

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-99-47-61

**Ссылки для цитирования:**

Кравченко Е.И. Факторы засоления почв участков “Червленое” и “Дубоовражный” Светлоярской оросительной системы // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 99. С. 47-61. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-99-47-61

**Cite this article as:**

Kravchenko E.I., Agents of soil salinization in “Chervlenoe” and “Duboovrazhniy” plots of the Svetloyarsk irrigation system, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, V. 99, pp. 47-61, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-99-47-61

## **Факторы засоления почв участков “Червленое” и “Дубоовражный” Светлоярской оросительной системы**

© 2019 г. Е. И. Кравченко

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия,  
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,*

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

*Поступила в редакцию 01.06.2019, после доработки 26.08.2019,  
принята к публикации 21.11.2019*

**Резюме:** Изучены факторы, определяющие засоленность почв ключевых участков “Червленое” и “Дубоовражный” Светлоярской оросительной системы (Волгоградская область). Проводился многофакторный дисперсионный анализ зависимости суммы токсичных солей по результатам водной вытяжки (1 : 5) от факторов: рельефа, растительности, пород, способа орошения. Было выявлено, что фактором, определяющим степень засоления почв по сумме токсичных солей, в обоих случаях являются породы. Их вклад в общую дисперсию составил более 80 % для обоих исследуемых участков. На участке “Дубоовражный” значимым фактором также оказался рельеф. Антропогенный фактор – способ орошения – оказался незначимым. Были построены кумулятивные частоты встречаемости степеней засоления почвы по слоям 0–30 см, 30–100 см, 100–150 см, 150–200 см. Верхний слой почвы 0–30 см практически незасолен на обоих участках. На почвах участка “Червленое” встречаются сильные и очень сильные степени засоления, в целом почвы этого участка имеют более высокие значения

суммы токсичных солей, чем почвы участка “Дубоовразный”.

**Ключевые слова:** степень засоления, сумма токсичных солей, кумулятивные частоты встречаемости степени засоления.

## **Agents of soil salinization in “Chervlenoe” and “Duboovrazhnyi” plots of the Svetloyarsk irrigation system**

**E. I. Kravchenko**

*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,  
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 2119017, Russian Federation,  
<https://orcid.org/0000-0003-4609-5650>, e-mail: [krav4enko\\_elen@mail.ru](mailto:krav4enko_elen@mail.ru).*

*Received 01.06.2019, Revised 26.08.2019, Accepted 21.11.2019*

**Abstract:** The agents that determine the soil salinity of the key plots “Chervlenoe” and “Duboovrazhnyi” of the Svetloyarsk irrigation system (Volgograd region) are studied. We carried out a multifactor analysis of the toxic salts amount variance depending on the following agents: relief, vegetation, parent material and irrigation method, the water extract (1 : 5) being used. It was found that the factors determining the degree of soil salinity in terms of the amount of toxic salts in both cases is parent material. Its contribution into the total variance was more than 80 % for both studied plots. On the plot “Duboovrazhnyi” relief also turned out to be a significant factor. Anthropogenic factor – the method of irrigation – was insignificant. The graphs of cumulative frequencies of the occurrence of salinity levels were constructed for soil layers of 0–30 cm, 30–100 cm, 100–150 cm, 150–200 cm. The top soil layer of 0–30 cm is almost non-saline in both areas. On the “Chervlenoe” plot there are strong and very strong degrees of soil salinization; in general, this site is characterized by higher toxic salts amount compared to the “Duboovrazhnyi” plot.

**Keywords:** degree of salinity, amount of toxic salts, cumulative salinity rates.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Засоление почв является негативным процессом, широко распространенным в южных регионах России, и приводит к потере урожая ([Засоленные..., 2006](#)). Сценарий, по которому протекает процесс засоления, определяется природными и антропогенными факторами ([Ковда, 1980](#)). К ним относятся:

- климат (количество осадков, испаряемость, давление паров влаги в воздухе, их динамика);
- геологические, геоморфологические, геохимические, гидрологические и гидрохимические факторы (естественный дренаж, глубина и флуктуации уровня грунтовых вод, их химический состав и общая минерализация, направление и скорость горизонтального потока, исходная засоленность почвообразующих пород, расчлененность территории);
- свойства почв (строение профиля, механический состав, структура, водопроницаемость, содержание легкорастворимых солей, состав обменного комплекса, рН и т. д.);
- агротехнические (землепользование, выращиваемые культуры, методы обработки почв и т. д.);
- характер орошения (количество оросительной воды, частота и способ ее подачи, содержание солей и их химизм в ирригационных водах, организация искусственного дренажа и т. д.);

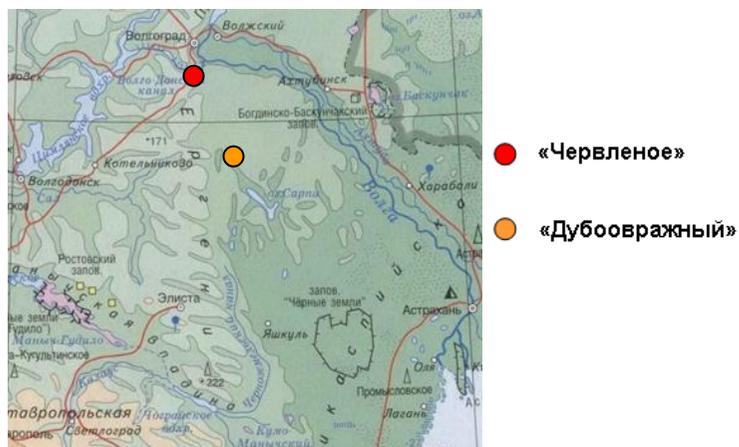
Изучение факторов засоления на конкретных примерах позволяет найти пути решения проблемы засоления почв и дать рекомендации по применению тех или иных методов мелиорации засоленных почв.

Цель исследования – выявление вклада различных факторов засоления почв, как природных, так и антропогенных, на примере двух участков Светлоярской оросительной системы: “Червленое” и “Дубоовражный”.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования – участок “Дубоовражный” и участок “Червленое” Светлоярской оросительной системы – расположены на юге Волгоградской области, на границе с Калмыкией. Схематичное расположение участков исследования изображено на физической карте России (рис. 1).

Оба участка локализованы в границах сухостепной зоны. Климат континентальный, засушливый,  $K_{увл} = 0.3$ . Естественные почвы на обоих участках были представлены светло-каштановыми солонцовыми комплексами ([Дягтерева и др., 1970](#)).



**Рис. 1.** Схематичное расположение участков “Червленое” и “Дубоовражный” на физической карте России.

**Fig. 1.** Schematic location of the “Chervlenoe” and “Duboovrazhnyi” plots on the physical map of Russia.

Участок “Червленое” занимает северные отроги возвышенности Ергени. Почвообразующие породы – лёссовидные суглинки, содержащие водорастворимые соли ([Засоленные..., 2006](#)). Грунтовые воды сульфатно-хлоридного магниево-натриевого состава ([Горохова, 1992](#); [Панкова и др., 2004](#); [Новикова и др., 2009](#)) залегают на глубине 9–11 м, по данным за 2017 г. Орошаемые почвы – светло-каштановые орошаемые ([Классификация..., 1977](#)), агрозоны светлые дисперсно-карбонатные или сегрегационно-карбонатные, в некоторых случаях карбонатно-аккумулятивные ([Полевой..., 2008](#)). Орошение на этом участке частично отсутствует, некоторые поля орошаются дождеванием ([Кравченко и др., 2018](#)). Содержание солей постепенно увеличивается с глубиной, сумма токсичных солей в верхних горизонтах составляет 0–0.4 %, а на глубине 2 м достигает 4 % в солонцах и 1.5 % – в светло-каштановых почвах ([Засоленные..., 2006](#)).

Впервые засоление почв на этом участке было зафиксировано в 1990-е годы. Отмечалось, что на участке присутствует сильное и очень сильное поверхностное засоление, которое было заметно на аэрофотоснимках в виде светлых пятен и полос с “ба-

хромой” по краям, в то время на участке применялось орошение поверхностным способом ([Горохова, 1992](#)). В период 1990–2000 гг. участок не орошался. В работах ([Панкова и др., 2004](#); [Новикова и др., 2009](#)) было отмечено, что в результате прекращения орошения под действием атмосферных осадков произошло рассоление поверхностных горизонтов почв и увеличение содержания солей на глубине 1–2 м. Орошение дождеванием было возобновлено с 2000-х годов. Современное состояние почв участка “Червленое” было изучено в августе 2017 г. В статье ([Кравченко и др., 2018](#)) зафиксировано, что в пределах первого метра орошаемые почвы имеют слабую и среднюю степень засоления, максимум солей располагается во втором метре, распределение содержания солей по глубине срединно-аккумулятивное.

Участок “Дубоовражный” расположен в Сарпинской ложбине Прикаспийской низменности ([Доскач, 1979](#)). Почвообразующие породы на этом участке – хвалынские суглинистые отложения, подстилаемые хвалынскими шоколадными глинами, локально хвалынские глины перекрыты песчаными линзами мощностью до 1 м. Грунтовые воды залегают на глубине 7–8 м. Орошаемые почвы – светло-каштановые орошаемые ([Классификация..., 1977](#)), агроземы светлые дисперсно-карбонатные, в некоторых случаях карбонатно-аккумулятивные ([Полевой..., 2008](#)). Все поля этого участка орошаются капельным способом.

Ранее участок “Дубоовражный”, так же, как и “Червленое”, входил в состав Светлоярской оросительной системы, известно, что на нем осуществлялось орошение посредством дождевальных установок. Состояние засоления орошаемых почв этого участка до настоящего момента не было изучено. По состоянию на 2018 г. этот участок принадлежит частному фермерскому хозяйству.

Из литературы ([Засоленные..., 2006](#)) известно, что почвы, близко подстилаемые шоколадными глинами, имеют неравномерный тип распределения солей: верхняя часть профиля обычно имеет слабую степень засоления (плотный остаток 0.2–0.4 %), ниже 40–50 см количество солей резко возрастает (плотный остаток 1.5–1.7 %), а на глубине 70–80 см величина плотного остатка достигает 2.5–2.7 %. Сумма токсичных солей с поверхности до 30 см близка к 0, а с глубины 70–200 см составляет 1–1.2 %

[\(Засоленные..., 2006\)](#).

Для обследования были выбраны именно эти участки, поскольку, во-первых, они подвергались орошению в течение длительного времени (1960–1990 гг.) и частично орошались позднее (после 2000-х годов), что позволяет наблюдать динамическое изменение характеристик засоленности почв в условиях длительного орошения. Во-вторых, участки располагаются в сходных климатических условиях, но сильно отличаются геологическим строением и геоморфологией, что представляет интерес с научной точки зрения.

В поле были взяты образцы с участков “Червленое” и “Дубоовражный”. Всего было получено 122 образца, отобранных буром до глубины 2 м послойно с шагом 10–30 см из 11 скважин на участке “Червленое”, и 109 образцов из 10 скважин участка “Дубоовражный”.

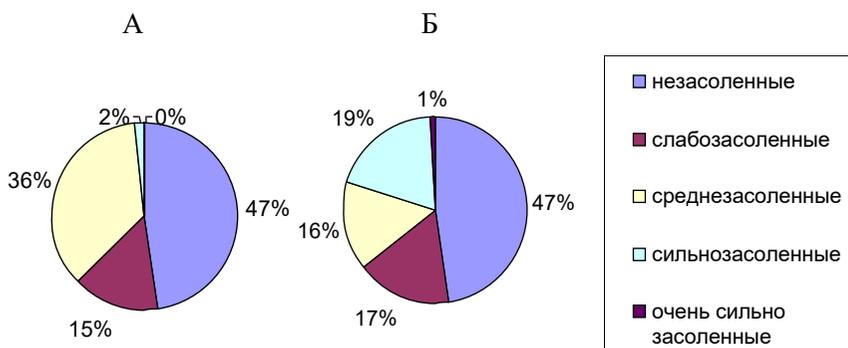
В программе Statistica-6 выполнен 4-факторный дисперсионный анализ ([Searle et al., 1992](#); [Swallow et al., 1984](#)) суммы токсичных солей по водной вытяжке (1 : 5) для участка “Червленое” и для общего массива данных по двум участкам. Для анализа были взяты качественные градации факторов: элемент мезорельефа (выровненная поверхность, пологий выпуклый склон, пологий вогнутый склон, ложбина); растительность/культура (арбузы, лук, капуста, морковь, хлопок, полынь, козлятник и т. д.); зафиксированный в поле характер гранулометрического состава почвообразующих пород (среднесуглинистые и легкосуглинистые, песчаные, хвалынские шоколадные глины); способ орошения (капельный полив, дождевание, отсутствует). Фактор “способ орошения” не используется для участка “Дубоовражный”, так как этот участок целиком орошается капельным способом, для этого участка выполнен 3-факторный дисперсионный анализ.

Построение эмпирических кумулятивных статистических распределений средневзвешенного содержания суммы токсичных солей и круговых диаграмм сделано в пакете программ Excel-2003.

Выделение различных степеней засоления по сумме токсичных солей в зависимости от химизма засоления проводилось по классификации, приведенной в монографии ([Научные..., 2013](#)).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим соотношение (%) образцов по степени засоления, определенной по сумме токсичных солей ( $S_{\text{токс.}}$ , %) с учетом химизма горизонтов (рис. 2). Заметно, что на обоих участках преобладают незасоленные варианты. На участке “Червленое” 36 % составляют средnezасоленные образцы, 15 % – слабозасоленные и всего 2 % – сильнозасоленные образцы, варианты с очень сильным засолением отсутствуют. На участке “Дубоовражный” примерно поровну, 16–19 % составляют соответственно слабо-, средне- и сильнозасоленные образцы, и 1 % – очень сильно засолен.



**Рис. 2.** Соотношение образцов (%) по степени засоления для А) участка “Червленое” ( $N = 122$ ), Б) участка “Дубоовражный” ( $N = 109$ ),  $N$  – количество исследуемых образцов.

**Fig. 2.** The ratio of samples (%) according to the degree of salinity for А) the “Chervlenoe” plot ( $N = 122$ ), Б) “Duboovrazhniy” plot ( $N = 109$ ),  $N$  is the number of samples studied.

Ниже приведены результаты дисперсионного многофакторного анализа для участков “Дубоовражный” (табл. 1), “Червленое” (табл. 2) и общего массива данных (табл. 3) для двух участков.

Красным цветом выделены значимые эффекты ( $p < 0.05$ ),  $MS$  – средний квадрат отклонений для изучаемого фактора,  $F$  – значение критерия Фишера,  $p$  – соответствующий ему уровень значимости.

Вклад каждого фактора рассчитывался по формуле:

$$k = (MS/\Sigma MS)*100 \%$$

**Таблица 1.** Влияние факторов для участка “Дубоовражный”  
**Table 1.** The influence of factors for “Duboovrazhniy” plot

	Степень свободы df	S <sub>токс.</sub> , % MS	Ошиб- ка df	Ошиб- ка MS	F	p
{1}Элемент рельефа	3	0.116	98	0.033	3.469	0.019
{2}Растительность/ культура	3	0.078	98	0.033	2.325	0.079
{3}Породы	4	0.957	98	0.033	28.61	0.000

На участке “Дубоовражный” вклад пород в общую дисперсию составил 83.1 % (хвалынским шоколадным глинам соответствуют значения 0.4–0.6 % суммы токсичных солей, по другим параметрам они не превышают 0.2 %), элементов рельефа – 10 %, вида выращиваемой культуры – 6.9 %.

Аналогично были проведены анализы для участка “Червленое” и всего массива данных по двум участкам с целью выявить влияние различных способов орошения. Для участка “Червленое” (табл. 2) значим только фактор породы, его вклад достигает 84.2 %. Для общего массива из двух участков (табл. 3) вклад способа орошения незначим, пород – 73 %, растительности/культур – 14 %, рельефа – 13 %.

**Таблица 2.** Влияние факторов для участка “Червленое”  
**Table 2.** The influence of factors for “Chervlenoe” plot

	Степень свободы df	S <sub>токс.</sub> , % MS	Ошиб- ка df	Ошиб- ка MS	S <sub>токс.</sub> , % F	S <sub>токс.</sub> , % p
{1}Элемент рельефа	2	0.157	113	0.097	1.622	0.202
{2}Растительность/ культура	5	0.216	113	0.097	2.226	0.056
{3}Породы	1	1.995	113	0.097	20.55	0.000
{4}Способ орошения	0	0.000				

**Таблица 3.** Влияние факторов для обоих участков “Червленое” и “Дубоовражный”

**Table 3.** The influence of factors for the both plots “Chervlenoe” and “Duboovrazhnyi”

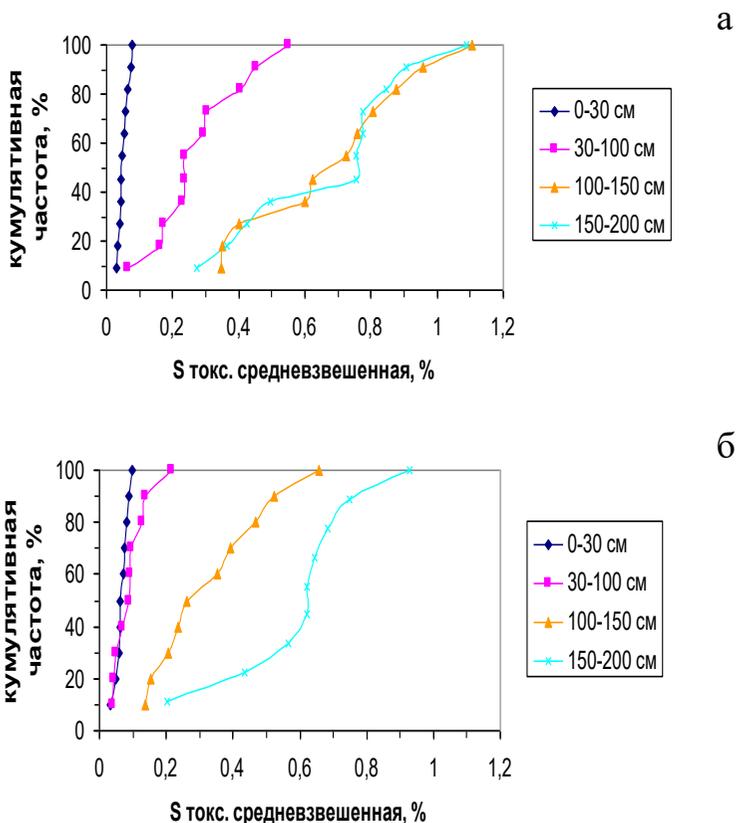
	Степень свободы df	$S_{\text{токс.}}$ % MS	Ошиб-ка df	Ошиб-ка MS	$S_{\text{токс.}}$ % F	$S_{\text{токс.}}$ % p
{1}Элемент рельефа	4	0.204	211	0.067	3.019	0.019
{2}Растительность/ культура	10	0.218	211	0.067	3.231	0.001
{3}Породы	5	1.165	211	0.067	17.25	0.000
{4}Способ орошения	0	0.000				

Для выявления распределения засоления по глубине был проведен анализ кумулятивных кривых средневзвешенной для слоя суммы токсичных солей ( $S_{\text{токс. срвзв.}}$  %) в почве (рис. 3а, 3б) в слоях 0–30 см, 30–100 см, 100–150 см, 150–200 см, (градации глубин взяты из классификации почв по глубине залегания первого от поверхности засоленного горизонта ([Научные... 2013](#)): слой 0–30 см соответствует солончаковым вариантам, 30–100 см – солончаковатым, 100–150 см – глубокосолончаковатым, 150–200 – глубоководзасоленным), который показал различную картину на участке “Дубоовражный” и участке “Червленое”.

Глубина залегания солей не является фактором засоления почв, а, скорее, результатом действия факторов, обуславливающих засоление. Тем не менее, на участке “Дубоовражный” в пределах почвенного профиля на разной глубине вскрываются различные породы (суглинки и шоколадные глины), которые, в свою очередь, могут оказывать влияние на содержание солей на этой глубине. Кроме того, пахотный слой 0–30 см находится в зоне антропогенного воздействия, которое также может влиять на содержание солей в почве.

В слое 0–30 см на обоих участках встречаются незасоленные горизонты с незначительным участием слабозасоленных ( $S_{\text{токс.}}$  не превышает 0.1 %). График для слоя 30–100 см более пологий на участке “Червленое”, что свидетельствует о более высокой частоте встречаемости солончаковатых вариантов. Толща 100–200 см однородна по сумме токсичных солей для участка “Червленое”, но

на участке “Дубоовражный” чаще встречается сильное засоление в слое 150–200 см, что может объясняться подстилением суглинистой толщи хвалынскими шоколадными глинами на этой глубине.



**Рис. 3.** Кумулятивная частота встречаемости различных степеней засоления для диапазонов глубин 0–30 см, 30–100 см, 100–150 см, 150–200 см на участках а) “Червленое”; б) “Дубоовражный”.

**Fig. 3.** The cumulative frequency of occurrence of different degrees of salinization for the depth ranges of 0–30 cm, 30–100 cm, 100–150 cm, 150–200 cm on plots а) “Chervlenoe”; б) “Duboovrazhnyi”.

В настоящее время существует множество способов обработки данных по засоленным почвам, особенно широко распространены графические способы представления данных ([Sharp-Heward et al., 2014](#)), в том числе построение графиков изменения показателей по глубине ([He et al., 2014](#)), площадных карт распределения показателей засоления ([Teartisup et al., 2007](#)), двумерных профилей ([Новикова и др., 2009](#); [Кравченко и др., 2018](#)), моделирование ([Wang et al., 2007](#)). Реже встречаются временные схемы и диаграммы ([Inam et al., 2015](#)), 2-факторный анализ ([Wang et al., 2015](#)). Многофакторный анализ, использованный в данной статье, позволяет выявлять какие из заданных качественных факторов определяют степень засоления почв, выраженную в данном случае суммой токсичных солей. Кроме того, данный анализ дает более широкое представление об исследуемом объекте, и полезную информацию для дальнейших исследований.

## ВЫВОДЫ

На обоих ключевых участках “Червленое” и “Дубоовражный” наибольший вклад в дисперсию суммы токсичных солей вносят почвообразующие породы. На участке “Дубоовражный” значимыми оказались также факторы рельеф и тип выращиваемой культуры. Фактор различных способов орошения незначим, то есть способ орошения этих участков не повлиял на состояние засоленности горизонтов.

Около 50 % всех исследуемых образцов на обоих участках незасолены. На участке “Червленое” 36 % составляют средnezасоленные горизонты, около 20 % имеют слабое засоление. На участке “Дубоовражный” на слабую, среднюю и сильную степень засоления приходится соответственно по 17, 16 и 19 % образцов. Верхний слой 0–30 см на обоих участках незасолен, либо слабозасолен, на участке “Червленое” преобладают солончакватые варианты, на участке “Дубоовражный” подстилающие шоколадные хвалынские глины обуславливают более сильное засоление в слое 150–200 см.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Выражается благодарность сотрудникам Почвенного института имени В.В. Докучаева – Хитрову Н.Б., Гороховой И.Н. – за организацию экспедиционных исследований и помощь в интерпретации результатов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горохова И.Н.* Оценка засоления орошаемых почв Нижнего Поволжья с использованием аэрофотоснимков. Автореф. дис. ... канд. техн. н. М., 1992. 25 с.
2. *Дегтярева Е.Т., Жулидова А.Н.* Почвы Волгоградской области. Волгоград: Нижне-Волжское книжное изд-во, 1970. 319 с.
3. *Доскач А.Г.* Природное районирование Прикаспийской пустыни. М.: Наука, 1979. 141 с.
4. Засоленные почвы России / Отв. редакторы Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова. М.: ИКЦ “Академкнига”, 2006. 853 с.
5. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 247 с.
6. *Ковда В.А.* Моделирование процессов засоления и осолонцевания почв. М.: Наука, 1980. 264 с.
7. *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: [10.19047/0136-1694-2018-94-19-3](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-19-3).
8. *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. Вып. 63. С. 16–24. DOI: [10.19047/0136-1694-2009-63-16-24](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2009-63-16-24).
9. 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.
10. *Панкова Е.И., Новикова А.Ф.* Мелиоративное состояние и вторичное засоление почв орошаемых земель Волгоградской области // Почвоведение. 2004. № 6. С. 731–744.

11. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
12. 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).
13. Inam A., Adamowski J., Halbe J., Prasher S. Using causal loop diagrams for the initialization of stakeholder engagement in soil salinity management in agricultural watersheds in developing countries: a case study in the Rechna Doab watershed, Pakistan // *Journal of environmental management*. 2015. Vol. 152. P. 251–267. DOI: [10.1016/j.jenvman.2015.01.052](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.052).
14. Searle S.R., Casella G, McCulloch C.E. Variance Components. John Wiley and Sons. New York. 1992. 501 p. DOI: [10.1002/9780470316856](https://doi.org/10.1002/9780470316856).
15. Sharp-Heward S., Almond P., Robinson B. Soil disturbance and salinization on a vineyard affected by landscape recontouring in Marlborough, New Zealand // *Catena*. 2014. Vol. 122. P. 170–179. DOI: [10.1016/j.catena.2014.06.022](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.06.022).
16. Swallow W.H., Monahan Monte Carlo J.F. Comparison of ANOVA, MIVQUE, REML, and ML Estimators of Variance Components // *Technometrics*. 1984. Vol. 26. No. 1. P. 47–57. DOI: [10.2307/1268415](https://doi.org/10.2307/1268415).
17. Teartisup P., Kerdsueb P., Wattaya P. Field scale mapping of soil salinity on spatial interpolation techniques, case study: Khorat Basin, Nakhon Ratchasima Province, Thailand. Proc. 6<sup>th</sup> Intern. Conf. on Environmental Informatics. ISEIS. 2007.
18. Wang H., Y. Ping Hsieh, Mark A. Harwell, Huang W. Modeling soil salinity distribution along topographic gradients in tidal salt marshes in Atlantic and Gulf coastal regions // *Ecological Modelling*. 2007. Vol. 201. Issues 3–4. P. 429–439.
19. 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).

## REFERENCES

1. Gorokhova I.N., *Otsenka zasoleniya oroshaemykh pochv Nizhnego Povolzh'ya s ispol'zovaniem aerofotosnimkov. Avtoref. dis. ... kand. techn. n.* (Assessment of salinization of irrigated soils of the Lower Volga region using aerial photographs, Extended abstract of cand. tech. sci. thesis), Moscow, 1992, 25 p.

2. Degtyareva E.T., Zhulidova A.N., *Pochvy Volgogradskoi oblasti* (Soils of the Volgograd region), Volgograd: Nizhne-Volzhskoe knizhnoe izd-vo, 1970, 319 p.
3. Doskach A.G., *Prirodnoe raionirovanie Prikaspiiskoi pustyni* (Natural zoning of the Caspian desert), Moscow: Nauka, 1979, 141 p.
4. Shishov L.L., Pankova E.I. (Eds), *Zasolennye pochvy Rossii* (Saline soils of Russia), Moscow: IKTs "Akademkniga", 2006, 853 p.
5. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* (Classification and soil diagnostics of the USSR), Moscow: Kolos, 1977, 247 p.
6. Kovda V.A., *Modelirovanie protsessov zasoleniya i osolontsevaniya pochv* (Modeling of salinization and soil salinization processes), Moscow: Nauka, 1980, 264 p.
7. 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*, 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).
8. Novikova A.F., Gepin Lo, Konyushkova M.V., Dynamics of salinization – desalinization of soils in the "Chervlenoe" plot of the Svetloyarsk irrigation system in the irrigation and post-irrigation periods, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2009, Vol. 63, pp. 16–24, DOI: [10.19047/0136-1694-2009-63-16-24](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2009-63-16-24).
9. *Nauchnye osnovy predotvrashcheniya degradatsii pochv (zemel') sel'skokhozyaistvennykh ugodii Rossii i formirovaniya sistem vosпроизводства ikh plodorodiya v adaptivno-landshaftnom zemledelii: T.I. Teoreticheskie i metodicheskie osnovy predotvrashcheniya degradatsii pochv (zemel') sel'skokhozyaistvennykh ugodii* (The scientific basis for preventing the degradation of soils (lands) 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 the degradation of soils (lands) of agricultural land. Collective monograph), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2013, 756 p.
10. Pankova E.I., Novikova A.F., Meliorativnoe sostoyanie i vtorichnoe zasolenie pochv oroshaemykh zemel' Volgogradskoi oblasti (Reclamation status and secondary salinization of soils of irrigated lands of the Volgograd region), *Pochvovedenie*, 2004, No. 6, pp. 731–744.
11. *Polevoi opredelitel' pochv Rossii* (Field reference-book of Russian soils), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2008, 182 p.
12. 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).

13. Inam A., Adamowski J., Halbe J., Prasher S., Using causal loop diagrams for the initialization of stakeholder engagement in soil salinity management in agricultural watersheds in developing countries: a case study in the Rechna Doab watershed, Pakistan, *Journal of environmental management*, 2015, Vol. 152, pp. 251–267, DOI: [10.1016/j.jenvman.2015.01.052](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.052).
14. Searle S.R., Casella G, McCulloch C.E., Variance Components, John Wiley and Sons, New York, 1992, 501 p., DOI: [10.1002/9780470316856](https://doi.org/10.1002/9780470316856).
15. Sharp-Heward S., Almond P., Robinson B., Soil disturbance and salinisation on a vineyard affected by landscape recontouring in Marlborough, New Zealand, *Catena*, 2014, Vol. 122, pp. 170–179, DOI: [10.1016/j.catena.2014.06.022](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.06.022).
16. Swallow W.H., Monahan Monte Carlo J.F., Comparison of ANOVA, MIVQUE, REML, and ML Estimators of Variance Components, *Technometrics*, 1984, Vol. 26, No. 1, pp. 47–57, DOI: [10.2307/1268415](https://doi.org/10.2307/1268415).
17. Teartisup P., Kerdsueb P., Wattaya P., Field scale mapping of soil salinity on spatial interpolation techniques, case study: Khorat Basin, Nakhon Ratchasima Province, Thailand, *Proc. 6<sup>th</sup> Intern. Conf. on Environmental Informatics*, ISEIS, 2007.
18. Wang H., Y. Ping Hsieh, Mark A. Harwell, Huang W., Modeling soil salinity distribution along topographic gradients in tidal salt marshes in Atlantic and Gulf coastal regions, *Ecological Modelling*, 2007. Vol. 201, Issues 3–4, pp. 429–439.
19. 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).