

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.67:631.445.4

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-1-14

Трансформация чернозема обыкновенного при длительном орошении слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава

Ольга Юрьевна Шалашова, Иван Петрович Рубцов

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск,
Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Ольга Юрьевна Шалашова, Protgts@rambler.ru

Аннотация. Цель: определить влияние слабоминерализованной воды сульфатно-натриевого состава на свойства чернозема обыкновенного на Миусской оросительной системе при различных условиях освоения земель. **Материалы и методы.** Исследования проводились в Неклиновском районе Ростовской области на черноземах обыкновенных. Выбраны три участка: неорошаемый, орошаемый зернокартковой севооборот с ежегодными оросительными нормами 1500–2500 м³/га и орошаемый овощной севооборот с ежегодными оросительными нормами 3000–4000 м³/га. Орошение данных севооборотов проводится в течение более 20 лет. Источник орошения – Миусский лиман. Образцы почв отбирались осенью, в них определялись: состав водорастворимых солей, рН водной вытяжки, поглощенные основания, водопрочность агрегатов, гумус. Отбор образцов почв, их анализ и оценка проведены по общепринятым методикам. **Результаты.** Длительное орошение слабоминерализованной (1,3–1,7 г/дм³) водой сульфатно-натриевого состава отрицательно влияет на свойства чернозема обыкновенного (химизм засоления из сульфатного трансформируется в хлоридно-сульфатный). По степени засоления черноземы остаются незасоленными, но количество солей возрастает почти в 2 раза по всему почвенному профилю из-за вымывания их вглубь осенне-зимними осадками. Почвы несолонцеватые трансформируются в солонцеватые с различной степенью содержания поглощенного натрия в слое 0–60 см: 5 % (зернокартковой севооборот) и 7–12 % от суммы почвенного поглощающего комплекса (овощной севооборот). Потери кальция в слое 0–60 см от 14 до 18–22 % соответственно. **Выводы.** Солонцеватость чернозема, возникающая при длительном орошении слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава, в целом влияет на плодородие почв. Об этом свидетельствуют тесные связи между гумусом и количеством обменного натрия в почве ($R^2 = 0,84$), между водопрочностью агрегатов и количеством обменного натрия в почве ($R^2 = 0,89$).

Ключевые слова: почва, орошение, вода, трансформация, мелиорация

Для цитирования: Шалашова О. Ю., Рубцов И. П. Трансформация чернозема обыкновенного при длительном орошении слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 3. С. 1–14. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-1-14>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Transformation of ordinary chernozem during long-term irrigation with low-mineralized sulfate-sodium water

Olga Yu. Shalashova, Ivan P. Rubtsov

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

Corresponding author: Olga Yu. Shalashova, Protgts@rambler.ru

Abstract. Purpose: to determine the impact of low-mineralized sulfate-sodium water on ordinary chernozem properties in the Miuskaya irrigation system under various conditions of land reclamation. **Materials and methods.** The studies were carried out in Neklinovsky district Rostov region on ordinary chernozems. Three plots have been selected: non-irrigated, irrigated grain fodder crop rotation with annual irrigation rates of 1500–2500 m³/ha and irrigated vegetable crop rotation with annual irrigation rates of 3000–4000 m³/ha. Irrigation of these crop rotations has been carried out for more than 20 years. Irrigation source is the Miusky liman. Soil samples were taken in autumn, and the composition of water-soluble salts, pH of water extract, absorbed bases, aggregate water resistance, and humus were determined in them. The selection of soil samples, their analysis and evaluation were carried out according to generally accepted methods. **Results.** Long-term irrigation with low-mineralized (1.3–1.7 g/dm³) sulfate-sodium water adversely affects the ordinary chernozem properties (the chemistry of salinity from sulfate transforms into chloride-sulfate). According to the degree of salinity, chernozems remain non-saline, but the amount of salts increases by almost 2 times over the entire soil profile due to their washing deep into the autumn-winter precipitation. Non salt soils are transformed into solonchaks with varying degrees of absorbed sodium content in the 0–60 cm layer: 5 % (grain fodder crop rotation) and 7–12 % of the total soil absorption complex (vegetable crop rotation). Calcium loss in the 0–60 cm layer is from 14 to 18–22 %, respectively. **Conclusions.** The alkalinity of chernozem, which occurs during long-term irrigation with low-mineralized sulfate-sodium water, generally affects soil fertility. This is evidenced by the close relationship between humus and the amount of exchangeable sodium in soil ($R^2 = 0.84$), between the aggregate water resistance and the amount of exchangeable sodium in soil ($R^2 = 0.89$).

Keywords: soil, irrigation, water, transformation, reclamation

For citation: Shalashova O. Yu., Rubtsov I. P. Transformation of ordinary chernozem during long-term irrigation with low-mineralized sulfate-sodium water. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(3):1–14. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-1-14>.

Введение. Орошение является эффективным мелиоративным приемом, устраняющим дефицит влаги, что обеспечивает благоприятные условия для развития сельскохозяйственных культур. Вследствие дефицита атмосферных осадков в ряде регионов без развития орошаемого земледелия невозможно создать высокоэффективные агроландшафты [1].

Необходимость орошения доказана и в регионах с высокой степенью обеспеченности осадками, но с неравномерностью их распространения, особенно в вегетационный период [2–7].

По данным статистических наблюдений в РФ, во всех категориях земель имелось 11,2 млн га мелиорированных земель, из них 9,3 млн га сель-

хозугодий. Орошаемые земли составляют 4,6 млн га, а осушаемые – 4,7 млн га. Хорошее мелиоративное состояние наблюдалось на площади 3,0 млн га сельхозугодий, удовлетворительное – на 3,6 млн га и неудовлетворительное – на 2,8 млн га [8]. Общая площадь орошаемых земель на 01.01.2021 составляет 4614,3 тыс. га, из них имеют хорошее мелиоративное состояние 2142,6 тыс. га, удовлетворительное – 1356,2 тыс. га и неудовлетворительное – 1115,5 тыс. га [8].

Но орошение по-разному влияет на свойства почв. Состояние орошаемых земель значительно ухудшается при подъеме уровня грунтовых вод к поверхности и увеличении степени засоления и солонцеватости почв. В общей площади орошаемых земель их доля составляет 18 % [9].

Так, в работе В. Г. Мамонтова доказано, что длительное орошение пресной водой гидрокарбонатно-кальциевого состава не оказало существенного влияния на качественный и количественный состав водорастворимых солей, но в то же время произошло незначительное уменьшение содержания обменного кальция.

На темно-каштановых почвах, орошаемых минерализованными водами, уже через 3–4 года ирригация приводит к засолению и осолонцеванию разной степени [10]. Оросительные минерализованные воды служат фактором вторичного засоления и осолонцевания черноземов обыкновенных [11]. Однако при промывном водном режиме орошение такими водами не приводит к засолению, не вызывает вторичное осолонцевание [12].

Многие ученые доказали, что состав солей, накапливаемых в почвах, определяется в первую очередь химизмом поливной воды, так как последствия вторичного засоления устранить легче, чем последствия осолонцевания [13]. Но в каждом конкретном случае влияние оросительной воды на почву определяется условиями дренирования орошаемого массива, техническим состоянием оросительной сети, уровнем залегания грунтовых вод, климатическими показателями, свойствами почв, условиями освоения земель, ирригационными качествами почв.

Цель исследования – определить влияние слабоминерализованной воды сульфатно-натриевого состава на свойства чернозема обыкновенного на Миусской оросительной системе при различных условиях освоения земель.

Материалы и методы. Исследования проводились в ООО «Прогресс» Неклиновского района Ростовской области на черноземах обыкновенных. Выбраны три участка с различным освоением этих почв: неорошаемый (без поливов), орошаемый зернокартковой севооборот с ежегодными оросительными нормами 1500–2500 м³/га и орошаемый овощной севооборот с ежегодными оросительными нормами 3000–4000 м³/га. Орошение данных севооборотов проводится более 30 лет. Источник орошения – лиман, вода слабоминерализованная (1,3–1,7 г/дм³) сульфатно-натриевого состава.

Образцы почв отбирались осенью после уборки урожая в трехкратной повторности с последующим смешиванием в единый образец.

Для установления негативных свойств почв, возникающих под воздействием воды неблагоприятного качества, образцы почв отбирались по слоям 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100, 100–130, 130–160, 160–200, 200–250, 250–300 см.

Почвенные образцы подвергнуты следующим видам анализов:

- состав водорастворимых солей^{1, 2, 3, 4, 5};

¹ГОСТ 26424-85. Почвы. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

²ГОСТ 26426-85. Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

³ГОСТ 26427-85. Почвы. Метод определения натрия и калия в водной вытяжке [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁴ГОСТ 26425-85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁵ГОСТ 26428-85. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

- водородный показатель (рН) водной вытяжки⁶;
- поглощенные основания – Ca, Mg, Na^{7, 8};
- гумус⁹;
- водопрочность агрегатов методом Н. И. Саввинова¹⁰.

Отбор образцов почв и их анализ проведены по общепринятым стандартным методикам. Оценка свойств чернозема осуществлена по общепринятым классификациям [14].

Результаты и обсуждения. При воздействии минерализованных вод на почвы в первую очередь изменяются физико-химические свойства, которые характеризуются засолением, щелочностью, солонцеватостью. Это наглядно представлено в таблице 1, в которой показаны изменения черноземов обыкновенных при различных водных нагрузках, обусловленных освоением земель в зернокармликовых и овощных севооборотах, в сравнении с неорошаемыми.

Таблица 1 – Физико-химические свойства черноземов обыкновенных
Table 1 – Physical and chemical properties of ordinary chernozems

Слой, см	Химизм засоления	Σ солей, %	Степень засоления	Щелочность	рН	Степень щелочности
1	2	3	4	5	6	7
Неорошаемый чернозем						
0–20	SO ₄	0,08	незасоленные	Ca > HCO ₃	7,4	нещелочные
20–40	SO ₄	0,07	незасоленные	Ca > HCO ₃	7,5	нещелочные
40–60	SO ₄	0,06	незасоленные	Ca > HCO ₃	7,6	нещелочные
60–80	SO ₄	0,06	незасоленные	Ca > HCO ₃	7,2	нещелочные
80–100	SO ₄	0,06	незасоленные	Ca > HCO ₃	7,3	нещелочные

⁶ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. Введ. 1986-01-01. М.: Стандартиформ, 2011. 4 с.

⁷ГОСТ 26487-85. Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО [Электронный ресурс]. Введ. 1986-07-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁸ГОСТ 26950-86. Метод определения обменного натрия [Электронный ресурс]. Введ. 1987-07-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁹ГОСТ 26213-91. Методы определения органического вещества [Электронный ресурс]. Введ. 1993-07-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

¹⁰Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3	4	5	6	7
100–130	SO ₄	0,05	незасоленные	Ca > HCO ₃	7,4	нещелочные
130–160	Cl-SO ₄	0,07	незасоленные	Ca > HCO ₃	7,4	нещелочные
160–200	Cl-SO ₄	0,06	незасоленные	Ca > HCO ₃	7,5	нещелочные
200–250	Cl-SO ₄	0,07	незасоленные	0,28	7,3	нещелочные
250–300	Cl-SO ₄	0,07	незасоленные	0,44	7,2	нещелочные
Орошаемый более 30 лет чернозем, зернокармовой севооборот						
0–20	Cl-SO ₄	0,112	незасоленные	0,44	8,3	следы щелочности
20–40	Cl-SO ₄	0,112	незасоленные	0,16	8,0	следы щелочности
40–60	Cl-SO ₄	0,140	незасоленные	0,24	8,09	следы щелочности
60–80	Cl-SO ₄	0,164	незасоленные	0,28	8,07	следы щелочности
80–100	SO ₄	0,128	незасоленные	0,71	8,3	слабощелочные
100–130	SO ₄	0,160	незасоленные	0,70	8,3	слабощелочные
130–160	SO ₄	0,156	незасоленные	0,36	8,0	слабощелочные
160–200	Cl-SO ₄	0,111	незасоленные	0,36	7,9	следы щелочности
200–250	SO ₄	0,106	незасоленные	0,28	7,4	следы щелочности
250–300	SO ₄	0,122	незасоленные	0,24	7,6	следы щелочности
Орошаемый более 30 лет чернозем обыкновенный деградированный, овощной севооборот						
0–20	Cl-SO ₄	0,094	незасоленные	0,28	7,76	нещелочные
20–40	Cl-SO ₄	0,097	незасоленные	0,42	8,04	следы щелочности
40–60	Cl-SO ₄	0,107	незасоленные	0,52	8,01	следы щелочности
60–80	Cl-SO ₄	0,118	незасоленные	0,84	8,28	слабощелочные
80–100	Cl-SO ₄	0,154	незасоленные	1,26	8,52	среднещелочные
Солонцовые пятна						
0–20	Cl-SO ₄	0,173	незасоленные	1,28	8,34	среднещелочные
20–40	Cl-SO ₄	0,136	слабозасоленные	1,35	8,48	среднещелочные
40–60	Cl-SO ₄	0,165	незасоленные	1,43	8,45	среднещелочные
60–80	Cl-SO ₄	0,147	незасоленные	1,52	8,50	среднещелочные
80–100	Cl-SO ₄	0,157	незасоленные	1,56	8,53	среднещелочные
Примечание – Тип засоления: SO ₄ – сульфатный, Cl-SO ₄ – хлоридно-сульфатный.						

На орошаемых черноземах, где возделывались в основном зерновые и кормовые культуры, степень засоления почв почти не изменилась. Они

по-прежнему относятся к категории незасоленных почв. Однако в верхнем 80-сантиметровом слое сульфатный (SO_4) химизм засоления трансформировался под воздействием слабоминерализованной воды в хлоридно-сульфатный (Cl-SO_4), а общее содержание солей возросло по профилю почв практически в 1,5–2,0 раза, даже глубже 1 м, что вызвано их выщелачиванием вглубь.

Особую озабоченность вызывает трансформация черноземов под воздействием слабоминерализованных вод при освоении севооборотов с преобладанием овощных культур. Высокие водные нагрузки и отсутствие в таких севооборотах почвозащитных многолетних трав приводят в первую очередь к образованию комплексного покрова, характеризующегося как различным содержанием водорастворимых солей, так и недонасыщенностью почвенного поглощающего комплекса (ППК) кальцием и разным количеством поглощенных натрия и магния. Среди почвенного покрова выделяются белесые солонцовые пятна. Так, на участках с овощным севооборотом среднее содержание солей в черноземе деградированном в метровом слое составляло 0,114 %, а на солонцовом пятне – 0,176 %, хотя почвы по степени засоления остаются практически незасоленными.

На солонцовых пятнах в большей степени проявляется щелочность, по всему метровому слою здесь образовались среднещелочные почвы. На зональной почве слабая щелочность наблюдалась только с глубины 60 см, а в верхних слоях обнаружены только ее следы.

На неорошаемом черноземе количество солей в среднем по метровому слою составило 0,07 %, в орошаемом зерновом севообороте – 0,13 %. Травы, выращенные в этом севообороте, способствовали выщелачиванию солей, поступающих с оросительной водой, вглубь. Они обнаружены в количестве 0,160–0,156 % в слоях соответственно 130–160 и 160–200 см. Но в целом чернозем, осваиваемый в зернокармном севообороте, при хлоридно-сульфатном типе засоления остался незасоленным, но в то же время

в 60-сантиметровом слое обнаруживаются следы щелочности, а глубже чернозем по степени щелочности стал относиться к слабощелочным разновидностям. При этом на неорошаемом участке почвы по всему профилю имеют категорию «нещелочные».

В почвах, орошаемых слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава, в наибольшей степени перестраивается ППК, т. к. почвенный раствор насыщается натрием (Na), который вытесняет кальций (Ca) из ППК. В результате этого на орошаемом массиве черноземы несолонцеватые (неорошаемые) трансформируются в разновидности солонцеватых почв (таблица 2).

Таблица 2 – Состав почвенного поглощающего комплекса черноземов обыкновенных

Table 2 – The composition of soil absorption complex of ordinary chernozems

Слой, см	% от ΣППК			Степень солонцеватости по Na
	Ca	Mg	Na	
1	2	3	4	5
Неорошаемый чернозем				
0–20	83	16	1	несолонцеватые
20–40	82	17	1	несолонцеватые
40–60	81	18	1	несолонцеватые
60–80	80	19	1	несолонцеватые
80–100	77	22	1	несолонцеватые
100–130	71	27	2	несолонцеватые
130–160	63	35	2	несолонцеватые
160–200	62	36	2	несолонцеватые
Орошаемый более 30 лет чернозем, зернокармной севооборот				
0–20	72	25	5	слабосолонцеватые
20–40	71	24	5	слабосолонцеватые
40–60	70	25	5	слабосолонцеватые
60–80	71	25	4	несолонцеватые
80–100	73	24	3	несолонцеватые
100–130	71	26	3	несолонцеватые
130–160	62	35	3	несолонцеватые
160–200	61	36	3	несолонцеватые
Орошаемый более 30 лет чернозем обыкновенный деградированный, овощной севооборот				
0–20	70	24	6	слабосолонцеватые
20–40	69	24	7	слабосолонцеватые
40–60	66	26	8	слабосолонцеватые

Продолжение таблицы 2

Table 2 continued

1	2	3	4	5
60–80	70	25	5	слабосолонцеватые
80–100	71	25	4	несолонцеватые
Солонцовые пятна				
0–20	64	24	12	среднесолонцеватые
20–40	63	25	12	среднесолонцеватые
40–60	65	22	10	среднесолонцеватые
60–80	67	25	8	слабосолонцеватые
80–100	69	26	5	слабосолонцеватые

В зернокармальных севооборотах, где оросительные нормы не превышают 2000–2500 м³/га, черноземы приобретают свойства слабосолонцеватых почв только в слое 0–60 см, глубже они остаются несолонцеватыми. В то же время в верхних слоях проявляется магниевая солонцеватость, при которой количество обменного (поглощенного) магния (Mg) увеличивается до 23–25 % от Σ ППК. Одновременно уменьшается количество кальция. Его потери в слое 0–60 см по сравнению с неорошаемым аналогом составляют 14 %.

Еще более усугубляется ситуация по составу ППК при освоении черноземов в овощных севооборотах, где водные нагрузки возрастают в 1,5–2,0 раза по сравнению с зернокармальными севооборотами. Здесь обнаруживается комплексность покрова не только в накоплении солей и образовании щелочности, но и в проявлении натриевой и магниевой солонцеватости, а также в недонасыщенности почв кальцием.

Как видно из данных таблицы 2, в черноземах, осваиваемых в зернокармальных севооборотах, содержание поглощенного натрия уже составило в 60-сантиметровом слое 7 % от Σ ППК, в то время как в неорошаемом черноземе его количество не превысило 1 % от Σ ППК. Кроме этого, высокие оросительные нормы в этом севообороте поспособствовали осолонцеванию всего метрового слоя с накоплением магния и потерями кальция. В слое 0–60 см они составили 18 % по сравнению с неорошаемыми массивами.

На солонцеватых пятнах количество поглощенного Na в 60-сантиметровом слое составило 11 % от Σ ППК, а содержание поглощенного Mg превысило 20 %, что свидетельствует о развитии магниевой солонцеватости. Потери кальция на пятнах в слое 0–60 см уже составили 22 % по сравнению с черноземом, который не орошается.

Кальций называют «стражем плодородия», поэтому предотвратить его потери – основная задача землепользователей. На рисунке 1 показаны потери Ca в зависимости от освоения черноземов, орошаемых слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава, в сравнении с неорошаемыми.

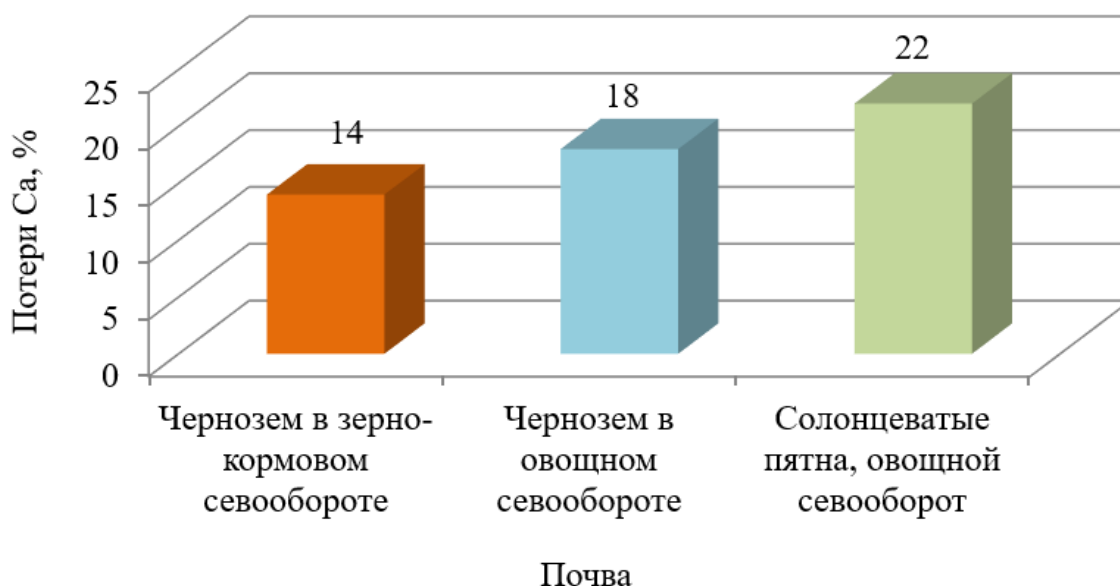


Рисунок 1 – Потери кальция в зависимости от освоения орошаемых черноземов в сравнении с неорошаемыми
Figure 1 – Calcium loss depending on irrigated chernozem reclamation in comparison with non-irrigated ones

Солонцеватость почв в сильной степени влияет в целом на их плодородие. Об этом свидетельствуют зависимости, полученные нами для количества обменного натрия и содержания гумуса в почве. Органическое вещество, в свою очередь, обеспечивает питательный режим в почве и влияет на водопрочность агрегатов, от содержания которых зависит структурное состояние земель (рисунки 2, 3).

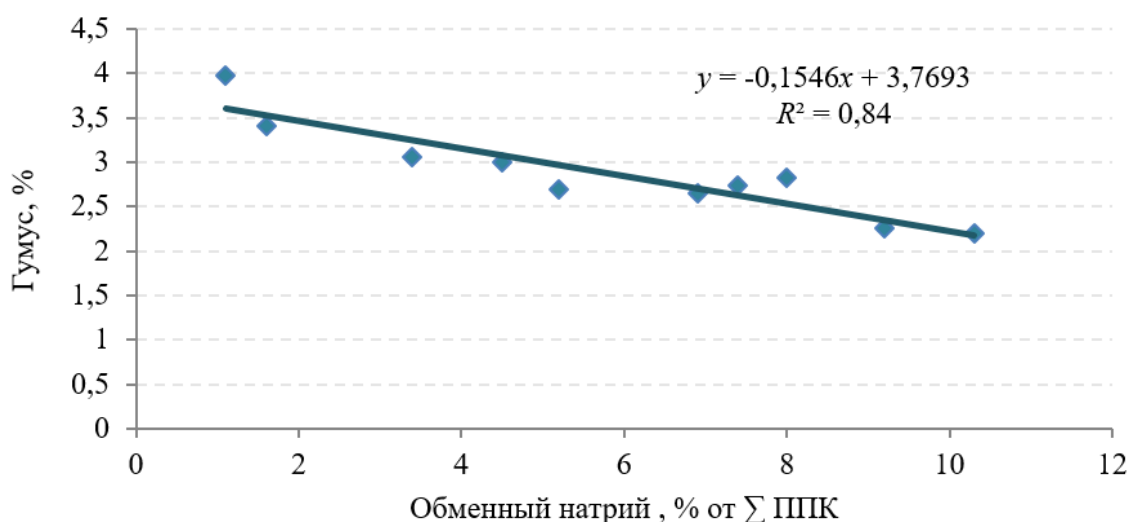


Рисунок 2 – Зависимость содержания гумуса от количества обменного натрия в почве

Figure 2 – Dependence of humus content on the amount of exchangeable sodium in soil

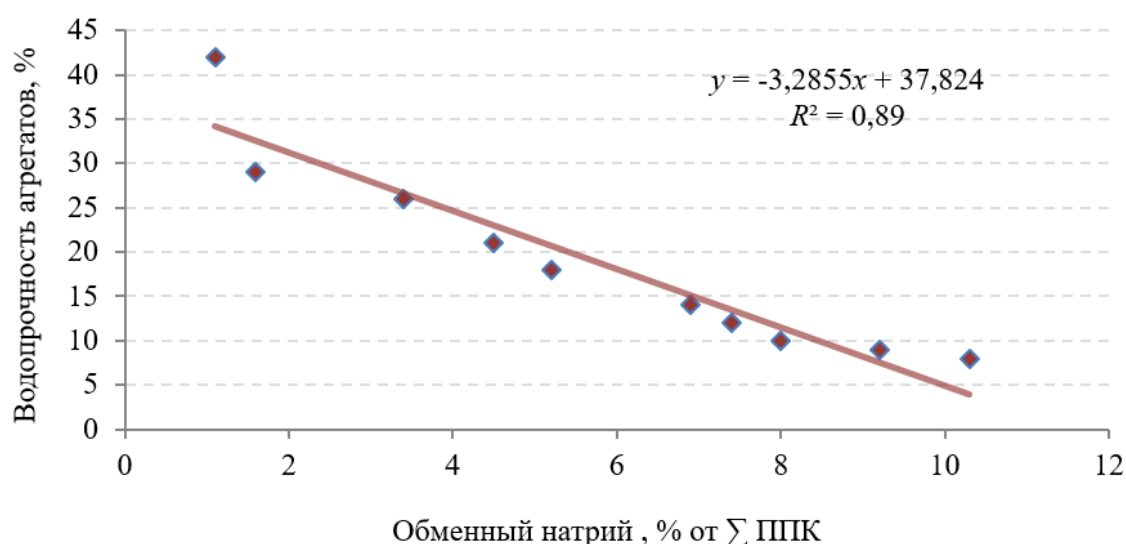


Рисунок 3 – Зависимость содержания водопрочных агрегатов от количества обменного натрия в почве

Figure 3 – Dependence of water-stable aggregate content on the amount of exchangeable sodium in soil

Выводы. Длительное орошение слабоминерализованной (1,3–1,7 г/дм³) водой сульфатно-натриевого состава отрицательно влияет на свойства чернозема обыкновенного, а именно: химизм засоления из сульфатного трансформируется в хлоридно-сульфатный. Согласно данным о степени засоления, черноземы остаются незасоленными, но количество солей воз-

растает почти в 2 раза по всему почвенному профилю из-за вымывания их вглубь осенне-зимними осадками.

Почвы несолонцеватые трансформируются в солонцеватые различной степени. Содержание поглощенного натрия в 60-сантиметровом слое чернозема составляет 5 % (зернокармликовой севооборот) и 7–12 % от Σ ППК на черноземе и солонцовых пятнах (овощной севооборот).

Потери кальция в слое 0–60 см составляют от 14 до 18–22 % соответственно.

Солонцеватость чернозема, возникающая при длительном орошении слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава, в целом влияет на плодородие почв. Об этом свидетельствуют зависимости между гумусом и количеством обменного натрия в почве ($R^2 = 0,84$) и между водопрочностью агрегатов ($R^2 = 0,89$) и количеством обменного натрия в почве.

Список источников

1. Панов Н. П., Мамонтов В. Г. Почвенные процессы в орошаемых черноземах и каштановых почвах и пути предотвращения их деградации. М., 2001. 253 с.
2. Демин А. П. Изменение состояния орошаемых земель России в 1990–2018 годах // Главный агроном. 2021. № 2. С. 27–31.
3. Щедрин В. Н., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Негативные почвенные процессы при регулярном орошении различных типов почв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 2(30). С. 1–21. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=926> (дата обращения: 15.04.2022).
4. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: информ. изд. М.: Росинформагротех, 2020. 304 с.
5. Кирейчева Л. В., Юрченко И. Ф., Яшин В. М. Научные основы создания и управления мелиоративными системами в России / под ред. Л. В. Кирейчевой. М.: ВНИИ агрохимии, 2017. 296 с.
6. Al-Zu'bi Y. Effect of irrigation water on agricultural soil in Jordan valley: An example from arid area conditions // Journal of Arid Environments. 2007. № 7. P. 63–79. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.01.001>.
7. Efficient irrigation of maize through soil moisture monitoring and modeling / M. Camporese, S. J. Gumiere, M. Putti, G. Botter // Front. Water. 2021. № 3. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.627551>.
8. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2021 году. М.: Росинформагротех, 2022. 404 с.
9. Бенин Д. М., Снежко В. Л. Оценка состояния земель мелиоративных систем методом кластерного анализа // Вестник Евразийской науки [Электронный ресурс]. 2019. Т. 11, № 4. С. 1–11. URL: <https://esj.today/51SAVN419.html> (дата обращения: 20.03.2022).

10. Синицына Н. Е., Павлова Т. И., Мохонько Ю. М. Оценка агромелиоративных и экологических приемов воспроизводства плодородия орошаемых почв засушливого Поволжья: монография / Минсельхоз России, Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова. Саратов, 2012. 102 с.

11. Скуратов Н. С., Докучаева Л. М., Шалашова О. Ю. Использование и охрана орошаемых черноземов. М.: Мелиоводинформ, 2001. 246 с.

12. Андреев Г. И., Козлечков Г. А. Экологическое состояние орошаемых почв на Нижнем Дону. Ростов н/Д., 2007. 262 с.

13. Бабищев А. Н., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Факторы, усиливающие отрицательное воздействие длительного орошения на свойства чернозема обыкновенного // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2020. № 4(40). С. 1–22. URL: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=1156> (дата обращения: 20.03.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-1-22.

14. Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, О. Ю. Шалашова, Г. И. Табала; под ред. В. Н. Щедрина. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. 137 с.

References

1. Panov N.P., Mamontov V.G., 2001. *Pochvennyye protsessy v oroshaemykh chernozemakh i kashtanovykh pochvakh i puti predotvrashcheniya ikh degradatsii* [Soil Processes in Irrigated Chernozems and Chestnut Soils and Ways to Prevent Their Degradation]. Moscow, 253 p. (In Russian).

2. Demin A.P., 2021. *Izmenenie sostoyaniya oroshaemykh zemel' Rossii v 1990–2018 godakh* [Change in the state of irrigated lands in Russia in 1990–2018]. *Glavnyy agronom* [Chief Agronomist], no. 2, pp. 27–31. (In Russian).

3. Shchedrin V.N., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., 2018. [Negative soil processes during regular irrigation of various soil types]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(30), pp. 1–21, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=926> [accessed 15.04.2022]. (In Russian).

4. *Meliorativnyy kompleks Rossiyskoy Federatsii: inform. izd.* [Reclamation Complex of the Russian Federation: inform. ed.]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2020, 304 p. (In Russian).

5. Kireycheva L.V., Yurchenko I.F., Yashin V.M., 2017. *Nauchnye osnovy sozdaniya i upravleniya meliorativnymi sistemami v Rossii* [Scientific Basics of Creation and Management of Reclamation Systems in Russia]. Moscow, All-Russia Research Institute of Agrochemistry Publ., 296 p. (In Russian).

6. Al-Zu'bi Y., 2007. Effect of irrigation water on agricultural soil in Jordan valley: An example from arid area conditions. *Journal of Arid Environments*, no. 7, pp. 63–79, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.01.001>.

7. Camporese M., Gumiere S.J., Putti M., Botter G., 2021. Efficient irrigation of maize through soil moisture monitoring and modeling. *Front. Water*, no. 3, <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.627551>.

8. *Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Rossiyskoy Federatsii v 2021 godu* [Report on the State and Use of Agricultural Land of the Russian Federation in 2021]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2022, 404 p. (In Russian).

9. Benin D.M., Snezhko V.L., 2019. *Otsenka sostoyaniya zemel' meliorativnykh sistem metodom klasternogo analiza* [Assessment of land reclamation systems by cluster analysis methods]. *Vestnik Yevraziyskoy nauki* [Bulletin of Eurasian Science], vol. 11, no. 4, pp. 1–11, available: <https://esj.today/51SAVN419.html> [accessed 20.03.2022]. (In Russian).

10. Sinitsyna N.E., Pavlova T.I., Mokhonko Yu.N., 2012. *Otsenka agromeliorativnykh*

i ekologicheskikh priemov vosproizvodstva plodorodiya oroshaemykh pochv zasushlivogo Povolzh'ya: monografiya [Evaluation of Agro-reclamation and Ecological Methods of Reproduction of the Fertility of Irrigated Soils of the Arid Volga Region: monograph]. Ministry of Agriculture of Russia, Saratov GAU named after N.I. Vavilov, Saratov, 102 p. (In Russian).

11. Skuratov N.S., Dokuchaeva L.M., Shalashova O.Yu., 2001. *Ispol'zovanie i okhrana oroshaemykh chernozemov* [Use and Protection of Irrigated Chernozems]. Moscow, Meli-ovodinform Publ., 246 p. (In Russian).

12. Andreev G.I., Kozlechkov G.A., 2007. *Ekologicheskoe sostoyanie oroshaemykh pochv na Nizhnem Donu* [Ecological State of Irrigated Soils in the Lower Don]. Rostov-on-Don, 262 p. (In Russian).

13. Babichev A.N., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., 2020. [Factors enhancing the adverse effects of long-term irrigation on the ordinary chernozem properties]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 4(40), pp. 1-22, available: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=1156> [accessed 20.03.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-1-22. (In Russian).

14. Shchedrin V.N., Balakay G.T., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., Shalashova O.Yu., Tabala G.I., 2017. *Rukovodstvo po kontrolyu i regulirovaniyu pochvennogo plodorodiya oroshaemykh zemel'* [Guidelines for Control and Regulation of Soil Fertility of Irrigated Lands]. Novocherkassk, RosNIIPM, 137 p. (In Russian).

Информация об авторах

О. Ю. Шалашова – доцент кафедры экологических технологий природопользования, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Protgts@rambler.ru

И. П. Рубцов – аспирант, Protgts@rambler.ru

Information about the authors

O. Yu. Shalashova – Associate Professor of the Department of Environmental Technologies of Nature Management, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Protgts@rambler.ru

I. P. Rubtsov – Postgraduate Student, Protgts@rambler.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.04.2022; одобрена после рецензирования 09.06.2022; принята к публикации 27.06.2022.

The article was submitted 20.04.2022; approved after reviewing 09.06.2022; accepted for publication 27.06.2022.