

КОМБИНАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ СЕВЕРНОГО СКЛОНА ВОЗВЫШЕННОСТИ ЕРГЕНИ ПОСЛЕ ПРЕКРАЩЕНИЯ ОРОШЕНИЯ

© 2019 г. Н. Б. Хитров*, И. Н. Горохова, Е. И. Кравченко

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия,

119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,

**<https://orcid.org/000-0001-5151-5109>, e-mail: khitrovnb@gmail.com*

Поступила в редакцию 04.04.2019, после доработки 18.04.2019,

принята к публикации 28.05.2019

Исследован почвенный покров и засоленность почв на поле с чередующимися более темными и более светлыми широкими полосами, заметными на космическом снимке, в пределах орошаемого участка Червленое Светлоярской оросительной системы (юг Волгоградской обл.). Поле орошалось до середины 1990-х годов и было подвержено вторичному засолению, с тех пор используется в богаре. Почвенная комбинация представляет собой бывший степной светло-каштановый солонцовый комплекс, преобразованный в ходе планировки поверхности и орошения в агрозоны аккумулятивно-карбонатные сегрегационные солончаковатые (Sodic Endoprotosalic Cambisol (Loamic, Aric, Protocalcic, Ochric, Bathygyptic) and Cambic Calcisols (Loamic, Aric)) и глубокосолончаковатые, и агросветлогумусовую аккумулятивно-карбонатную стратифицированную почву. Светлые полосы на поле маркируют сильнокарбонатные (12–13 % CaCO_3) с поверхности почвы (Calcaric Cambisol (Loamic, Aric)) среди других почв, имеющих с поверхности в 5–10 раз меньше карбонатов. Все почвы засоленные, но содержание солей меняется в пространстве волнообразно несогласно с изображением на снимке. Обсуждаются двумерные распределения содержания карбонатов и солей в почвенной комбинации. Отмечается наличие остаточных признаков вторичного засоления в виде хлоридов кальция и магния через два десятилетия после прекращения орошения и снижения уровня грунтовых вод глубже 7 м.

Ключевые слова: карбонаты, засоленные почвы, водная вытяжка, ионоселективные электроды, активности ионов.

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-97-52-90

ВВЕДЕНИЕ

Во второй половине XX в. в СССР было построено и введено в эксплуатацию много оросительных и оросительно-обводнительных систем в регионах с выраженным дефицитом влаги в течение вегетационного периода: степной, сухостепной, полупустынной и пустынной зонах. На территории России к 1989 г. общая площадь орошаемых земель достигла своего максимума – 6.1 млн га, две трети которых считались в хорошем мелиоративном состоянии, 12 % – в удовлетворительном и 22 % – в неудовлетворительном состоянии ([Зимовец, 1991](#); [Экологические требования..., 1996](#)).

Одним из наиболее крупных регионов ирригационного земледелия в России в то время и сейчас была и остается Волгоградская область. К 1989 г. здесь орошение осуществлялось на 345.2 тыс. га или 4.6 % площади сельскохозяйственных земель области ([Панкова, Новикова, 2004](#)). Большие нормы поливов, отсутствие дренажа и гидроизоляции на оросительных каналах на большинстве оросительных системах привели в 90-х годах к подъему уровня грунтовых вод (УГВ), возникновению очагов вторичного засоления, осолонцеванию почв, подтоплению, ирригационной эрозии и другим явлениям. Последовавший далее в стране экономический кризис привел к сокращению площадей орошаемых земель, который сказывается до сих пор, и на 1 января 2016 г. в области орошалось 180.7 тыс. га ([Государственный доклад, 2016](#)). В настоящее время, в связи с решением государственной задачи обеспечения продовольственной безопасности страны, проводится реконструкция оросительных систем и становится крайне важным изучить современное состояние орошаемых почв и процессы, ограничивающие их плодородие, такие как окарбоначивание, засоление и осолонцевание почв.

Аридные и семиаридные почвы обычно содержат карбонаты кальция. Когда их содержание превышает 15-20%, почвы отличаются низким содержанием органического вещества и доступного азота. В карбонатных почвах часто образуется поверхностная корка, иногда происходит цементация горизонтов, для них характерна низкая доступность фосфора и нарушение

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97.
Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, 97

калиевого и магниевого питания растений, нередко возникает проблема водообеспеченности¹.

Процесс ирригационного окарбоначивания в Северном Прикаспии был выявлен целым рядом отечественных авторов ([Барановская, Азовцев, 1981](#); [Сиземская, 2013](#)), когда дополнительное увлажнение при поливах приводит к мобилизации кальция срединных горизонтов почв и подтягиванию растворов в верхние горизонты в межполивной период. Аналогичный процесс отмечался и в орошаемых, и в богарных мелиорированных пахотных почвах Волгоградской области ([Любимова, 2002](#); [Любимова, Дегтярева, 2000](#); [Любимова, Новикова, 2016](#); [Горохова и др., 2018б](#)).

Поскольку большое количество карбонатов кальция (> 15 %) ведет к снижению плодородия почв и образованию корки на поверхности, важно определить местонахождение таких почв на орошаемых полях. Встала задача о возможности выявления окарбоначенных почв с привлечением дистанционных материалов.

Другим широко развитым свойством аридных территорий является засоленность почв. Среди орошаемых почв площадь засоленных почв на государственных системах Волгоградской обл. в 2001 г. составила 16.5 тыс. га (11.9 %) ([Панкова, Новикова, 2004](#)), а в 2015 г. – 12.7 тыс. га (7 %)². Некоторое уменьшение вызвано общим сокращением площадей орошения и частично понижением уровня грунтовых вод на орошаемых массивах.

Засоление почв является глобальной проблемой. Анализ литературы за последние пять лет показывает, что изучение засоленности почв ведут разными методами, включая наземное опробование, неконтактные грунтомеры и дистанционную информацию ([Scudiero et al., 2015](#); [Chen et al., 2016](#); [Jiang, Shu, 2019](#)), геостатистические и статистические методы обработки данных ([Pla Sentis, 2014](#); [Горохова и др., 2018б](#); [Кравченко и др., 2018](#)), путем установления связи между засоленностью почв и природными элемен-

¹ Kadry L.T., 1972, Duty Trip Report on Sudan, October 10–24, 1971, 16 pages plus Appendices, FAO, RNEA, Cairo.

² Кадастр мелиоративного состояния орошаемых земель Волгоградской области. Волгоград. 2016. 12 с.

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97.
Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, 97

тами ([Ren et al., 2015](#)). При этом отмечается, что современные дистанционные материалы и усовершенствованные методы обработки данных в ГИС хоть и повысили возможности идентификации и диагностики засоленности почв и грунтовых вод, их следует дополнять наземным обоснованием и лабораторным анализом для достижения приемлемой точности ([Sethi et al., 2016](#)).

В разных регионах мира предлагают технологии орошения, минимизирующие засоление почв (salinity), накопление обменного натрия (sodicity) и ощелачивание (alkalinity) на фоне максимизации урожая и минимизации затрат на его получение ([Russo et al., 2015](#)). Эти технологии дифференцированы с учетом местных условий в зависимости от способа и режима орошения, минерализации и качественного состава поливной воды, создания локальных противофильтрационных экранов на некоторой глубине, ограничения испарения с поверхности почвы, возможности опреснения воды или повторного использования дренажных или очищенных сточных вод ([Aragüés et al., 2014](#); [Rahman et al., 2015](#); [Wang et al., 2015](#); [Zhao et al., 2016](#)).

Часто такие задачи обусловлены ограниченным ресурсом пресных вод, что вынуждает фермеров использовать для орошения воды повышенной минерализации: грунтовые, дренажные, очищенные сточные воды ([Rahman et al., 2015](#); [Russo et al., 2015](#); [Wang et al., 2015](#)). Обычно предлагаемые технологии приводят к пульсирующему внутригодовому режиму содержания солей в корнеобитаемом слое почвы: некоторое выщелачивание в зимний период и накопление солей в течение вегетационного периода с максимумом накопления перед уборкой культуры ([Wang et al., 2015](#); [Zhao et al., 2016](#)). Сезонно-годовая динамика солей и пространственная неоднородность засоленности почв характерна не только в условиях орошения ([Ding, Yu, 2014](#); [He et al., 2014, 2015](#); [Gkiougkis et al., 2015](#)), но и в естественных гидроморфных ([Herrero, Castañeda, 2015](#)) или пустынных ландшафтах ([Сиземская, 2013](#); [Sidike et al., 2014](#)). В более редких ситуациях наблюдается рассоление в ходе орошения ранее засоленных почв ([Кутькина, 2008](#); [Хитров и др., 2016](#)).

В 2018 г. в журнале Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева (Кравченко и др., 2018) рассматривалось совре-

менное состояние засоленности почв на ОУ Червлёное Светлоярской ОС в районе старого, засыпанного оросительного канала (рис. 1Б). В 1990-х годах вдоль этого канала в земляном русле сформировалась полоса очень сильного вторичного засоления почв, возникшего из-за инфильтрации вод из канала и подъема уровня грунтовых вод выше критического. Через четверть века после прекращения подачи воды по этому каналу на участке понижалась верхняя граница засоленных горизонтов, почвы из солончаковых превратились в солончаковатые разности со срединно-аккумулятивным распределением солей и максимумом солей на глубине 100–150 см. В пределах первого метра от поверхности горизонты почв имеют слабую и среднюю степень засоления ([Кравченко и др., 2018](#)). Иными словами, произошло рассоление поверхностных горизонтов почв до глубины 30–40 см.

Часть орошаемого участка Червлёное так и продолжает использоваться в пашне в условиях богары, другая вновь орошается. Цель статьи – оценка современного состояния почвенного покрова и засоленности почв в 2017 г. на одном из полей ОУ “Червлёное” после двух десятилетий прекращения орошения на нем.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлась почвенная комбинация в пределах одного поля ОУ Червлёное Светлоярской ОС. Орошаемый участок расположен на северных отрогах возвышенности Ергени в 1–4 км к югу от Волго-Донского канала возле села Червлёное Волгоградской обл. Абсолютная высота местности 97–102 м над уровнем моря. Исследуемое поле находится в центре ОУ на очень пологом склоне северной экспозиции. По космическому снимку (рис. 1А, 1В) следует, что поле устроено в верхней трети водосборной поверхности с древовидным рисунком, состоящим из более темных полос широких ложбин и более светлых полос наклонных водораздельных пространств между ними. Ложбины ниже по склону собираются в балку, впадающую далее в Волго-Донской канал.

Почвообразующими породами являются лёссовидные суглинки. Их мощность составляет более 10 м.

Территория относится к сухостепной зоне. До строительства оросительной системы и на сохранившихся пастбищных участках растительность представлена чередующимися пятнами белой полыни на солонцах, ромашника на светло-каштановых несолонцеватых и солонцеватых почвах, типчака и ковыля на луговато- и лугово-каштановых почвах западин или ложбин.

Почвенный покров ОУ Червленое, в соответствии с почвенной картой, составленной Ленгипроземом перед строительством оросительной системы в 1950-х годах (карта опубликована в источнике ([Новикова и др., 2009](#))), был представлен солонцовыми комплексами с разным соотношением светло-каштановых почв разной степени солонцеватости (К1) и каштановых степных солонцов (СН). Непосредственно на исследуемом поле, в соответствии с почвенной картой, было два комплекса. В одном из них доминировали светло-каштановые почвы при доле солонцов 35–50 %. В другом комплексе доминировали солонцы, а доля светло-каштановых почв составляла 35–50 %. При этом почвенные контуры указанных комплексов на карте вытянуты поперек склона, тогда как полосчатая структура, выявляемая на космическом снимке, длинными осями полос направлена вдоль склона.

ОУ Червленое был построен в конце 1950-х годов и сначала входил в состав Варваровской ОС, позднее переведен в подчинение Райгородской (Светлоярской) ОС. В 1960-х годах полив производили по бороздам, с 2000-х – дождеванием. После начала орошения грунтовые воды, исходно залегавшие на глубине 18–20 м ([Новикова и др., 2009](#)), стали подниматься, и к началу 1980-х на большей части ОУ их зеркало наблюдалось на глубине 1.5–5.0 м, преимущественно 2.0–3.0 м ([Горохова, Панкова, 1997](#); [Новикова и др., 2009](#)). Это способствовало активному вторичному засолению почв ([Горохова, Панкова, 1997](#)). В середине 1990-х ОУ перестали орошать, и до середины 2000-х он использовался преимущественно под севообороты сухого земледелия. С 2010 г. центральную часть ОУ вновь стали использовать в орошаемом земледелии с поливом дождеванием. Исследуемое поле не орошается с середины 1990-х годов по настоящее время.

При отсутствии орошения купол грунтовых вод под ОУ постепенно стал растекаться, так что в 2006 г. на нижней части ОУ

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97.
Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, 97

уровень грунтовых вод находился на глубине 3–5 м, в верхней – более 5 м (Новикова и др., 2009), а в 2016 г. – уже 7–9 м на всем ОУ, что способствовало постепенному рассолению почв (Новикова и др., 2009). На исследуемом поле грунтовые воды уже в 2006 г. были глубже 5 м.

В 2017 г. по диагонали поля в направлении поперек наблюдаемой неоднородности по данным дистанционного зондирования была заложена трансекта из шести разрезов (Ч-101 ... Ч-106), до буренных до глубины 2 м (рис. 1В). Отбор образцов производили через 10–20 см сплошной колонкой, учитывая генетические горизонты. Дополнительно использованы данные водной вытяжки двух скважин, выполненных Волгоградской гидромелиоративной партией (ВГМП) в 2017 г. на том же поле. Они расположены ближе к углам поля вдоль другой диагонали на темных полосах сравнительно недалеко от широкой светлой полосы, пересекающей исследуемое поле (рис. 1В).

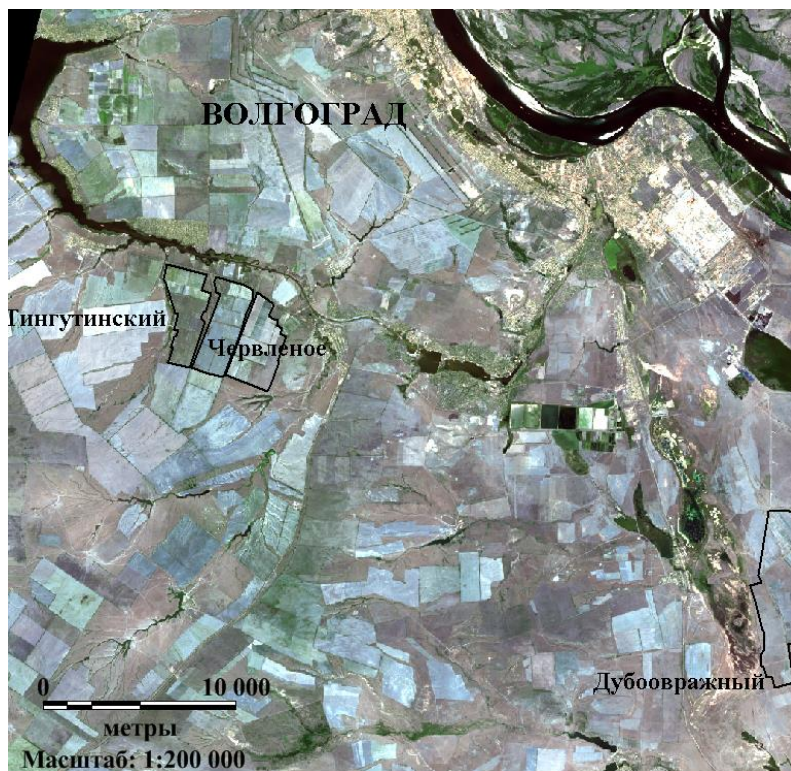
Названия почв даны по трем классификациям: СССР (К-1977) ([Классификация ..., 1977](#)), России (РЛ-2004(8)) ([Классификация ..., 2004](#); [Полевой определитель ..., 2008](#)) и международной WRB-2014 (update 2015) ([IUSS, 2015](#)). Диагностика почв производилась в соответствии с критериями, предусмотренными в каждой классификации, без процедуры корреляции классификаций.

Содержание воднорастворимых солей определяли двумя методами. Первый – стандартная водная вытяжка с соотношением почва : вода 1 : 5. Второй – определение активностей ионов Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- (a_{Na} , a_{Ca} , a_{Cl} соответственно) ионоселективными электродами в почвенных пастах с постоянной влажностью 40 % (мас.) ([Руководство ..., 1990](#)). Регистрирующий прибор – иономер Эко-тест-120, измерительные электроды ЭЛИС-112Na, ЭЛИС-121Ca, ЭЛИС-131Cl, вспомогательный электрод ЭСП-10103/3.0 с LiOAc.

Долю обменного натрия в составе почвенного поглощающего комплекса (ESP – exchangeable sodium percentage, % от суммы обменных катионов) оценивали по кусочно-линейной модели, используя отношение $a_{\text{Na}}/\sqrt{a_{\text{Ca}}}$ по данным измерения активностей ионов натрия и кальция в пастах:

$$\begin{cases} \text{если } X \leq 10, & \text{то } Y = 1.1485 + 1.0197 X, \\ \text{если } 10 < X < 50, & \text{то } Y = 3.8404 + 0.8989 X - 0.0072 X^2, \\ \text{если } 50 \leq X < 100, & \text{то } Y = 15.375 + 0.3176 X, \\ \text{если } X > 100, & \text{то } Y = 37 + 0.1068 X, \end{cases}$$

где X – отношение $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$ активности ионов натрия и кальция выражены в ммоль/л; Y – доля обменного натрия, %.



А

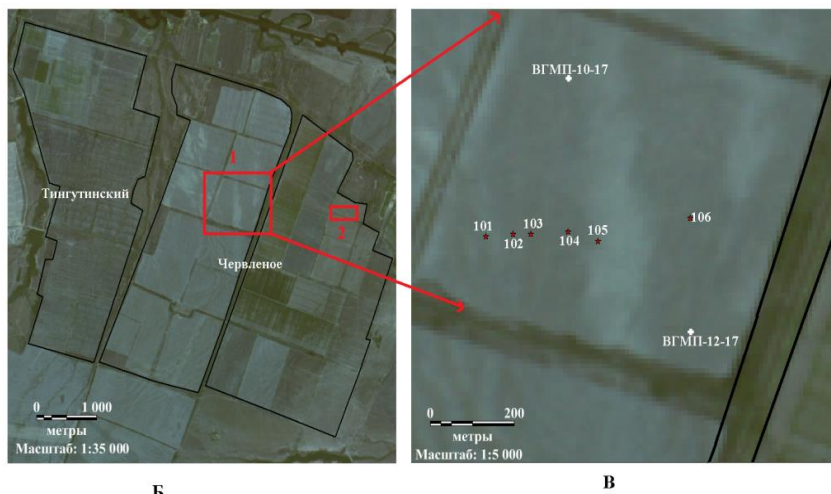


Рис. 1. Схема расположения точек отбора почвенных образцов на территории ОУ Червленое Светлоярской ОС: А – на фоне фрагмента снимка Landsat-8 (июнь, 2015); Б, В – на фоне спутника Канопус (август, 2015). Обозначения на рис. Б: 1 – поле, на котором закладывали трансекту разрезов Ч-101 ... Ч-106; 2 – участок вдоль оросительного канала ([Кравченко и др., 2018](#)).

Fig. 1. Location of soil sampling points on the territory of the Experimental Plot Chervlyonoye (irrigation system Svetloyarskaya): А – a fragment of the Landsat-8 image (June, 2015) as the background; Б, В – the satellite Canopus data (August, 2015) as the background. Designations in fig. 1Б: 1 – the field on which the transect with soil profiles Ч-101 ... Ч-106 was laid; 2 – the plot along the irrigation canal ([Kravchenko et al., 2018](#)).

Содержание карбонатов определяли ацидометрически по Козловскому с пересчетом CO_2 карбонатов в CaCO_3 ([Руководство..., 1990](#)).

Двумерные графики распределения активности ионов и карбонатов в координатах (расстояние вдоль трансекты, глубина) строили методом интерполяции кригинг, учитывая анизотропию расположения точек по вертикали и горизонтали, в пакете программ Surfer.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Классификационное положение и морфологическое строение почв. Трансекта, включавшая шесть точек опробования, продемонстрировала, что в 2017 г. на исследуемом поле ОУ Червлёное не были обнаружены солонцы. Согласно классификации К-1977, на участке вскрыты светло-каштановые пахотные карбонатные солончаковатые и глубокосолончаковатые среднесуглинистые почвы на лёссовидных суглинках.

По субстантивным классификациям почв те же объекты представляются немного более разнообразными.

В терминах РК-2004(8) почвы имеют следующие формулы профиля (рис. 2). Разр. Ч-101 (расстояние 0–50 м) имеет профиль $P_{ca} - BM_{ca} - BC_{Adc} - BC_{ca} - C_{ca,cs}$ – агрозем аккумулятивно-карбонатный дисперсно-карбонатный солончаковатый глубоко гипс-содержащий. Разр. Ч-102 (расстояние 50–120 м) – $P_{ca} - BM_{ca} - BC_{Adc} - BC_{Anc} - BC_{ca} - C_{ca,cs}$ – агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный солончаковатый глубоко гипс-содержащий. Разр. Ч-103 (расстояние 120–170 м) – $P_{ca,r} - AJ(ca) - BM_{ca} - BC_{Anc} - BC_{ca} - C_{ca,cs}$ – агросветлогумусовая аккумулятивно-карбонатная сегрегационная стратифицированная глубоко-солончаковатая глубоко гипс-содержащая почва. Разр. Ч-104 (расстояние 170–230 м) – $P(ca),r - AJ(ca) - BM_{ca} - BC_{Anc} - BC_{ca} - C_{ca,cs}$ – агросветлогумусовая аккумулятивно-карбонатная сегрегационная стратифицированная солончаковатая глубоко гипс-содержащая почва. Разр. Ч-105 (расстояние 250–350 м) – $P_{ca,r} - BC_{ca} - C_{ca,cs}$ – агрозем карбонатный глубокосолончаковатый глубоко гипс-содержащий. Разр. Ч-106 (расстояние 400–520 м) – $P_{ca} - BM_{ca} - BC_{Anc} - BC_{ca} - C_{ca,cs}$ – агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный солончаковатый глубоко гипс-содержащий.

Основные различия между почвами наблюдаются в верхней части почвенного профиля. Во-первых, агрогумусовый (пахотный) гор. Р в пяти из шести разрезов имел сплошное бурное вскипание от HCl (индекс са), а в одном – локальное (индекс са в круглых скобках). Во-вторых, этот же гор. Р в трех разрезах (Ч-103 ... Ч-105) имел признаки частично или полностью насыпанного материала (индекс r – стратифицированный), подвергавшегося ежегод-

ному перемешиванию вспашкой в течение почти 60 лет. Это следует из соотношения свойств самого гор. Р с нижележащими гор. АJ(ca) или ВСса.

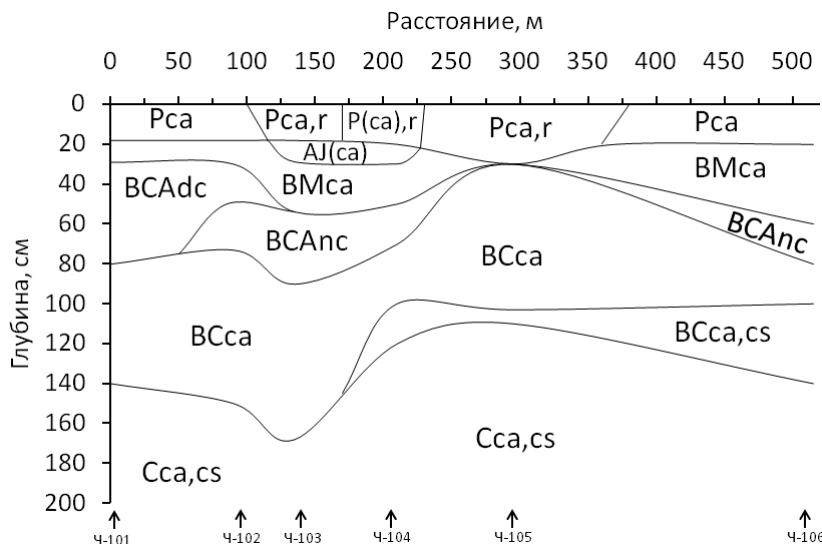


Рис. 2. Строение почвенных комбинаций вдоль транsekты. Индексация горизонтов по [ПК-2004\(8\)](#).

Fig. 2. The soil cover pattern along the transect. Indexation of horizons was performed according to [ПК-2004\(8\)](#).

В-третьих, в разр. Ч-105, заложенном на широкой светлой полосе, наблюдаемой как непосредственно в поле, так и на космическом снимке, сразу под гор. Рса,г обнаружен переходный к почвообразующей породе гор. ВСса. Это означает, что почвенный профиль был довольно сильно срезан при строительной планировке. Наиболее вероятно, что отмеченная светлая полоса до строительства оросительной системы была представлена ареалами солонцов или, по крайней мере, комплексом почв с очень высокой долей солонцов. Для более определенного суждения недостаточно имеющейся архивной информации.

В-четвертых, два разреза (Ч-103 и Ч-104) вскрыли бывшую луговато-каштановую почву ложбины, засыпанную сверху при строительной планировке поверхности поля. Под гор. Рса,г или

P(са),г найден светлогумусовый гор. АJ(са), имеющий не сплошное, а локальное вскипание от HCl, ниже которого расположены структурно-метаморфический гор. ВМса с пропиткой дисперсными карбонатами и аккумулятивно-карбонатный гор. ВСАпс с белоглазкой (индекс пс – сегрегационные карбонаты).

В-пятых, в разр. Ч-101, Ч-102 и Ч-106 в средней части почвенного профиля наблюдались вариации карбонатных новообразований. В разр. Ч-106 под структурно-метаморфическим гор. ВМса сразу начинался аккумулятивно-карбонатный гор. ВСАпс с белоглазкой. В разр. Ч-102 между ними вклинился гор. ВСАдс – аккумулятивно-карбонатный горизонт с диффузными пятнами карбонатов при отсутствии более компактно сегрегированных форм. А в разр. Ч-101 совсем не обнаружена сегрегация карбонатов в виде белоглазки, но ближе к поверхности в гор. ВМса наблюдались несколько прерывистых горизонтальных вытянутых на 10–15 см и узких (0.5–1.5 см) неровных светлых полосок карбонатов. Очевидно, это результат гидрогенного накопления карбонатов при высоком уровне стояния грунтовых вод.

Нижняя часть профиля постепенного перехода к почвообразующей породе (лёссовидным суглинкам) всех точек опробования имеет общие черты: гор. ВСса и Сса,сs. Наблюдалась лишь вариация глубины проявления признаков и обилия скоплений мелкокристаллического гипса. В частности глубина верхней границы появления гипсовых скоплений изменялась от 100 до 168 см, что в названии почв отмечено, как “глубоко гипс-содержащие”. Карбонатные новообразования в этих горизонтах не зафиксированы.

Согласно международной классификации WRB-2014 (update 2015), все почвы имеют гор. cambic – срединный горизонт, в котором наблюдаются признаки почвенного преобразования, прежде всего, структуры и ряда других свойств по сравнению с почвообразующей породой. В данных почвах он соответствует структурно-метаморфическому гор. ВМса в пяти разрезах и верхней части гор. ВСса в разр. Ч-105, расположенной непосредственно ниже насыпанного пахотного гор. Рса,г. Наличие пахотного гор. Р во всех почвах является критерием использования квалификатора Agric. Все почвы средне- и тяжелосуглинистые, что соответствует квалификатору Loamic. Наличие насыпанного материала в трех

разрезах позволяет применить квалификатор Novic. Содержание обменного натрия более 15 % от емкости катионного обмена в засоленных горизонтах в пределах первого метра является основанием для использования квалификатора Sodic в пяти разрезах. В одном из них (Ч-103) обменного натрия меньше в первом метре (5–14 %) – используется квалификатор Protosodic. Солончаковатые почвы с засоленными горизонтами на глубине 30–100 см имеют признаки, удовлетворяющие квалификатору Endoprotosalic, а глубокосолончаковатые с засоленными горизонтами на глубине 100–150 см – Bathyprotosalic. Наличие белоглазки в аккумулятивно-карбонатном гор. ВСАnc соответствует квалификатору Protocalcic. Содержание CaCO_3 более 15 % в гор. ВМСa и ВСАnc в разрезах Ч-104 и Ч-106 на глубине от 30 до 80 см является признаком гор. calcic. Полностью карбонатный почвенный профиль при отсутствии свойств protocalcic или гор. calcic позволяет применить квалификатор Calcaric. Присутствие гипсовых новообразований только глубже 100 см соответствует квалификатору Bathygypsic.

Учитывая последовательность диагностики реферативных почвенных групп (РПГ) в соответствии с ключом-определителем, принятым в WRB-2014, два разреза (Ч-104 и Ч-106), имеющие гор. calcic, относятся к РПГ Calcisols, а остальные четыре – к РПГ Cambisols. Полные названия почв по WRB-2014 (update 2015): разр. Ч-101 – Calcaric Sodic Endoprotosalic Cambisol (Loamic, Aric, Ochric, Bathygypsic); разр. Ч-102 – Sodic Endoprotosalic Cambisol (Loamic, Aric, Protocalcic, Ochric, Bathygypsic); разр. Ч-103 – Protosodic Bathyprotosalic Cambisol (Loamic, Aric, Protocalcic, Ochric, Novic); разр. Ч-104 – Cambic Calcisol (Loamic, Aric, Hypocalcic, Novic, Ochric, Bathyprotosalic, Sodic, Bathygypsic); разр. Ч-105 – Calcaric Protosodic Bathyprotosalic Cambisol (Loamic, Aric, Ochric, Bathygypsic); разр. Ч-106 – Cambic Calcisol (Loamic, Aric, Hypocalcic, Ochric, Endoprotosalic, Sodic, Bathygypsic).

Распределение карбонатов.

Как отмечалось выше, большинство почв исследуемого поля имеют сплошное бурное вскипание от HCl , обусловленное наличием дисперсных карбонатов в пахотном горизонте. Исключение составляют почвы с локальным вскипанием. Они приурочены к срединной части более темной полосы на космическом снимке, в

которой обнаружена частично засыпанная при планировке лугова-то-каштановая почва ложбины. На рисунке 3 представлено двумерное распределение содержания CaCO_3 вдоль трансекты, пересекающей полосчатый рисунок поверхности в поперечном направлении. Полученные результаты свидетельствуют, что наиболее высокое содержание CaCO_3 (12–13 %) в поверхностном горизонте приурочено к светлой полосе (разр. Ч-105). Сильное осветление поверхности отчетливо проявлялось и в полевых условиях при визуальном наблюдении. Почвы более темных участков поля (и на снимке) характеризовались содержанием CaCO_3 в пределах от 1.0 до 2.4 %. Контраст по содержанию карбонатов между темными и светлой полосами представлен 5–10-кратным увеличением показателя в пахотном слое светлой полосы.

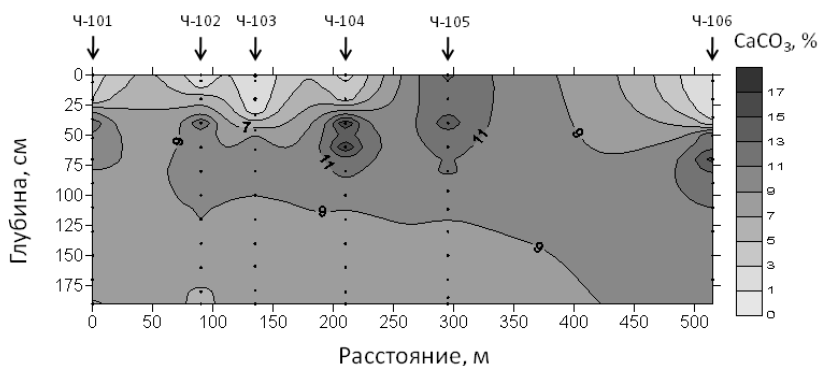


Рис. 3. Двумерное распределение содержания CaCO_3 в почвах трансекты.
Fig. 3. Two-dimensional distribution of CaCO_3 in soils of the transect.

В срединных и нижних горизонтах различие в содержании карбонатов существенно меньше. В гор. ВМса и особенно ВСАпс или ВСАdc рассматриваемый показатель имеет наибольшие значения, изменяясь от 9.0 до 16.4 %. Самые высокие значения CaCO_3 (15.6–16.4 %) отмечены в гор. ВСАпс в разр. Ч-104 и Ч-106, что позволило отнести эти аккумулятивно-карбонатные горизонты с белоглазкой к гор. calcic, а почвы – к РПГ Calcisols по WRB. Глубже в гор. ВСса и Сса,cs содержание CaCO_3 на 4–5 % меньше, составляя 6.5–9.5 %.

Заметная карбонатность бывших орошаемых почв, используемых последние 20 лет под пашню в системах сухого земледелия, может быть обусловлена несколькими причинами. Первая из них – планировка поля при строительстве оросительной системы. Выпуклые участки поверхности были срезаны, обнажив срединные или даже нижние (как в разр. Ч-105) карбонатные горизонты, а вогнутые (разр. Ч-103 и Ч-104) – частично засыпаны смешанным материалом разных горизонтов, среди которых были и срезанные карбонатные. Раньше такая практика была обычной ([Зимовец, 1991](#)). Вторая причина – изменение водного режима орошаемых почв в сторону дополнительного увлажнения в жаркий период года, в результате которого увеличилась длительность периодов восходящих потоков влаги к поверхности почвы между поливами. Более высокая биологическая активность орошаемых почв способствовала растворению и миграционной подвижности карбонатов кальция. Все вместе часто приводило к подтягиванию карбонатов кальция в ранее некарбонатные пахотные горизонты. На такой механизм обращали внимание многие авторы ([Барановская, Азовцев, 1981](#); [Любимова, Дегтярева, 2000](#), [Любимова, 2002](#); [Любимова, Новикова, 2016](#); [Горохова и др., 2018а, 2018б](#)).

Профильное распределение солей по данным водной вытяжки.

По содержанию воднорастворимых солей верхние горизонты до глубины 30 см формально являлись незасоленными во всех разрезах и скважинах, заложенных в 2017 г. на исследуемом поле. Верхняя граница первого от поверхности засоленного горизонта в большинстве точек опробования залегала на глубине от 30 до 100 см. Иными словами, большая часть почв исследуемого поля в 2017 г. относилась к солончаковатым разностям (рис. 4). Более глубокое расположение верхней границы первого от поверхности засоленного горизонта (120 см) наблюдалось в бывшей луговато-каштановой почве ложбины (разр. Ч-103, рис. 5). Эта почва являлась глубокосолончаковатой.

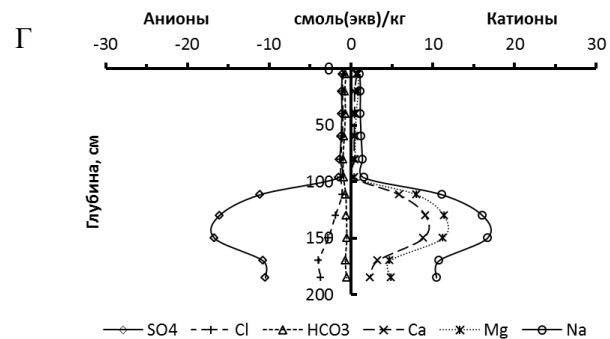
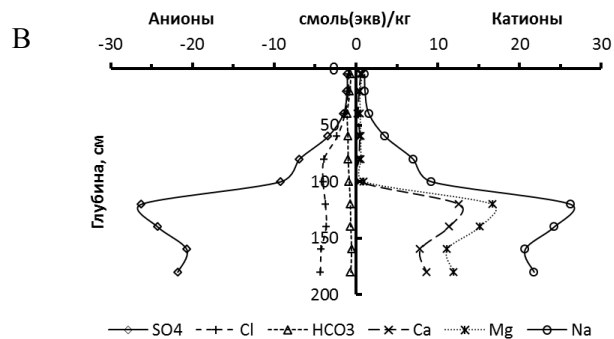
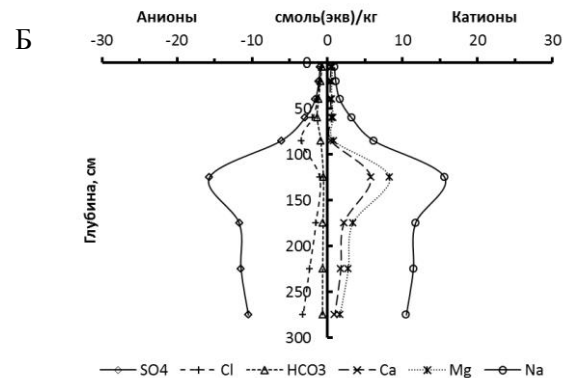
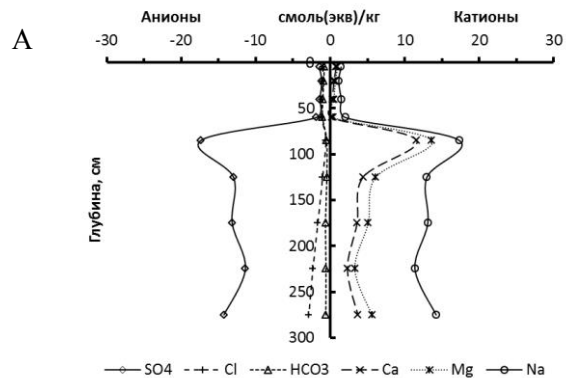
Вертикальный профиль распределения воднорастворимых солей в почвах участка имел срединно-аккумулятивную форму с максимумом содержания солей, соответствующему сильной степени засоления. Положение этого максимума во всех почвах

участка приурочено ко второму метру от поверхности на глубине от 10–120 до 170–200 см. По данным водной вытяжки 1 : 5, химизм этих наиболее засоленных горизонтов относился к сульфатному натриевому с гипсом или хлоридно-сульфатному натриевому или магниевому-натриевому с гипсом.

Верхняя часть солевого профиля представлена поверхностными незасоленными горизонтами, в которых с поверхности или с глубины 10–20 см наблюдалась токсичная щелочность в водной вытяжке 1 : 5 и с глубины 10–30 см токсичный гидрокарбонат натрия в водной вытяжке (рис. 4Ж, 43). Первый от поверхности засоленный горизонт обычно имел слабую степень засоления. В составе катионов преобладал натрий, а среди анионов – хлориды или сульфаты с токсичной щелочностью. Мощность слабозасоленных горизонтов обычно не превышала 20 см. Глубже степень засоления увеличивалась до средней с непостоянным соотношением хлоридов и токсичных сульфатов, которое соответствовало сульфатному, хлоридно-сульфатному или сульфатно-хлоридному химизму по анионам. Еще глубже располагался горизонт максимального засоления, о котором шла речь выше.

Профильное распределение активностей ионов.

Следует обратить внимание, что измерения активностей ионов Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- в почвенных пастах с постоянной влажностью 40 % (мас.), с одной стороны, дают такое же представление о вертикальном распределении солей в почве, как и водная вытяжка (сравните рис. 4Е и рис. 5 для разр. Ч-104 ... Ч-106), с другой стороны, представляют иную информацию о химизме солей. Из рисунка 5 следует, что активности ионов Na^+ (a_{Na}) и Cl^- (a_{Cl}) имеют очень похожие вертикальные профили распределения. В четырех разрезах (Ч-101, Ч-102, Ч-104, Ч-106) эти профили почти накладываются друг на друга: на большей части участка кривой a_{Na} немного больше a_{Cl} , а на других участках кривой, наоборот, a_{Cl} больше a_{Na} . В двух остальных разрезах (Ч-103 и Ч-105) a_{Na} больше a_{Cl} по всему профилю.



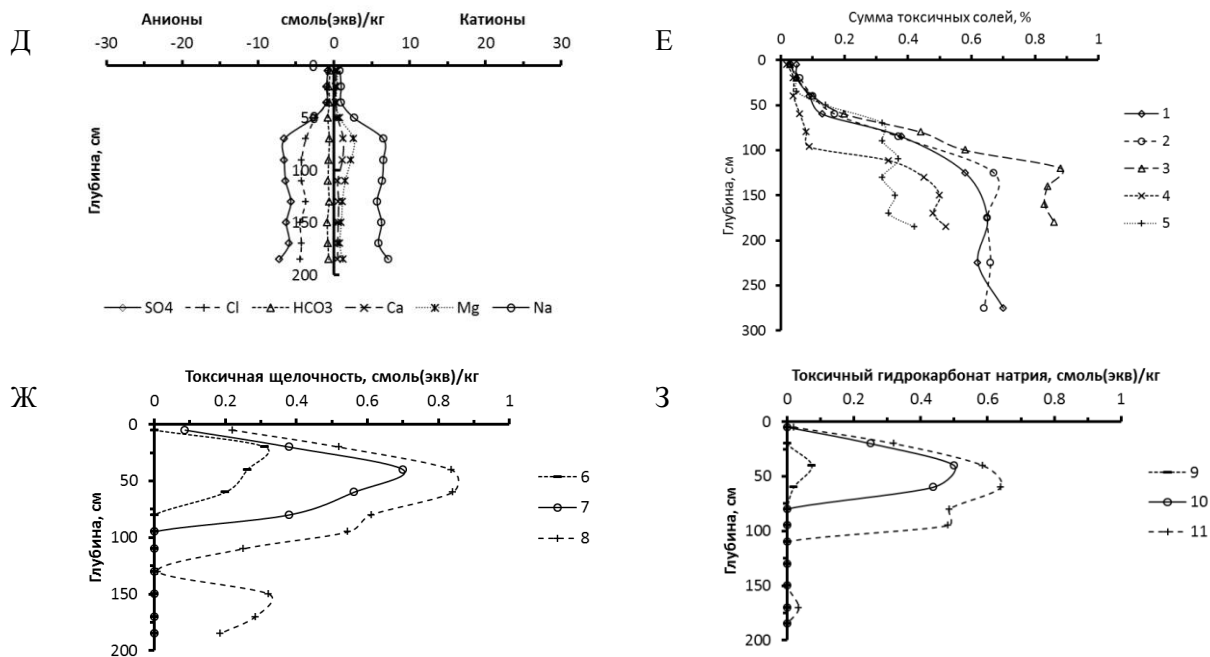
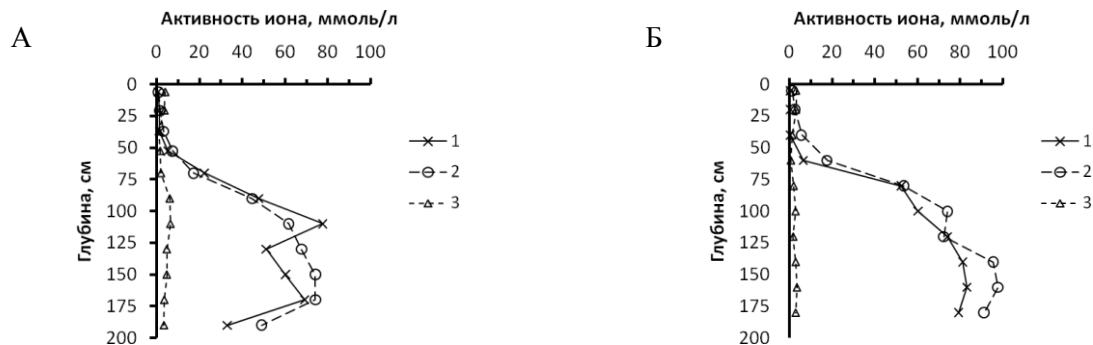


Рис. 4. Засоленность почв по данным водной вытяжки 1 : 5. А – Д – двусторонние графики состава водной вытяжки: А – скв. ВГМП-10-2017; Б – скв. ВГМП-12-2017; В – разр. Ч-104; Г – разр. Ч-105; Д – разр. Ч-106; Е – вертикальное распределение суммы токсичных солей (%) водной вытяжки: 1 – скв. ВГМП-10-2017; 2 – скв. ВГМП-12-2017; 3 – разр. Ч-104; 4 – разр. Ч-105; 5 – разр. Ч-106; Ж – вертикальное распределение минимума (6), медианы

(7) и максимума (8) токсичной щелочности (смоль(экв)/кг); 3 – вертикальное распределение минимума (9), медианы (10) и максимума (11) гидрокарбонатов натрия в водной вытяжке (смоль(экв)/кг).

Fig. 4. Soil salinity according to water extraction (1: 5) data. A – D – two-sided graphs of the composition of water extract: A – bore hole ВГМП-10-2017; B – bore hole ВГМП-12-2017; B – soil profile Ч-104; Г – soil profile Ч-105; Д – soil profile Ч-106; E – the vertical distribution of toxic salts (%) of the aqueous extract: 1 – bore hole ВГМП-10-2017; 2 – bore hole ВГМП-12-2017; 3 – soil profile Ч-104; 4 – soil profile Ч-105; 5 – soil profile Ч-106; Ж – is the vertical distribution of minimum (6), median (7) and maximum (8) of toxic alkalinity, cmol_c/kg; 3 – the vertical distribution of minimum (9), median (10) and maximum (11) of sodium bicarbonate in the aqueous extract, cmol_c/kg.



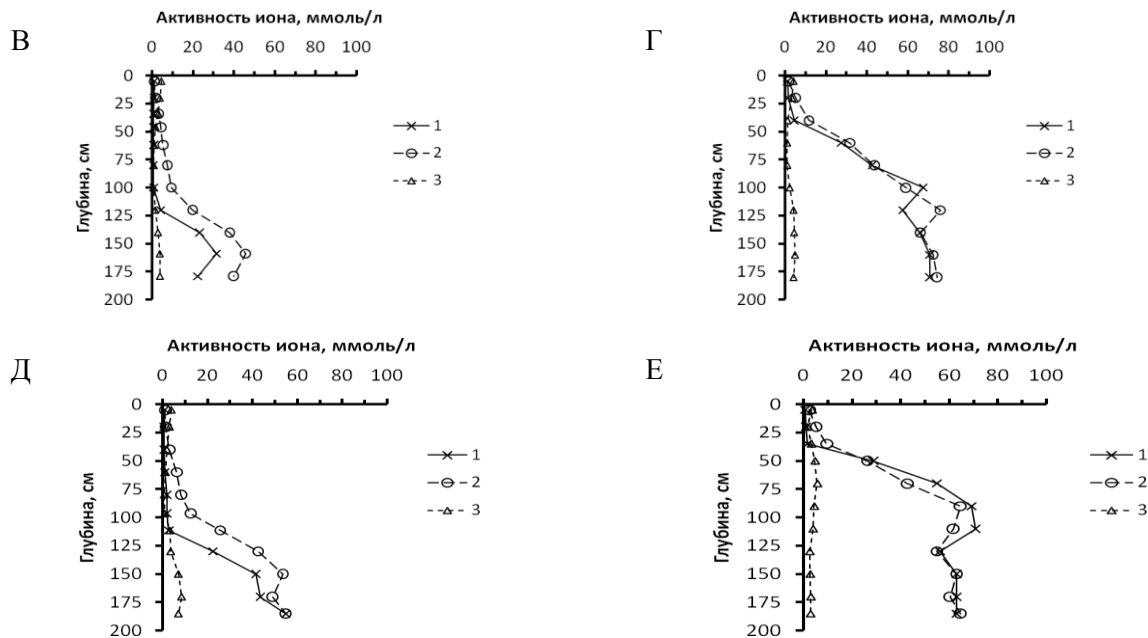


Рис. 5. Вертикальное распределение активности Cl^- (1), Na^+ (2), Ca^{2+} (3) в почвах транsekты (влажность пасты 40 % (мас.)): А – разр. Ч-101; Б – разр. Ч-102; В – разр. Ч-103; Г – разр. Ч-104; Д – разр. Ч-105; Е – разр. Ч-106.
Fig. 5. Vertical distribution of Cl^- (1), Na^+ (2), Ca^{2+} (3) activity in soils of the transect (paste moisture 40 % (wt.)): А – soil profile Ч-101; Б – soil profile Ч-102; В – soil profile Ч-103; Г – soil profile Ч-104; Д – soil profile Ч-105; Е – soil profile Ч-106.

Небольшая разница в величинах активности Na^+ и Cl^- , а иногда и более высокие значения для хлоридов, по сравнению с натрием, свидетельствует о том, что при влажности, приблизительно соответствующей полной влагоемкости почвы, в жидкой фазе почвы ионы натрия преимущественно компенсированы хлорид-ионами, а доля сульфатов натрия и гидрокарбонатов натрия невелика. В противоположность этому, по данным водной вытяжки, химизм по анионам преимущественно сульфатный или хлоридно-сульфатный. Такое различие обусловлено присутствием гипса в твердой фазе почвы.

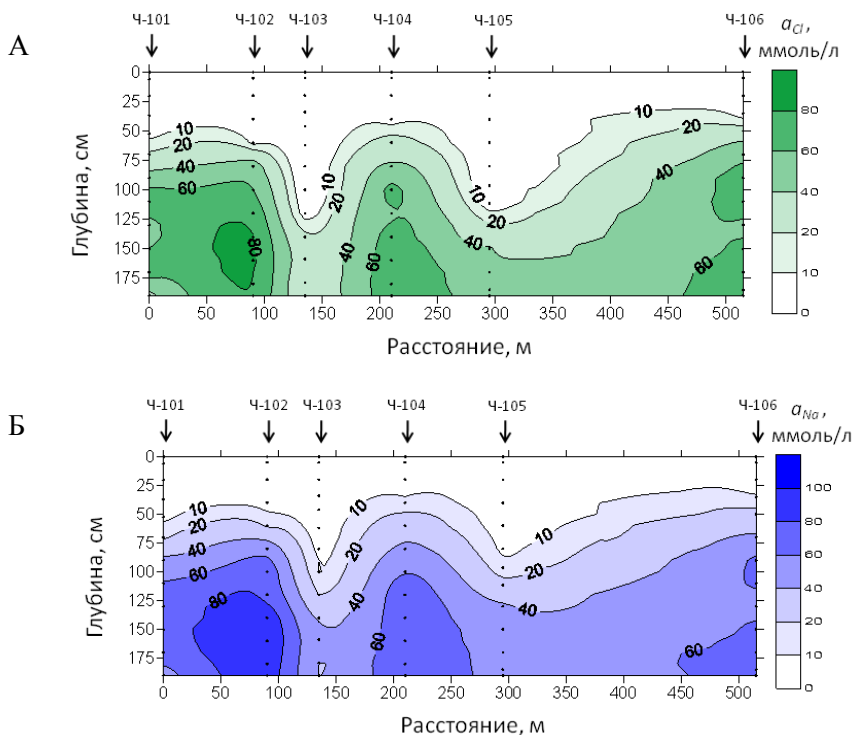
При производстве водной вытяжки 1 : 5 (влажность 500 % (мас.)) гипс твердой фазы растворяется в большем количестве, чем при естественной влажности почвы (в данном случае влажность пасты 40%(мас.)), поскольку его растворимость ограничена 2 г/л – чем больше воды, тем больше гипса из твердой фазы растворяется. Растворение гипса обеспечивает дополнительное поступление кальция в раствор водной вытяжки 1 : 5. В результате соотношение ионов Na^+ и Ca^{2+} в жидкой фазе водной вытяжки 1 : 5 изменяется по сравнению с таковым в почвенном растворе при влажности 40 % в пользу ионов Ca^{2+} , что сопровождается реакциями ионного обмена между раствором и почвенным поглощающим комплексом. Кальций раствора вытесняет часть обменного натрия в раствор. Поскольку кальций в растворе компенсировался сульфат-ионами при растворении гипса, после ионного обмена обменный натрий, вытесненный в раствор, становится сульфатом натрия. В результате, по данным водной вытяжки 1 : 5 из образцов, содержащих гипс, всегда, даже при расчете по токсичным солям, химизм засоления оказывается более сульфатным, по сравнению с данными по почвенным растворам или вытяжкам из паст. На подобный методический эффект раньше обращали внимание при изучении почв Заволжья ([Славный и др., 1970, 1973](#); [Славный, 2003](#); [Зимовец, 1991](#)).

Двумерное распределение солей в почвенной комбинации.

На рисунке 6 представлены двумерные графики распределения активности ионов и производных от них величин вдоль трансекты, пересекающей полосчатую структуру в поперечном направлении. Распределения a_{Na} и a_{Cl} имели похожий волнообраз-

ный характер изменения вдоль трансекты, демонстрируя чередование солончаковых и глубокосолончаковых почв. Наиболее глубокое залегание первого от поверхности засоленного горизонта ($a_{Na} > 20$ ммоль/л) наблюдалось в середине темной полосы в бывшей луговато-каштановой почве ложбины (разр. Ч-103) и, наоборот, в светлой полосе в остаточной части почвы после срезки при строительной планировке поля (разр. Ч-105).

Сравнительно близко расположенные засоленные горизонты на большей части исследуемого поля являются результатом вторичного засоления почв участка в 1980-х и 1990-х годах в условиях поднявшего выше критического уровня грунтовых вод в дополнение к исходному пятнистому засолению почв степных солонцовых комплексов.



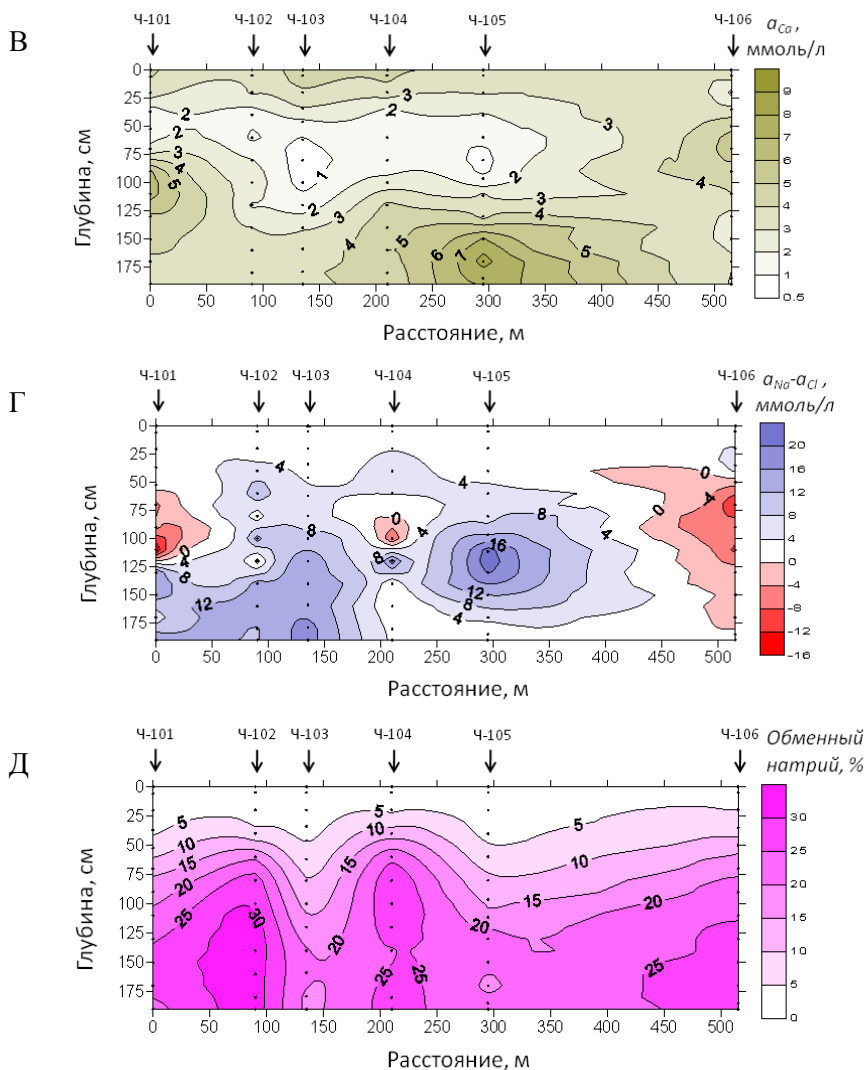


Рис. 6. Двумерное распределение активности Cl^- (А), Na^+ (Б), Ca^{2+} (В), разности активностей Na^+ и Cl^- (Г), содержания обменного натрия (ESP, % от ЕКО) (Д) в почвах транsekты

Fig. 6. Two-dimensional distribution of Cl^- (A), Na^+ (Б), Ca^{2+} (B) ions activity, differences in Na^+ и Cl^- (Г) activities, exchangeable sodium percent

(ESP, % of CEC, – as a percentage of cation-exchange capacity) (Д) in transect soils.

К тому времени на ОУ Червленое преобладали солончаковые разности, т. е. засоленные горизонты начинались в пределах верхних 30 см. За два десятка лет после прекращения орошения на участке произошло растекание купола грунтовых вод, что способствовало медленному рассолению поверхностного горизонта.

Особый интерес представляют разр. Ч-103 и Ч-105, которые в 2017 г. оказались глубокосолончаковыми. Для обоих разрезов характерны существенно более низкие значения a_{Cl} , по сравнению с a_{Na} , по всему профилю (рис. 5В, 5Д, 6А, 6Б), что можно рассматривать как результат более быстрого вымывания несорбирующегося хлорид-иона по сравнению с ионами натрия, которые находятся и в растворе, и в обменном состоянии. Промывание верхних горизонтов от легкорастворимых солей в профиле бывшей лугово-каштановой почвы ложбины (разр. Ч-103) представляется очевидным даже в условиях выравнивания поля планировкой. С другой стороны, профиль Ч-105 представлен гор. ВСса сразу под пахотным слоем. Наиболее вероятно, что гор. ВСса исходно был засоленным и являлся нижней частью профиля солонца до строительной планировки поля, в результате которой верхние горизонты были срезаны и удалены на соседние участки с территории современной светлой полосы на поле. Об этом свидетельствует и верхняя граница обильных гипсовых новообразований, которая в разр. Ч-105 расположена на глубине 100 см – ближе всего к современной поверхности почвы, по сравнению с остальными точками опробования. По этой причине наиболее высоко расположенный горизонт с мелкокристаллическим гипсом можно считать сохранившимся признаком исходного профиля солончакового солонца.

Сейчас трудно определить период времени, когда в действительности произошло рассоление этой почвы. По опыту исследования солевого состояния бывших солонцов Нижнего Поволжья в 1960-х ... 1980-х годах ([Зимовец, 1991](#)), удаление планировкой верхней части профиля с солонцовым горизонтом до засоленного карбонатного горизонта в условиях орошения приводило к рассолению бывших срединных горизонтов солонцов за 5–15 лет. По-

этому для рассматриваемой почвы можно допустить, во-первых, частичное рассоление в период ее орошения, и, во-вторых, дополнительное рассоление атмосферными водами без орошения в последние два десятилетия.

Обратим внимание, что в формально незасоленных верхних горизонтах исследуемых почв активность Na^+ изменяется от 1 до 10–20 ммоль/л, что при влажности 40 % соответствует содержанию воднорастворимого натрия в почве от 0.04 до 0.4–0.8 смоль(экв)/кг. Этот факт важен, прежде всего, в методическом отношении. Измерение активности Na^+ (и других ионов) в пастах с помощью ионоселективных электродов позволяет дифференцированно оценивать солевое состояние незасоленных поверхностных горизонтов. Почвы, не содержащие легкорастворимых солей натрия во всем почвенном профиле, обычно имеют величины активности Na^+ в пастах менее 0.3–0.4 ммоль/л. Увеличение a_{Na} до 1–2 ммоль/л является первым индикатором, что где-то близко находится источник солей натрия в почвах, породах или грунтовых водах. Увеличение a_{Na} до 5–15 ммоль/л в поверхностных горизонтах обычно является индикатором того, что в почвенном профиле с очень высокой вероятностью имеются засоленные горизонты, а в самих поверхностных незасоленных горизонтах может быть повышенная щелочность и накопление обменного натрия в диапазоне до 5–12 % от ЕКО. Поэтому на основе площадного опробования поверхностных горизонтов и определения в образцах активности Na^+ в пастах можно оценить локализацию засоленных почв на участке для последующего планирования целенаправленного опробования почв для оценки параметров засоленности.

Активность ионов Ca^{2+} (a_{Ca}) в жидкой фазе паст при влажности 40 % (мас.) изменяется в диапазоне от 0.7 до 8.5 ммоль/л. Величины a_{Ca} 0.5–3 ммоль/л характерны для большинства почв степной зоны в незасоленных горизонтах. Они контролируются карбонатно-кальциевым равновесием. В пределах исследуемой трансекты этот диапазон является фоновым. На нем выделяются три области с более высокими значениями a_{Ca} : в средних частях профилей Ч-101, Ч-106 и в нижних горизонтах разр. Ч-104 и Ч-105.

Величины $a_{Ca} > 3$ ммоль/л потенциально могут быть связаны с растворением гипса или с наличием еще более растворимой соли – хлорида кальция. Для оценки ситуации в почвах трансекты сначала рассмотрим распределение разницы активностей ионов натрия и хлоридов ($a_{Na} - a_{Cl}$) (рис. 6Г).

Величина ($a_{Na} - a_{Cl}$) в почвах трансекты изменяется от -16 до $+23$ ммоль/л. Положительные значения означают, что катионы натрия в жидкой фазе пасты при влажности 40 % компенсированы не только хлоридами, но и другими анионами – сульфатами и/или гидрокарбонатами. На двумерной диаграмме (рис. 6Г) положительные значения преобладают, причем большая часть из них соответствует диапазону ($a_{Na} - a_{Cl}$) от 0 до 8 ммоль/л. Последнее означает явное доминирование хлоридов среди анионов, компенсирующих катионы натрия. Более высокие значения ($a_{Na} - a_{Cl}$) от 8 до 23 ммоль/л наблюдались в средней части профилей разр. Ч-104 и Ч-105, а также в нижних горизонтах в разр. Ч-101 ... Ч-103. Для этих горизонтов в жидкой фазе паст характерно помимо хлоридов присутствие заметных количеств сульфатов натрия. Доля последних в средне- и сильнозасоленных горизонтах ($a_{Na} > 40$ ммоль/л) составляет от 2–10 до 40–45 % от содержания солей натрия (оценка по соотношению $(a_{Na} - a_{Cl})/a_{Na}$), что соответствует хлоридному или сульфатно-хлоридному химизму по анионам, а в слабозасоленных (a_{Na} 20–40 ммоль/л) горизонтах – увеличивается до 60–90 %, соответствующее хлоридно-сульфатному или даже сульфатному химизму.

Отрицательные значения разницы ($a_{Na} - a_{Cl}$) означают, что хлорид-ионы не полностью компенсируются катионами натрия, в жидкой фазе присутствуют хлориды кальция и/или магния. Области с отрицательной разницей ($a_{Na} - a_{Cl}$), окрашенные на рисунке 6Г в красные тона, приурочены к средней части профиля без гипсовых новообразований в разр. Ч-101, Ч-104 и Ч-106. Сравнивая распределение разницы ($a_{Na} - a_{Cl}$) (рис. 6Г) с распределением a_{Ca} (рис. 6В), можно сделать вывод о совпадении отрицательных значений ($a_{Na} - a_{Cl}$) с повышенными значениями a_{Ca} в разр. Ч-101 и Ч-106, означающем присутствие хлоридов кальция. В разр. Ч-104 в небольшой области разницы ($a_{Na} - a_{Cl}$), равной -14.8 ммоль/л, величина a_{Ca} составляет 2.4 ммоль/л, что затруднительно связать с

присутствием хлорида кальция. В этом горизонте, по-видимому, присутствует хлорид магния.

Наличие в профиле почв хлоридов кальция и магния на фоне чуть глубже расположенных горизонтов с многочисленными скоплениями мелкокристаллического гипса часто является признаком вторичного засоления почвенного профиля от близко расположенных грунтовых вод ([Научные основы..., 2013](#)). В исследованных почвах грунтовые воды были на глубине 1.5–3.0 м в конце 1980-х – начале 1990-х годов. В 2017 г. они залегали глубже 7 м. По этой причине наблюдаемое наличие хлоридов кальция и магния в средней части профиля некоторых почв участка допустимо рассматривать в качестве остаточного признака бывшего вторичного засоления.

Выше отмечали, что повышенные значения $a_{Ca} > 3$ ммоль/л встретились в трех областях двумерного распределения a_{Ca} вдоль трансекты. Две из них оказались обусловленными присутствием хлоридов кальция. В третьей области значения a_{Ca} от 3 до 8 ммоль/л сопряжены с положительными значениями ($a_{Na} - a_{Cl}$) и наличием обильных выделений мелкокристаллического гипса. Сравнительно высокая концентрация хлоридов натрия (40–50 ммоль/л) при низкой доле (около 10–20 %) сульфатов натрия в растворе обеспечила растворение гипса и наблюдавшийся диапазон активности ионов кальция в растворе.

На рисунке 6Д представлено двумерное распределение доли обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе почв трансекты. Оно похоже на распределение активности ионов Na^+ в пастах (рис. 6Б) – тоже волнообразное, но чуть более сглаженное изменение вдоль трансекты. Максимальные значения доли обменного натрия наблюдались в наиболее засоленных горизонтах, что является следствием явного доминирования среди катионов почвенных растворов ионов Na^+ . Это общая закономерность для большинства почв, содержащих соли натрия ([Хитров, Зимовец, 1988](#)).

Обратим внимание на верхние и срединные незасоленные горизонты, расположенные на глубине от 20–30 до 70–120 см, в которых доля обменного натрия составляет от 5 до 15 % от суммы обменных катионов (рис. 6Д). Для этих же горизонтов, по данным

водной вытяжки 1 : 5, характерно наличие токсической щелочности и гидрокарбонатов натрия. Подобное сочетание признаков означает наличие физико-химических условий развития солонцового процесса ([Научные основы..., 2013](#)), который на данный момент еще не привел к возникновению морфологических признаков подвижности илистых частиц, по-видимому, за счет сдерживающего агрегирующего влияния дисперсных карбонатов кальция, пропитывающих эти горизонты. Иными словами, почвы не являются солонцеватыми, но являются засоленными. По этой причине они содержат обменный натрий более 5 % не только в засоленных, но и в незасоленных горизонтах, хотя сплошная пропитка карбонатами кальция препятствует реальному осолонцеванию почв даже при актуальных физико-химических условиях начала процесса.

Сравним солевое состояния почв данного поля с опубликованными данными по почвам в приканальной полосе ([Кравченко и др., 2018](#)), расположенным в 1.5 км восточнее на том же ОУ Червленое. Во-первых, почвы обоих полей были ранее вторично засолены в условиях высокого стояния грунтовых вод в 1980-х гг. с той лишь разницей, что почвы вдоль оросительного канала были засолены сильнее ([Горохова, Панкова, 1997](#)). Во-вторых, оба участка не орошаются с середины 1990-х, что привело к понижению грунтовых вод и частичному рассолению почв атмосферными осадками за последние два десятилетия. На обоих участках в 2017 г. почвы из солончаковых стали солончаковатыми, некоторые глукосолончаковатыми, а солевой профиль приобрел срединно-аккумулятивную форму с максимумом во втором метре. В-третьих, в некоторых почвах обоих участков в средней части профиля сохранились следы остаточного вторичного засоления в виде присутствия хлоридов кальция и магния на фоне доминирующего хлорида натрия.

Проведем также предварительное сравнение представленных данных о солевом состоянии почв на отмеченных выше двух полях ОУ Червленое ([Кравченко и др., 2018](#); материалы данной статьи) с опубликованными данными по почвам Светлоярского ОУ ([Горохова и др., 2018б](#)). Исследованные почвы ОУ Червленое, развитые на лёссовидных суглинках склонов возвышенности Ергени, отличаются более сильной степенью засоления и более

близким залеганием засоленных горизонтов к поверхности по сравнению с почвами Светлоярского ОУ, развитыми на более легких по гранулометрическому составу хвалыньских суглинках Северной Сарпинской низменности при относительно глубоком залегании (более 5 м) шоколадных глин. Помимо отмеченной разницы гранулометрического состава, следует отметить, что почвы ОУ Червленое в силу сложившихся гидрогеологических условий при орошении во второй половине XX в. оказались подвержены более сильному вторичному засолению в 1980-х, что отмечалось ранее Гороховой ([Горохова, Панкова, 1997](#)).

ВЫВОДЫ

1. Неоднородное изображение спектральной яркости на космическом снимке в виде чередующихся более темных и более светлых широких полос, ориентированных по уклону местности, на исследуемом поле ОУ Червленое обусловлено разным содержанием карбонатов кальция в пахотном горизонте. В светлой полосе в поверхностном горизонте содержание CaCO_3 в 5–10 раз больше, чем в темных полосах. Рисунок изображения на космическом снимке не отражает засоленность почв участка. Светлые полосы соответствуют почвам, верхняя часть профиля которых была срезана во время планировки поля при строительстве оросительной системы, а солевое состояние изменилось за полвека. На более темных участках засоленность почв сильно варьирует.

2. Почвы участка, вторично засоленные к середине 1990-х в условиях орошения и подъема грунтовых вод выше критического уровня, в 2017 г. после двух десятилетий прекращения орошения частично рассолены с поверхности до глубины 40–120 см. В возникших незасоленных верхних горизонтах сохраняется токсическая щелочность и содержание обменного натрия составляет 5–15 % от суммы обменных катионов, но морфологических признаков солонцеватости (подвижности ила) не наблюдается из-за сплошной пропитки почвенной массы дисперсными карбонатами. В отдельных почвах в срединных слабо- и средnezасоленных горизонтах присутствуют хлориды кальция и магния, свидетельствующие о сохранившихся остаточных признаках прежнего вторичного засоления почв.

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97.
Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, 97

3. Субстантивные классификации почв России (2004) и WRB (IUSS, 2015) позволяют более дифференцированно выявлять причины наблюдаемых изменений почвенного покрова оросительных систем Поволжья по сравнению с классификацией почв СССР (1977).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барановская В.А., Азовцев В.И. Влияние орошения на миграцию карбонатов в почвах Поволжья // Почвоведение. 1981. № 10. С. 17–27.
2. Горохова И.Н., Панкова Е.И. Метод дистанционного контроля за состоянием орошаемых земель юга России // Аридные экосистемы. 1997. Т. 3. № 5. С. 26–34.
3. Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Панкова Е.И., Прокопьева К.О. Засоленность почв Светлоярского орошаемого массива в Волгоградской области в 2010-х годах // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2018 (а). Вып. 93. С. 75–93. DOI: [10.19047/0136-1694-2018-93-75-93](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-93-75-93).
4. Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Прокопьева К.О., Харланов В.А. Почвенный покров Светлоярской оросительной системы через полвека мелиоративных воздействий // Почвоведение. 2018 б. № 8. С. 1–12. DOI: [10.1134/S0032180X18080130](https://doi.org/10.1134/S0032180X18080130).
5. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2015 г. Министерство эконо. развития, Федеральная служба гос. регистрации, кадастра и картографии. М. 2016. 202 с.
6. Дегтярева Е.Т., Жулидова А.Н. Почвы Волгоградской области. Волгоград: Нижне-Волжское книжное изд-во, 1970. 319 с.
7. Засоленные почвы России / Отв. редакторы Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова. М.: ИКЦ “Академкнига”, 2006. 853 с.
8. Зимовец Б.А. Экология и мелиорация почв сухостепной зоны. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 1991. 249 с.
9. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
10. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
11. Кравченко Е.И., Хитров Н.Б., Горохова И.Н. Двумерное распределение засоления орошаемых почв рядом с оросительным каналом на участке “Червленое” Светлоярской оросительной системы // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2018. Вып. 94. С. 19–37. DOI: [10.19047/0136-1694-2018-94-19-37](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-19-37).

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97.
Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, 97

12. Кутькина Н.В. Влияние длительного орошения на степные почвы Хакасии. Абакан: ООО “Фирма Март”, 2008. 152 с.

13. Любимова И.Н. Агрогенная эволюция почв солонцовых комплексов сухостепной зоны // Почвоведение. 2002. № 7. С. 892–903.

14. Любимова И.Н., Дегтярева Е.Т. Изменение карбонатного профиля почв солонцовых комплексов при агрогенном воздействии // Почвоведение. 2000. № 7. С. 855–860.

15. Любимова И.Н., Новикова А.Ф. Влияние различных антропогенных воздействий на изменение почв солонцовых комплексов сухостепной зоны // Почвоведение. 2016. № 5. С. 633–643. DOI: [10.7868/S0032180X16050129](https://doi.org/10.7868/S0032180X16050129).

16. 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. Коллективная монография. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2013. 756 с.

17. Новикова А.Ф., Гэтин Ло, Конюшкова М.В. Динамика процессов засоления – рассоления почв участка “Червленое” Светлоярской оросительной системы в ирригационный и постирригационный периоды // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2009. № 63. С. 16–24.

18. Панкова Е.И., Новикова А.Ф. Мелиоративное состояние и вторичное засоление почв орошаемых земель Волгоградской области // Почвоведение. 2004. № 6. С. 731–744.

19. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

20. Приходько В.Е. Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность. М.: “Интеллект”, 1996. 179 с.

21. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв / Под ред. Н.Б. Хитрова и А.А. Понизовского. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 1990. 236 с.

22. Сиземская М.Л. Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 276 с.

23. Славный Ю.А. Галогенез почв Нижнего Поволжья // Почвоведение, 2003. № 1. С. 3–12.

24. Славный Ю.А., Мельникова И.Б., Орлова Е.М. Изменение солевого состава жидкой фазы почвогрунтов в степных солонцовых комплексах

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97.
Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, 97

Прикаспийского Заволжья при орошении // Почвоведение. 1973. № 11. С. 92–100.

25. *Славный Ю.А., Турсина Т.В., Кауричева З.Н.* К вопросу о генезисе засоленных почв в Прикаспии // Почвоведение. 1970. № 10. С. 19–25.

26. *Хитров Н.Б., Зимовец Б.А.* Обменные катионы в нейтральных и щелочных почвах // В сб. Физико-химия почв и их плодородие / Научные труды Почвенного института имени В.В. Докучаева. М. 1988. С. 82–87.

27. *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.

28. *Экологические требования к орошению почв России* / общ. ред. Б.А. Зимовца и Н.Б. Хитрова. Составители: Б.А. Зимовец, А.Г. Бондарев, И.П. Айдаров, В.Я. Григорьев, И.И. Судницын, Н.П. Чижикова, Н.Б. Хитров, А.И. Корольков, Т.И. Королькова. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 1996. 72 с.

29. *Aragüés R., Medina E.T., Martínez-Cob A., Faci J.* Effects of deficit irrigation strategies on soil salinization and sodification in a semiarid drip-irrigated peach orchard // *Agricultural Water Management*. 2014. Vol. 142. P. 1–9. DOI: [10.1016/j.agwat.2014.04.004](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.04.004).

30. *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. Vol. 44. Issue 4. P. 563–572. DOI: [10.1007/s12524-015-0530-9](https://doi.org/10.1007/s12524-015-0530-9).

31. *Ding J., Yu D.* Monitoring and evaluating spatial variability of soil salinity in dry and wet seasons in the Werigan–Kuqa Oasis, China, using remote sensing and electromagnetic induction instruments // *Geoderma*. 2014. Vol. 235–236. P. 316–322. DOI: [10.1016/j.geoderma.2014.07.028](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.028).

32. *Gkioungkis I., Kallioras A., Pliakas F., Pechtelidis A., Diamantis V., Diamantis I., Ziogas A., Dafnis I.* Assessment of soil salinization at the eastern Nestos River Delta, N.E. Greece // *Catena*. 2015. Vol. 128. P. 238–251. DOI: [10.1016/j.catena.2014.06.024](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.06.024).

33. *He B., Cai Y., Ran W., Jiang H.* Spatial and seasonal variations of soil salinity following vegetation restoration in coastal saline land in eastern China // *Catena*. 2014. Vol. 118. P. 147–153. DOI: [10.1016/j.catena.2014.02.007](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.02.007).

34. *He B., Cai Y., Ran W., Zhao X., Jiang H.* Spatiotemporal heterogeneity of soil salinity after the establishment of vegetation on a coastal saline field // *Catena*. 2015. Vol. 127. P. 129–134. DOI: [10.1016/j.catena.2014.12.028](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.12.028).

35. *Herrero J., Castañeda C.* Temporal changes in soil salinity at four saline wetlands in NE Spain // *Catena*. 2015. Vol. 133. P. 145–156. DOI: [10.1016/j.catena.2015.04.017](https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.04.017).

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97.
Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, 97

36. *IUSS Working Group WRB 2015*. 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 No. 106. FAO, Rome. 192 p.

37. *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*. 2019. Vol. 12. P. 1–14. DOI: [10.1007/s12145-018-0358-2](https://doi.org/10.1007/s12145-018-0358-2).

38. *Pla Sentis I.* Advances in the prognosis of soil sodicity under dryland and irrigated condition // *International Soil and Water Conservation Research*. 2014. Vol. 2. No. 4. P. 50–63.

39. *Rahman M.M., Hagare D., Maheshwari B.* Framework to assess sources controlling soil salinity resulting from irrigation using recycled water: an application of Bayesian Belief Network // *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 105. P. 406–419. DOI: [10.1016/j.jclepro.2014.04.068](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.068).

40. *Ren J., Li X., Zhao K.* Quantitative Analysis of Relationships Between Crack Characteristics and Properties of Soda-saline Soils in Songnen Plain, China // *Chinese Geographical Science*. 2015. Vol. 25. No. 5. P. 591–601. DOI: [10.1007/s11769-015-0779-5](https://doi.org/10.1007/s11769-015-0779-5).

41. *Russo D., Laufer A., Bardhan G., Levy G.J.* Salinity control in a clay soil beneath an orchard irrigated with treated waste water in the presence of a high water table: A numerical study // *Journal of Hydrology*. 2015. Vol. 531. P. 198–213. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2015.04.013](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.013).

42. *Scudiero E., Skaggs T.H., Corwin D.L.* Regional-scale soil salinity assessment using Landsat ETM+ canopy reflectance // *Remote Sensing of Environment*. 2015. Vol. 169. P. 335–343. DOI: [10.1016/j.rse.2015.08.026](https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.026).

43. *Sethi M., Bundela D. S., Rajkumar.* Diagnosis and prognosis of salt-affected soils and poor-quality waters using remote sensing and proximal techniques / In: J.C. Dagar, P.C. Sharma, D.K. Sharma, A.K. Singh (eds.) // *Innovative Saline Agriculture*, Springer India. 2016. P. 55–82. DOI: [10.1007/978-81-322-2770-0_3](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2770-0_3).

44. *Sidike A., Zhao S., Wen Y.* Estimating soil salinity in Pingluo County of China using QuickBird data and soil reflectance spectra // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2014. Vol. 26. P. 156–175. DOI: [10.1016/j.jag.2013.06.002](https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.06.002).

45. *Wang X., Yang J., Liu G., Yao R., Yu S.* Impact of irrigation volume and water salinity on winter wheat productivity and soil salinity distribution // *Agricultural Water Management*. 2015. Vol. 149. P. 44–54. DOI: [10.1016/j.agwat.2014.10.027](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.027).

46. *Zhao Y., Li Y., Wang J., Pang H., Li Y.* Buried straw layer plus plastic mulching reduces soil salinity and increases sunflower yield in saline soils //

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97.
Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, 97

Soil & Tillage Research. 2016. Vol. 155. P. 363–370. DOI:
[10.1016/j.still.2015.08.019](https://doi.org/10.1016/j.still.2015.08.019).

COMBINATION OF SALINE SOILS OF THE NORTHERN SLOPE OF THE ERGENI UPLAND AFTER IRRIGATION CESSATION

N. B. Khitrov^{*}, I. N. Gorokhova, E. I. Kravchenko

*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Russia, 119017, Moscow, Pizhevskiy per., 7, build. 2*

^{}<https://orcid.org/000-0001-5151-5109>, e-mail: khitrovn@gmail.com*

Received 04.04.2019, Revised 18.04.2019, Accepted 28.05.2019

The soil cover and soil salinity of the field were studied and the results are given in the article, the explored field is located within the Chervlenoye irrigated area belonging to Svetloyarskaya irrigation system (south of the Volgograd region). It was characterized by alternating dark and light wide strips visible on the satellite image. The field was irrigated until the mid-1990s and was subject to secondary salinization, since that time it has been used in dry-farming system. The soil combination is performed by steppe light chestnut solonchic complex that was transformed due to the surface leveling and irrigation into agrozem accumulative-carbonate segregation saline (Sodic Endoprotosalic Cambisol (Loamic, Aric, Protocalcic, Ochric, Bathygypsic) and Cambic Calcisols (Loamic, Aric)) and deep saline, and agro-light-humus accumulative-carbonate stratified soil. The bright bands on the field mark soils rich in carbonates on the surface (12–13 % CaCO_3) (Calcaric Cambisol (Loamic, Aric)) among the other soils that contain less carbonates on the surface by 5–10 times. All the soils are saline, but the salt content varies in space in a wave-like manner, which disagrees with the satellite image. Two-dimensional distributions of carbonates and salts in the soil combination are discussed. The residual signs of secondary salinization are revealed in the form of calcium and magnesium chlorides two decades after the cessation of irrigation and drawdown of the groundwater curve deeper than 7 m.

Keywords: carbonates, saline soils, water extraction, ion-selective electrodes, ions activity.

REFERENCES

1. Baranovskaya V.A., Azovtsev V.I., Vliyanie orosheniya na migratsiyu karbonatov v pochvakh Povolzh'ya (Influence of irrigation on carbonate migration in the Volga soils), *Pochvovedenie*, 1981, No. 10, pp. 17–27.

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97.
Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, 97

2. Gorokhova I.N., Pankova E.I., Metod dstantsionnogo kontrolya za sostoyaniem oroshaemykh zemel' yuga Rossii (The method of remote control over the state of irrigated land in the South of Russia), *Aridnye ekosistemy*, 1997, Vol. 3, No. 5, pp. 26–34.

3. Gorokhova I.N., Khitrov N.B., Pankova E.I., Prokopyeva K.O., Zasolennost' pochv Svetloyarskogo oroshaemogo massiva v Volgogradskoi oblasti v 2010-kh godakh (Soil salinity of the Svetloyar irrigated massif in the Volgograd region in 2010s years), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, Vol. 93, pp. 75–93, DOI: [10.19047/0136-1694-2018-93-75-93](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-93-75-93).

4. Gorokhova I.N., Khitrov N.B., Prokopyeva K.O., Kharlanov V.A., Soil cover of the Svetloyarsk Irrigation System after 50 years of reclamation practices, *Eurasian Soil Science*, 2018, Vol. 51, No. 8, pp. 1–11. DOI: [10.1134/S1064229318060078](https://doi.org/10.1134/S1064229318060078).

5. Gosudarstvennyi (natsional'nyi) доклад o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Rossiiskoi Federatsii v 2015 g. (State (national) report on the state and use of land in the Russian Federation in 2015), Ministry of Economy, Moscow, 2016, 202 p.

6. Degtyareva E.T., Zhulidova A.N., *Pochvy Volgogradskoi oblasti* (Soils of the Volgograd region), Volgograd: Nizhne-Volzhskoe knizhnoe izd-vo, 1970, 319 p.

7. Shishov L.L., Pankova E.I., *Zasolennye pochvy Rossii* (Saline soils of Russia), Moscow: IKTs “Akademkniga”, 2006, 853 p.

8. Zimovets B.A., *Ekologiya i melioratsiya pochv sukhostepnoi zony* (Ecology and soil reclamation of the dry steppe zone), Moscow: Pochvennyi institut imeni V.V. Dokuchaeva, 1991, 249 p.

9. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and diagnosis of soils of Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.

10. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* (Classification and diagnosis of the soil of the USSR), M.: Kolos, 1977, 223 p.

11. Kravchenko E.I., Khitrov N.B., Gorokhova I.N., Dvumernoe raspredelenie zasoleniya oroshaemykh pochv ryadom s orositel'nyim kanalom na uchastke “Chervlenoe” Svetloyarskoi orositel'noi sistemy (Two-dimensional distribution of salinity in irrigated soils near the irrigation channel at the plot “Chervlenoe” of the Svetloyar irrigation system), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, Vol. 94, pp. 19–37, DOI: [10.19047/0136-1694-2018-94-19-37](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-19-37).

12. Kut'kina N.V., Vliyanie dlitel'nogo orosheniya na stepnye pochvy Khakasii (The effect of long-term irrigation on the steppe soils of Khakassia), Abakan: OOO “Firma Mart”, 2008, 152 p.

13. Lyubimova I. N., Agrogenic evolution of soils in the solonetzic complexes of the dry steppe zone, *Eurasian Soil Science*, 2002, Vol. 35, No. 7, pp. 792–802.

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97.
Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, 97

14. Lyubimova I.N., Degtyareva E.T., Changes in the carbonate distribution in the soils of solonchic complexes at agrogenic impact, *Eurasian Soil Science*, 2000, Vol. 33, No. 7, pp. 746–751.

15. Lyubimova I.N., Novikova A.F., Changes in the properties of solonchic soil complexes in the dry steppe zone under anthropogenic impacts, *Eurasian Soil Science*, 2016, Vol. 49, No. 5, pp. 581–590, DOI: [10.1134/S1064229316050112](https://doi.org/10.1134/S1064229316050112).

16. Nauchnye osnovy predotvrashcheniya degradatsii pochv (zemel') sel'skokhozyaistvennykh ugodii Rossii i formirovaniya sistem vosпроизводства ikh plodorodiya v adaptivno-landshaftnom zemledelii: T. 1, (Scientific basis for the prevention of soil degradation (land) of agricultural land in Russia and the formation of systems of reproduction of their fertility in adaptive landscape agriculture: Vol. 1.), In: *Teoreticheskie i metodicheskie osnovy predotvrashcheniya degradatsii pochv (zemel') sel'skokhozyaistvennykh ugodii* (Theoretical and methodological basis for preventing soil degradation (land) of agricultural land), Moscow: Pochvennyi institut imeni V.V. Dokuchaeva Rossel'khozakademii, 2013, 756 p.

17. Novikova A.F., Gepin Lo, Konyushkova M.V., Dinamika protsessov zasoleniya – rassoleniya pochv uchastka “Chervlenoe” Svetloyarskoi orositel'noi sistemy v irrigatsionnyi i postirrigatsionnyi periody (The dynamics of salinization processes - soil desalinization of the Chervlenoe site of the Svetloyarsk irrigation system during the irrigation and post-irrigation periods), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2009, Vol. 63, pp.16–24.

18. Pankova E.I., Novikova A.F., Ameliorative status and secondary salinization of irrigated soils in Volgograd oblast, *Eurasian Soil Science*, 2004, Vol. 37, No. 6, pp. 634–645.

19. *Polevoi opredelitel' pochv Rossii* (Field determinant of the soil of Russia), Moscow: Pochvennyi institut imeni V.V. Dokuchaeva, 2008, 182 p.

20. Prikhod'ko V.E., *Oroshaemye stepnye pochvy: funktsionirovanie, ekologiya, produktivnost'* (Irrigated steppe soils: functioning, ecology, productivity), Moscow: “Intellekt”, 1996, 179 p.

21. Khitrov N.B., Ponizovskii A.A., *Rukovodstvo po laboratornym metodam issledovaniya ionno-solevogo sostava neutral'nykh i shchelochnykh mineral'nykh pochv* (Guide to laboratory methods for studying the ion-salt composition of neutral and alkaline mineral soils), Moscow: Pochvennyi institut imeni V.V. Dokuchaeva, 1990, 236 p.

22. Sizemskaya M.L., *Sovremennaya prirodno-antropogennaya transformatsiya pochv polupustyni Severnogo Prikaspiya* (Modern natural-anthropogenic transformation of the soils of the semi-desert of the Northern Caspian), Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2013, 276 p.

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97.
Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, 97

23. Slavyi Yu. A., Halogenesis in soils of the lower Volga region, *Eurasian Soil Science*, 2003, Vol. 36, No. 1, pp. 1–10.

24. Slavyi Yu.A., Mel'nikova I.B., Orlova E.M., *Izmenenie solevogo sostava zhidkoi fazy pochvogruntov v stepnykh solontsovykh kompleksakh Prikaspiiskogo Zavolzh'ya pri oroshenii* (Changes in the salt composition of the liquid phase of soil and soil in steppe solonets complexes of the Caspian Trans-Volga region during irrigation), *Pochvovedenie*, 1973, No. 11, pp. 92–100.

25. Slavyi Yu.A., Tursina T.V., Kauricheva Z.N., *K voprosu o genezise zasolennykh pochv v Prikaspii* (To the question of the genesis of saline soils in the Caspian Sea), *Pochvovedenie*, 1970, No. 10, pp. 19–25.

26. Khitrov N.B., Zimovets B.A., *Obmennye kationy v neutral'nykh i shchelochnykh pochvakh* (Exchange cations in neutral and alkaline soils), In: *Fiziko-khimiya pochv i ikh plodorodie* (Physics and chemistry of soils and their fertility), Moscow, 1988, pp. 82–87.

27. Khitrov N.B., Rogovneva L.V., Dobritskaya E.Yu., Dunaeva E.A., Kirilenko N.G., Popovich V.F., *Solevoe sostoyanie risovoi sistemy severa Kryma posle prekrashcheniya podachi vody* (The salt state of the rice system of the north of Crimea after the cessation of water supply), *Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki*, 2016, No. 3(7), pp. 140–154.

28. Zimovets B.A., Bondarev A.G., Aidarov I.P., Grigor'ev V.Ya., Sudnitsyn I.I., Chizhikova N.P., Khitrov N.B., Korol'kov A.I., Korol'kova T.I., *Ekologicheskie trebovaniya k orosheniyu pochv Rossii* (Ecological requirements for soil irrigation in Russia), Moscow: Pochvennyi institut imeni V.V. Dokuchaeva, 1996, 72 p.

29. Aragües R., Medina E.T., Martínez-Cob A., Faci J., Effects of deficit irrigation strategies on soil salinization and sodification in a semiarid drip-irrigated peach orchard, *Agricultural Water Management*, 2014, Vol. 142, pp. 1–9, DOI: [10.1016/j.agwat.2014.04.004](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.04.004).

30. 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, Vol. 44, Issue 4, pp. 563–572, DOI: [10.1007/s12524-015-0530-9](https://doi.org/10.1007/s12524-015-0530-9).

31. Ding J., Yu D., Monitoring and evaluating spatial variability of soil salinity in dry and wet seasons in the Werigan–Kuqa Oasis, China, using remote sensing and electromagnetic induction instruments, *Geoderma*, 2014, Vol. 235–236, pp. 316–322, DOI: [10.1016/j.geoderma.2014.07.028](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.028).

32. Gkiouglis I., Kallioras A., Pliakas F., Pechtelidis A., Diamantis V., Diamantis I., Ziogas A., Dafnis I., Assessment of soil salinization at the eastern Nestos River Delta, N.E. Greece, *Catena*, 2015, Vol. 128, pp. 238–251, DOI: [10.1016/j.catena.2014.06.024](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.06.024).

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97.
Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, 97

33. He B., Cai Y., Ran W., Jiang H., Spatial and seasonal variations of soil salinity following vegetation restoration in coastal saline land in eastern China, *Catena*, 2014, Vol. 118, pp. 147–153, DOI: [10.1016/j.catena.2014.02.007](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.02.007).

34. He B., Cai Y., Ran W., Zhao X., Jiang H., Spatiotemporal heterogeneity of soil salinity after the establishment of vegetation on a coastal saline field, *Catena*, 2015, Vol. 127, pp. 129–134, DOI: [10.1016/j.catena.2014.12.028](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.12.028).

35. Herrero J., Castañeda C., Temporal changes in soil salinity at four saline wetlands in NE Spain, *Catena*, 2015, Vol. 133, pp. 145–156, DOI: [10.1016/j.catena.2015.04.017](https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.04.017).

36. *IUSS Working Group WRB*, 2015, 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 No. 106, FAO, Rome, 192 p.

37. 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*, 2019, Vol. 12, pp. 1–14, DOI: [10.1007/s12145-018-0358-2](https://doi.org/10.1007/s12145-018-0358-2).

38. Pla Sentis I., Advances in the prognosis of soil sodicity under dryland and irrigated condition, *International Soil and Water Conservation Research*, 2014, Vol. 2, No. 4, pp. 50–63.

39. Rahman M.M., Hagare D., Maheshwari B., Framework to assess sources controlling soil salinity resulting from irrigation using recycled water: an application of Bayesian Belief Network, *Journal of Cleaner Production*, 2015, Vol. 105, pp. 406–419, DOI: [10.1016/j.jclepro.2014.04.068](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.068).

40. Ren J., Li X., Zhao K., Quantitative analysis of relationships between crack characteristics and properties of soda-saline soils in Songnen Plain, China, *Chinese Geographical Science*, 2015, Vol. 25, No. 5, pp. 591–601, DOI: [10.1007/s11769-015-0779-5](https://doi.org/10.1007/s11769-015-0779-5).

41. Russo D., Laufer A., Bardhan G., Levy G.J., Salinity control in a clay soil beneath an orchard irrigated with treated waste water in the presence of a high water table: A numerical study, *Journal of Hydrology*, 2015, Vol. 531, pp. 198–213, DOI: [10.1016/j.jhydrol.2015.04.013](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.013).

42. Scudiero E., Skaggs T.H., Corwin D.L., Regional-scale soil salinity assessment using Landsat ETM+ canopy reflectance, *Remote Sensing of Environment*, 2015, Vol. 169, pp. 335–343, DOI: [10.1016/j.rse.2015.08.026](https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.026).

43. Sethi M., Bundela D. S., Rajkumar., Diagnosis and prognosis of salt-affected soils and poor-quality waters using remote sensing and proximal techniques, In: *Innovative Saline Agriculture*, Springer India, 2016, pp. 55–82, DOI: [10.1007/978-81-322-2770-0_3](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2770-0_3).

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97.
Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, 97

44. Sidike A., Zhao S., Wen Y., Estimating soil salinity in Pingluo County of China using QuickBird data and soil reflectance spectra, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2014, Vol. 26, pp. 156–175, DOI: [10.1016/j.jag.2013.06.002](https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.06.002).

45. Wang X., Yang J., Liu G., Yao R., Yu S., Impact of irrigation volume and water salinity on winter wheat productivity and soil salinity distribution, *Agricultural Water Management*, 2015, Vol. 149, pp. 44–54, DOI: [10.1016/j.agwat.2014.10.027](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.027).

46. Zhao Y., Li Y., Wang J., Pang H., Li Y., Buried straw layer plus plastic mulching reduces soil salinity and increases sunflower yield in saline soils, *Soil & Tillage Research*, 2016, Vol. 155, pp. 363–370, DOI: [10.1016/j.still.2015.08.019](https://doi.org/10.1016/j.still.2015.08.019).

Ссылки для цитирования:

Хитров Н.Б., Горохова И.Н., Кравченко Е.И. Комбинация засоленных почв северного склона возвышенности Ергени после прекращения орошения // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97. С. 52-90. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-97-52-90

For citation:

Khitrov N.B., Gorokhova I.N., Kravchenko E.I. Combination of saline soils of the Northern slope of the Ergeni upland after irrigation cessation, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, V. 97, pp. 52-90, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-97-52-90