт от солей до 50 см, соли преимущественно сосредоточены на глубине 50–100 см и ниже (рис. 4). Выпадов и пятен, связанных с засолением почв на возделываемых полях и космических изображениях полей не наблюдается. Отмечается пятнистость, вызванная другими причинами (окарбоначивание почв, плохая агротехническая обработка полей, недолив по краю поля и др.).



**Рис. 3.** Карты засоления почв ОУ Червленое, составленные в 1992 г. [5] (А) и в 2006 г. [15] (Б). Степень засоления почв: 1 – незасоленные, 2 – слабозасоленные, 3 – средnezасоленные, 4 – сильнозасоленные, 5 – очень сильнозасоленные, 6 – границы контуров засоления, 7 – границы полей.



**Рис. 4.** Вертикальное распределение активности ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , измеренных в пастах с влажностью 40%, в выборочных скважинах (скв. Ч-16 и Ч-17.1). Название обеих почв: К-1977: светло-каштановая пахотная орошаемая карбонатная солончаковатая глубокогипсовая среднесуглинистая на лёссовидных суглинках, КР-2004(8): агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный глубоко гипсосодержащий солончаковатый среднесуглинистый на лёссовидных суглинках (2004), WRB-2014 (update 2015): Eutric Sodic Endoprotosalic Cambisol (Siltic, Aric, Protocalcic, Ochric).

Однако почвы, засоленные на глубине 50–100 и 100–200 см, остаются потенциально опасными, и информация о количестве и распределении солей в них является важной. Для этого, на ОУ Червленое в программе Surfer-13 были построены интерполяционные карты распределения средневзвешенной суммы токсичных солей (%), в слое 0–50, 50–100, 0–100 и 100–200 см (рис. 5). Для

этого были использованы данные по скважинам, предоставленные ВГМП (2017–2018 гг.) и собственные полевые исследования 2017 г.

Величина средневзвешенной суммы токсичных солей в толще почвы 0–50 см на всем пространстве массивов 1 и 2 определяет почвы как незасоленные, лишь на востоке массива 2 отмечается слабая и средняя степень засоления. Это свидетельствует о

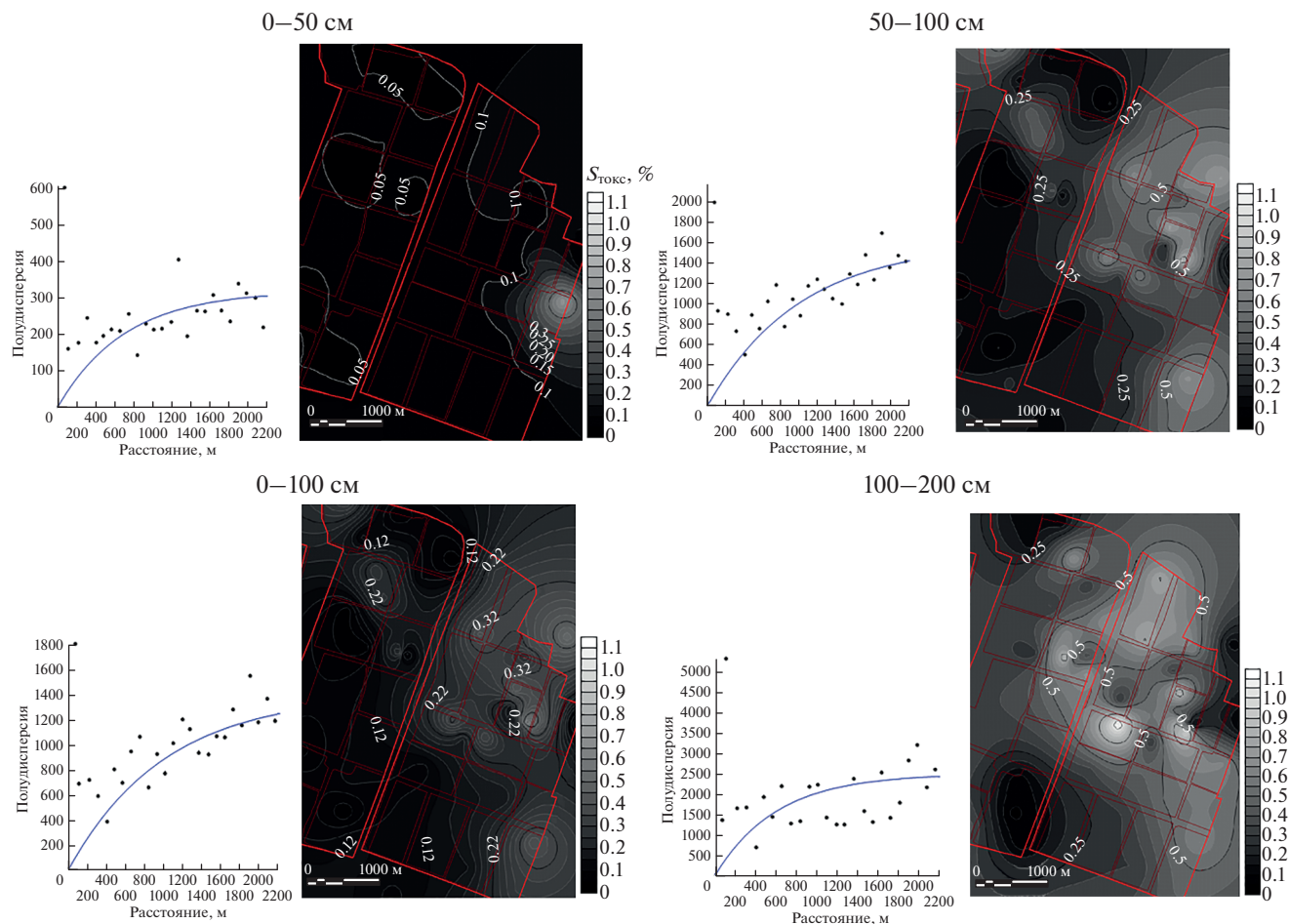


Рис. 5. Вариограммы и карты пространственного распределения содержания средневзвешенной суммы токсичных солей ( $S_{\text{токс}}$ , %) в слое 0–50, 50–100, 0–100, 100–200 см.

том, что почвы в слое 0–50 см преимущественно рассолились.

В слое 50–100 см напротив, на севере массива 1 и практически на пространстве всего массива 2 отмечается средняя и сильная степень засоления почв, и лишь северо-восточная, центральная и южная части массива 1 и юго-западная часть массива 2 имеют почвы незасоленные или слабозасоленные.

Средневзвешенное содержание токсичных солей в слое почвы 0–100 см дает очень обобщенное представление о пространственном распределении солей и отличается от более дифференцированного и точного распределения в слое 0–50 и 50–100 см. Тем не менее, карта засоленности почв в слое 0–100 см 2017–2018 гг. построена, чтобы провести сравнение с картой 2006 г., ситуация на которой существенно отличается от современной обстановки.

На большей части массива 1 наблюдается отсутствие засоления почв, лишь на севере отмеча-

ется засоление почв в слабой степени (сумма токсичных солей 0.1–0.25%, ХСФ<sup>1</sup>). На втором орошаемом массиве почвы северной и центральной части участка являются засоленными в слабо-средней степени (0.25–0.5%, ХСФ), на юго-западе массива почвы не засолены или засолены слабо (0–0.25%, ХСФ) и на юго-востоке отмечается слабо-среднее засоление почв (0.25–0.35%, ХСФ). То есть по сравнению с 2006 г. на участке отмечается увеличение засоленности почв, что связано с более интенсивным в настоящее время орошением и подтягиванием солей с глубины.

На глубине 100–200 см на обоих массивах почвы имеют горизонты преимущественно средней и сильной степени засоления. Только в почвах на юго-востоке массива 1 во втором метре засоление слабое или даже отсутствует. Иными словами, на большей части участка во втором метре почвенного профиля присутствует существенное коли-

<sup>1</sup> ХСФ – хлоридно-сульфатное засоление.

чество легкорастворимых солей, которые, в случае подъема УГВ, могут переместиться выше по профилю.

По данным водной вытяжки, химизм засоления почв на орошаемых массивах преимущественно хлоридно-сульфатный, иногда сульфатный и сульфатно-хлоридный. Вместе с тем значительное количество сульфатов в водной вытяжке обязательно растворению гипса из твердой фазы. Это следует из данных измерения активности ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  в почвенных пастах с влажностью 40 мас. %. В почвенном растворе общая концентрация сульфатов невелика, а гипс, имея растворимость 2 г/л, преимущественно находится в твердой фазе. В растворе доминируют ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ . В большей части горизонтов активность  $\text{Na}^+$  чуть больше активности  $\text{Cl}^-$ , поскольку катионы натрия в растворе компенсируются не только хлоридами, но и сульфатами (рис. 4, скв. Ч-17.1).

В меньшей части горизонтов, но достаточно регулярно в разных точках опробования в пределах всех территории ОУ Червленое, наблюдается обратная картина, активность  $\text{Cl}^-$  в пастах больше активности  $\text{Na}^+$  (рис. 4, скв. Ч-16). Такое соотношение ионов обусловлено присутствием в растворе не только хлоридов натрия, но и хлоридов кальция и магния [13, 20]. Отмеченное явление мы рассматриваем как свидетельство сохранившихся признаков вторичного засоления почв орошаемого участка, максимум развития которого отмечался в 1980- и 1990-х годах. Специальный анализ распространения явления в 2107 г. показал, что почти 50% точек опробования имеют сохранившиеся следы вторичного засоления почв в средней и/или нижней части почвенного профиля. Во второй половине случаев в почвах, расположенных рядом, эти следы полностью отсутствуют в профиле засоленной почвы, то есть активность ионов  $\text{Na}^+$  больше активности  $\text{Cl}^-$  по всему профилю. При этом чередование точек опробования с наличием хлоридов кальция и с их отсутствием в профиле почвы характерно для всех полей орошаемого участка.

Одним из неблагоприятных явлений при ирригации почв сухостепной и полупустынной зон является содопроявление в почвах, приводящее к осолонцеванию почв. Причины появления соды при орошении – результат обменных реакций и освобождение натрия из почвенного поглощающего комплекса. Похожие процессы протекают и на возвышенности Ергени.

На ОУ Червленое были получены и проанализированы распределения значений токсичной щелочности, рассчитанной по разности общей щелочности и содержания кальция в водной вытяжке, по сведениям 2010–2012 гг. (ВГМП) и 2017–2018 гг. (ВГМП и собственные данные). Были построены карты середины глубины слоя с максимальным содержанием токсичной щелоч-

ности (см) и карты максимального содержания токсичной щелочности в профиле почв за 2010–2012 и 2017–2018 гг. (рис. 6).

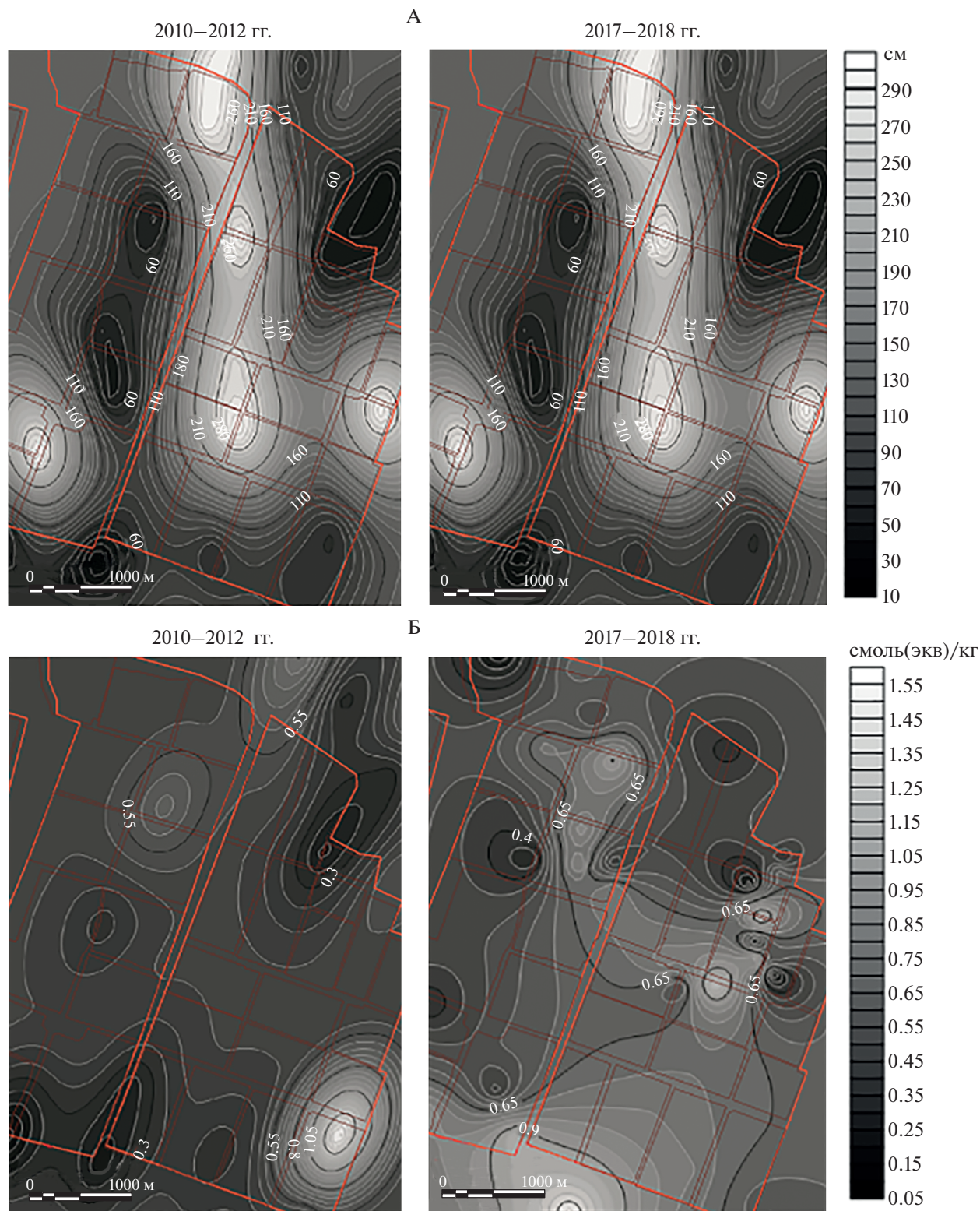
Горизонты с максимальным содержанием токсичной щелочности в профиле почв в 2010–2012 гг. находились преимущественно на глубине 100–200 см. Лишь в центре массива 1 и на севере и юге массива 2 они обнаруживались ближе к поверхности в интервале глубины 30–100 см. В 2017–2018 гг. горизонты с максимальной токсичной щелочностью на массиве 1 практически повсеместно приурочены к диапазону глубины 30–60 см. Ареалы почв с глубокими горизонтами (на глубине 100–200 см), имеющими токсическую щелочность, сохранились на части массива 2 (рис. 6А).

Значения максимальной токсичной щелочности в почвенном профиле (рис. 6Б) в 2010–2012 гг. достигали до 0.5 смоль(экв)/кг на большей части территории, и лишь на юго-востоке массива 2 до 1.0 смоль(экв)/кг и более. В 2017–2018 гг. щелочность варьирует в пределах 0.4–1.0 смоль(экв)/кг на всем орошаемом участке. Следовательно, за прошедший период произошло усиление процесса ощелачивания почв верхней части почвенного профиля, как закономерный результат частичного рассоления поверхностных горизонтов (рис. 6Б).

Обратим внимание, что большинство горизонтов почв рассматриваемого ОУ, в которых по данным водной вытяжки отмечена токсичная щелочность, содержат карбонаты кальция и проявляют сплошное бурное вскипание от  $\text{HCl}$ . В них также присутствует 5–20% обменного натрия. Иными словами, в почвах имеются физико-химические условия развития солонцового процесса, но подвижности ила пока препятствует сплошная пропитка карбонатами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для ОУ Червленое Волгоградской области созданы карты засоленности и токсичной щелочности почв по состоянию на 2017–2018 гг. и проведено их сравнение с картами, отражающими состояние почв в целинных условиях и в период орошения на 1992 и 2006 гг. Исходные степные светло-каштановые солонцовые комплексы после строительства оросительной системы были сильно преобразованы планировкой поверхности полей за счет срезки выпуклых элементов микрорельефа с солонцами и засыпки вогнутых элементов микрорельефа срезанным материалом. После начала эксплуатации оросительной системы в 1965 г. к 1990-м годам из-за переполивов произошел подъем УГВ выше критического, в результате которого почвы большей части орошаемого участка были подвержены среднему и сильному вторичному засолению вплоть до поверхности, став солончаковыми. Анализ карт показал, что в 2017–2018 гг. поверх-



**Рис. 6.** Карты распределения глубины середины слоя с максимальным содержанием токсичной щелочности в профиле (А) и максимального содержания токсичной щелочности в профиле почв в 2010–2012 и 2017–2018 гг. (Б).

ностные горизонты почв (слой 0–50 см) на участке в основном являются незасоленными. В срединной части профиля почв (слой 50–100 см), на-

против, характерны средняя и сильная степень засоления почв на значительной части исследуемой территории. Одновременно в незасоленных



горизонтах на глубине 20–60 см отмечается присутствие небольших количеств токсичной щелочности и 5–20% обменного натрия. Эти факты можно рассматривать как результат частичного рассоления и ошелачивания поверхностных горизонтов вторично засоленных почв в условиях временного прекращения орошения и постепенного понижения УГВ за последние 20–25 лет. Сопоставление современного состояния засоленности почв в слое 0–100 см с засолением 2006 г. показывает, что на участке, вновь используемом с орошением культур, отмечается увеличение засоленности почв за счет частичного подтягивания солей из срединных и нижних горизонтов. На глубине 100–200 см в почвах подавляющей части массива присутствует существенное количество легкорастворимых солей (средняя и сильная степень засоления), которые в случае подъема УГВ, могут переместиться выше по профилю.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Антипов-Каратаев И.Н.* Вопросы происхождения и географического распространения солонцов СССР // Мелиорация солонцов в СССР. М.: Наука, 1953. Ч. 1. С. 11–269.
2. *Базилевич Н.И., Панкова Е.И.* Характеристика засоленных почв // Засоленные почвы Европейской части СССР и Закавказья // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1973. С. 21–203.
3. *Бирюкова А.П.* Влияние орошения на водный и солевой режим почв южного Заволжья. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 267 с.
4. *Большев Н.Н.* Происхождение и свойства почв полупустынь. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1972. 195 с.
5. *Горохова И.Н., Панкова Е.И.* Метод дистанционного контроля за состоянием орошаемых земель юга России // Аридные экосистемы. 1997. Т. 3. № 5. С. 26–34.
6. *Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Прокопьева К.О., Харланов В.А.* Почвенный покров Светлоярской оросительной системы через полвека мелиоративных воздействий // Почвоведение. 2018. № 8. С. 1–18. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18080130>
7. *Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Панкова Е.И., Прокопьева К.О.* Засоленность почв Светлоярского орошаемого массива в Волгоградской области в 2010-х годах // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 93. С. 75–93. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-93-75-93>
8. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2015 году. Министерство эконом. развития, Федеральная служба гос. регистрации, кадастра и картографии. М., 2016. 202 с.
9. *Доскач А.Г.* Природное районирование Прикаспийской полупустыни. М.: Наука, 1979. 142 с.
10. *Десярева Е.Т., Жулидова А.И.* Почвы Волгоградской области. Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1970. 319 с.
11. *Зимовец Б.А.* Экология и мелиорация почв сухостепной зоны. М.: ГОСНИТИ, 1991. 247 с.
12. *Ковда В.А.* Происхождение и режим засоленных почв. М.: Изд-во АН СССР. Т. 1–2. 1946–1947. С. 568, 372.
13. *Кравченко Е.И., Хитров Н.Б., Горохова И.Н.* Двумерное распределение засоления орошаемых почв рядом с оросительным каналом на участке “Червленое” Светлоярской оросительной системы // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 94. С. 19–37. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-19-37>
14. *Любимова И.Н., Новикова А.Ф.* Влияние различных антропогенных воздействий на изменение почв солонковых комплексов сухостепной зоны // Почвоведение. 2016. № 5. С. 633–643. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16050129>
15. *Новикова А.Ф., Гэпин Л.О., Конюшкова М.В.* Динамика процессов засоления-рассоления почв участка “Червленое” Светлоярской оросительной системы в ирригационный и постирригационный периоды почв // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2009. Вып. 63. С. 16–24.
16. *Новикова А.Ф., Морозова А.С.* Засоленные почвы Волгоградской области // Почвоведение. 2003. № 9. С. 1061–1074.
17. *Панкова Е.И., Новикова А.Ф.* Мелиоративное состояние и вторичное засоление орошаемых земель Волгоградской области // Почвоведение. 2004. № 6. С. 731–744.
18. *Розанов Б.Г.* Генетическая морфология почв. М.: Изд-во Моск ун-та, 1975. 293 с.
19. *Хитров Н.Б., Роговнева Л.В., Добрицкая Е.Ю., Дунаева Е.А., Кириленко Н.Г., Попович В.Ф.* Солевое состояние рисовой системы севера Крыма после прекращения подачи воды // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 3(7). С. 140–154.
20. *Хитров Н.Б., Горохова И.Н., Кравченко Е.И.* Засоленность почвенной комбинации северного склона возвышенности Ергени после прекращения орошения // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева, 2020 (в печати).
21. *Jiang H., Shu H.* Optical remote-sensing data-based research on detecting soil salinity at different depth in an arid-area oasis, Xinjiang, China // Earth Science Informatics. 2018. P. 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12145-018-0358-2>
22. *Chen J.-G., Chen J., Wang Q.-I., Zhang Y., Ding H., Huang Z.* Retrieval of Soil Dispersion Using Hyperspectral Remote Sensing // Indian Society of Remote Sensing. 2016. V. 44. P. 563–572. <https://doi.org/10.1007/s12524-015-0530-9>
23. *Lijie J.-L., Ming P., Xiaoqing Z., Xinjian D.-Y.-X., Lifang C., Runsen Z., Zhang.* Monitoring soil salt content using HJ-1A hyperspectral data: A case study of coastal areas in Rudong County, Eastern China // Chinese Geographical Science. 2015. V. 25. P. 213–223. <https://doi.org/10.1007/s11769-014-0693-2>

24. *Sethi M., Bundela D.S., Rajkumar.* Diagnosis and Prognosis of Salt-Affected Soils and Poor-Quality Waters Using Remote Sensing and Proximal Techniques // *Innovative Saline Agriculture*. 2016. P. 55–82. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2770-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2770-0_3)
25. *Yahiajui I., Douaoui A., Zhang Q., Ziane A.* Soil salinity prediction in the Lower Cheliff plain (Algeria) based on remote sensing and topographic feature analysis // *Arid Land*. 2015. V. 7. P. 794–805. <https://doi.org/10.1007/s40333-015-0053-9>
26. *Ren J., Li X., Zhao K.* Quantitative Analysis of Relationships Between Crack Characteristics and Properties of Soda-saline Soils in Songnen Plain, China // *Chin. Geogra. Sci.* 2015. V. 25. № 5. P. 591–601. <https://doi.org/10.1007/s11769-015-0779-5>
27. *Kumar S., Gautam G., Saha S.K.* Hyperspectral remote sensing data derived spectral indices in characterizing salt-affected soils: a case study of Indo-Gangetic plains of India // *Environ. Earth Sci.* 2015. V. 73. P. 3299–3308. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3613-y>
28. *Fourati H.-T., Bouaziz S., Benzina M., Bouaziz M.* Detection of terrain indices related to soil salinity and mapping salt-affected soils using remote sensing and geostatistical techniques // *Environ. Monito. Assess.* 2017. V. 189. P. 177. <https://doi.org/10.1007/S10661-017-5877-7>

## Changes in Soil Salinity at the Chervlenoe Irrigation Massive during a Quarter of the Century (Volgograd Region)

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

<sup>1</sup>*Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, 119017 Russia*

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

Maps of soil salinity and toxic alkalinity in 2017–2018 for the irrigation massive Chervlenoe of the Svetlyi Yar Irrigation System have been created. The maps are compared with soil maps for virgin conditions and with soil salinity maps compiled in 1992 and in 2006 for this territory when irrigation was on. The massive is located close to the Volga-Don Canal at the northern slopes of the Ergeni Upland. Before irrigation, the soil cover pattern comprised light-chestnut solonchic loamy soils (Sodic Cambisols (Loamic, Ochric, Magnezic, Bathyprotosalic)) and steppe chestnut solonchets (Endosalic Solonchets (Albic, Loamic, Columbic, Cutanic, Differentic, Ochric, Magnezic)) on loess-like loams. Soil cover pattern was distinctly transformed by surface leveling during irrigation system construction, and secondary salinization occurred during irrigation in 1970–s–1990–s. Changes of soil salinity status in the last 20–25 years are discussed. Both positive processes of partial salts leaching from soils and adverse ones – alkalinity rising to topsoils are emphasized.

*Keywords:* toxic alkalinity, secondary salinization, soil salinity mapping