

## МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.4:631.8

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-1-71-88

### **Влияние фосфогипса и электролита травления стали на химические свойства почв рисовых чеков в условиях Ростовской области**

**Алексей Александрович Бабенко**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация, [rosniipmshm@yandex.ru](mailto:rosniipmshm@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7582-4907>

**Аннотация.** **Цель:** изучение воздействия различных мелиорантов и их сочетаний, а также промывки на свойства почв рисовых чеков в лабораторных условиях для установления возможности дальнейшего их использования. **Материалы и методы.** В ходе данной научно-исследовательской работы было проведено почвенно-мелиоративное обследование земель рисовых чеков в Ростовской области. Анализы почвенных образцов выполнялись в эколого-аналитической лаборатории по общепринятым методикам. Для лабораторного опыта взяты почвы с различным химизмом, степенью засоления и степенью солонцеватости, разным содержанием гипса. Основываясь на результатах обследования почвенных образцов, в качестве мелиорантов использовали фосфогипс, электролит травления стали и их сочетания. **Результаты.** Промывки без мелиорантов способствовали уменьшению общего содержания солей. На слабозасоленной почве хлоридно-сульфатного химизма их количество сократилось на 54 %, а на средnezасоленных почвах сульфатного засоления всего на 5 %. Мелиоранты, особенно фосфогипс, в незасоленных почвах увеличивали их количество в 5 раз, а в слабозасоленных – в 2,7 раза за счет накопления сульфатов кальция. В средnezасоленных гипсоносных почвах их накопление не наблюдалось. Электролит травления стали снизил их количество, по сравнению с контролем, на 18 %. Почвенный поглощающий комплекс незасоленных и слабозасоленных почв оптимизировался, а в гипсоносных почвах практически не изменился. **Выводы.** Лабораторные опыты показали, что почвы хлоридно-сульфатного засоления, обладающие магниевой солонцеватостью и недонасыщенностью обменным кальцием в почвенном поглощающем комплексе, можно улучшить, используя в качестве мелиоранта фосфогипс и электролит травления стали, как наиболее доступные для земледельцев. Они способствуют образованию гипса, ускоряющему процессы замены обменного магния и натрия кальцием. Мелиорация высокозагипсованных почв с содержанием гипса более 20 % и легкорастворимых солей более 1,0 % традиционными методами малоуспешна.

**Ключевые слова:** химические свойства почв, химическая мелиорация, гипсоносные почвы, химизм засоления, солевой состав почвы

**Для цитирования:** Бабенко А. А. Влияние фосфогипса и электролита травления стали на химические свойства почв рисовых чеков в условиях Ростовской области // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 1. С. 71–88. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-71-88>.

## LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

### **The effect of phosphogypsum and steel pickling electrolyte on chemical characteristics of paddy soils in the conditions of the Rostov region**

## Alexey A. Babenko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, rosniipmshm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7582-4907>

**Abstract. Purpose:** to study the effect of various ameliorants and their combinations, as well as leaching on paddy soil characteristics in laboratory conditions for determining the possibility of their further application. **Materials and methods.** In the course of the research, a soil reclamation survey of paddy fields in Rostov region was carried out. Soil samples analyzes were carried out in an environmental analytical laboratory using generally accepted methods. Soils with different chemistry, degrees of salinity and salinization, and different gypsum content were taken for the laboratory experiment. Based on the results of soil samples study, phosphogypsum, steel pickling electrolyte, and their combinations were used as ameliorants. **Results.** Leaching without ameliorants contributed to a total salt content decrease. On slightly saline soils of chloride-sulfate chemistry, their number decreased by 54 %, and on moderately saline soils of sulfate salinity by only 5 %. Ameliorants, especially phosphogypsum, increased their amount in non-saline soils by 5 times, and in slightly saline soils – by 2.7 times due to the accumulation of calcium sulfates. Their accumulation was not observed in moderately saline gypsum-containing soils. The steel pickling electrolyte reduced their quantity by 18 %, compared to the control. The soil absorption complex of non-saline and slightly saline soils was optimized, but in gypsum-containing soils it remained virtually unchanged. **Conclusions.** Laboratory experiments have shown that soils of chloride-sulfate salinity, having magnesium salinity and undersaturation with exchangeable calcium in the soil absorption complex, can be improved by using phosphogypsum and steel pickling electrolyte as an ameliorant, as they are the most accessible to land users. They promote the formation of gypsum, which accelerates the process of replacing exchangeable magnesium and sodium with calcium. Reclamation of highly gypsum-rich soils with a gypsum content of more than 20 % and easily soluble salts of more than 1.0 % using traditional methods is not very successful.

**Keywords:** chemical soil characteristics, chemical reclamation, gypsum-containing soils, salinity chemistry, salt composition of soil

**For citation:** Babenko A. A. The effect of phosphogypsum and steel pickling electrolyte on chemical characteristics of paddy soils in the conditions of the Rostov region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(1):71–88. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-71-88>.

**Введение.** Снижение плодородия из-за увеличения деградиционных почвенных процессов (засоление, осолонцевание, переувлажнение и др.) отрицательно сказывается на экономических показателях агропромышленного сектора и вызывает необходимость для ученых, специалистов данной отрасли уделять внимание поиску новых путей восстановления почв и повышения их плодородия [1, 2].

В России, по данным государственного учета земель, в настоящее время 220,6 млн га сельскохозяйственных угодий (из которых 121,5 млн га – пашня), часть из них подвержена засолению, осолонцеванию. Площади засоленных почв составляют 16,3 млн га, или 8,9 % от общей площади сель-

скохозяйственных угодий в нашей стране, а солонцеватых – 22,9 млн га, или 12,5 %. Количество таких почв от общей площади пашни составляет 4,5 млн га, или 3,7 %, и 9,9 млн га, или 8,2 %, соответственно<sup>1</sup>.

Орошение, кроме повышения урожайности выращиваемых культур, оказывает влияние на различные процессы, протекающие в почве. Нерациональное применение различных режимов и способов полива приводит к вторичному засолению, осолонцеванию почв, переувлажнению и процессам водной эрозии [1].

Большое значение для борьбы с негативными процессами в почве имеет химическая мелиорация. Она способствует сглаживанию разности в свойствах почв за счет нормализации реакции почвенной среды, снижает солонцеватость в верхних горизонтах почвы и ликвидирует переизбыток натрия в подпахотных слоях [2, 3]. Мероприятия по химической мелиорации разрабатываются при выявлении земель, подверженных засолению, осолонцеванию, ощелачиванию, превышающим безопасный уровень (ст. 3 Федерального закона № 78 «О землеустройстве»)<sup>2</sup>.

Кроме этого, в последние годы расширен ареал гипсоносных почв, требующих особого подхода к их освоению. Гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) встречается в почвах и почвообразующих породах степной, полупустынной и пустынной зон. Наличие гипса блокирует образование солонцеватости, щелочности, нивелирует действие оросительных вод неудовлетворительного качества [4–8]. Небольшое содержание гипса оказывает положительное влияние на свойства почв. Это связано с тем, что при наличии гипса скла-

---

<sup>1</sup>Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» [Электронный ресурс]. URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/o\\_sostoyanii\\_i\\_ob\\_okhrane\\_okruzhayushchey\\_sredy\\_rossiyskoy\\_federatsii/gosudarstvennyy\\_doklad\\_o\\_sostoyanii\\_i\\_ob\\_okhrane\\_okruzhayushchey\\_sredy\\_rossiyskoy\\_federatsii\\_v\\_2017\\_/](https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2017_/) (дата обращения: 10.10.2023).

<sup>2</sup>О землеустройстве [Электронный ресурс]: Федер. закон Рос. Федерации от 18 июня 2001 г. № 78-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 24 мая 2001 г.: одобрен Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 6 июня 2001 г. (с изм. на 30 дек. 2021 г.). Доступ из справ. правовой системы «Гарант».

дывается благоприятное соотношение ионов в почвенном растворе и почвенном поглощающем комплексе (ППК), а это исключает проявление солонцеватости и ухудшение водно-физических свойств почв. Отрицательное влияние гипса на свойства почв и растений проявляется на сильногипсоносных почвах, в которых содержание гипса превышает 20 % [6].

Большое количество гипса, особенно на орошаемых почвах, может провоцировать следующие отрицательные свойства:

- снижаются запасы продуктивной влаги в почве и ее доступность для растений из-за возникновения повышенного осмотического давления почвенной влаги;

- в почвах, где образуется большое количество мелкокристаллического гипса, при поливах появляются суффозионные воронки, через которые в грунтовый поток устремляется поливная вода. Такие же явления могут возникать при движении оросительных вод по каналам;

- на тяжелых (глинистых) почвах гипс, образованный крупнокристаллической фракцией (более 5 мм), противодействует осуществлению промывок от легкорастворимых солей, так как на кристаллах образуется кальциевая пленка. Предположительно ее можно разрушить кислованием;

- в анаэробных условиях сульфаты гипса при взаимодействии с металлами образуют сульфиды, являющиеся токсичными для любых растений.

Существует мнение, что подобные сильногипсоносные почвы не следует вовлекать в орошаемое земледелие [9, 10], но в то же время слабогипсоносные можно улучшить, используя промывки с глубоким рыхлением и различные мелиоранты [11].

В качестве мелиорантов используют фосфогипс, а для щелочных почв – отработанную серную кислоту и электролит травления стали [12–16].

Целью данного исследования является изучение воздействия различных мелиорантов и их сочетаний, а также промывки на свойства почв ри-

совых чеков в лабораторных условиях для установления возможности дальнейшего их использования.

**Материалы и методы.** В ходе данной научно-исследовательской работы сотрудниками Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации в 2022 г. было проведено почвенно-мелиоративное обследование почв восьми рисовых чеков в Центральной орошаемой зоне Ростовской области (рисунок 1). Из них для проведения лабораторного опыта взяты почвы с рисовых чеков 2, 4 и 8 с различными химизмом, степенью засоления и солонцеватости, разным содержанием гипса.



Обозначения:

— — — — — границы обследуемого участка;



— — — — — чеки, в которых исследовалось почвенно-мелиоративное состояние

Designations:

— — — — — boundaries of the surveyed area;



— — — — — checks in which soil-reclamation condition was studied

**Рисунок 1 – Карта-схема рисового севооборота с выделением чеков (на которых проводились исследования)**

**Figure 1 – Schematic map of rice crop rotation with highlighting paddies (on which research was conducted)**

Лабораторные опыты проводились в 2023 г. в течение трех месяцев с мая по июль.

Анализы почвенных образцов выполнялись в эколого-аналитической лаборатории РосНИИПМ по общепринятым методикам<sup>3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12</sup>.

По данным результатов обследования образцов почвы были подобраны мелиоранты, проведены расчеты доз внесения применяемых мелиорантов для полевого и лабораторного опытов (таблица 1).

**Таблица 1 – Дозы различных мелиорантов и их сочетаний для лабораторного и полевого опытов**  
**Table 1 – Doses of various ameliorants and their combinations for laboratory and field experiments**

Вариант опыта	Поле 1 (чек 2)		Поле 2 (чек 4)		Поле 3 (чек 8)	
	На всю площадь	На 1 кг почвы	На всю площадь	На 1 кг почвы	На всю площадь	На 1 кг почвы
1	2	3	4	5	6	7
Контроль (без мелиорации)	–	–	–	–	–	–
Фосфогипс (Ф)	30 т/га	7,0 г	20 т/га	4,7 г	30 т/га	7,0 г
Электролит травления стали (ЭТС)	42 т/га	8,46 мл	26 т/га	5,85 мл	42 т/га	8,46 мл

<sup>3</sup>ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28168-89> (дата обращения: 10.10.2023).

<sup>4</sup>Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

<sup>5</sup>ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. Введ. 1986-01-01. М.: Стандартинформ, 2011. 4 с.

<sup>6</sup>ГОСТ 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.

<sup>7</sup>ГОСТ 26425-85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

<sup>8</sup>ГОСТ 26426-85. Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

<sup>9</sup>ГОСТ 26427-85. Почвы. Метод определения натрия и калия в водной вытяжке [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

<sup>10</sup>ГОСТ 26428-85. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

<sup>11</sup>ГОСТ 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.

<sup>12</sup>ГОСТ 26950-86. Метод определения обменного натрия [Электронный ресурс]. Введ. 1987-07-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3	4	5	6	7
½ Ф + ½ ЭТС	15 т/га + 21 т/га	3,5 г + 4,23 мл	10 т/га + 13 т/га	2,35 г + 4,17 мл	15 т/га + 21 т/га	3,5 г + 4,23 мл
Полив для реакции и для промывки продуктов реакции	300 м <sup>3</sup> /га 400 м <sup>3</sup> /га	125 мл 167 мл	300 м <sup>3</sup> /га 400 м <sup>3</sup> /га	125 мл 167 мл	300 м <sup>3</sup> /га 5700 м <sup>3</sup> /га	125 мл 1,5 л

В качестве мелиорантов использовались фосфогипс и электролит травления стали. Электролит травления стали – жидкий отход, получаемый после травления металлов смесью растворов серной и соляной кислот. Серной кислоты содержится 5,4 %, соляной кислоты – 0,41 %, железа – 0,8–1,0 %. Концентрация этого раствора колеблется от 4 до 10 %, pH – 2,3. Температура кипения равна 101–106 °С. Удельная масса – 1,1–1,2 г/см<sup>3</sup>.

Фосфогипс – отход, получаемый при производстве фосфорных удобрений, темно-серая, влажная мелкокристаллическая масса. Мелиорирующей основой фосфогипса является гипс (77–92 %), питательной – фосфор (0,7–3,0 %) и микроэлементы (1,6 %). В соответствии с техническими требованиями, содержание водорастворимых фтористых соединений в пересчете на фтор должно быть не более 0,4 %. Содержание свободной воды 6–20 %. Практически не плавится. Фосфогипс относится к группе слабопылящихся мелиорантов, негорючий<sup>13</sup>.

Для малонатриевых солонцов хлоридно-сульфатного засоления с повышенным содержанием обменного магния дозу гипса рассчитывают по формуле:

$$D_r = 0,086 \cdot [Na + (Mg - 0,03 \cdot T)] \cdot h \cdot d,$$

где  $D_r$  – доза гипса, т/га;

0,086 – содержание гипса, соответствующее его 1 мг-экв, г;

Na – содержание обменного натрия, мг-экв/100 г;

<sup>13</sup>ГОСТ 58820-2020. Фосфогипс для сельского хозяйства. Технические условия [Электронный ресурс]. Введ. 2020-07-01. URL: <http://gostassistant.ru/doc/d56102e9-43b3-4f20-9b00-38dacfa95860?ysclid=lpwid0q2kt296178225> (дата обращения: 08.12.2023).

$Mg$  – содержание обменного магния, мг-экв/100 г;

0,03 – допустимое содержание обменного натрия (магния);

$T$  – емкость поглощения (ЕКО), мг-экв/100 г;

$h$  – мощность мелиорируемого слоя, м;

$d$  – плотность сложения почвы, т/м<sup>3</sup>.

На изучаемых почвах после внесения мелиорантов проводили увлажнение для протекания химических реакций. Через месяц осуществляли полив для вымывания продуктов реакции (167 мл). Почвы чека 8, содержащие легкорастворимые соли в сочетании с гипсом (25 %), также подвергались химической мелиорации аналогичными мелиорантами, но с промывной нормой 1,5 л, рассчитанной на вымывание солей до допустимого содержания по В. Р. Волобуеву [17].

Расчет дозы электролита травления стали проводят с учетом коэффициента перерасчета в гипс:

$$D_{\text{экс}} = D_{\text{г}} \cdot K,$$

где  $D_{\text{экс}}$  – доза электролита травления стали, т/га;

$D_{\text{г}}$  – доза гипса, т/га;

$K$  – коэффициент перерасчета гипса.

Промывную норму воды для почв глинистого и суглинистого состава определяют по формуле В. Р. Волобуева:

$$M_{\text{пром}} = K \cdot \lg(S_1 / S_2)^\alpha,$$

где  $M_{\text{пром}}$  – промывная норма, м<sup>3</sup>/га;

$K$  – коэффициент пропорциональности (при расчете промывной нормы в м<sup>3</sup>/га он равен 10000);

$S_1$  – содержание солей в промывной толще, % или г/дм<sup>3</sup>;

$S_2$  – допустимое содержание солей в тех же единицах;

$\alpha$  – угловой коэффициент, отражающий характер засоления почвы и гранулометрический состав ( $\alpha = 0,62 \dots 1,78$ ).

**Результаты и обсуждение.** Почвы рисовых чеков разнообразны, особенно по химическим свойствам. Расчеты изменчивости основных химических свойств почв рисовых чеков представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Изменчивость химических свойств почв рисовых чеков в слое 0–40 см ( $n = 8$ )**

**Table 2 – Variability of chemical characteristics of paddy soils in the 0–40 cm layer ( $n = 8$ )**

Показатель	$X_{cp}$	$M_{max}$	$M_{min}$	$S$	$V$	Изменчивость
Сумма солей, %	0,908	1,560	0,236	0,474	52	значительная
Обменный кальций, % от суммы ППК	82	93	66	10,3	13	средняя
Обменный магний, % от суммы ППК	15	31	4	6,2	61	значительная
Обменный натрий, % от суммы ППК	2,19	4,0	1,0	1,22	55	значительная
Примечание – $X_{cp}$ – среднее арифметическое; $M_{max}$ – максимальное содержание; $M_{min}$ – минимальное содержание; $S$ – стандартное отклонение; $V$ – коэффициент вариации.						

Они указывают на значительную изменчивость почв как по содержанию солей, так и по составу ППК. К их освоению требуется особый подход, учитывающий их свойства. Исходя из этого, на исследования взяты почвы, обладающие разными свойствами (таблицы 3, 4).

Почвы чеков 2 и 4 в исходном состоянии при хлоридно-сульфатном ( $Cl-SO_4$ ) химизме засоления были не засолены и слабозасолены соответственно. В чеке 8 почвы имели среднее засоление при сульфатном химизме с содержанием гипса до 25 % и карбонатов до 19 %, что обуславливает низкую водопроницаемость, несмотря на их загипсованность и высокое содержание в ППК кальция (Ca) (таблица 3). В почвах чеков 2 и 4 в ППК преобладает магний (Mg) при низком содержании кальция, что вызывает диспергацию почвенной массы с последующим ее уплотнением.

**Таблица 3 – Солевой состав почв для проведения лабораторного опыта**

**Table 3 – Salt composition of soils for laboratory experiments**

№ поля		Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	Сумма солей, %	pH	Гипс, %
Cl:SO <sub>4</sub> – хлоридно-сульфатный										
Поле 1 (чек 2)	ммоль-экв/100 г	0,61	0,44	0,58	0,69	0,38	0,79	0,099	7,8	0,52
	г/100 г (%)	0,022	0,029	0,028	0,014	0,016	0,018			
Cl:SO <sub>4</sub> – хлоридно-сульфатный										
Поле 2 (чек 4)	ммоль-экв/100 г	0,46	0,60	0,39	0,88	0,12	0,45	0,139	7,9	0,73
	г/100 г (%)	0,016	0,037	0,019	0,018	0,001	0,010			
Cl:SO <sub>4</sub> – сульфатный										
Поле 3 (чек 8)	ммоль-экв/100 г	0,76	0,44	15,67	14,25	0,69	1,89	1,308	7,7	25,57
	г/100 г (%)	0,020	0,027	0,753	0,285	0,008	0,043			

**Таблица 4 – Химические свойства почв для проведения лабораторного опыта**

**Table 4 – Chemical soil characteristics for laboratory experiments**

№ поля	Гумус, %	Карбонаты, %	Ca	Mg	Na	∑ ППК, ммоль-экв/100 г	Ca	Mg	Na
			ммоль-экв/100 г				% от ∑ ППК		
Поле 1 (чек 2)	2,0	0	20,02	8,98	0,45	29,45	68	30	2
Поле 2 (чек 4)	2,0	0	18,20	5,80	0,37	24,37	74	24	2
Поле 3 (чек 8)	1,8	19,3	87,52	0,64	0,33	88,49	97	2	1

Изменения солевого состава почв под влиянием применяемых мелиорантов и промывок представлены в таблице 5, из данных которой видно, что промывки способствовали уменьшению общего содержания солей. В чеке 2 их количество уменьшилось на 12 %, в чеке 4 – на 54 %, а в чеке 8 – всего на 5 %. Это свидетельствует о том, что загипсованные почвы плохо поддаются промывкам.

Необходимо отметить, что при проведении химической мелиорации в незасоленной почве чека 2 произошло увеличение содержания солей. При этом в почве чека 2, в которой хлоридно-сульфатный химизм трансформировался после мелиорации в сульфатный, сумма солей при внесении фосфогипса дозой 30 т/га и электролита травления стали дозой 42 т/га составила соответственно 0,495 и 0,497 %, что почти в пять раз больше, чем на контроле. Соли представлены в основном ионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , сумма которых в составе солей соответственно равна 87 и 79 %. На варианте с внесением фосфогипса и электролита травления стали в половинных дозах количество солей было только в 2,5 раза больше, чем на контроле. При этом преобладали ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , определяющие сульфатный химизм засоления (таблица 5).

Это подтверждают результаты определения содержания гипса. Наибольшее его количество обнаружено на варианте с внесением фосфогипса дозой 30 т/га – 0,98 %, несколько ниже его содержание (0,403 %) на варианте с внесением электролита травления стали дозой 42 т/га, а на варианте с внесением сочетания мелиорантов – 0,321 % (таблица 6). Как видно из данных таблицы 6, химическая мелиорация способствовала оптимизации состава ППК.

В чеке 4 согласно расчетам доза фосфогипса составила 20 т/га, а доза электролита травления стали 26 т/га. Проведенная здесь химическая мелиорация также способствовала накоплению солей в виде гипса, но в меньших количествах. Так, на варианте с внесением фосфогипса содержание солей составило 0,24 %, что в 2,7 раза больше, чем на контрольном варианте.

При этом доля  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  от суммы солей равнялась 77 %, а по химизму засоления почвы стали сульфатными. Внесение электролита травления стали в меньшей степени воздействовало на накопление сульфатных солей. Общее содержание солей составило 0,102 %, а на контроле 0,090 %. Содержание сульфатных солей при этом составляло 55 %. Химизм засоления почв не изменился, остался прежним (таблица 5). Совместное внесение мелиорантов в половинных дозах увеличило содержание солей почти в два раза (0,165 %), из них 0,113 % в абсолютных единицах приходится на сульфатные. В этих почвах, промелиорированных меньшими дозами, количество гипса несколько ниже, чем в почвах чека 2, но мелиорирующий эффект, заключающийся в увеличении содержания Са и уменьшении Mg, проявляется в достаточной степени (см. таблицу 6).

Чек 8 представлен гипсоносными почвами, в которых содержание гипса составляет 10 %, а на некоторых участках до 25 %. Для лабораторного опыта взяты почвы с 25 % содержания гипса и количеством солей 1,308 %. Такие почвы требуют проведения промывок для удаления водорастворимых солей. Для усиления промывного эффекта использованы кислото- и кальцийсодержащие мелиоранты: фосфогипс и электролит травления стали. Результаты определения солевого состава почв после проведения химической мелиорации и промывок показали, что такие почвы не поддаются мелиорации, так как гипсовое засоление этих почв носит природный характер и представлено большим содержанием гипса с легкорастворимыми солями, которые из-за малой растворимости гипса не поддаются промывкам. Как показал лабораторный опыт, фосфогипс не повышал растворимость солей. Их количество, по сравнению с контролем, уменьшилось всего на 8 %. При внесении электролита травления стали в чистом виде вынос солей составил 17 %, а в сочетании с фосфогипсом – 16 %. Содержание гипса в этих почвах изменилось в сторону уменьшения, но не сократилось даже до 10 %. ППК под влиянием мелиорантов и промывок существенных изменений не претерпел (см. таблицы 5 и 6).

**Таблица 5 – Солевой состав почв после применения мелиорантов и промывок**

**Table 5 – Salt composition of soils after the ameliorants application and leaching**

Вариант опыта	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	Сумма солей, %	pH	Химизм засоления
<b>Чек 2</b>									
Контроль (без мелиорации)	0,16	0,56	1,03	1,25	0,38	0,12	0,087	7,9	0,16 – Cl:SO <sub>4</sub>
	0,006	0,034	0,049	0,025	0,005	0,003			
Ф – 30 т/га	0,18	0,48	6,69	6,13	1,0	0,23	0,495	7,6	0,03 – SO <sub>4</sub>
	0,006	0,028	0,321	0,123	0,012	0,005			
ЭТС – 42 т/га	0,20	0,56	6,69	5,18	2,13	0,14	0,497	7,8	0,04 – SO <sub>4</sub>
	0,006	0,034	0,321	0,103	0,003	0,034			
Ф – 15 т/га + ЭТС – 21 т/га	0,18	0,52	2,65	2,75	0,50	0,10	0,228	7,7	0,08 – SO <sub>4</sub>
	0,006	0,032	0,127	0,055	0,006	0,002			
<b>Чек 4</b>									
Контроль (без мелиорации)	0,20	0,72	0,28	0,75	0,25	0,20	0,090	8,0	0,71 – Cl:SO <sub>4</sub>
	0,007	0,044	0,013	0,015	0,003	0,008			
Ф – 20 т/га	0,16	0,56	2,89	2,61	0,93	0,07	0,240	7,9	0,07 – SO <sub>4</sub>
	0,006	0,034	0,138	0,052	0,01	0,002			
ЭТС – 26 т/га	0,16	0,68	0,57	1,0	0,13	0,28	0,102	8,0	0,3 – Cl:SO <sub>4</sub>
	0,006	0,041	0,027	0,020	0,002	0,006			
Ф – 10 т/га + ЭТС – 13 т/га	0,20	0,56	1,62	1,75	0,38	0,25	0,165	7,9	0,12 – SO <sub>4</sub>
	0,007	0,034	0,078	0,035	0,005	0,006			
<b>Чек 8</b>									
Контроль (без мелиорации)	0,18	0,62	14,49	14,50	2,40	0,29	1,243	7,7	0,01 – SO <sub>4</sub>
	0,006	0,038	0,696	0,290	0,100	0,007			
Ф – 30 т/га	0,20	0,48	16,28	15,75	1,00	0,21	1,149	7,6	0,01 – SO <sub>4</sub>
	0,007	0,029	0,781	0,315	0,012	0,005			
ЭТС – 42 т/га	0,20	0,52	14,50	14,75	0,25	0,22	1,032	7,7	0,01 – SO <sub>4</sub>
	0,007	0,032	0,697	0,295	0,003	0,005			
Ф – 15 т/га + ЭТС – 21 т/га	0,20	0,56	14,49	14,75	0,38	0,12	1,042	7,7	0,01 – SO <sub>4</sub>
	0,007	0,034	0,697	0,296	0,005	0,003			
Примечание – Числитель – ммоль-экв/100 г; знаменатель – г/100 г (%).									

**Таблица 6 – Химические свойства почв после применения мелиорантов и промывок**

**Table 6 – Chemical soil characteristics after the ameliorants application and leaching**

Вариант опыта	Гипс, %	Карбонаты, %	Ca	Mg	Na + K	∑ ППК, ммоль-экв/100 г	Ca	Mg	Na
			ммоль-экв/100 г				% от ∑ ППК		
<b>Чек 2</b>									
Контроль (без мелиорации)	0,158	0,0	17,5	6,18	0,64	24,32	72	25	3
Ф – 30 т/га	0,980	0,0	26,2	4,00	0,60	30,8	85	13	2
ЭТС – 42 т/га	0,403	0,0	20,0	4,25	0,71	24,96	80	17	3
Ф – 15 т/га + ЭТС – 21 т/га	0,321	0,0	22,3	4,25	0,71	27,26	82	16	2
<b>Чек 4</b>									
Контроль (без мелиорации)	0,276	0,24	16,1	6,19	0,73	23,02	70	27	3
Ф – 20 т/га	0,504	0,0	21,1	3,75	0,67	25,52	83	15	2
ЭТС – 26 т/га	0,271	0,0	18,4	3,25	0,83	22,48	82	14	4
Ф – 10 т/га + ЭТС – 13 т/га	0,254	0,28	20,4	3,75	0,7	24,85	82	15	3
<b>Чек 8</b>									
Контроль (без мелиорации)	19,668	1,91	35,9	1,63	0,70	38,23	94	4	2
Ф – 30 т/га	14,213	1,79	36,8	1,25	0,64	38,69	95	3	2
ЭТС – 42 т/га	11,039	0,92	35,7	1,13	0,68	37,51	95	3	2
Ф – 15 т/га + ЭТС – 21 т/га	12,422	1,28	36,1	1,88	0,71	38,69	93	5	2

**Выводы.** Лабораторные опыты показали, что почвы хлоридно-сульфатного засоления, обладающие магниевой солонцеватостью и недо-насыщенностью обменным кальцием почвенного поглощающего комплек-са, можно улучшить, используя в качестве мелиоранта фосфогипс и элект-ролит травления стали, как наиболее доступные для землепользователей. Они способствуют образованию гипса, ускоряющему процессы замены обменного магния и натрия кальцием.

Мелиорация высокозагипсованных почв с содержанием гипса более 20 % и легкорастворимых солей более 1,0 % традиционными методами ма-лоуспешна. Видимо, такие почвы целесообразно переводить под другие угоды.

#### **Список источников**

1. Орошение и почвенное плодородие в различных климатических зонах / Р. С. Масный, Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, А. Н. Бабичев, Р. Е. Юркова, В. А. Мона-стырский, В. И. Ольгаренко; ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2023. 225 с. Деп. в ВИНТИ РАН 03.04.23, № 9-B2023.
2. Бабичев А. Н., Бабенко А. А. Анализ использования химической мелиорации на различных типах почв // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2021. № 2(82). С. 63–71.
3. Аманбаева Б. Ш., Бекбаев Р. К., Джайсамбекова Р. А. Комплексная мелиора-ция деградированных орошаемых земель юга Казахстана // Наука и мир. 2017. Т. 1, № 11(51). С. 56–59.
4. Минашина Н. Г., Егоров В. В. Мелиоративные особенности и классификации гипсоносных почв // Почвоведение. 1975. № 10. С. 74–85.
5. Ямнова И. А., Панкова Е. И. Гипсовые образования и формирующие их эле-ментарные почвообразовательные процессы // Почвоведение. 2013. № 12. С. 14–23.
6. Зайдельман Ф. Р. Деградация мелиорированных почв России и сопредельных стран в результате изменения их водного режима и способы защиты. Воронеж: Кварта, 2014. 269 с.
7. Каллас Е. В., Марон Т. А. Мелиорация засоленных почв и методы их изуче-ния: учеб.-метод. пособие. Томск: Изд. дом Том. гос. ун-та, 2018. 138 с.
8. Свойства почв, обладающие засоленностью, солонцеватостью, гипсоностно-стью и возможности их использования / А. А. Бабенко, А. Н. Бабичев, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, С. А. Селицкий // Инновационные технологии в земледелии и мелиора-ции на современном этапе развития АПК: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с меж-дунар. участием, посвящ. 90-летию каф. земледелия, почвоведения и мелиорации Дагест. гос. аграр. ун-та им. М. М. Джамбулатова. Махачкала, 2022. С. 115–123.
9. Минашина Н. Г., Шишов Л. Л. Гипсоносные почвы, распространение, генезис, классификация // Почвоведение. 2002. № 3. С. 273–281.
10. Исаков В. Ю., Иминчев Р. А. Водно-физические свойства гипсоносных почв Южной Ферганы // Actual Issues of Agricultural Development: Problems and Solutions: In-ternational Scientific-Practical Conf. Фергана, 2023. С. 748–753.

11. О методах восстановления гипсоносных и сильногипсоносных почв Сырдарьинской области в современных условиях / Ф. Ф. Садиев, М. З. Юлдашев, Ю. И. Широкова, Г. К. Полуашова, М. А. Якубов // *Irrigation and Melioration*. 2019. № 4(18). С. 7–13.

12. Юркова Р. Е., Докучаева Л. М. Изменения физико-химических свойств почв с комплексным покровом при различных способах и дозах внесения фосфогипса // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]*. 2016. № 4(24). С. 100–117. URL: [http://www.rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb4-rec1116-field12.pdf](http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1116-field12.pdf) (дата обращения: 16.08.2023).

13. Бабичев А. Н., Бабенко А. А. Влияние мелиорации почв на их плодородие // *Инновационные технологии в АПК: теория и практика: сб. ст. IX Междунар. науч.-практ. конф., 15–16 марта 2023 г. Пенза: ПГАУ, 2023. С. 9–12.*

14. Докучаева Л. М., Юркова Р. Е., Бабичев А. Н. Эффективность использования фосфогипса с органикой для почв комплексного покрова при орошении // *Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]*. 2022. Т. 12, № 4. С. 1–19. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1309> (дата обращения: 16.08.2023). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-1-19>.

15. Куликова Е. В., Горбунова Н. С., Куликов Ю. А. Влияние мелиорации фосфогипсом на экологическое состояние черноземов Каменной степи // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2023. Т. 16, № 2(77). С. 81–89. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2023\\_2\\_81-89](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_2_81-89).

16. Long-term combined effects of tillage and rice cultivation with phosphogypsum or farmyard manure on the concentration of salts, minerals, and heavy metals of saline-sodic paddy fields in Northeast China / L. Huang, Y. Liu, J. F. S. Ferreira, M. Wang, J. Na, J. Huang, Z. Liang // *Soil and Tillage Research*. 2022, Jan. Vol 215. 105222. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105222>.

17. 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 общ. ред. В. Н. Щедрина. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. 137 с.

## References

1. Masny R.S., Balakay G.T., Dokuchaeva L.M., Babichev A.N., Yurkova R.E., Monastyrsky V.A., Olgarenko V.I., 2023. *Oroshenie i pochvennoe plodorodie v razlichnykh klimaticheskikh zonakh* [Irrigation and soil fertility in different climatic zones]. Novocher-kassk, 225 p., deposited in VINITI RAS on 04.03.2023, no. 9-B2023. (In Russian).

2. Babichev A.N., Babenko A.A., 2021. *Analiz ispol'zovaniya khimicheskoy melioratsii na razlichnykh tipakh pochv* [Analysis of chemical reclamation use on various types of soils]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(82), pp. 63-71. (In Russian).

3. Amanbaeva B.Sh., Bekbaev R.K., Dzhaisambekova R.A., 2017. *Kompleksnaya melioratsiya degradirovannykh oroshaemykh zemel' yuga Kazakhstana* [Integrated reclamation of degraded irrigated lands in the south of Kazakhstan]. *Nauka i mir* [Science and World], vol. 1, no. 11(51), pp. 56-59. (In Russian).

4. Minashina N.G., Egorov V.V., 1975. *Meliorativnye osobennosti i klassifikatsii gipsonosnykh pochv* [Reclamation features and classifications of gypsum-containing soils]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 10, pp. 74-85. (In Russian).

5. Yamnova I.A., Pankova E.I., 2013. *Gipsovye obrazovaniya i formiruyushchie ikh elementarnye pochvoobrazovatel'nye protsessy* [Gypsum formations and elementary soil-forming processes of their formation]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 12, pp. 14-23. (In Russian).

6. Zaidelman F.R., 2014. *Degradatsiya meliorirovannykh pochv Rossii i sopredel'nykh stran v rezul'tate izmeneniya ikh vodnogo rezhima i sposoby zashchity* [Degradation of Reclaimed Soils in Russia and Adjacent Countries as a Result of Changes in Their Water Regime and Methods of Protection]. Voronezh, Kvarta Publ., 269 p. (In Russian).

7. Kallas E.V., Maron T.A., 2018. *Melioratsiya zasolennykh pochv i metody ikh izucheniya: ucheb.-metod. posobie* [Reclamation of Saline Soils and Methods of Their Study: educational guide]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 138 p. (In Russian).

8. Babenko A.A., Babichev A.N., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., Selitsky S.A., 2022. *Svoystva pochv, obladayushchie zasolennost'yu, solontsevatost'yu, gipsonostnost'yu i vozmozhnosti ikh ispol'zovaniya* [Properties of soils with salinity, alkalinity, gypsum content and the possibility of their use]. *Innovatsionnye tekhnologii v zemledelii i melioratsii na sovremennom etape razvitiya APK: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 90-letiyu kafedry zemledeliya, pochvovedeniya i melioratsii* [Innovative Technologies in Agriculture and Land Reclamation at the Present Stage of Development of Agro-Industrial Complex: Proc. of All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation, Dedicated to the 90<sup>th</sup> Anniversary of the Chair of Agriculture, Soil Science and Land Reclamation of Dagestan State Agrarian University named after M. M. Dzhambulatov]. Makhachkala, pp. 115-123. (In Russian).

9. Minashina N.G., Shishov L.L., 2002. *Gipsonosnye pochvy, rasprostranenie, genezis, klassifikatsiya* [Gypsum-containing soils: their distribution, genesis and classification]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 3, pp. 273-281. (In Russian).

10. Isakov V.Yu., Iminchev R.A., 2023. *Vodno-fizicheskie svoystva gipsonosnykh pochv Yuzhnoy Fergany* [Water-physical properties of gypsum-containing soils of Southern Fergana]. Actual Issues of Agricultural Development: Problems and Solutions: International Scientific-Practical Conference. Fergana, pp. 748-753. (In Russian).

11. Sadiev F.F., Yuldashev M.Z., Shirokova Yu.I., Poluashova G.K., Yakubov M.A., 2019. *O metodakh vosstanovleniya gipsonosnykh i sil'nogipsonosnykh pochv Syrdar'inskoy oblasti v sovremennykh usloviyakh* [On methods for restoring gypsum-based and highly gypsum-bearing soils of the Syrdarya region under modern conditions]. *Irrigation and Melioration*, no. 4(18), pp. 7-13. (In Russian).

12. Yurkova R.E., Dokuchaeva L.M., 2016. [Changes in physical and chemical properties of integrated cover soils with different methods and rates of phosphogypsum application]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 4(24), pp. 100-117, available: [http://www.rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb4-rec1116-field12.pdf](http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1116-field12.pdf) [accessed 16.08.2023]. (In Russian).

13. Babichev A.N., Babenko A.A., 2023. *Vliyanie melioratsii pochv na ikh plodorodie* [The effect of soil reclamation on their fertility]. *Innovatsionnye tekhnologii v APK: teoriya i praktika: sb. statey IX Mezhdunaridnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovative Technologies in Agro-Industrial Complex: Theory and Practice: Coll. of Articles of the IX International Scientific-Practical Conference]. Penza, PGAU, pp. 9-12. (In Russian).

14. Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., Babichev A.N., 2022. [The efficiency of phosphogypsum application with organics for integrated cover soils of during irrigation]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 4, pp. 1-19, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1309> [accessed 16.08.2023], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-1-19>. (In Russian).

15. Kulikova E.V., Gorbunova N.S., Kulikov Yu.A., 2023. *Vliyanie melioratsii fosfogipsom na ekologicheskoe sostoyanie chernozemov Kamennoy stepi* [Effect of phosphogypsum reclamation on the ecological status of chernozem soils of the Kamennaya Steppe]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bull. of Voronezh State Agrarian University], vol. 16, no. 2(77), pp. 81-89, [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2023\\_2\\_81-89](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_2_81-89). (In Russian).

16. Huang L., Liu Y., Ferreira J.F.S., Wang M., Na J., Huang J., Liang Z., 2022. Long-term combined effects of tillage and rice cultivation with phosphogypsum or farmyard manure on the concentration of salts, minerals, and heavy metals of saline-sodic paddy fields in Northeast China. *Soil and Tillage Research*, Jan., vol. 215, 105222, <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105222>.

17. Shchedrin V.N., Balakai 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 авторе***

**А. А. Бабенко** – младший научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, [rosniipmshm@yandex.ru](mailto:rosniipmshm@yandex.ru), AuthorID: 1041758, ORCID ID: 0000-0002-7582-4907.

#### ***Information about the author***

**A. A. Babenko** – Junior Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, [rosniipmshm@yandex.ru](mailto:rosniipmshm@yandex.ru), AuthorID: 1041758, ORCID ID: 0000-0002-7582-4907.

*Автор несет ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.  
The author is responsible for violation of scientific publication ethics.*

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.  
The author declares no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 06.12.2023; одобрена после рецензирования 25.12.2023; принята к публикации 30.01.2024.  
The article was submitted 06.12.2023; approved after reviewing 25.12.2023; accepted for publication 30.01.2024.*