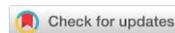


УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-5-48



1 **Ссылки для цитирования:**  
2 Кравченко Е.И., Хитров Н.Б. Горохова И.Н. Распределение засоления  
3 орошаемых почв в районе Сарпинской ложбины Прикаспийской  
4 низменности // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева.  
5 2021. Вып. 106. С. 5-48. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-5-48

6 **Cite this article as:**  
7 Kravchenko E.I., Khitrov N.B., Gorokhova I.N., Distribution of salinity in  
8 irrigated soils in the area of the Sarpinskaya hollow in the Caspian lowland,  
9 Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 106, pp. 5-48, DOI: 10.19047/0136-1694-  
10 2021-106-5-48

## 11 **Распределение засоления орошаемых почв в** 12 **районе Сарпинской ложбины Прикаспийской** 13 **низменности**

14 © 2021 г. Е. И. Кравченко<sup>\*</sup>, Н. Б. Хитров<sup>\*\*</sup>, И. Н. Горохова

15 *ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,*  
16 *119017, Москва, Пыжжевский пер, 7, стр. 2,*

17 *[\\*https://orcid.org/0000-0003-4609-5650](https://orcid.org/0000-0003-4609-5650), e-mail: [krav4enko\\_elena@mail.ru](mailto:krav4enko_elena@mail.ru),*

18 *[\\*\\*https://orcid.org/0000-0001-5151-5109](https://orcid.org/0000-0001-5151-5109).*

19 *Поступила в редакцию 23.08.2020, после доработки 09.11.2020,*  
20 *принята к публикации 17.12.2020*

21 **Резюме:** Изучено современное состояние засоленности орошаемых почв  
22 в районе Сарпинской ложбины Прикаспийской низменности, на примере  
23 орошаемого участка Дубоовражный в Волгоградской области. На пике  
24 орошения в 85–90-х годах прошлого столетия на участке возделывали  
25 кормовые травы, полив осуществлялся дождеванием, уровень грунтовых  
26 вод оставался удовлетворительным, очаги вторичного засоления почв не  
27 отмечались. В настоящее время участок представляет собой частное  
28 фермерское хозяйство, где выращивают бахчевые и овощные культуры с  
29 использованием капельного орошения, уровень грунтовых вод остается  
30 удовлетворительным с локальным образованием верховодки при  
31 поливах. Для выявления особенностей процесса засоления орошаемых  
32 почв в Сарпинской ложбине по материалам полевых работ 2018–2019 гг.  
33 построена модель двумерного распределения (глубина, расстояние)

1 активности ионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ) по нескольким профилям вдоль  
2 слабовыпуклых гряд и вытянутых понижений между ними и попере  
3 волны мезорельефа. Выявлено, что на территории исследований  
4 преобладает естественное засоление почв преимущественно глубже 1 м,  
5 связанное с близким залеганием хвалынских шоколадных глин на грядах.  
6 Солончаковатые почвы приурочены к вытянутым понижениям между  
7 грядами, в которых происходит сосредоточение поверхностного и  
8 внутрпочвенного стока на фоне низкой естественной дренированности.  
9 Встречаются признаки остаточного вторичного засоления почв,  
10 выражающиеся в присутствии хлорида кальция в почвенном растворе.  
11 Максимум солей и обменного натрия сосредоточены в нижней части  
12 профиля.

13 **Ключевые слова:** активность ионов натрия, сульфатно-хлоридное  
14 засоление, хлориды кальция, хвалынские шоколадные глины.

## 15 **Distribution of salinity in irrigated soils in the area** 16 **of the Sarpinskaya hollow in the Caspian lowland**

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

18 *Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,*  
19 *7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,*

20 *<sup>\*</sup><https://orcid.org/0000-0003-4609-5650>, e-mail: [krav4enko\\_elena@mail.ru](mailto:krav4enko_elena@mail.ru),*  
21 *<sup>\*\*</sup><https://orcid.org/0000-0001-5151-5109>.*

22 *Received 23.08.2020, Revised 09.11.2020, Accepted 17.12.2020*

23 **Abstract:** The current state of salinity of irrigated soils in the area of the  
24 Sarpinskaya hollow in the Caspian lowland has been studied, using the  
25 example of the Duboovrazhny irrigated plot in the Volgograd region. At the  
26 peak of irrigation in the 85-90s of the last century, forage grasses were  
27 cultivated on the plot, irrigation was carried out by sprinkler irrigation, the  
28 groundwater level remained satisfactory, and there were no foci of secondary  
29 soil salinization. Currently, the plot is a private farm, where melons and  
30 vegetables are grown using drip irrigation, the groundwater level remains  
31 satisfactory with local formation of temporal water saturated layer. To identify  
32 the features of the process of salinization in irrigated soils in the Sarpinskaya  
33 hollow based on the materials of the field work performed in 2018–2019, a  
34 model of two-dimensional distribution (depth, distance) of the activity of ions  
35 ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ) over several profiles along weakly concave low ranges and  
36 elongated hollows between them and across relief wave was created. It was  
37 revealed that natural soil salinization predominates in the study plot mainly

1 deeper than 1 m, and results from shallow bedding of Khvalynian chocolate  
2 clays at ranges. Solonchakous soils occur in elongated hollows between ranges  
3 where surface and subsurface runoff water is accumulated and natural  
4 drainability is low. Residual traces of soil secondary salinization expressed in  
5 the presence of calcium chloride in the soil solution were found. The  
6 maximum values of salts and exchangeable sodium are concentrated in the  
7 deeper part of the soil profile.

8 **Keywords:** activity of sodium ions, sulfate-chloride salinization, calcium  
9 chlorides, Khvalynian chocolate clays.

## 10 ВВЕДЕНИЕ

11 Засоление орошаемых почв является вторым в мире по раз-  
12 рушительности деградационным процессом после эрозии почв.  
13 География распространения засоленных орошаемых почв обшир-  
14 на (бассейн Аральского моря, Индо-Гангский бассейн, бассейн  
15 Желтой реки, Евфрата, Мюррей-Дарлинг, Долина Сан-Хоакини и  
16 др.), а площади таких земель постоянно растут, поскольку процесс  
17 засоления опережает работы по восстановлению и рекультивации  
18 земель. Из источника [Zaman et al. \(2018\)](#), со ссылкой на ФАО, в  
19 1988 г. было подсчитано, что в мире засолено 932 млн га земель.  
20 Более точной информации о последних оценках засоленных зе-  
21 мель в мире не существует, но многие страны произвели подсчеты  
22 на национальном уровне. В России, по последним данным, на  
23 начало 2017 г. ([Доклад о состоянии..., 2019](#)) возделывалось 197.8  
24 млн га, из которых суммарная площадь засоленных и солонцовых  
25 почв составила 39.2 тыс. га, или 21.4% сельскохозяйственных угод-  
26 дий.

27 Существует множество причин природного и антропогенно-  
28 го характера появления засоленных почв. Это, прежде всего,  
29 насыщенные токсичными солями почвообразующие и подстила-  
30 ющие породы, перенос солей ветром, высокое поверхностное ис-  
31 парение и транспирация растений, повышение уровня грунтовых  
32 вод, большие нормы полива, отсутствующий или ограниченный  
33 дренаж, минерализованная поливная вода, чрезмерное использо-  
34 вание удобрений, орошение очищенными сточными водами и др.

35 Изучение засоленных почв проводится многосторонне, ис-  
36 пользуются следующие способы: инструментальные и лаборатор-

1 ные методы определения засоленности почв ([Минашина, 1970](#);  
2 [Базилевич, Панкова, 1972](#); [Воробьева, 1981](#); [Руководство..., 1990](#);  
3 [Научные основы, 2013](#); [Zaman et al., 2018](#)), исследование их мор-  
4 фологических особенностей на макро-, мезо-, микро- и субмикро-  
5 скопическом уровне, традиционные полевые обследования, ди-  
6 станционное зондирование и ГИС ([Kumar et al., 2015](#); [Lijie et al.,](#)  
7 [2015](#); [Конюшкова, 2014](#); [Chen et al., 2016](#); [Савин и др., 2014](#); [Jiang,](#)  
8 [Shu, 2019](#)), геостатистические методы обработки полученных ма-  
9 териалов ([Fourati et al., 2017](#); [Zaman et al., 2018](#)). Все они постоянно  
10 развиваются и совершенствуются.

11 Сотрудниками Почвенного института им. В.В. Докучаева  
12 для исследования влияния природных условий, характера земле-  
13 пользования, тенденций изменения гидрологических условий на  
14 почвенный покров с участием засоленных и солонцовых почв и  
15 для изучения рационального использования ландшафтов солонцо-  
16 вых комплексов было выбрано четыре различных орошаемых мас-  
17 сива в Волгоградской области. Это орошаемые участки: Светлояр-  
18 ский, Райгородский, Червленое и Дубоовражный, –  
19 расположенные в разных природных районах одной Светлоярской  
20 оросительной системы (ОС). Светлоярский и Райгородский мас-  
21 сивы расположены на Северной Сарпинской низменной равнине  
22 (часть Прикаспийской низменности). Строение почвенного покро-  
23 ва и современное солевое состояние почв этих участков были по-  
24 подробно изложены в работах Гороховой и др. ([2018a, 2018б](#)), Горо-  
25 ховой и Панковой ([2017](#)). Орошаемый массив Червленое находит-  
26 ся на возвышенности Ергени. Помимо иных природных условий и  
27 почвообразующих пород этот участок имеет свою негативную исто-  
28 рию орошения, здесь используют другого качества поливные  
29 воды. Результаты обследований данного участка изложены в ра-  
30 ботах Новиковой и др. ([2009](#)), Кравченко и др. ([2018](#)), Хитрова и  
31 др. ([2019](#)), Гороховой и др. ([2020](#)).

32 В представленной работе анализируются результаты исследо-  
33 ваний, которые выполнены на орошаемом участке Дубоовраж-  
34 ный, находящемся в Сарпинской ложбине Прикаспийской низ-  
35 менности.

36 Цель исследования – изучение профильного распределения  
37 засоленности орошаемых почв территории, где отличительной

1 особенностью является неглубокое распространение засоленных  
2 хвалынских шоколадных глин (в пределах 1–2.5 м) и наличие по-  
3 верх хвалынских глин песчаных линз.

4 После длительного периода отсутствия орошения, связанно-  
5 го со сложной экономической ситуацией, сложившейся в стране в  
6 90-х годах прошлого века, очень важно продолжить углубление  
7 знаний о закономерностях развития орошаемых почв для их пол-  
8 ноценного восстановления, что было предпринято в рамках насто-  
9 ящих исследований.

## 10 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

11 Объектом исследований является орошаемый участок (ОУ)  
12 Дубоовражный, расположенный в северной части Сарпинской  
13 ложбины Прикаспийской низменности (рис. 1).

14 Сарпинская ложбина представляет собой древнюю долину  
15 р. Волги, которая, веерообразно ветвящаяся, протягивается на де-  
16сятки километров. В северной части глубина ложбины достигает  
17 10 м. К юго-западу и югу она становится все более мелкой и по-  
18 степенно сливается с плоской поверхностью Прикаспия. Ложбина  
19 врезана в засоленные морские (хвалынские) песчано-глинистые  
20 отложения, перекрытые суглинками аллювиально-морского гене-  
21 зиса. В северной части ложбины прослеживаются 1–2 узкие позд-  
22 не- и послехвалынские террасы, сложенные слабогумусированным  
23 суглинистым аллювием, аналогичным волжскому. Грунтовые во-  
24 ды залегают на глубине 2.5–3 м. Минерализация варьирует от 3 до  
25 10 г/л. Под озерными котловинами воды опреснены ([Доскач,](#)  
26 [1979](#)).

27 До строительства Волгоградского водохранилища на р. Вол-  
28 ге Сарпинская ложбина ежегодно затоплялась паводками, обвод-  
29 нявшими лиманы и озера. В настоящее время их обводнение про-  
30 исходит за счет необильного весеннего талого стока с Ергеней и  
31 частично местными тальми водами. Днище ложбины представ-  
32 лет собой опустынивающуюся пойму. В северной части ее ланд-  
33 шафт характеризовался сочетанием усыхающих озер, окаймлен-  
34 ных поясами тростниковых зарослей, и в разной степени заболо-  
35 ченных лиманных солончаковых лугов с пышным злаковым и  
36 разнотравным покровом. Повышенные участки остепнены. В поч-

1 венном покрове преобладают солонцы солончаковые (>50%),  
2 светло-каштановые солонцеватые почвы, в понижениях – лугово-  
3 каштановые почвы и солончаки. Территория бессточная ([Доскач,](#)  
4 [1979](#); [Объяснительная записка..., 2006](#)).

5 Рельеф ОУ Дубоображнный представлен серией вытянутых  
6 гряд и понижений между ними. Абсолютные высоты участка ва-  
7 рьируют от 7 до 12 м, соответственно, превышение гряд над по-  
8 нижениями изменяется от 1 до 5 м.

9 ОУ Дубоображнный в 85–90-х годах прошлого века находил-  
10 ся в удовлетворительных мелиоративных условиях – уровень  
11 грунтовых вод (УГВ) составлял преимущественно 3–5 м, лишь на  
12 севере участка на небольшой площади поднимался до 1.5–2 м.  
13 Минерализация грунтовых вод была 3–5 г/л, состав – хлоридно-  
14 натриево-магниевый и хлоридно-натриевый. Вторичное засоление  
15 почв не отмечалось. Доля солонцов на разных полях составляла <5  
16 и 5–10%. При строительстве системы была выполнена планировка  
17 поверхности полей. Полив осуществлялся дождеванием ДДА-  
18 100М, выращивали в основном кормовые травы (ВГМП<sup>1</sup>; [Горохо-](#)  
19 [ва, 1992](#)). В начале 2000-х годов участок не использовался.

20 В настоящее время ОУ Дубоображнный представляет собой  
21 фермерское хозяйство. Здесь выращивают томаты, арбузы, мор-  
22 ковь, капусту, тыкву, лук, горчицу и хлопчатник. Способ ороше-  
23 ния – капельный. Преобладающие орошаемые почвы – луговато-  
24 каштановые и светло-каштановые орошаемые средне- и тяжелосу-  
25 глинистые ([Классификация..., 1977](#)), или агроземы светлые акку-  
26 мулятивно-карбонатные ([Полевой..., 2008](#)), встречаются солонцы.

27 Полевые исследования проводились в августе 2018–2019 гг.  
28 Было заложено 27 скважин до глубины от 60 до 350 см (большин-  
29 ство до 200 см), 5 почвенных разрезов и 7 прикопок, отобрано бо-  
30 лее 200 образцов. Проложено 5 почвенно-геоморфологических  
31 профилей (рис. 1), вдоль которых выполнена нивелирная съемка.

32 При полевом обследовании использовали руководства по  
33 морфологическому описанию почв ([Базовые шкалы, 1982](#);  
34 [Guidelines..., 2006](#); [Руководство по описанию почв..., 2012](#)),  
35 название почв давали по трем классификациям: СССР ([1977](#)) (да-

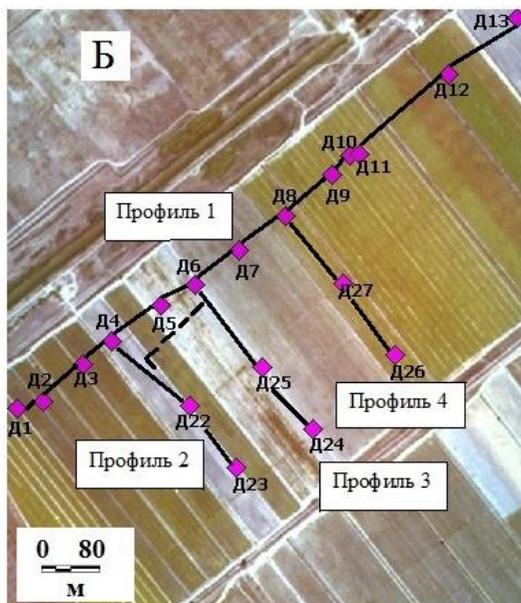
---

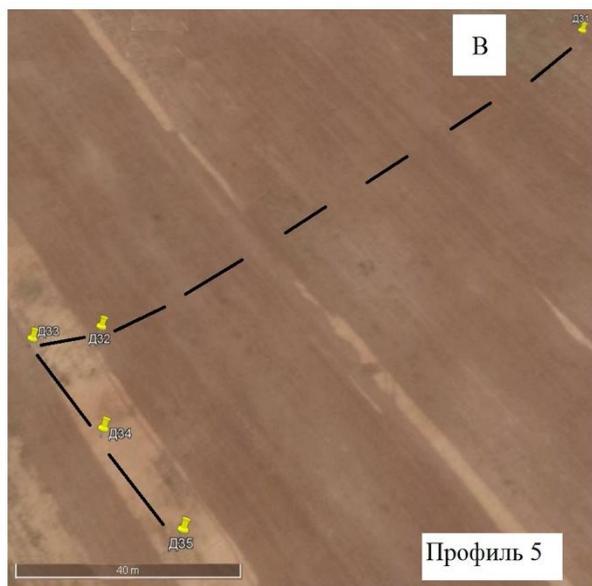
<sup>1</sup>Данные Волгоградской гидрогеолого-мелиоративной партии (ВГМП).

1 лее К-1977), России ([2004](#), [Полевой определитель..., 2008](#)) (далее  
2 РК-2004(8)) и международной WRB ([IUSS, 2015](#)) (далее WRB-  
3 2015).

4 Содержание водорастворимых солей определяли по актив-  
5 ности ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Cl}^-$ , измеренных в почвенных пастах с  
6 влажностью 30–70% ([Руководство..., 1990](#)) с помощью ионосе-  
7 лективных электродов (168 образцов). Для определения степени  
8 засоления была использована активность ионов натрия в почвен-  
9 ных пастах (градации: <20 ммоль/л соответствует незасоленным  
10 разностям, 20–50 ммоль/л – слабозасоленным, 50–150 ммоль/л –  
11 средnezасоленным, 150–300 ммоль/л – сильнозасоленным, >300  
12 ммоль/л – очень сильно засоленным разностям). Индикатором  
13 вторичного засоления считается такое соотношение активности  
14 ионов, при котором активность хлорид-ионов превышает актив-  
15 ность натрия, кроме того, в этих почвенных горизонтах наблюда-  
16 ется высокая активность ионов кальция (до 10–15 ммоль/л), что  
17 свидетельствует о наличии хлорида кальция в почвенном растворе  
18 ([Научные..., 2013](#)).

19 Профили двумерного распределения активностей ионов  $\text{Na}^+$ ,  
20  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , измеренных в почвенных пастах, и производных от них  
21 величин построены в программе Surfer-13. Номера профилей ука-  
22 заны на рисунке 1. По вертикали отложена глубина почвенных  
23 разрезов в сантиметрах и высота местности над уровнем моря в  
24 метрах (по результатам нивелирной съемки). По горизонтали от-  
25 ложено расстояние между скважинами в метрах.  
26





**Рис. 1.** Схема расположения ОУ Дубоовражный, точек опробования и почвенных профилей на разномасштабных космических снимках высокого разрешения. **А** – общий вид орошаемого участка; **Б** – почвенные профили и точки опробования, заложенные в 2018 г. (пунктиром помечен профиль 5). **В** – профиль 5 с морфологическим описанием точек, заложенный в 2019 г.

**Fig. 1.** Layout of the Duboovrazhny irrigated plot, sampling points and soil profiles on high-resolution satellite images of different scales. **A** – general view of the irrigated area; **B** – soil profiles and sampling points established in 2018 (profile 5 is marked with a dotted line). **B** – profile 5 with a morphological description of points, researched in 2019.

Долю обменного натрия ( $Y$ ) оценивали на основе соотношения активности ионов натрия ( $a_{Na}$ ) и кальция ( $a_{Ca}$ ), измеренных в пасте ( $X = a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$ ), по регрессионной модели, состоящей из системы двух уравнений (все коэффициенты значимы):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } X \leq 10, \text{ то } Y = 1.15 + 1.02 \cdot X, (R^2 = 0.89; \text{ доверительный} \\ \text{интервал } Y \pm 2\%), \\ \text{если } 10 < X < 50, \text{ то } Y = 3.840 + 0.899X - 0.0072X^2, (R^2 = 0.67; \\ \text{доверительный интервал } Y \pm 5\%). \end{array} \right.$$

При создании модели были объединены сопряженные данные при одной влажности по активностям ионов натрия и кальция, измеренных ионоселективными электродами в пастах, и определению состава обменных катионов по методу Пфеффера в модификации Молодцова и Игнатовой, полученных для разных объектов – почв солонцовых комплексов в Ставрополье, Крыму, Ростовской, Волгоградской, Воронежской областях. Магний в этой модели не учитывается, поскольку нет адекватного ионоселективного электрода. Поэтому погрешность оценки доли обменного натрия заметно выше по сравнению с прямым определением указанным выше методом, но допустимая для принятия оперативного решения. При этом использование модели позволяет получать информацию довольно быстро в большом числе образцов (до 100 анализов в день), в отличие от трудоемкого прямого определения этого показателя (60 анализов в месяц).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

*Строение почвенного покрова.* Преобладающими в почвенном покрове являются агрозоны аккумулятивно-карбонатные средне- и тяжелосуглинистые, по РК-2004(8), или *Naptic Kastanozems* (Loamic, Aric) по WRB-2015, которые имеют несколько вариаций формулы почвенного профиля в зависимости от: (1) наличия или отсутствия вскипания от HCl в пахотном горизонте, (2) глубины залегания шоколадных хвалынских глин и (3) наличия признаков глееватости в верхних горизонтах.

Формулы P-BCAnc-BCca-Cca-Dca,cs, P-BCAnc-BCca-BDca-

Dca,cs и P-BCAnc-BDca,i-Dca,cs характерны для почв без дисперсных карбонатов в пахотном горизонте, различающихся глубиной залегания шоколадных глин: более 1.6 м – для первой, 1–1.6 м – для второй и менее 1 м – для третьей. Близкое залегание шоколадных глин наблюдается на слабовыпуклых водораздельных пространствах длинных гряд и в верхних частях их склонов. В таких условиях почва сформировалась на двучленных тяжелосуглинисто-глинистых отложениях, и наличие материала шоколадных глин в пределах первого метра способствовало образованию глинистых кутан на боковых гранях агрегатов в красно-буром переходном горизонте BDca,i. По мере углубления верхней кровли шоколадных глин и увеличения мощности поверхностного суглинистого слоя в нижней части профиля выделяется сначала только переходный гор. BCca, затем BCca и Cca. В днищах вытянутых понижений между грядами шоколадные глины вскрыты на глубине 1.6–2.5 м. Здесь почвы имеют первую формулу профиля.

Формулы Pca-BCAnc-BCca-Cca-Dca,cs, Pca-BCAnc-BCca-BDca-Dca,cs и Pca-BCAnc-BDca,i-Dca,cs представляют профиль почв с карбонатным пахотным горизонтом, аналогично различающихся глубиной залегания шоколадных глин. Эти почвы встречаются на всех элементах мезорельефа. Присутствие дисперсных карбонатов в пахотном горизонте, очевидно, обусловлено капиллярным подтягиванием растворов в поверхностный горизонт орошаемых почв с неглубоким расположением водонепроницаемых глин и расходом их на транспирацию культурной растительностью, тростником и испарение с поверхности с осаждением карбоната кальция.

В одном разрезе в пахотном горизонте на глубине 10–30 см отмечались признаки слабого оглеения в виде мелких сизых пятен на фоне сплошного вскипания от HCl. Формула профиля этой почвы: P1ca-P2ca,g-BCAnc-BCca-BDca-Dca.

При похожем строении верхней части почвенного профиля рассматриваемые почвы, по классификации К-1977, относятся к разным типам: светло-каштановым и луговато-каштановым. Последние выделяются по факторным признакам: положению почвы в вогнутых элементах мезорельефа (в днищах вытянутых понижений), куда собирается поверхностный сток, или наличию верхо-

водки на глубине 1–2 м, возникающей за счет орошения, на водораздельных поверхностях гряд. Светло-каштановые орошаемые почвы встречаются на водоразделах и склонах гряд в условиях отсутствия верховодки.

В отличие от ОУ Светлоярский и Червленое ([Горохова и др., 2018a](#), [2018б](#), [2020](#); [Кравченко и др., 2018](#); [Хитров и др., 2019](#)), на исследуемом ОУ Дубоовражный в микропонижениях на слабовыпуклых водораздельных пространствах длинных гряд встречаются солонцы (Chromic Solonetz (Loamic, Bathyclayic, Aric, Cutanic, Ochric, Bathygypsic) по WRB-2015). На участках без растительности ареалы глубоких солонцов выделяются более светлой поверхностью. Солонцовый горизонт расположен на глубине 30–50 см. Почвы с поверхности не имеют карбонатов, сплошное бурное вскипание от HCl появляется с глубины 47–57 см. Согласно классификации К-1977, это солонцы степные каштановые пахотные орошаемые солончаковатые глубокие тяжелосуглинистые на двучленных отложениях (суглинки на шоколадных глинах). В терминах РК-2004(8) встретилось два варианта строения почвенного профиля. Формула P-BSN-BCAnc-BDca,i-Dca,cs представляет агросолонец светлый сегрегационно-карбонатный глубокоглинисто-иллювирированный глубокогипсодержащий глубокий тяжелосуглинисто-глинистый на желто-бурых суглинках, подстилаемых с глубины 120–130 см шоколадными глинами. Вторая формула профиля P-BSN-Bca,th-CATnc-BDca,i-Dca,cs характеризует агросолонец светлый текстурно-карбонатный глубокогипсодержащий глубокий на двучленных отложениях (суглинки на шоколадных глинах) с менее мощным поверхностным суглинистым слоем, так что шоколадные глины являются причиной формирования текстурно-карбонатного горизонта в пределах первого метра.

### **Характеристика солевого состояния почв по активности ионов**

*Профиль 1* (рис. 2), построенный по точкам Д1 – Д13, пересекает гряды и вытянутые между ними понижения в поперечном направлении. Из рисунка 2А, характеризующего распределение активности ионов натрия, следует, что в двух разрезах (Д4, Д13) засоление отсутствовало до 200 см, а в остальных слабое засоле-

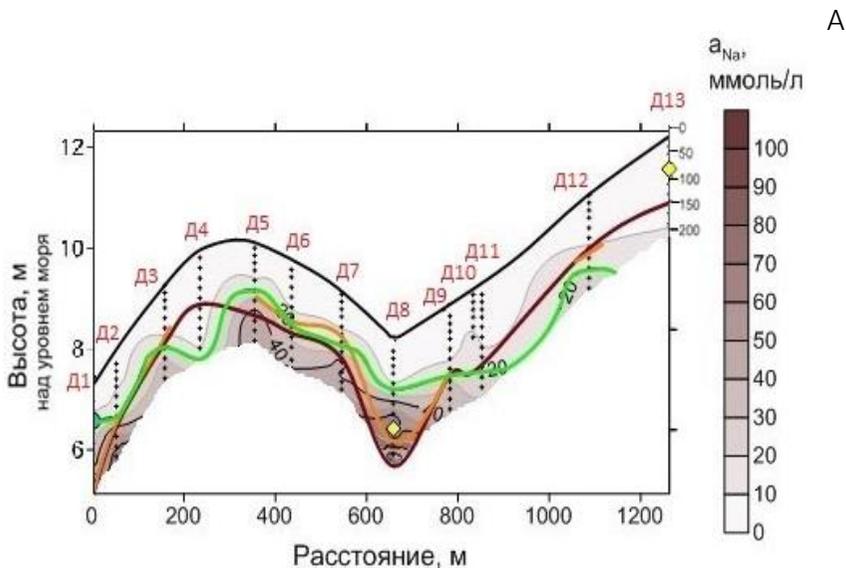
ние появилось с глубины от 55 до 160 см, что соответствует родам солончаковатых и глубокосолончаковатых почв. Это связано с двумя причинами. Первая – на грядах засоленные горизонты приурочены к слою хвалыньских глин, залегающему на глубине 70–150 см. Вторая причина – перераспределение солей в ландшафте и сосредоточение их в нижних горизонтах почв и подстилающих пород в днищах вытянутых понижений, которые не имеют естественного и искусственного дренажа. Наиболее высокое засоление, соответствующее средней степени (значения активности ионов натрия 50–115 ммоль/л при влажности пасты 40–50% (мас.)), отмечалось на глубине 180–250 см в понижениях мезорельефа.

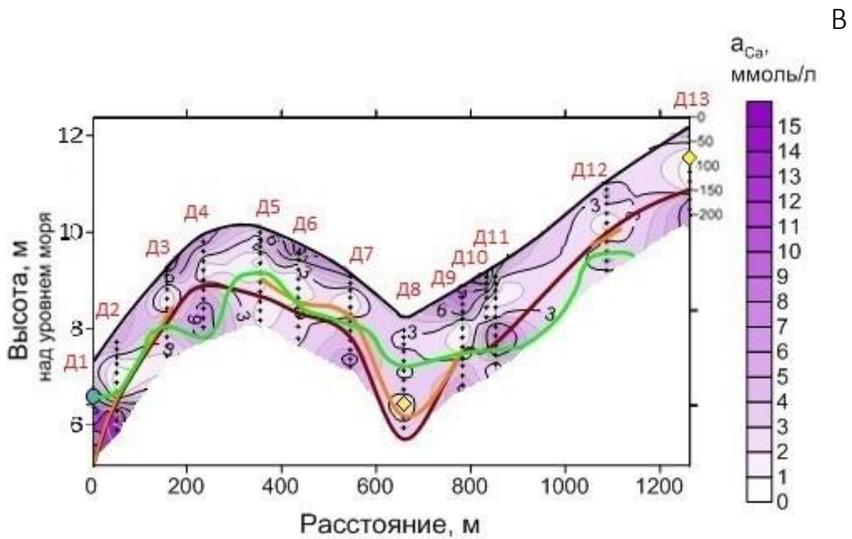
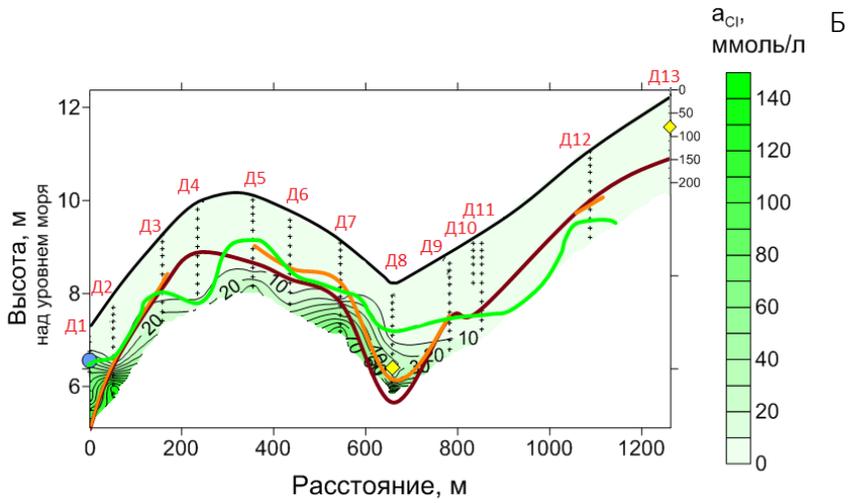
Распределение активности хлорид-ионов похоже на распределение ионов натрия при более низких значениях активности хлоридов, варьирующих в интервале от 1 до 5–10 ммоль/л, редко достигая 20 ммоль/л и более на глубине 120–200 см. Наиболее высокие значения (120–140 ммоль/л) характерны для глубины 160–250 см в понижениях мезорельефа (рис. 2Б).

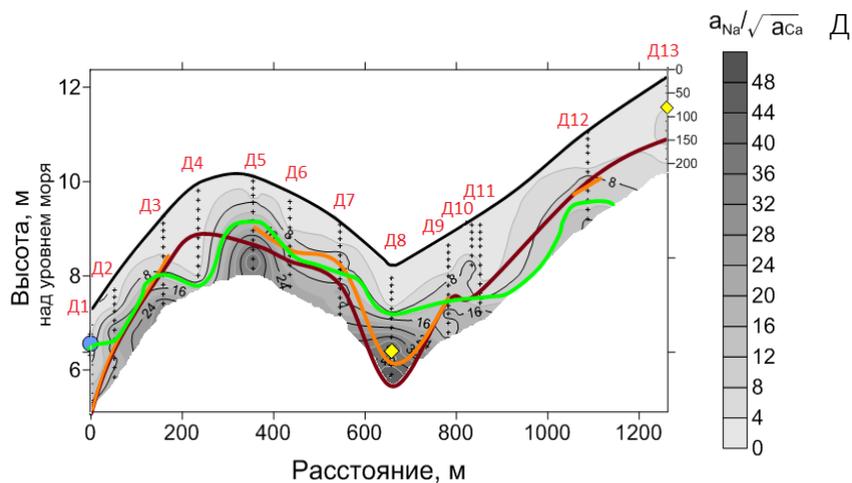
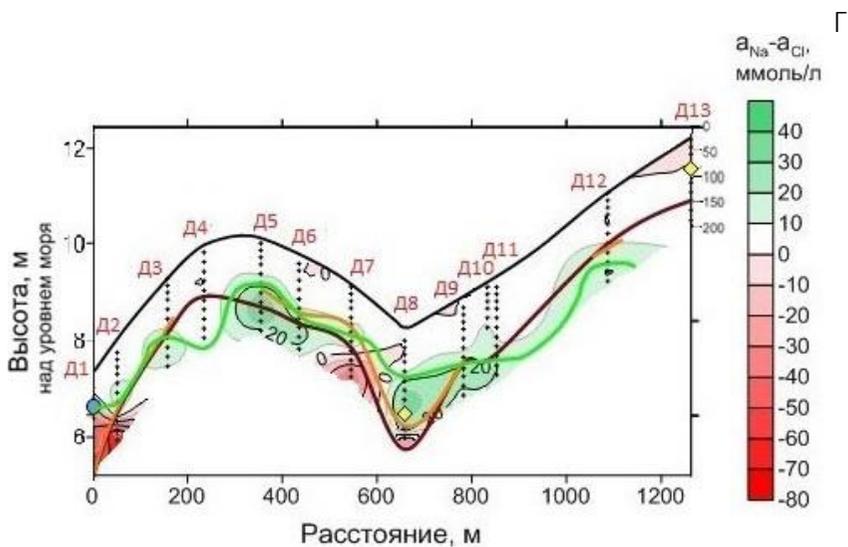
Активность ионов кальция имело следующее распределение: низкая активность ионов (1–3 ммоль/л) наблюдалась в средней части профиля во всех скважинах на глубине 60–100 см, высокие значения отмечались вблизи поверхности и в нижней части почвенного профиля. Максимальное значение, достигающее 15 ммоль/л, отмечено в понижении рельефа в разрезе Д1 (рис. 2В).

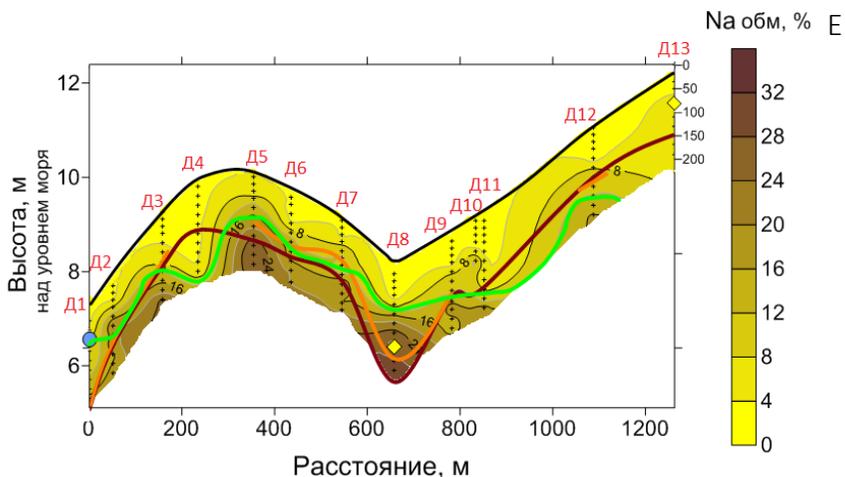
Присутствие хлоридов кальция в почвенных растворах (определяемое по отрицательной разности между значениями активности ионов натрия и хлорид-ионов) приурочено к понижениям рельефа (рис. 2Г – области с красной заливкой). Этот показатель является индикатором вторичного засоления ([Научные..., 2013](#)). Процесс вторичного засоления почв на ОУ Дубоовражный представляется следующим образом: пресные оросительные воды при обильных поливах достигали слабоводопроницаемого слоя засоленных хвалыньских глин, насыщались солями, часть их стекала по уклону поверхности глин, сосредотачиваясь в нижних горизонтах почв и пород не дренируемых вытянутых понижений между грядами.

Рассматривать соотношения активности ионов натрия и кальция  $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$  (рис. 2Д) необходимо для определения величины обменного натрия, расчеты которого осуществляются с помощью модели, рассмотренной в разделе “ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ”. Высокие значения отношений ионов натрия и кальция свидетельствуют о высокой доле обменного натрия (%) в почвах. Максимальные (20–28%) значения  $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$  на графиках отмечаются в наиболее засоленных горизонтах в нижней части почвенного профиля и в понижениях рельефа (рис. 2Е). Стоит обратить особое внимание на то, что заполнение почвенного поглощающего комплекса обменным натрием связано с преобладанием натрия среди катионов почвенного раствора в засоленных горизонтах и не характеризует солонцовый процесс, поскольку почвенный раствор имеет высокую общую концентрацию солей, которая вызывает коагуляцию коллоидных и глинистых частиц.









**Рис. 2.** Двумерное распределение активности ионов: **А** – натрия, **Б** – хлорид-ионов, **В** – кальция, **Г** – разницы  $a_{Na}-a_{Cl}$ , **Д** –  $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$ , **Е** – обменный натрий, %. Черная линия – граница земной поверхности. Зеленая линия – верхняя граница первого от поверхности засоленного горизонта. Оранжевая линия – верхняя граница горизонта, содержащего мелкокристаллический гипс. Коричневая линия – верхняя граница горизонта хвалынских шоколадных глин. Синяя точка – новообразования мучнистого гипса. Желтая точка – линзы легких пород. Д1 ... Д13 – номера скважин. Крестики – средняя глубина отбора проб. Значения по правой вертикальной оси – глубина отбора образцов в см относительно поверхности.

**Fig. 2.** Two-dimensional distribution of ion activity: **A** – sodium, **B** – chloride ions, **B** – calcium, **Г** – differences  $a_{Na}-a_{Cl}$ , **Д** –  $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$ , **Е** – exchangeable sodium, %. The black line is the boundary of the earth's surface. The green line is the upper boundary of the first saline horizon from the surface. The orange line is the upper boundary of the horizon containing fine crystalline gypsum. The brown line is the upper boundary of the horizon of Khvalynian chocolate clays. Blue dot – powdery gypsum neoformations. Yellow dot – lenses of light rocks. Д1 ... Д13 – well numbers. The crosses are the average sampling depth. Values on the right vertical axis are the sampling depth in cm relative to the surface.

Для *профиля 2* аналогичные графики (рис. 3) построены по данным 7 скважин (Д23, Д22, Д35, Д34, Д32, Д33, Д4). Профиль был заложен на слабовыпуклой водораздельной поверхности гряды, имеющей слабый уклон с юга на север, на поле с капустой, убранной на момент заложения точек. Подстилающие хвалынские глины в границах этого профиля имеют слабовогнутую форму верхней границы контакта с более легкими отложениями вдоль гряды, располагаясь ближе всего к поверхности в северной части. В южной наиболее приподнятой части водораздела, по данным скважины Д23, над шоколадными глинами на глубине от 120 до 200 см залегают слоистые отложения из песка, супеси и легкого суглинка.

В южной части гряды (скважина Д23) активность ионов натрия превышала 20 ммоль/л при влажности пасты 50% (мас.) с 40 см в аккумулятивно-карбонатном гор. ВСАпс. Это означает, что агрозем (светло-каштановая почва по К-1977) является солончаковым слабозасоленным. Вниз по профилю засоление увеличивалось до средней степени, имея два максимума активности ионов натрия 66 и 74 ммоль/л (влажность 40% (мас.)) на глубине 140–160 см в легкосуглинистом слое, залегающем между супесчаными и песчаными слоями сверху и снизу, и в шоколадных глинах на глубине 210–240 см (рис. 3А).

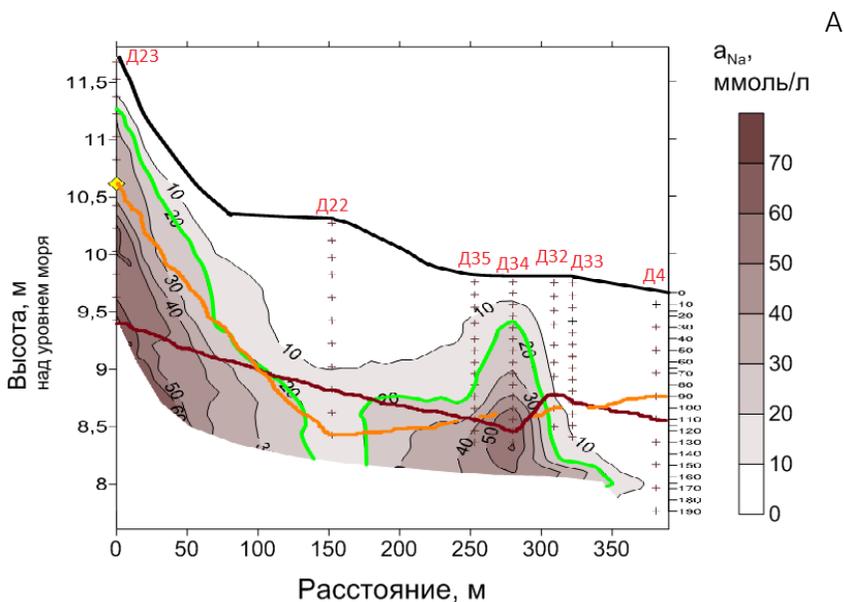
В средней части гряды на профиле 2 (скважина Д22) активность ионов натрия варьировала в диапазоне 0.8–1.8 ммоль/л (влажность 50% (мас.)) в пределах суглинистого слоя 0–100 см, резко увеличиваясь до 14–16 ммоль/л в шоколадных глинах с глубины 140 см. Почва является незасоленной до 2 м.

В северной части гряды наблюдалось пятнистое засоление. Наиболее засоленными оказались агроземы с бурно вскипающими пахотными горизонтами, в которых наблюдалось много припаханных фрагментов аккумулятивно-карбонатного горизонта (разрез Д34). В настоящее время поверхность рассматриваемого участка на гряде почти ровная. По-видимому, до орошения эта почва была солонцом мелким или средним, поверхностные горизонты которого были срезаны во время планировки. Ареалы агроземов аккумулятивно-карбонатных и агросолонцов глубоких с пахотными горизонтами, не имеющими дисперсных карбонатов,

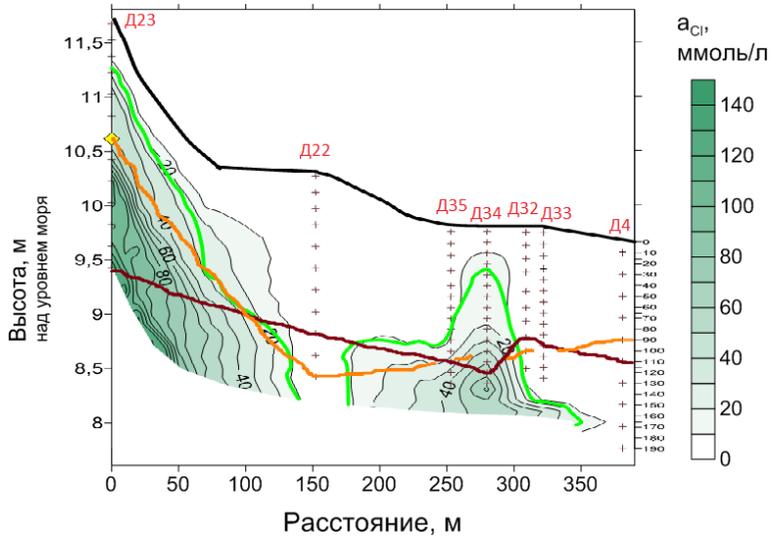
оказались незасоленными или глубокосолончаковыми слабозасоленными.

В незасоленных горизонтах активность хлорид-ионов (рис. 3Б) в 1,5–5 раз меньше активности ионов натрия, в слабо засоленных – чуть меньше или равна, тогда как в средnezасоленных горизонтах, наоборот, оказалась больше активности ионов натрия. Это означает заметное изменение химизма засоления в разных горизонтах в профиле 2.

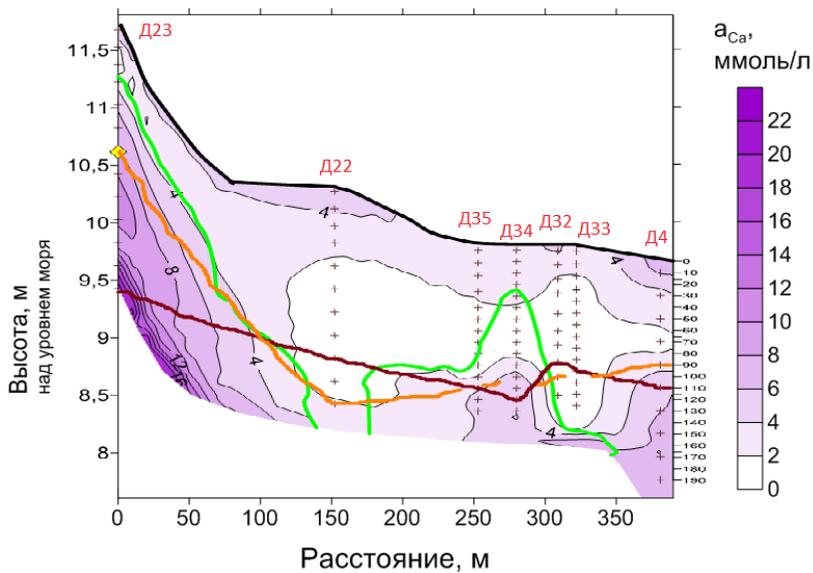
Положительные значения разности активности ионов натрия и хлорид-ионов свидетельствуют о компенсации натрия не только хлоридами, но и сульфатами. Отрицательные значения этой разницы (т. е. хлоридов больше натрия) обусловлены присутствием в почвенных растворах хлоридов не только натрия, но и других ионов (кальция и магния). Последнее подтверждается более высокими значениями активности ионов кальция (рис. 3В, 3Г).

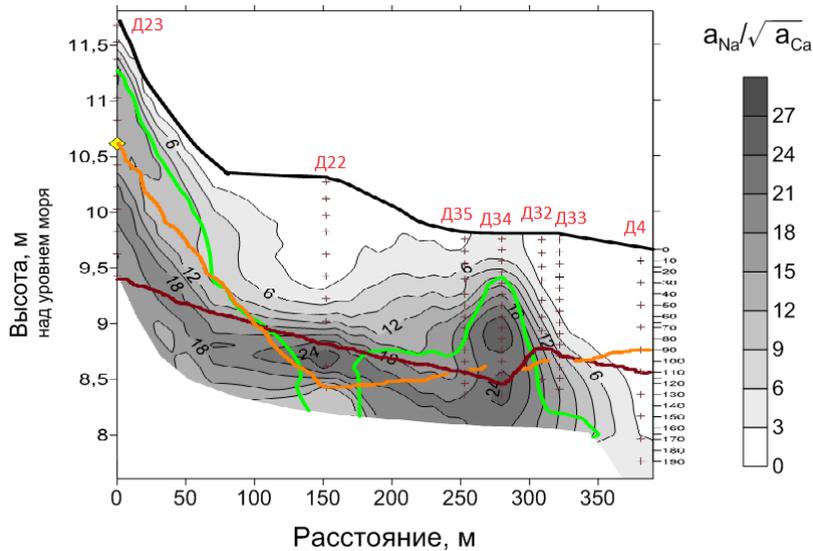
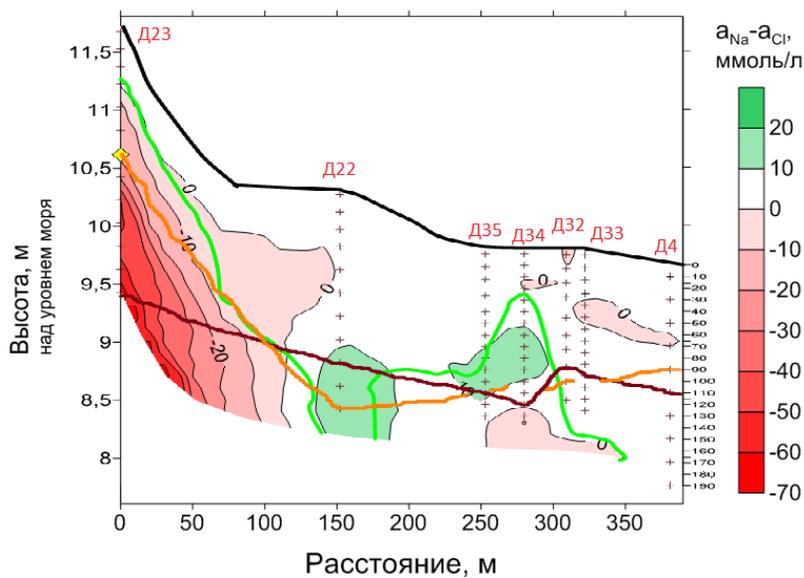


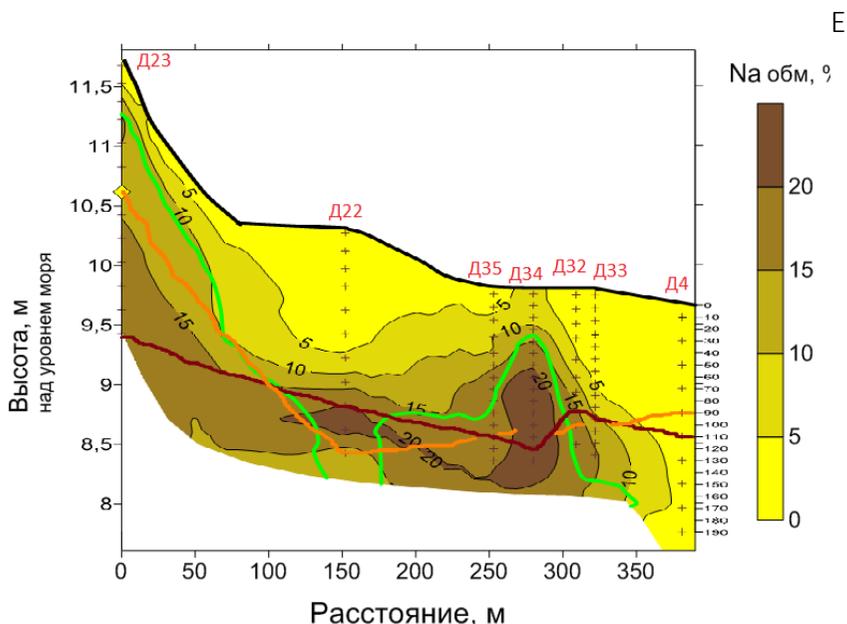
Б



В







**Рис. 3.** Двумерное распределение активности ионов: **А** – натрия, **Б** – хлорид-ионов, **В** – кальция, **Г** – разницы  $a_{Na}-a_{Cl}$ , **Д** –  $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$ , **Е** – обменный натрий, %. Черная линия – граница земной поверхности. Зеленая линия – верхняя граница первого от поверхности засоленного горизонта. Оранжевая линия – верхняя граница горизонта, содержащего мелкокристаллический гипс. Коричневая линия – верхняя граница горизонта шоколадных хвалыньских глин. Желтая точка – линзы легких пород. Д4 ... Д35 – номера скважин. Крестики – средняя глубина отбора проб. Значения по правой вертикальной оси – глубина отбора образцов в см относительно поверхности.

**Fig. 3.** Two-dimensional distribution of ion activity: **А** – sodium, **Б** – chloride ions, **В** – calcium, **Г** – differences  $a_{Na}-a_{Cl}$ , **Д** –  $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$ , **Е** – exchangeable sodium, %. The black line is the boundary of the earth's surface. The green line is the upper boundary of the first saline horizon from the surface. The orange line is the upper boundary of the horizon containing fine crystalline gypsum. The brown line is the upper boundary of the horizon of Khvalynian chocolate clays. Yellow dot – lenses of light rocks. Д4 ... Д35 – well numbers. The crosses are the average sampling depth. Values on the right vertical axis are the sampling depth in cm relative to the surface.

Активность ионов кальция принимала самые высокие значения в почвах южной части гряды, максимум (22 ммоль/л) находился в тех же горизонтах, в которых отмечались максимумы хлоридов и ионов натрия. Здесь же морфологически присутствуют скопления мелкокристаллического гипса. Самые низкие значения активности ионов кальция 0.5–2 ммоль/л наблюдались в средней части почвенного профиля агросолонцов глубоких и карбонатного с поверхности сильно срезанного агрозема в северной части гряды (рис. 3В). Это является причиной увеличения соотношения активностей ионов натрия и кальция  $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$  до максимальных значений 18–25 (рис. 3Д) и накопления обменного натрия (рис. 3Е).

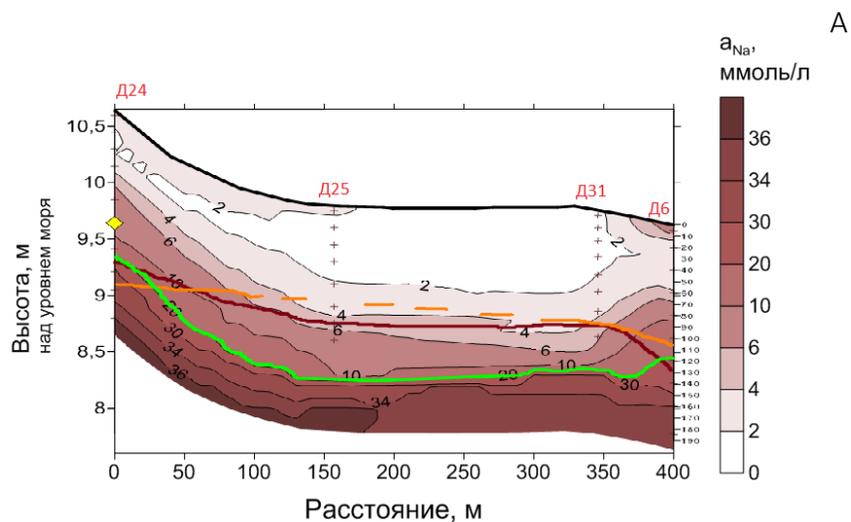
Распределение ионов на графиках по *профилю 3* (рис. 4) оценено по данным 4 скважин (Д24, Д25, Д31, Д6). Профиль заложен на поле с луком, где культура была в угнетенном состоянии. Рельеф представляет собой верхнюю часть приводораздельного склона гряды, имеющую уклон в двух направлениях: вдоль гряды (как расположены скважины), уклон 0.010–0.002 с юга на север с общим перепадом высот 1 м на расстоянии 400 м и поперек гряды, уклон 0.004 с запада на восток. Хвалынские глины вскрываются на глубине от 100 до 140 см. Их поверхность в направлении вдоль гряды в южной части профиля 3 между скважинами Д24 и Д25 имеет уклон 0.003, а в северной части – почти ровная (уклон 0.0007). Вдоль всего профиля 3 почвы сформированы в плаще тяжелых хвалынских суглинков мощностью около 1 м. В районе скважины Д24 между плащом суглинков и шоколадных глин на глубине 100–137 см залегает линза песка. В период капельного полива в 2018 г. над поверхностью шоколадных глин в северной части профиля 3 вскрывалась верховодка на глубине 100–105 см с минерализацией от 3.2 до 7.3 г/л хлоридно-сульфатного магниево-натриевого состава (табл. 1). В 2019 г., когда участок находился под паром, верховодка отсутствовала. Ее возникновение в поливной период связано с формой поверхности водонепроницаемых шоколадных глин, расположенных на малой глубине, в виде небольшой слабонаклонной ступени в верхней части гряды. Такая поверхность создает временные условия сосредоточения стекающих гравитационных вод на контакте су-

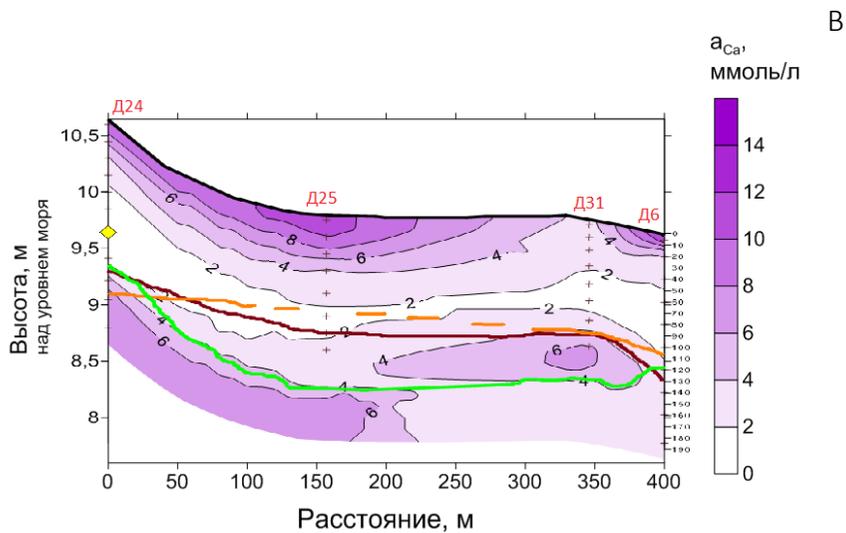
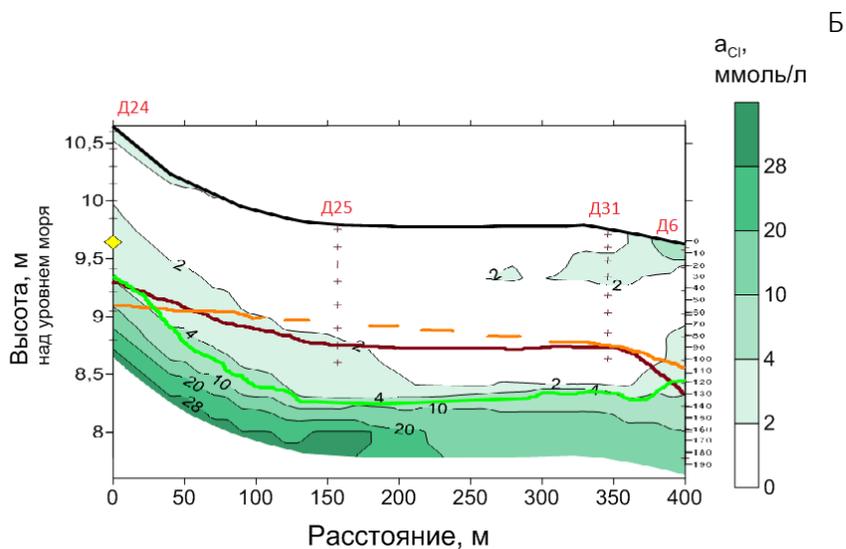
глинков и глин при медленном их оттоке в латеральном направлении вниз по склону грады.

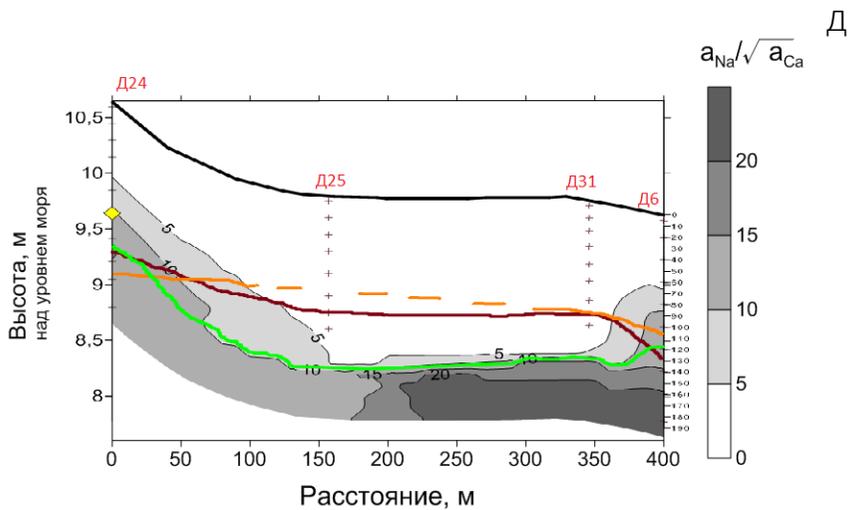
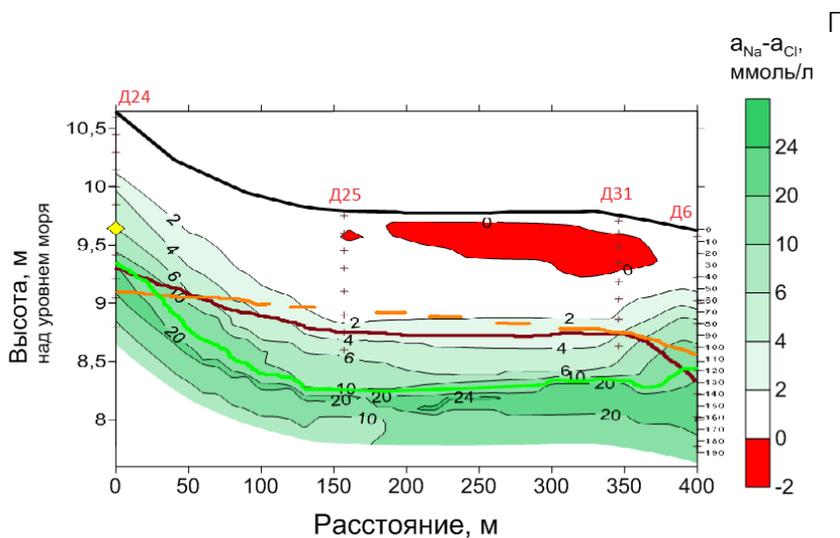
**Таблица 1.** Состав верховодки на ОУ Дубоовражный (август 2018 г.) ( $S_{\text{общ}}$  – минерализация)

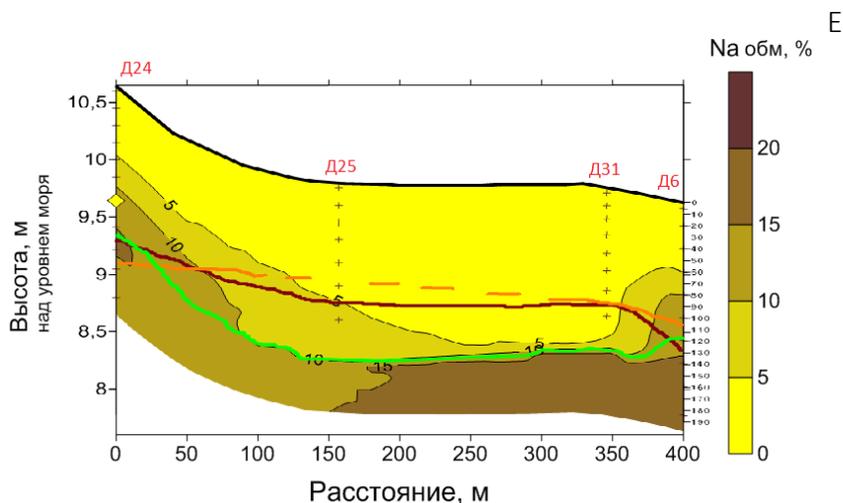
**Table 1.** Perched water table composition on irrigated plot Duboovrazhnyi (August, 2018) ( $S_{\text{общ}}$  – water salinity)

| Скважина | Глубина, см | рН   | $\text{HCO}_3^-$ | $\text{Cl}^-$ | $\text{SO}_4^{2-}$ | $\text{Ca}^{2+}$ | $\text{Mg}^{2+}$ | $\text{Na}^+$ | $S_{\text{общ}}$<br>г/л |
|----------|-------------|------|------------------|---------------|--------------------|------------------|------------------|---------------|-------------------------|
|          |             |      | ммоль(экв)/л     |               |                    |                  |                  |               |                         |
| Д5       | 132         | 7.45 | 8.9              | 66.9          | 183.0              | 21.9             | 91.8             | 145.1         | 16.58                   |
| Д6       | 103         | 7.47 | 8.6              | 17.7          | 84.0               | 20.5             | 34.8             | 55.0          | 7.28                    |
| Д25      | 100         | 7.66 | 6.4              | 6.2           | 36.5               | 11.9             | 19.0             | 18.2          | 3.25                    |









**Рис. 4.** Двумерное распределение активности ионов: **А** – натрия, **Б** – хлорид-ионов, **В** – кальция, **Г** – разницы  $a_{Na}-a_{Cl}$ , **Д** –  $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$ , **Е** – обменный натрий, %. Черная линия – граница земной поверхности. Зеленая линия – верхняя граница первого от поверхности засоленного горизонта. Оранжевая линия – верхняя граница горизонта, содержащего мелкокристаллический гипс. Коричневая линия – верхняя граница горизонта шоколадных хвалынских глин. Синяя точка – новообразования мучнистого гипса. Желтая точка – песчаные линзы. Д6 ... Д24 – номера скважин. Крестики – средняя глубина отбора проб. Значения по правой вертикальной оси – глубина отбора образцов в см относительно поверхности.

**Fig. 4.** Two-dimensional distribution of ion activity: **A** – sodium, **B** – chloride ions, **B** – calcium, **Г** – differences  $a_{Na}-a_{Cl}$ , **Д** –  $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$ , **Е** – exchangeable sodium, %. The black line is the boundary of the earth's surface. The green line is the upper boundary of the first saline horizon from the surface. The orange line is the upper boundary of the horizon containing fine crystalline gypsum. The brown line is the upper boundary of the horizon of Khvalynian chocolate clays. Blue dot – powdery gypsum neoplasms. Yellow dot – sand lenses. Д6 ... Д24 – well numbers. The crosses are the average sampling depth. Values on the right vertical axis are the sampling depth in cm relative to the surface.

Все агроземы на профиле 3 являются глубокосолончаковыми слабозасоленными (рис. 4). Все суглинистые почвенные горизонты до глубины 100 см формально являются незасоленными. Вместе с тем в них активность ионов натрия имела минимум 1–2 ммоль/л (влажность 40% (мас.)) в средней части почвенного профиля на глубине 30–60 см, увеличиваясь как вниз, так и вверх по профилю до 5–8 ммоль/л. Увеличение вниз обусловлено переходом к слабозасоленным шоколадным глинам, в которых активность ионов натрия составляла 22–36 ммоль/л (влажность 60% (мас.)). Увеличение вверх с максимумом в поверхностном слое пахотного горизонта вызвано капиллярным подтягиванием почвенных растворов в область интенсивного расхода воды на транспирацию культурными растениями и испарение с поверхности. Последнее проявлялось в формировании выцветов легкорастворимых солей на оголенной дневной поверхности почвы. Аналогичное распределение имел и хлорид-ион (рис. 4Б).

Отрицательная разница активности ионов натрия и хлоридов (рис. 4Г) и повышенные значения активности ионов кальция (6–14 ммоль/л) (рис. 4В) в нижней части пахотного горизонта свидетельствуют о появлении хлоридов кальция в почвенных растворах – явной тенденции к развитию вторичного засоления, если не организовать локальный дренаж временно возникающей верховодки.

Слабое засоление шоколадных глин сопровождается более высокими значениями  $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$  и доли обменного натрия (рис. 4Д, 4Е).

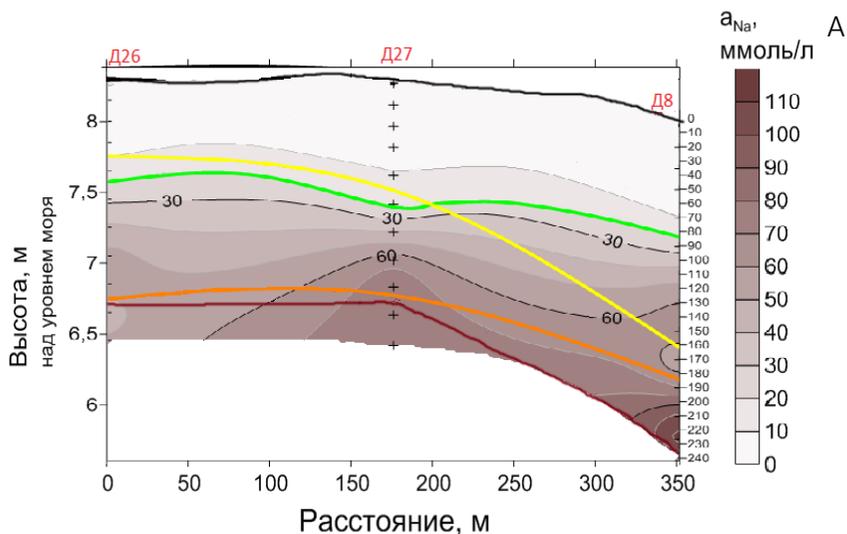
*Профиль 4* (рис. 5) построен по данным трех скважин (Д26, Д27, Д8), заложенных вдоль днища вытянутого понижения между грядами на бахче с арбузами и пятнами тростника. Общий перепад высот вдоль днища не превышает 30 см на расстоянии 350 м. Почвообразующие и подстилающие породы на профиле 4 представлены поверхностным плащом тяжелых суглинков мощностью 70–100 см и слоя пылеватых легких суглинков под ним, лежащем на шоколадных глинах. Кровля шоколадных хвалынских глин залегает на глубине 157–161 см в южной части профиля (скважины

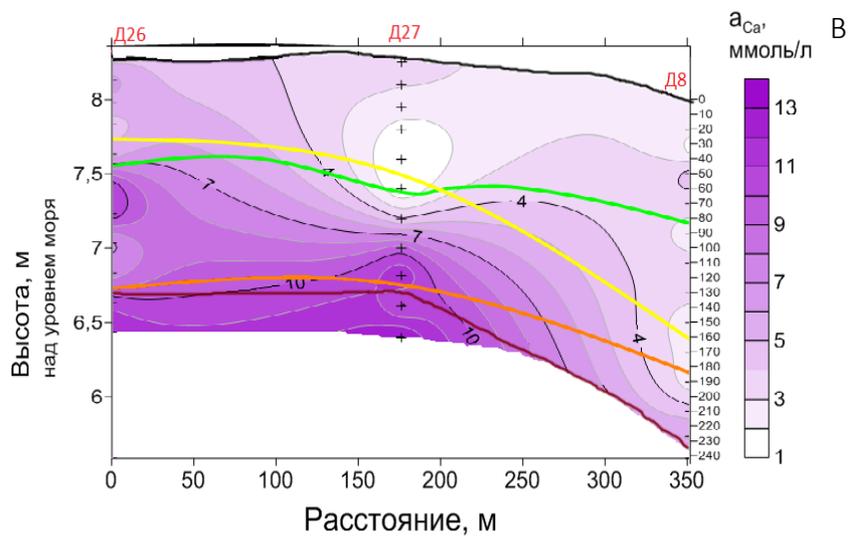
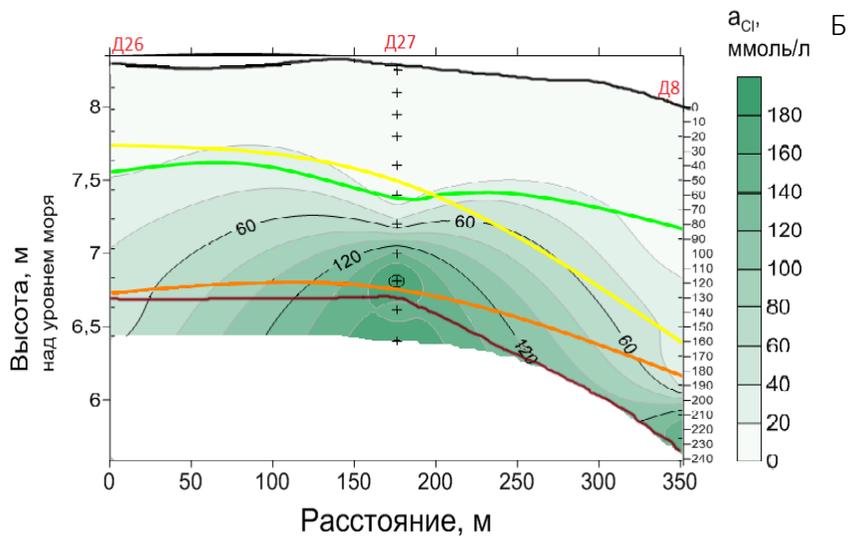
Д26 – Д27), понижаясь до глубины 233 см в северной части (скв. Д8).

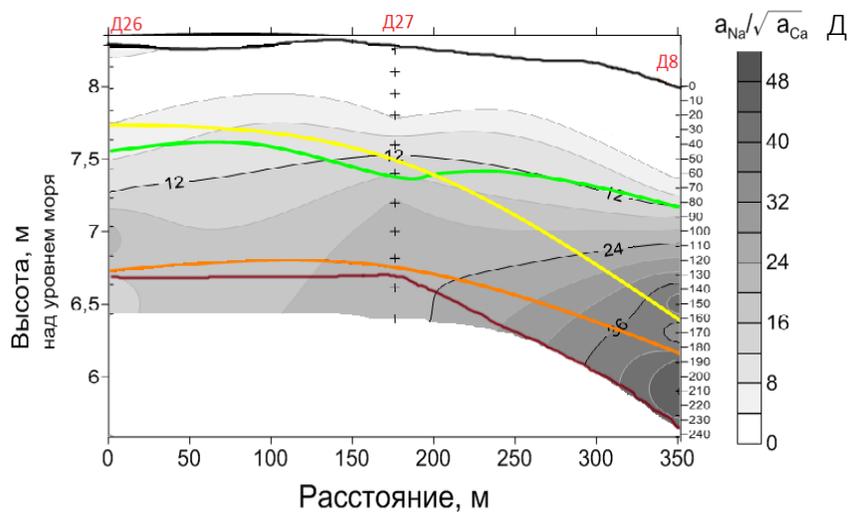
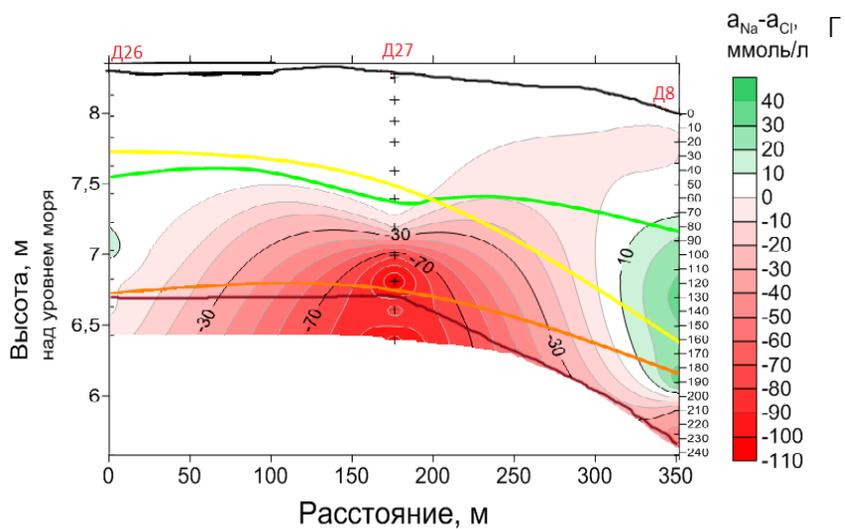
На большей части профиля 4 агрозоемы аккумулятивно-карбонатные (луговато-каштановые почвы по К-1977) имеют пахотный горизонт, содержащий дисперсные карбонаты. Отсутствие вскипания от  $\text{HCl}$  в пахотном горизонте наблюдается только в ареалах с тростником при самом глубоком залегании шоколадных глин (скв. 8).

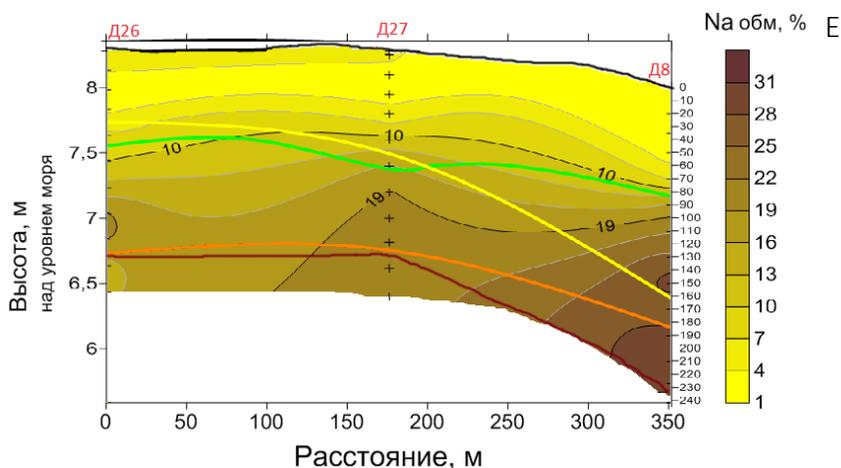
Пониженные элементы рельефа в сочетании с водонепроницаемыми шоколадными глинами способствовали засолению слоя пылеватых легких суглинков над глинами и тяжелосуглинистых нижних горизонтов почв (рис. 5А). Почвы являются солончаковыми слабозасоленными, тогда как слой легких суглинков и шоколадные глины – средnezасоленными.

Особенностью профиля 4 является наличие хлоридов кальция в глубоких средnezасоленных горизонтах слоя легких суглинков над кровлей шоколадных глин. Об этом свидетельствуют значения активности ионов кальция около 7 ммоль/л и отрицательная разница активности ионов натрия и хлоридов (рис. 5В, 5Г).









**Рис. 5.** Двумерное распределение активности ионов: **А** – натрия, **Б** – хлорид-ионов, **В** – кальция, **Г** – разницы  $a_{Na}-a_{Cl}$ , **Д** –  $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$ , **Е** – обменный натрий, %. Черная линия – граница земной поверхности. Зеленая линия – верхняя граница первого от поверхности засоленного горизонта. Оранжевая линия – верхняя граница горизонта, содержащего мелкокристаллический гипс. Коричневая линия – верхняя граница горизонта шоколадных хвалыньских глин. Желтая линия – линзы легких пород. Д26 – номера скважин. Крестики – средняя глубина отбора проб. Значения по правой вертикальной оси – глубина отбора образцов в см относительно поверхности.

**Fig. 5.** Two-dimensional distribution of ion activity: **A** – sodium, **B** – chloride ions, **V** – calcium, **G** – differences  $a_{Na}-a_{Cl}$ , **D** –  $a_{Na}/\sqrt{a_{Ca}}$ , **E** – exchangeable sodium, %. The black line is the boundary of the earth's surface. The green line is the upper boundary of the first saline horizon from the surface. The orange line is the upper boundary of the horizon containing fine crystalline gypsum. The brown line is the upper boundary of the horizon of Khvalynian chocolate clays. Yellow line – lenses of light rocks. D26 – well numbers. The crosses are the average sampling depth. Values on the right vertical axis are the sampling depth in cm relative to the surface.

Таким образом, анализ графиков по всем профилям показывает, что преобладает засоление сульфатно-хлоридно-натриевого типа, характерное для естественных почв Сарпинской ложбины,

но в ряде почвенных горизонтов имеются следы вторичного засоления, выражающегося в присутствии хлорида кальция в почвенном растворе.

*Сравнение разных участков Светлоярской ОС.* Проведем сопоставление солевого состояния почвенного покрова Светлоярской ОС на четырех ОУ Дубоовражный (настоящая статья), Райгородский, Светлоярский ([Горохова, Панкова, 2017](#); [Горохова и др., 2018a](#), [2018b](#)) и Червленое ([Кравченко и др., 2018](#); [Хитров и др., 2019](#); [Горохова и др., 2020](#)), которые расположены в разных природных районах (табл. 2). До орошения для всех ОУ было характерно 25–50% солонцов и более в составе почвенного покрова и связанным с ними пятнистое засоление. Для полива поверхностными способами при строительстве оросительной системы на всех ОУ была проведена планировка поверхности, способствовавшая срезке солонцовых горизонтов. Современное распределение легкорастворимых солей обусловлено геоморфологическими и гидрогеологическими особенностями ОУ, историей их использования и качеством оросительных вод. В начале 2000-х годов аналогичные общие причины для орошаемых почв Поволжья отмечала В.Е. Приходько ([2003](#)).

Наиболее благоприятная обстановка сложилась на Светлоярском ОУ в связи с его сравнительно удовлетворительной естественной дренированностью за счет более легких по гранулометрическому составу отложений (легких суглинков, супесей и песков) на глубине от 1.5 до 5 м и относительно глубокого залегания (более 5 м) слабоводопроницаемых шоколадных глин, а также хорошего качества оросительных вод с минерализацией 0.4–0.5 г/л гидрокарбонатно-кальциевого состава. В 1990-х годах после нескольких десятков лет орошения почвы на 67–70% были представлены незасоленными разностями, не имеющими легкорастворимых солей в пределах 0–100 см. Около одной трети почв являлись солончаковатыми или солончаковыми преимущественно слабозасоленными, реже средnezасоленными хлоридно-сульфатными или сульфатными натриевыми.

**Таблица 2.** Краткая характеристика орошаемых участков Светлоярской ОС  
**Table 2.** Brief characteristics of irrigated plots of Svetloyarsk irrigation system

| Характеристики                                      | Орошаемые участки  |  |   |   |
|---|--|--|---|---|
|   | Светлоярский   | Райгородский   | Дубовражный   | Червленое   |
| Природный район<br>( <a href="#">Доскач, 1979</a> ) | Северная Сарпинская низменная равнина  |  | Сарпинская ложбина  | Северные Ергени   |
| Рельеф  | Слаборасчленный со слабовыпуклыми широкими поверхностями, пологими склонами и слабовыраженными ложбинами                         | Слабонаклонная поверхность с лиманами и замкнутыми западинами                                | Чередование слабовыпуклых гряд меридиональной направленности и вытянутых понижений между ними с амплитудой высоты 1–5 м | Пологие склоны северной экспозиции, слаборасчленные древовидной сетью ложбин, впадающих в балки |
| Почвообразующие и подстилающие породы               | Средние и тяжелые суглинки мощностью 2–3 м, подстилаемые легкими суглинками, супесями или песками. Глины вскрываются глубже 5 м. | Суглинки и глины мощностью 2–4 м, подстилаемые слоистыми отложениями или шоколадными глинами | Двучленные отложения (средние и тяжелые суглинки, подстилаемые с 80–250 см шоколадными хвалынскими глинами)             | Лёссовидные суглинки мощностью более 10 м   |
| Дренированность                                     | Удовлетворительная за счет песчаных линз   | Низкая   | Удовлетворительная на грядах и низкая в понижениях  | Низкая  |
| Доля солонцов до орошения                           | 25–50%   | 25–50 и >50%   | >50%  | 25–50 и >50%  |
| Уровень грунтовых вод в 1990-х годах                | 3–5 м (преимущественно)  | 1.5–2 м на юге, 2.5–3 м на остальной части   | 2.5–3 м   | 2.0–2.5 м (преимущественно), местами 1.5–2 м  |

**Продолжение таблицы 2**  
**Continued Table 2**

| Характеристики   | Орошаемые участки                                 |                                 |   |                                   |
|--|---|---------------------------------|---|-----------------------------------|
|  | Светлоярский                                      | Райгородский                    | Дубоовражный                              | Червленое                         |
| Природный район<br>( <a href="#">Доскач, 1979</a> )          | Северная Сарпинская низменная равнина             |                                 | Сарпинская ложбина                        | Северные Ергени                   |
| Способ орошения в 1990-х годах                               | Поверхностный                                     | Поверхностный                   | Дождевание                                | Поверхностный                     |
| Вторичное засоление почв в 1990-х годах                      | Нет   | Есть                            | Нет                                       | Есть                              |
| Основные возделываемые культуры в 1990-х                     | Люцерна и др. кормовые травы                      | Люцерна и др. кормовые травы    | Люцерна и др. кормовые травы              | Люцерна и др. кормовые травы      |
| Уровень грунтовых вод в 2010-х годах                         | 3–5 и >5 м  | >5 м                            | >5 м; местами верховодка на глубине 1–2 м | >5 м                              |
| Способ орошения в 2010-х годах                               | Влагозарядковый, поверхностный, местами капельный | не орошается, местами капельный | капельный                                 | не орошается, частично дождевание |
| Остаточные признаки вторичного засоления почв в 2010-х годах | Нет   | Ограничено                      | Ограничено                                | Ограничено                        |
| Основные культуры в 2010-х годах                             | Озимые зерновые, люцерна, овощи                   | Залежь, овощи                   | Овощные и бахчевые                        | Кормовые травы                    |

Исследования в 2013–2016 гг. на Светлоярском ОУ продемонстрировали преобладание (89–92% точек опробования) незасоленных почв до глубины 100 см и сравнительно редкую встречаемость солончаковатых слабозасоленных почв. Планировка полей привела к тому, что на территории, в пределах которой до строительства Светлоярской ОС отмечалось 25–50% солонцов и солонцеватых почв, на текущий момент собственно солонцы не обнаружены. В настоящее время отмечается постепенное рассоление почв ([Горохова и др., 2018а](#), [2018б](#)).

На Райгородском ОУ, расположенном в том же природном р-не, что и Светлоярский, но отличающемся более низкой естественной дренированностью, в настоящее время используют капельное орошение овощных культур только в прилегающей к магистральному каналу части. Остальная территория является залежью. На ОУ также отмечается тенденция к рассолению почв на фоне ограниченного проявления остаточных признаков вторичного засоления, наблюдавшегося в 1990-х годах ([Горохова, Панкова, 2017](#)).

Наиболее неблагоприятная солевая обстановка характерна для ОУ Червленое ([Кравченко и др., 2018](#); [Хитров и др., 2019](#); [Горохова и др., 2020](#)), отличающегося низкой естественной дренированностью и исходным засолением большой толщи лёссовидных суглинков Северных Ергеней. В настоящее время 80% почв засолены в первом метре и характеризуются как преимущественно солончаковатые срединно-аккумулятивные слабо- и средnezасоленные с максимумом содержания солей, соответствующему сильной степени засоления, на глубине от 100–120 до 170–200 см хлоридно-сульфатного или сульфатно-хлоридного химизма. Это результат остаточного вторичного засоления почв в 1990-х годах, когда на участке активно практиковались поверхностный способ полива и завышенные поливные нормы, способствовавшие подъему грунтовых вод до критического уровня и формированию преимущественно солончаковых средне- и сильнозасоленных почв. К настоящему времени после длительного периода с момента прекращения орошения и забрасывания полей (на 10–20 лет) уровень грунтовых вод опустился до глубины >5 м. Бывшие орошаемые почвы, используемые в последние годы в системах сухого земле-

деля или орошаемые дождевальными техникой, рассолились с поверхности – в основном до глубины 30–50 см. Однако на ОУ Червленое продолжают использовать поливные воды с минерализацией близкой к 0.8–0.9 г/л с заметным содержанием катионов натрия и магния, поэтому, в возникших незасоленных верхних горизонтах образуется токсичная щелочность, а содержание обменного натрия достигает 5–15% от суммы обменных катионов ([Кравченко и др., 2018](#); [Хитров и др., 2019](#)).

Своеобразие ОУ Дубоовражный заключается в двучленных отложениях (суглинках, подстилаемых с глубины 1–2.5 м шоколадными глинами) и грядово-волнистом мезорельефе на фоне общей бессточной территории Сарпинской ложбины. Шоколадные глины обеспечивают фоновое слабое или среднее засоление большинства почв глубже 1 м. Сосредоточение поверхностного и внутрипочвенного бокового стока вдоль контакта суглинков и глин приводит к формированию слабозасоленных солончаковатых почв в вытянутых понижениях между невысоких гряд. Орошение капельным способом в настоящее время создает локальное формирование временной верховодки на участках сравнительно ровного залегания шоколадных глин и потенциальную угрозу накопления легкорастворимых солей в пахотных горизонтах в виде возникновения локальных максимумов активности ионов натрия и хлоридов, не приводя пока к реальному засолению этих горизонтов. Для частичного промывания накапливающихся солей атмосферными осадками целесообразно проводить орошение не каждый год.

## ВЫВОДЫ

1. Распределение легкорастворимых солей в почвах и грунтах ОУ Дубоовражный определяется: 1) двух- и местами трехчленными хвалынскими отложениями, представленными поверхностным плащом средних и тяжелых суглинков мощностью 70–120 см, линзами легких суглинков, супесей и песков, и шоколадными глинами, подстилающими весь участок на разной глубине от 70 до 250 см; 2) волнистым мезорельефом в виде чередующихся низких слабовыпуклых гряд и вытянутых понижений между ними; 3) историей землепользования.

2. Основным источником солей на ОУ являются хвалыньские шоколадные глины морского происхождения. В связи с этим большинство почв глубже 100 см имеют слабое или среднее засоление.

3. Орошение дождеванием в предшествовавший период способствовало усилению миграции солей в ландшафте и перераспределению их по элементам мезорельефа. На низких грядах и их склонах с залеганием кровли засоленных шоколадных глин на глубине 70–120 см агрозоны аккумулятивно-карбонатные тяжело-суглинистые преимущественно формально не засолены до 1 м, являясь глубокосолончаковыми слабозасоленными. Солончаковые агрозоны (со слабым засолением в слое 50–100 см) на грядах встречаются пятнами по ареалам срезанных при планировке солонцов. В недренлируемых вытянутых понижениях между грядами сформировались преимущественно солончаковые агрозоны (луговато-каштановые почвы по К-1977) за счет перераспределения солей в ландшафте в период орошения дождеванием большими нормами.

4. Капельное орошение в последние годы провоцирует локальное формирование верховодки и тенденцию накопления солей в пахотных горизонтах, пока не превышая формального нижнего порога слабого засоления. В период капельного орошения овощных и бахчевых культур даже в условиях укрытия грядок полиэтиленовой пленкой часто наблюдались выцветы солей на поверхности влажной почвы. Это означает, что для частичного промывания накапливающихся солей атмосферными осадками целесообразно орошение проводить не каждый год.

5. Во многих средnezасоленных горизонтах на глубине более 1 м в 2018–2019 гг. отмечались признаки остаточного вторичного засоления в виде присутствия хлоридов кальция в почвенных растворах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Базилевич Н.И., Панкова Е.И.* Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 1972. Вып. 5. С. 36–50.
2. Базовые шкалы морфологических элементов почв. Методическое

руководство по описанию почв в поле / Сост.: Э.А. Корнблюм, И.С. Михайлов, Н.А. Ногина, В.О. Таргульян. М.: Почв. институт им. В.В. Докучаева, 1982. 58 с.

3. Воробьева Л.А. Система показателей химического состояния засоленных почв // Вестн. Моск. Ун-та. 1981. Сер. 17. № 2. С. 3–12.

4. Горохова И.Н. Оценка засоления орошаемых почв Нижнего Поволжья с использованием аэрофотоснимков. Автореф. дис. ...канд. техн. н. М., 1992. 25 с.

5. Горохова И.Н., Панкова Е.И. Природа пятнистости орошаемых почв сухостепной зоны (на примере Светлоярской оросительной системы) // Аридные экосистемы. 2017. Т. 23. № 3 (72). С. 44–54.

6. 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. 2018а. 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).

7. Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Прокопьева К.О., Харланов В.А. Почвенный покров Светлоярской оросительной системы через полвека мелиоративных воздействий // Почвоведение. 2018б. № 8. С. 1–18. DOI: [10.1134/S0032180X18080130](https://doi.org/10.1134/S0032180X18080130).

8. Горохова И.Н., Хитров Н.Б., Кравченко Е.П. Изменение засоленности орошаемых почв участка Червленое за четверть века (Волгоградская область) // Почвоведение. 2020. № 4. С. 463–472. DOI: [10.31857/S0032180X20040061](https://doi.org/10.31857/S0032180X20040061).

9. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2017 году. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. М.: ФГБНУ “Росинформагротех”. 2019. 328 с.

10. Доскач А.Г. Природное районирование Прикаспийской полупустыни. М.: Наука, 1979. 142 с.

11. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 247 с.

12. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

13. Конюшкова М.В. Цифровое картографирование почв солонцовых комплексов Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 316 с.

14. 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).

15. *Минашина Н.Г.* Токсичные соли в почвенном растворе, их расчет и классификация по степени засоления // Почвоведение. 1970. № 8. С. 92–105.
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. М.: Почвенный институт им. 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 им. В.В. Докучаева. 2009. Вып. 63. С. 16–24.
18. Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации. СПб: ВСЕГЕО, 2006. С. 181–190.
19. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
20. Приходько В.Е. Развитие почв Поволжья под влиянием орошения: Автореф. дисс. ... д. биол. наук. Пушино, 2003.
21. Руководство по описанию почв. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. Рим, 2012. 101 с.
22. 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 им. В.В. Докучаева, 1990. 236 с.
23. *Савин И.Ю., Отаров А., Жоголев А.В., Ибраева М.А., Дуйсеков С.* Выявление многолетних изменений площади засоленных почв Шаульдерского орошаемого массива по космическим снимкам Landsat // Бюллетень почвенного института им. В. В. Докучаева. 2014. Вып. 74. С. 49–63. DOI: [10.19047/0136-1694-2014-74-49-65](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2014-74-49-65).
24. *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](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-97-52-90).
25. *Chen J.-g., Chen J., Wang Q.-i., Zhang Y., Ding H., Huang Z.* Retrieval of Soil Dispersion Using Hyperspectral Remote Sensing // Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 2016. Vol. 44. Iss. 4. P. 563–572. DOI: [10.1007/s12524-015-0530-9](https://doi.org/10.1007/s12524-015-0530-9).
26. *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 // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017. Vol. 189. 177. DOI: [10.1007/S10661-017-5877-7](https://doi.org/10.1007/S10661-017-5877-7).
27. Guidelines for soil description. The fourth edition. FAO. Rome, 2006. 98 p.
28. 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. 43–56. DOI: [10.1007/s12145-018-0358-2](https://doi.org/10.1007/s12145-018-0358-2).
29. 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 // *Environmental Earth Sciences*. 2015. Vol. 73. Iss. 7. P. 3299–3308. DOI: [10.1007/s12665-014-3613-y](https://doi.org/10.1007/s12665-014-3613-y).
30. 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. Vol. 25. Iss. 2. P. 213–223. DOI: [10.1007/s11769-014-0693-2](https://doi.org/10.1007/s11769-014-0693-2).
31. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No.106. FAO. Rome. 2015. 192 p.
32. Zaman M., Shahid S.A., Heng L. Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques. Springer Open, 2018. 164 p. DOI: [10.1007/978-3-319-96190-3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3).

## REFERENCES

1. Bazilevich N.I., Pankova E.I., Opyt klassifikatsii pochv po sodержaniyu toksichnykh solei i ionov (Experience in soil classification by the content of toxic salts and ions), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 1972, Vol. 5, pp. 36–50.
2. Kornblyum E.A., Mikhailov I.S., Nogina N.A., Targul'yan V.O., *Bazovye shkaly morfologicheskikh elementov pochv. Metodicheskoe rukovodstvo po opisaniyu pochv v pole* (Basic scales of soil morphological elements. Methodical guide for the description of soils in the field), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 1982, 58 p.
3. Vorob'eva L.A., Sistema pokazatelei khimicheskogo sostoyaniya zasolennykh pochv (System of indicators of the chemical state of saline soils), *Vestn. Mosk. Un-ta*, 1981, Ser. 17, No. 2, pp. 3–12.
4. Gorokhova I.N., *Otsenka zasoleniya oroshaemykh pochv Nizhnego Povolzh'ya s ispol'zovaniem aerofotosnimkov. Avtoref. dis. ...kand. tekhn. n.* (Es-

timation of salinity of irrigated soils in the Lower Volga region using aerial photographs, Extended abstract of cand. tech. sci. thesis), Moscow: 1992, 25 p.

5. Gorokhova I.N., Pankova E.I., Priroda pyatnistosti oroshaemykh pochv sukhostepnoi zony (na primere Svetloyarskoi orositel'noi sistemy) (The nature of spotting of irrigated soils in the dry steppe zone (by the example of the Svetloyarsk irrigation system)), *Aridnye ekosistemy*, 2017, Vol. 23, No. 3 (72), pp. 44–54.

6. Gorokhova I.N., Khitrov N.B., Pankova E.I., Prokopyeva K.O., Soil salinity of the Svetloyar irrigated massif in the Volgograd region in 2010-s 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).

7. Gorokhova I.N., Khitrov N.B., Prokop'eva K.O. et al., Soil Cover of the Svetloyarsk Irrigation System after 50 Years of Reclamation Practices, *Eurasian Soil Science*, 2018, Vol. 51, pp. 965–975, DOI: [10.1134/S1064229318060078](https://doi.org/10.1134/S1064229318060078).

8. Gorokhova I.N., Khitrov N.B., Kravchenko E.I., Changes in Soil Salinity at the Chervlenoe Irrigation Massive (Volgograd Oblast) in a Quarter of Century, *Eurasian Soil Science*, 2020, Vol. 53, No. 4, pp. 494–502, DOI: [10.1134/S1064229320040067](https://doi.org/10.1134/S1064229320040067).

9. *Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya Rossiiskoi Federatsii v 2017 godu*. Ministerstvo sel'skogo khozyaistva Rossiiskoi Federatsii (Report on the state and use of agricultural land in the Russian Federation in 2017. Ministry of Agriculture of the Russian Federation), Moscow: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2019, 328 p.

10. Doskach A.G., *Prirodnoe raionirovanie Prikaspiiskoi polupustyni* (Natural zoning of the Caspian semi-desert), Moscow: Nauka, 1979, 142 p.

11. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* (Classification and diagnostics of soils in the USSR), Moscow: Kolos, 1977, 247 p.

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

13. Konyushkova M.V., *Tsifrovoe kartografirovanie pochv solontsovykh kompleksov Severnogo Prikaspiya* (Digital mapping of soils of solonetz complexes in the Northern Caspian region), Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2014, 316 p.

14. Kravchenko E.I., Khitrov N.B., Gorokhova I.N., Two-dimensional distribution of salinity in irrigated soils near the irrigation channel at the plot “Chervlenoe” of the Svetloyar irrigation system, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 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).

15. Minashina N.G., Toksichnye soli v pochvennom rastvore, ikh raschet i klassifikatsiya po stepeni zasoleniya (Toxic salts in soil solution, their

calculation and classification according to the degree of salinity), *Pochvovedenie*, 1970, No. 8, pp. 92–92-105.

16. *Nauchnye osnovy predotvrashcheniya degradatsii pochv (zemel') sel'skokhozyaistvennykh ugodii Rossii i formirovaniya sistem vosproizvodstva ikh plodorodiya v adaptivno-landshaftnom zemledelii: T. 1. Teoreticheskie i metodicheskie osnovy predotvrashcheniya degradatsii pochv (zemel') sel'skokhozyaistvennykh ugodii* (Scientific foundations for preventing soil (land) degradation of agricultural lands in Russia and the formation of systems for the reproduction of their fertility in adaptive landscape agriculture: Vol. 1. Theoretical and methodological foundations for preventing soil (land) degradation of agricultural land), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2013. 756 p.

17. Novikova A.F., Gapin Lo, Konyushkova M.V., The dynamics of the processes of salinization-desalinization of soils 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. Ob'yasnitel'naya zapiska k Gosudarstvennoi geologicheskoi karte Rossiiskoi Federatsii (Explanatory note to the State Geological Map of the Russian Federation), StPetersburg: VSEGEO, 2006, pp. 181–190.

19. *Polevoi opredelitel' pochv Rossii* (Field guide to soils of Russia), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2008, 182 p.

20. Prikhod'ko V.E., *Razvitie pochv Povolzh'ya pod vliyaniem orosheniya: Avtoref. diss. ... dokt. biol. nauk* (The development of soils in the Volga region under the influence of irrigation: Extended abstract of Dr. biol. sci. thesis), Pushchino, 2003.

21. *Rukovodstvo po opisaniyu pochv. Prodovol'stvennaya i sel'skokhozyaistvennaya organizatsiya ob'edinennykh natsii* (Manual for the description of soils. Food and agriculture organization of the united nations), Rim, 2012, 101 p.

22. Khitrov N.B., Ponizovskiy A.A., *Rukovodstvo po laboratornym metodam issledovaniya ionno-solevogo sostava neutral'nykh i shchelochnykh mineral'nykh pochv* (Guidance on laboratory methods for studying the ion-salt composition of neutral and alkaline mineral soils), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 1990, 236 p.

23. Savin I.Yu., Otarov A., Zhogolev A.V., Ibraeva M.A., Duseikov S., Long-term changes in the area of saline soils recognized by LANDSAT images in Shauldersk irrigated massive, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2014, Vol. 74, pp. 49–65, DOI: [10.19047/0136-1694-2014-74-49-65](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2014-74-49-65).

24. 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, Vol. 97, pp. 52–90, DOI: [10.19047/0136-1694-2019-97-52-90](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-97-52-90).

25. Chen J.-g., Chen J., Wang Q.-i., Zhang Y., Ding H., Huang Z., Retrieval of Soil Dispersion Using Hyperspectral Remote Sensing, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2016, Vol. 44, Iss. 4, pp. 563–572, DOI: [10.1007/s12524-015-0530-9](https://doi.org/10.1007/s12524-015-0530-9).

26. 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, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2017, Vol. 189, 177, DOI: [10.1007/S10661-017-5877-7](https://doi.org/10.1007/S10661-017-5877-7).

27. *Guidelines for soil description*, The fourth edition, FAO, Rome, 2006, 98 p.

28. 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. 43–56, DOI: [10.1007/s12145-018-0358-2](https://doi.org/10.1007/s12145-018-0358-2).

29. 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, *Environmental Earth Sciences*, 2015, Vol. 73, Iss. 7, pp. 3299–3308, DOI: [10.1007/s12665-014-3613-y](https://doi.org/10.1007/s12665-014-3613-y).

30. 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, Vol. 25, Iss. 2, pp. 213–223, DOI: [10.1007/s11769-014-0693-2](https://doi.org/10.1007/s11769-014-0693-2).

31. *IUSS Working Group WRB*, World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports No.106, FAO, Rome, 2015, 192 p.

32. Zaman M., Shahid S.A., Heng L., *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*, Springer Open, 2018, 164 p., DOI: [10.1007/978-3-319-96190-3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3).