

РОЛЬ МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Научная статья
УДК 631.445.52

Адаптация отечественной модели расчета промывных норм к международной классификации засоленности почвы

Наргиза Хусанбаевна Жураева¹, Юлия Илларионовна Широкова²,
Гаухарай Калбаевна Палуашова³

^{1, 2, 3}Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент,
Республика Узбекистан

¹Juraevanargiz885@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-5148-6913>

²yulia_bonn@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5455-877X>

³gavhar2005@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7380-8367>

Аннотация. **Цель:** научно-экспериментальное обоснование применения (адаптации) отечественной формулы А. Е. Нерозина для расчета промывных норм с использованием оценки засоленных земель по классификации ФАО по электропроводности. **Материалы и методы:** база данных экспериментальных исследований, статистическая обработка данных, эмпирические уравнения, уточнение коэффициентов выщелачивания солей. **Результаты:** в отечественной мелиоративной науке разработано много зависимостей для определения промывных норм. Почти все формулы учитывают такие свойства почв, как объемная масса почвы, предельно полевая влагоемкость почвы влажность почвы перед промывкой. В формулах А. Н. Костякова, Л. П. Розова, С. Ф. Аверьянова, А. Е. Нерозина промывная норма состоит из части воды для насыщения почвы (для растворения солей) и части на вытеснение солей из почвы. Методика ФАО для расчета норм промывки с помощью балансовой модели учитывает выщелачивание солей по снижению электрической проводимости EC_e насыщенного почвенного экстракта в соответствии с международной классификацией оценки засоления почв. В формуле А. Е. Нерозина выщелачивание солей учитывается по содержанию хлор-иона, вымываемого из слоя почвы 1 куб. м воды. В настоящее время регулярно орошаемые почвы Узбекистана в основном содержат невысокое количество хлора (почвы засолены сульфатными токсичными солями магния и натрия, тип засоления сульфатный и хлоридно-сульфатный. Установлена возможность использования уточненных коэффициентов выщелачивания солей по EC_e двумя методами. путем конвертации коэффициента K выщелачивания хлора в таблице А. Е. Нерозина и с применением эмпирического уравнения удельных затрат воды на снижение засоления почвы на 1 dS/m. **Выводы.** На основе имеющейся базы экспериментальных данных по промывкам отечественная модель А. Е. Нерозина для расчета норм промывки, соответствующая модели ФАО по учитываемым параметрам почвы (влажность, насыщение) адаптирована к международной классификации оценки засоления почв по EC_e .

Ключевые слова: промывка засоленных почв, база экспериментальных данных, коэффициенты выщелачивания, международная классификация засоления почвы, адаптированная формула расчета, промывной нормы

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Международной научно-практической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в обеспечении устойчивого развития земледелия» (г. Новочеркасск, 18 февраля 2026 г.).

Для цитирования: Жураева Н. Х., Широкова Ю. И., Палуашова Г. К. Адаптация отечественной модели расчета промывных норм к международной классификации

засоленности почвы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2026. Т. 98, № 1. С. 159–174.

THE ROLE OF LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT IN ENSURING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURE

Original article

Adaptation of the domestic model for calculating leaching water rates to the international classification of soil salinity

Nargiza X. Jurayeva¹, Yulia I. Shirokova², Gauharay K. Paluashova³

^{1,2,3} Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent,
Republic of Uzbekistan

¹Juraevanargiz885@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-5148-6913>

²yulia_bonn@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5455-877X>

³gavhar2005@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7380-8367>

Abstract. Purpose: to provide scientific and experimental justification for the application (adaptation) of the domestic formula by A. E. Nerozin for calculating leaching rates using the assessment of saline lands according to the FAO classification by electrical conductivity. **Materials and methods:** a database of experimental studies, statistical data processing, empirical equations, and refinement of salt leaching coefficients. **Results.** Many relationships for determining leaching rates have been developed in domestic land reclamation science. Almost all formulas take into account such soil properties as the soil bulk density, the maximum soil field moisture capacity, and the soil moisture before leaching. In the formulas by A. N. Kostyakov, L. P. Rozov, S. F. Averyanov, and A. E. Nerozin, the leaching rate consists of a portion of water used to saturate the soil (to dissolve salts) and a portion used to displace salts from the soil. The FAO methodology for calculating leaching rates using a balance model takes into account salt leaching based on the reduction in electrical conductivity (EC_e) of a saturated soil extract, in accordance with the international classification for assessing soil salinity. A. E. Nerozin's formula accounts for salt leaching based on the chloride ion content leached from the soil layer by 1 cubic meter of water. Currently, regularly irrigated soils in Uzbekistan generally contain low levels of chlorine (soils are saline with toxic sulfate salts of magnesium and sodium, the salinity type is sulfate and chloride-sulfate). The possibility of using refined salt leaching coefficients according to EC_e by two methods was established: by converting the chlorine leaching coefficient K in A. E. Nerozin's table and using the empirical equation for specific water consumption to reduce soil salinity by 1 dS/m. **Conclusions.** Based on the existing experimental leaching data base, A. E. Nerozin's domestic model for calculating leaching rates, corresponding to the FAO model for the considered soil parameters (moisture, saturation), was adapted to the international classification of soil salinity assessment according to EC_e .

Keywords: leaching of saline soils, experimental database, leaching coefficients, international soil salinity classification, adapted calculation formula, flushing rate

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the International scientific and practical conference “The role of land reclamation and water management in ensuring the sustainable development of agriculture” (Novocherkassk, February 18, 2026).

For citation: Jurayeva N. X., Shirokova Yu. I., Paluashova G. K. Adaptation of the domestic model for calculating leaching water rates to the international classification of soil salinity. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2026;98(1):159–174. (In Russ.).

Введение. Распространение засоленных почв на орошаемых землях Узбекистана составляет более 43,5 %, в том числе 20 % орошаемых земель имеет степень засоления выше средней. В этой связи для поддержания продуктивности земель земледельцы регионов, подверженных засолению (Сырдарьинской, Бухарской, Хорезмской области и Республики Каракалпакстан) проводят зимне-весенние промывки, что требует больших затрат воды. Для обоснованного назначения промывных норм и, соответственно, затрат воды необходимо проведение мониторинга засоления почвы на фермерских полях, а также современная методика расчета промывных норм. В отечественной мелиоративной науке разработано много зависимостей для определения промывных норм (формулы А. Н. Костякова, Л. П. Розова, С. Ф. Аверьянова, В. Р. Волобуева, И. С. Рабочева, А. Е. Нерозина и др.).

Почти все формулы, кроме формул В. Р. Волобуева и И. С. Рабочева, учитывают такие свойства почв, как объемная масса почвы, предельная полевая влагоемкость, влажность почвы перед промывкой. В формулах А. Н. Костякова, Л. П. Розова, С. Ф. Аверьянова, А. Е. Нерозина промывная норма состоит из части воды для насыщения почвы (для растворения солей) и части на вытеснение солей из почвы. Также некоторые формулы (А. Н. Костякова, С. Ф. Аверьянова, В. Р. Волобуева, А. Е. Нерозина) включают коэффициенты интенсивности выщелачивания солей в различных вариантах, что является ограничением в применении многих зависимостей, так как для определения этих коэффициентов требуются специальные полевые исследования по промывкам. Для некоторых зависимостей имеются специальные таблицы этих коэффициентов, разработанные авторами. Тем не менее они не универсальны и требуют уточнения при промывке засоленных почв в конкретных условиях (глубина залегания грунтовых вод, особенности химического состава почвенных солей, содержания гипса, карбонатов, уплотняющих почву, коэффициент фильтрации и др.).

В последнее время в Мелиоративной службе министерства водного хозяйства республики для измерения засоленности почвы и воды исполь-

зуется метод электрокондуктометрии, широко принятый в международной практике. Применение этого метода позволяет оперативно и на месте количественно уточнить степень засоленности почвы (в $E_{Ce} - dS/m$ – децисименс на метр), например, в фермерском хозяйстве. Следовательно и более точно назначить норму промывки. Для правильного принятия решения о промывке участка после обследования методом электрокондуктометрии необходимы уточненные рекомендации по назначению норм промывки.

Статья посвящена вопросу возможности назначения норм промывки по данным солевого обследования почв при оценке засоленности почвы методом измерения электропроводности.

Взаимосвязь между электропроводностью насыщенного почвенного экстракта и общим содержанием солей, а также хлор-иона для условий Сырдарьинской области Узбекистана показана на графиках (рисунки 1, 2). Эта взаимосвязь будет зависеть от количества и вида токсичных солей в почве (химизма засоления почвы – преобладание хлоридов или сульфатов).

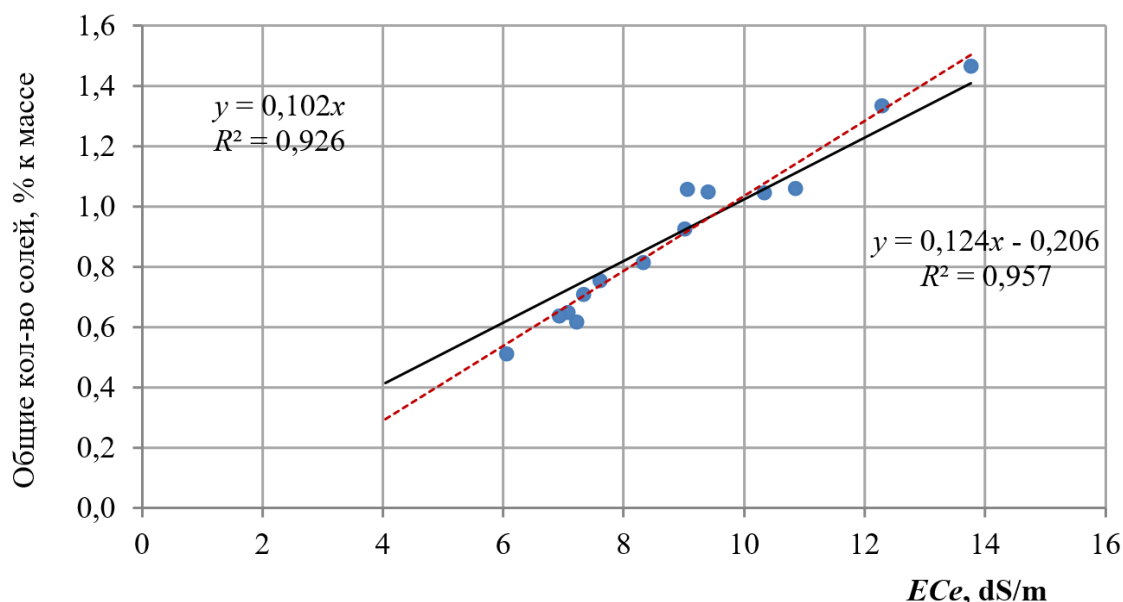


Рисунок 1 – Связь между общим содержанием солей в почве (по данным водной вытяжки) и электропроводностью насыщенного почвенного экстракта E_{Ce} для условий Сырдарьинской области

Figure 1 – The relationship between the total salt content in the soil (according to the water extract) and the electrical conductivity of the saturated soil extract E_{Ce} under the conditions of the Syrdarya region

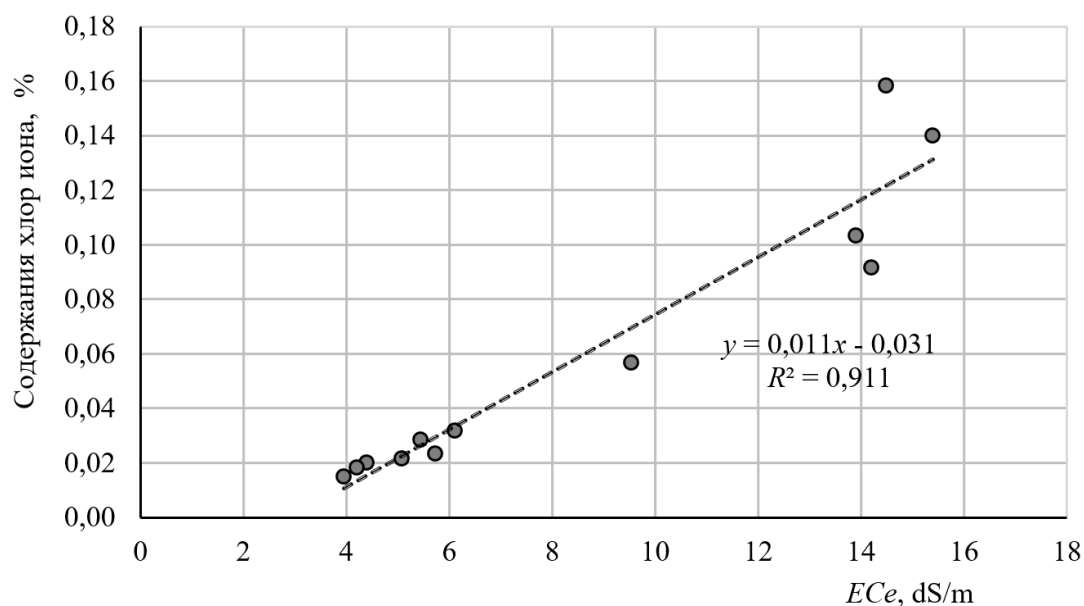


Рисунок 2 – Связь между содержанием хлор-иона в почве и электропроводностью насыщенного почвенного экстракта ECe для условий Сырдарьинской области
Figure 2 – Relationship between the content of chloride ion in the soil and the electrical conductivity of the saturated soil extract ECe under the conditions of the Syrdarya region

Из рисунков 1 и 2 видна высокая корреляционная связь между электропроводностью насыщенного почвенного экстракта ECe как с общим содержанием солей, так и с содержанием хлор-иона. Приведенные ниже графики позволяют определять общее содержание солей или хлор-иона (выраженных в % к массе) по данным измерений ECe .

Цель исследований – научно-экспериментальное обоснование применения (адаптации) отечественной формулы А. Е. Нерозина для расчета промывных норм с использованием оценки засоленных земель по классификации ФАО по электропроводности.

Материалы и методы. Анализ расчетных зависимостей для определения промывных норм на основе обзора опубликованных работ. Выбор расчетной зависимости для тестирования.

Для расчета промывных норм формула А. Е. Нерозина является подходящей, так как она ранее проверена на данных экспериментальных промывок и показала высокую сходимость. В нее входят параметры почвен-

ных и климатических показателей (влажность и полная влагоемкость почвы, осадки и испарение за период промывки).

Анализ доступных баз экспериментальных данных лабораторий: по водно-физическим свойствам почвам Узбекистана и по промывкам (эффективности выщелачивания солей), статистическая обработка данных по опытным промывкам, расчеты в программе Excel, сопоставление выщелачивания солей по хлор-иону и по снижению ECe , уточнение (корректировка) коэффициентов выщелачивания солей путем сравнения вымывания хлор-иона и снижения ECe по данным опытных промывок, использование эмпирических уравнений и зависимостей – связь ECe с общим количеством солей (плотный остаток, %) и с содержанием хлор-иона (рисунки 1, 2), а также зависимость удельных затрат воды от степени исходного засоления почвы (рисунок 3).

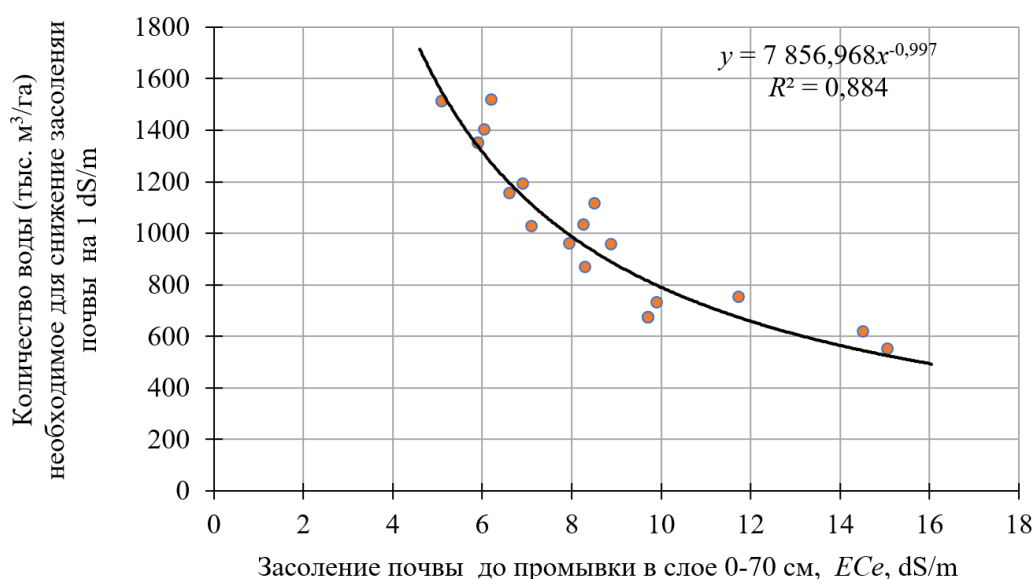


Рисунок 3 – Зависимость удельных затрат промывной воды для снижения засоленности почвы на 1 dS/m от исходной степени засоления для условий Сырдарьинской области

Figure 3 – Dependence of specific costs of flushing water to reduce soil salinity by 1 dS/m on the initial degree of salinity under the conditions of the Syrdarya region

Результаты и обсуждение. Методика ФАО для расчета норм промывки учитывает: электрическую проводимость насыщенного почвенного

экстракта E_{Ce} (фактическую и допустимую), объем дренажного стока, электрическую проводимость ирригационной и дренажной воды, влажность почвы, процент насыщения, глубину опресняемого слоя [1–3].

Из отечественных моделей данному подходу более всего соответствует формула А. Е. Нерозина [4]¹, которая учитывает:

- механический (гранулометрический) состав почв через полевую влагоемкость, объемную массу (плотность сложения почвы);
- исходную влажность;
- исходное и конечное засоление через количество солей, подлежащих промывке;
- уровень залегания грунтовых вод (УГВ), через коэффициент вытеснения солей (K), определяемый опытным путем;
- метеорологические показатели в период промывок (осадки и испарение).

Анализ многих расчетных отечественных зависимостей для определения промывных норм при сопоставлении экспериментальных и расчетных данных показал достаточную надежность формулы А. Е. Нерозина, имеющей вид [4]:

$$M = (P - m) + S / K - A + n, \quad (1)$$

где M – промывная норма, м³/га;

P – полевая влагоемкость расчетного слоя почвы (норма воды для растворения солей), м³/га;

m – содержание влаги в том же слое почвы перед промывкой м³/га,

S / K – норма воды для вытеснения солей, м³/га;

S – количество хлора, подлежащего вымыванию солей из расчетного слоя почвы, м³/га;

K – коэффициент промывного действия воды (по хлору), кг/га 1 м³ во-

¹Методика по качественному и количественному учету засоленных земель колхозов и совхозов Узбекской ССР// Ташкент. 1981 г. 13 с.

ды. В зависимости от степени исходного засоления, механического состава и условий дренированности участка изменяется от 1,0 до 5,8, по данным А. Е. Нерозина (таблица 4);

A – осадки, поступающие в почву за период от начала промывки до посева, м³/га;

n – потери воды на испарение за тот же период, м³/га.

Количество солей (хлора), которое требуется вымыть из почвы, определяется следующим расчетом:

$$S = 100 \cdot h \cdot \alpha \cdot (z - z_1) \cdot 1000, \quad (2)$$

где S – количество солей (хлора), подлежащего вымыву солей из расчетного слоя почвы, кг/га;

h – расчетный слой почвы, м;

α – объемная масса почвы, г/см³;

$z - z_1$ – исходное (до промывки) и допустимое (после промывки, к посеву) содержание хлора в почве, в % к массе;

1000 – множитель для перевода тонн в килограммы.

Как видно, формула (1) учитывает практически все параметры почвы и метеорологические условия, а также уровень грунтовых вод (через влажность почвы перед промывкой). С использованием гидромодульного районирования СоюзНИХИ, учитывающего сложение почв по механическому составу и УГВ, для среднесезонных метеоусловий были рассчитаны нормы эксплуатационных промывок с учетом опреснения слоя 0–50 см до уровня содержания хлора 0,02 %.

На основании сравнения разных отечественных формул с опытными данными был сделан вывод, что формула А. Е. Нерозина наиболее приемлема для условий среднего и сильного засоления почвы. При обобщении фактических данных по эффективности полевых промывок разных авторов (при исходной степени засоления от очень сильного до слабого, суглинистые почвы в различных регионах Узбекистана) была установлена высокая

сходимость результатов промывок с расчетными значениями промывных норм [5, 6]².

Для использования формулы А. Е. Нерозина с применением международной оценки засоленности по результатам измерения электропроводности (таблица 1) возникла необходимость ее модификации. Это также важно с учетом того, что на орошаемых землях за период после освоения земель содержание хлор-иона уменьшилось и в почве преобладают сульфатные соли (рисунок 4).

Таблица 1 – Международная и отечественная классификации оценки засоления почвы по *ECe* и по содержанию хлор-иона

Table 1 – International and domestic classifications of soil salinity assessment by *ECe* and by chloride ion content

Степень засоления почв	<i>ECe</i> , dS/m [1, 2]	Содержание хлор-иона в почве, % ¹
Незасоленные	0–2	< 0,02
Слабозасоленные	2–4	0,02–0,035
Среднезасоленные	4–8	0,035–0,07
Сильнозасоленные	8–16	0,07–0,14
Очень сильнозасоленные	> 16	> 0,14

Точка O2, 0-30 см, декабрь 2021, *ECe* 12,4dS/m

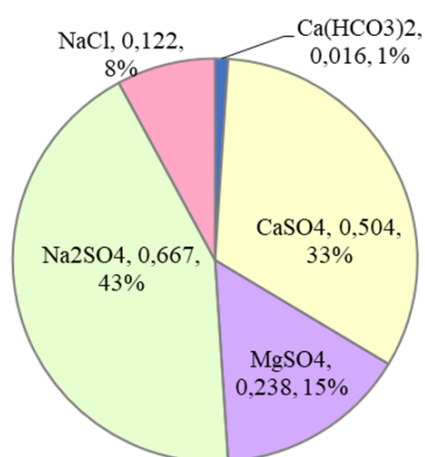


Рисунок 4 – Гипотетический состав солей на опытном участке
Figure 4 – Hypothetical composition of salts in the experimental area

²Обоснование и полевая апробация технологий орошения сельскохозяйственных культур и промывок земель, адаптированных к применению на засоленных орошаемых территориях, с учетом дефицита водных ресурсов и повышения минерализации воды // Отчет прикладных исследований на 2013 год по проекту КХА-7-034. Ташкент: САНИИРИ, 2013. 131 с.

Как указывалось выше, по опытным данным по промывкам засоленных почв по чекам установлена закономерность выщелачивания солей из почвы (рисунок 3). Рисунок 3 отражает удельные затраты воды, необходимые для снижения засоленности почвы в $\text{м}^3/\text{га}$ на 1dS/m .

Экспериментальные данные показывают, что даже при самых благоприятных условиях (обеспечении оттока воды и подаче больших объемов воды для промывки) опреснить почву в слое 0–70 см возможно только на 60–80 % от исходного засоления (таблица 2).

По данным опытов в Сырдарьинской области Узбекистана на однородных легко- и среднесуглинистых по гранулометрическому составу почвах при сильной степени засоления (более 16 dS/m) удельные затраты воды составляют $480\text{--}500\text{ м}^3/\text{га}$ на снижение засоления на 1 dS/m , при средней степени засоления (8 dS/m) – $800\text{--}1000\text{ м}^3/\text{га}$ на 1 dS/m , а при исходно слабой степени засоления почвы (4 dS/m) – более $2000\text{ м}^3/\text{га}$ на 1 dS/m [7].

Адаптация использования расчета промывных норм по формуле А. Е. Нерозина к международной классификации засоленности почвы была проведена двумя методами.

Первый метод основан на определении объема воды на вытеснение солей путем конвертации коэффициента для выщелачивания хлора K_{Cl} в коэффициент снижения засоления почвы K_{EC} по E_{Ce} , учитывающего общее содержание солей.

Второй метод – с применением эмпирического уравнения удельных затрат воды на снижение засоления почвы на 1 dS/m (S / K_{Cl} – затраты воды для вымыва из расчетного слоя почвы хлор-иона ($\text{кг}/\text{га}$); S / K_{EC} – затраты воды, для снижения засоления почвы промывкой по $E_{\text{Ce}}\text{ dS/m}$).

Результаты обработки экспериментальных данных по промывке засоленных почв в Сырдарьинской области частично показаны в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что при подаче на промывку $4000\text{ м}^3/\text{га}$ воды технологии по чекам при обеспеченном дренаже в средnezасоленных суглинистых почвах выщелачивание солей составляет не выше 60–65 %.

Таблица 2 – Сравнение изменения содержания хлор-иона и снижения *ЕСе* почвы под влиянием промывки нормой 4000 м³/га в хозяйстве им. Сиддикова Окалтынского района Сырдарьинской области

Table 2 – Comparison of changes in chloride ion content and reduction in soil *ECe* under the influence of leaching at a rate of 4000 m³/ha at the Siddikov farm in the Okaltynsky district of the Syrdarya region

№ точки	Горизонт, см	Изменение засоления почвы при промывке нормой 4000 м ³ /га							
		Содержание хлор-иона, % к массе почвы				<i>ECe</i> , dS/m			
		До промывки	После промывки	Разница	% изменения	До промывки	После промывки	Разница	% изменения
Т – 17	0–30	0,07	0,02	–0,05	71,4	8,0	3,1	–4,9	61,3
	30–70	0,035	0,015	–0,02	57,1	5,8	4,0	–1,8	31,0
	70–100	0,02	0,035	+0,015	75,0	5,3	5,9	+0,6	11,3
Т – 18	0–30	0,05	0,015	–0,035	70,0	6,1	2,1	–4	65,6
	30–70	0,035	0,02	–0,015	42,9	6,0	4,3	–1,7	28,3
	70–100	0,03	0,03	0	0,0	5,9	5,1	–0,8	13,6
Т – 19	0–30	0,035	0,015	–0,02	57,1	5,4	3,1	–2,3	42,6
	30–70	0,04	0,015	–0,025	62,5	5,0	3,6	–1,4	28,0
	70–100	0,03	0,025	–0,005	16,7	5,6	4,8	–0,8	14,3
Среднее 0–70 см		0,041	0,019	–0,021	52,5	5,960	3,747	–2,213	37,1
Примечание – Соотношение % изменения <i>ECe</i> / % изменения Cl – 0,70.									

При этом выщелачивание хлора в слое почвы 0–70 см более эффективно, чем снижение общего количество солей по E_{Ce} . Соотношение снижения засоления почвы по E_{Ce} и по содержанию хлор-иона (в процентах к исходному содержанию) составило 0,70 (таблица 2). Статистической обработкой подтверждена величина этого соотношения (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты статистической обработки результатов выщелачивания хлор-иона и снижения E_{Ce} в слое 0–70 см по результатам промывки нормой 4000 м³/га в Сырдарьинской области

Table 3 – Results of statistical processing of chloride ion leaching and E_{Ce} reduction in the 0–70 cm layer based on leaching at a rate of 4000 m³/ha in the Syrdarya region

Показатель статистической обработки	Процент вымывания хлор-иона	Процент снижения E_{Ce}	Соотношение: E_{Ce} / Cl
Среднее	–63,1	–44,0	0,70
Дисперсия	38,76	68,93	–
Наблюдения	8,00	8,00	–
Корреляция Пирсона	0,68	–	–
Гипотетическая разность средних	0,00	–	–
df	7,00	–	–
t -статистика	–8,86	–	–
$P(T \leq t)$ одностороннее	0,00	–	–
t критическое одностороннее	1,89	–	–
$P(T \leq t)$ двухстороннее	0,00	–	–
t критическое двухстороннее	2,36	–	–
Примечание – * – Парный двухвыборочный t -тест для средних значений.			

С применением этого соотношения получены новые коэффициенты выщелачивания общего количества солей по данным измерения E_{Ce} почвы – K_{EC} (таблица 4). Этот показатель был использован нами в первом варианте модификации формулы. Коэффициент K_{EC} можно принимать по таблице 4.

Модификация формулы по первому методу состоит в том, что в формуле А. Е. Нерозина коэффициенты вымыва хлора (кг/м³ воды) изменены (конвертированы) нами на K_{EC} путем умножения коэффициента K_{Cl} (по А. Е. Нерозину) на 0,7 (таблица 4).

Таблица 4 – Коэффициенты выщелачивание солей К для хлора в формуле А. Е. Нерозина и их уточнение при оценке засоления почвы по ECe

Table 4 – Salt leaching coefficients K for chlorine in A.E. Nerozin's formula and their refinement when assessing soil salinity using ECe

Показатель по А. Е. Нерозину (K_{Cl}) [4, 8]					Коэффициент, уточненный по ECe dS/m (K_{EC})				
Содержание хлора до промывки в слое 0–100 см, %	Среднее содержание	Коэффициенты вымыва хлора (кг/м ³ воды) при глубине залегания грунтовых вод до промывки, м			ECe , dS/m до промывки в слое 0–60 см	Среднее	Коэффициенты изменения ECe , dS/m, при глубине залегания грунтовых вод до промывки, м		
		1,5	2,5	3,5			1,5	2,5	3,5
Средние по механическому составу почвы									
0,04–0,1	0,07	1,3	2,1	3,8	8–13	10,5	0,9	1,5	2,7
0,1–0,2	0,15	2,2	3,3	5	13–17	15,0	1,5	2,3	3,5
0,2–0,3	0,25	2,9	4	5,8	17–19	18,0	2,0	2,8	4,1
Тяжелые по механическому составу почвы									
0,04–0,1	0,07	1	1,5	2,9	8–13	10,5	0,7	1,1	2,0
0,1–0,2	0,15	1,8	2,6	4	13–17	15	1,3	1,8	2,8
0,2–0,3	0,25	2,4	3,3	4,7	17–19	18	1,7	2,3	3,3

При расчете затрат воды на выщелачивание солей S в этом случае в качестве вспомогательного материала можно использовать график на рисунке 2.

Во втором методе (варианте) модификации формулы объем воды для выщелачивания солей определяется как необходимое (заданное) снижение засоления почвы по ECe (ΔECe), умноженное на величину удельных затрат воды на промывку, необходимое для снижения засоленности в слое почвы 0–60 см на 1 dS/m (рисунок 2).

Заданное выщелачиваемое промывкой количество солей выражается как разница между исходным и конечным (заданным) значением ECe (ΔECe).

Так как расчет по первому методу (через коэффициент выщелачивание K) подразумевает рассоление почвы по хлор-иону, второй метод предпочтительнее как более простой – напрямую используется международная классификация оценки засоления почвы по ECe . Эмпирическое уравнение, показанное на рисунке 3, получено на основе измерений ECe .

Таким образом, формула адаптирована к международной классификации оценки засоления почвы по ECe и может применяться при расчете промывных норм по данным солевых съемок, проводимых мелиоративными экспедициями Узбекистана.

Выводы. Отечественная модель для расчета норм промывки, максимально соответствующая модели ФАО по учитываемым параметрам почвы, на основе имеющихся экспериментальных данных по промывкам (фонд лаборатории) адаптирована к международной классификации оценки засоления почв по ECe .

Выполнена адаптация применения формулы А. Е. Нерозина к оценке засоления почвы по ECe двумя методами:

- установлена возможность использования уточненных коэффициентов выщелачивания солей по ECe путем конвертации коэффициента выщелачивания хлора K_{Cl} в авторской таблице;

- разработан метод расчета промывных норм по этой же формуле с применением эмпирического уравнения удельных затрат воды на снижение засоления почвы на 1 dS/m. Этот метод позволяет применять международную классификацию оценки засоления почвы по ECe , задавать порог рассоления почвы промывкой по ECe , что делает его предпочтительнее первого метода, максимально приближая формулу А. Е. Нерозина к подходу ФАО.

Научно обосновано применение формулы для расчета промывных норм и установления потребности в промывке для фермерского хозяйства в целом по данным измерения засоления почвы по ECe .

Список источников

1. Rhoades J. D., Chanduvi F., Lesch S. Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements // FAO irrigation and drainage paper 57. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1999. 150 p. ISSN: 0254-5284.

2. Bresler E., McNeal B. L., Carter D. L. Management // Saline and Sodic Soils. Advanced Series in Agricultural Sciences. Berlin: Springer, Heidelberg, 1982. Vol. 10. P. 166–211. DOI: 10.1007/978-3-642-68324-4_3.

3. Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines / J. Letey, G.J. Hoffman, J.W. Hoppmans, S.R. Grattan, D. Suarez, D.L. Corwin, J.D. Oster, L. Wu, C. Amrhein // Agricultural Water Management. 2011. Vol. 98, iss. 4. P. 502–506. DOI: 10.1016/j.agwat.2010.08.009.

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2026. Т. 98, № 1. С. 159–174.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2026. Vol. 98, no. 1. P. 159–174.

4. Нерозин А. Е. Мелиорация засоленных орошаемых земель Узбекистана. Ташкент: Узбекистан, 1974. 104 с.

5. Жураева Н. Х., Широкова Ю. И., Палуашова Г. К. Определение промывных норм для рассоления почв с использованием простого уравнения водно-солевого баланса // Мелиорация и водное хозяйство – основа продовольственной и экологической безопасности: материалы Юбилейной междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию образования ВНИИГиМ имени А. Н. Костякова, 9–11 окт. 2024 г., г. Москва. 2024. С. 508–515. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2024.50.88.087, EDN: WAGTZU.

6. Широкова Ю. И., Рамазанов А. Р. Особенности промывок засоленных земель, с учетом качества воды и метеорологических условий // Труды научных докладов к 60-летию ТИИМСХ. Ташкент, 1994. С. 28–31.

7. Стратегия повышения эффективности промывки и сельскохозяйственного использования засоленных земель в условиях дефицита водных ресурсов / Ю. И. Широкова, Г. К. Палуашова, Д. Т. Кодиров, Ф. Ф. Садиев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 95, № 1. С. 282–298. EDN: TDAHTC.

8. Стулина Г. В., Солодкий Г. Ф. Водопотребление сельхозкультур на засоленных почвах // Научные записки. Ташкент: НИЦ МКБК., 2023. № 17. 25 с.

References

1. Rhoades J.D., Chanduvi F., Lesch S. 1999. Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. FAO irrigation and drainage paper 57. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 150 p., ISSN: 0254-5284.

2. Bresler E., McNeal B.L., Carter D.L., 1982. Management. Saline and Sodic Soils. Advanced Series in Agricultural Sciences. Berlin: Springer, Heidelberg, vol. 10, pp. 166-211, DOI: 10.1007/978-3-642-68324-4_3.

3. Letey J., Hoffman G.J., Hopmans J.W., Grattan S.R., Suarez D., Corwin D.L., Oster J.D., Wu L., Amrhein C., 2011. Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines. Agricultural Water Management, vol. 98, iss. 4, pp. 502-506, DOI: 10.1016/j.agwat.2010.08.009.

4. Nerozin A.E., 1974. *Melioratsiya zasolennykh oroshayemykh zemel' Uzbekistana*. [Land Reclamation of Saline Irrigated Lands in Uzbekistan]. Tashkent, Uzbekistan, 104 p. (In Russian).

5. Zhuraeva N.Kh., Shirokova Yu.I., Paluashova G.K., 2024. *Opredelenie promyvnykh norm dlya rassoleniya pochv s ispol'zovaniem prostogo uravneniya vodno-solevogo balansa*. [Determination of leaching rates for soil desalination using a simple water-salt balance equation]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo – osnova prodovol'stvennoy i ekologicheskoy bezopasnosti: materialy Yubileynoy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 100-letiyu obrazovaniya VNIIGiM imeni A. N. Kostyakova* [Reclamation and Water Management - the Basis of Food and Environmental Security: Proceed. of the Jubilee International Scientific and Practical Conf., dedicated to the 100th anniversary of the foundation of the A. N. Kostyakov All-Russian Research Institute of Hydrometeorology and Metrology]. Moscow, pp. 508-515, DOI: 10.37738/VNIIGIM.2024.50.88.087, EDN: WAGTZU. (In Russian).

6. Shirokova Yu.I., Ramazanov A.R., 1994. *Osobennosti promyvok zasolennykh zemel', s uchetom kachestva vody i meteorologicheskikh usloviy* [Features of leaching of saline soils, taking into account water quality and meteorological conditions]. *Trudy nauchnykh dokladov k 60-ti letiyu TIIMSKH* [Proceed. of Scientific Reports for the 60th Anniversary of TIAME]. Tashkent, pp. 28-31. (In Russian).

7. Shirokova Yu.I., Paluashova G.K., Kodirov D.T., Sadiyev F.F., 2025. *Strategiya povysheniya effektivnosti promyvki i sel'skokhozyaystvennogo ispol'zovaniya zasolennykh zemel' v usloviyakh defitsita vodnykh resursov* [Strategy for increasing the efficiency of leaching

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2026. Т. 98, № 1. С. 159–174.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2026. Vol. 98, no. 1. P. 159–174.

and agricultural use of saline lands under water scarcity]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture]. vol. 95, no. 1, pp. 282-298, EDN: TDAHTC. (In Russian).

8. Stulina G.V., Solodkiy G.F., 2023. *Vodopotreblenie sel'khozkul'tur na zasolennykh pochvakh* [Water consumption of agricultural crops on saline soils]. *Nauchnye zapiski* [Scientific Notes]. Tashkent, SIC ICWC, no. 17, 25 p. (In Russian).

Информация об авторах

Н. Х. Жураева – аспирант, Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент, Республика Узбекистан, Juraevanargiz885@gmail.com, ORCID: 0009-0009-5148-6913;

Ю. И. Широкова – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент, Республика Узбекистан, yulia.i.shirokova@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5455-877X;

Г. К. Палуашова – старший научный сотрудник, доктор философии (PhD) по техническим наукам, Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент, Республика Узбекистан, gavhar2005@rambler.ru, ORCID: 0000-0001-7380-8367.

Information about the authors

N. X. Jurayeva – Postgraduate Student, Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent, Republic of Uzbekistan, Juraevanargiz885@gmail.com, ORCID: 0009-0009-5148-6913;

Yu. I. Shirokova – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent, Republic of Uzbekistan, yulia.i.shirokova@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5455-877X;

G. K. Paluashova – Senior Researcher, Doctor of Philosophy (PhD) of Technical Sciences, Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent, Republic of Uzbekistan, gavhar2005@rambler.ru, ORCID: 0000-0001-7380-8367.

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

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

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

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 26.01.2026; одобрена после рецензирования 13.02.2026; принята к публикации 31.03.2026.

The article was submitted 26.01.2026; approved after reviewing 13.02.2026; accepted for publication 31.03.2026.