

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.85:631.67

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-1-19

Эффективность использования фосфогипса с органикой для почв комплексного покрова при орошении

Лидия Михайловна Докучаева¹, Рита Евгеньевна Юркова²,
Александр Николаевич Бабичев³

^{1, 2, 3}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹dokuchaeva_lm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4831-7640>

²rita6161@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8275-5834>

³babichevan2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

Аннотация. Цель: установить влияние доз фосфогипса в сочетании с органикой на свойства почв комплексного покрова, их продуктивность, а также обосновать экономическую целесообразность их применения для химической мелиорации при орошении. **Материалы и методы.** Исследования проводились в Мартыновском районе Ростовской области в течение 4 лет на почвах комплексного покрова согласно схеме опыта, включающей внесение фосфогипса (Ф) и органики (Н) определенными дозами. Исследования выполнены согласно общепринятым методикам. **Результаты.** Установлено, что внесение фосфогипса в дозе 10 т/га способствовало рассолонцеванию чернозема южного до 3 % натрия от суммы почвенного поглощающего комплекса и увеличению количества кальция и магния до оптимальных параметров для этой почвы. На солонце содержание обменного натрия уменьшилось до 9–8 % в вариантах с дозой 10 т/га Ф. В варианте с дозой 5 т/га Ф процесс рассолонцевания почв протекал несколько медленнее, что связано с недостаточной дозой мелиоранта для солонца. Накопление гумуса в наибольшей степени наблюдалось в варианте 10 т/га Ф + 40 т/га Н. Оно составило после 4 лет на черноземе южном 0,24 %, а на солонце – 0,19 %. Обе почвы, входящие в комплекс, разуплотнились, и в лучшем варианте плотность сложения чернозема южного составила 1,17 т/м³, а на солонце – 1,20 т/м³. Улучшение свойств почв способствовало увеличению урожайности. К 4-му году последствия мелиорантов она увеличилась на 73–85 % на южном черноземе и на 69–79 % на солонце по сравнению с контролем. Продуктивность в среднем за 4 года исследований на черноземе южном составила от 7,18 (5 т/га Ф + 40 т/га Н) до 8,03 т з. е./га (10 т/га Ф + 40 т/га Н), а на контроле 4,82 т з. е./га. На солонце соответственно от 6,03 до 6,93 т з. е./га, на контроле – 4,30 т з. е./га. **Выводы:** внесение фосфогипса с органикой обеспечивает как мелиорирующий, так и экономический эффект на солонцовых почвах комплексного покрова.

Ключевые слова: фосфогипс, органика, орошение, доза внесения, эффективность, продуктивность

Для цитирования: Докучаева Л. М., Юркова Р. Е., Бабичев А. Н. Эффективность использования фосфогипса с органикой для почв комплексного покрова при орошении // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С. 1–19. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-1-19>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

The efficiency of phosphogypsum application with organics for integrated cover soils during irrigation

Lidiya M. Dokuchayeva¹, Rita Ye. Yurkova², Alexandr N. Babichev³

^{1, 2, 3}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹dokuchaeva_lm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4831-7640>

²rita6161@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8275-5834>

³babichevan2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

Abstract. Purpose: to determine the impact of phosphogypsum rates in combination with organic matter on the properties of integrated cover soils, their productivity, and also to substantiate the economic feasibility of their application for chemical reclamation during irrigation. **Materials and methods.** The studies were carried out in the Martynovsky district Rostov region for 4 years on the integrated cover soils according to the scheme of the experiment, including the application of phosphogypsum (Ph) and organic matter (OM) at certain rates. The studies were carried out according to generally accepted methods. **Results.** It has been stated that the phosphogypsum application at 10 t/ha rate contributed to the southern chernozem desalination up to 3 % sodium from the total soil-absorbing complex and an calcium and magnesium increase to the optimal parameters for this soil. On the solonetz, the content of exchangeable sodium decreased to 9–8 % in the variants with 10 t/ha Ph rate. In the variant with 5 t/ha Ph rate, the process of soil salinization proceeded somewhat more slowly, which is associated with an insufficient ameliorant rate for the solonetz. The accumulation of humus to the greatest extent was observed in the variant 10 t/ha Ph + 40 t/ha OM. After 4 years, it amounted to 0.24 % on the southern chernozem, and 0.19 % on the solonetz. Both soils included in the complex decompacted, and in the better option, the southern chernozem density was 1.17 t/m³, and on the solonetz – 1.20 t/m³. The soil properties improvement contributed to the increase in productivity. By the 4th year of the aftereffect of ameliorants, it increased by 73–85 % on the southern chernozem and by 69–79 % on solonetz compared with the control. The average productivity for 4 years of research on the southern chernozem ranged from 7.18 (5 t/ha Ph + 40 t/ha OM) to 8.03 t grain units/ha (10 t/ha Ph + 40 t/ha OM), and in the control 4.82 t grain units/ha. On the solonetz, respectively, it increased from 6.03 to 6.93 t grain units/ha, in the control – 4.30 t grain units/ha. **Conclusions:** the application of phosphogypsum with organic matter provides both reclamative and economic effect on solonetz integrated cover soils.

Keywords: phosphogypsum, organics, irrigation, application rate, efficiency, productivity

For citation: Dokuchayeva L. M., Yurkova R. Ye., Babichev A. N. The efficiency of phosphogypsum application with organics for integrated cover soils during irrigation. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(4):1–19. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-1-19>.

Введение. Для обеспечения продуктами питания населения всего земного шара, в т. ч. и России, необходимо повышать плодородие всех используемых почв, а также улучшать неплодородные и малоплодородные почвы, что возможно при проведении в основном химических мелиораций.

Особое внимание должно уделяться проведению этих работ на мелиорированных землях [1–3].

Химическая мелиорация – это коренное улучшение земель по всей огромной территории России. На юге проводится орошение и устраняются засоление, солонцеватость и щелочность почв. На севере осушаются переувлажненные земли и ведется борьба с вредной кислотностью.

К химической мелиорации необходимо прибегать в тех случаях, когда требуется быстро изменить неблагоприятную для растений среду, повысить плодородие. Для этого в почву вносят химические вещества. На кислых почвах проводят известкование, на солонцеватых – гипсование (фосфогипсование), на щелочных – кислование [4, 5].

По данным Росреестра, из обследованных в 2019 г. 11,2 млн га пашни кислые почвы занимают 36,9 %, нейтральные – 48,7 %, солонцеватые и щелочные – 14,7 % [6]. В целом в химической мелиорации нуждаются 51,6 % пашни. Эти почвы разные по своим свойствам и требуют дифференцированного подхода к освоению. Исходя из этого, поиск новых подходов к мелиорации таких почв на настоящий момент актуален [7–9].

Многие исследователи пришли к выводу, что наилучшим мелиорантом для солонцеватых и щелочных почв является фосфогипс [9–12]. Складевать на суше крупнотоннажный побочный продукт химического производства – фосфогипс, попадающий потом в реки и океаны, – не лучшая практика [10]. Во многих странах фосфогипс используется в качестве мелиоранта почвы [13, 14].

Солонцеватые почвы относятся к малогумусным почвам, поэтому внесение фосфогипса должно сопровождаться на этих землях пополнением органики.

Цель исследований – установить влияние доз фосфогипса в сочетании с органикой на свойства почв комплексного покрова, их продуктив-

ность, а также обосновать экономическую целесообразность их применения для химической мелиорации при орошении.

Материалы и методы. Солонцовые почвы юга России представлены двумя категориями:

- почвы, обладающие природной солонцеватостью, располагаются в комплексе, в котором среди зональных почв встречаются пятна солонцов;
- почвы, вторично осолонцованные в результате выщелачивания кальция из почвенного поглощающего комплекса (ППК) и замены его натрием.

Объектом исследований являлись почвы комплексного покрова, обладающие природной солонцеватостью. Опытный участок расположен в ООО «Цимлянское» Мартыновского района Ростовской области, представлен черноземом южным (зональная почва) и солонцом (30 %). Исследования проводились в течение 4 лет.

Схема опыта:

- контроль – без мелиорантов;
- 10 т/га фосфогипса (Ф) – расчетная доза (РД);
- 10 т/га Ф + 20 т/га навоза (Н);
- 10 т/га Ф + 40 т/га Н;
- 5 т/га Ф (половина РД) + 40 т/га Н.

Для усиления мелиоративного эффекта химической мелиорации, в т. ч. и на контроле, проведено глубокое рыхление на глубину 50 см рыхлителем РГ-05. Опыт осуществлялся в условиях орошения. Режим орошения – оптимальный для возделываемых культур: кукуруза на зеленую массу, кукуруза на зерно, озимая пшеница, ячмень под покров люцерны [15]. Образцы почв отбирались перед внесением мелиорантов и органики и осенью каждого года после уборки сельскохозяйственных культур.

В почвенных образцах определялись: состав водной вытяжки^{1, 2, 3, 4, 5, 6} и ППК^{7, 8}, общее содержание гумуса⁹. В шурфах определялась плотность сложения почв методом кольца по Качинскому. Урожайность сельскохозяйственных культур – по Доспехову¹⁰. Годовая эффективность $\mathcal{E}_r$ рассчитывалась по формуле [16]:

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E}_i - EK,$$

где $\mathcal{E}_i$ – стоимость дополнительной продукции, руб./га;

E – нормативный коэффициент, равный 0,15;

K – капитальные затраты, руб./га.

Коэффициент экономической эффективности капитальных затрат $\mathcal{E}_{к.з.}$ рассчитывался по формуле [17]:

$$\mathcal{E}_{к.з.} = \frac{\Delta\Pi}{K},$$

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.

⁶ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки [Электронный ресурс]. Введ. 1986-01-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

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

¹⁰Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Кн. по требованию, 2012. 352 с.

где $\Delta\P$ – прирост годовой прибыли, руб./га;

K – капитальные затраты, руб./га.

Определение щелочности и токсичных солей проводилось расчетным методом [18].

Результаты и обсуждение. Химическая мелиорация прежде всего оказывает воздействие на физико-химические свойства почв комплексного покрова (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние химической мелиорации на физико-химические свойства почв комплексного покрова на фоне глубокого рыхления при орошении (слой 0–50 см)

Table 1 – Influence of chemical reclamation on physical and chemical integrated cover soils properties against the background of deep loosening during irrigation (layer 0–50 cm)

Вариант опыта	Сумма солей, %	Токсичные соли, %	Щелочность		% от суммы ППК		
			pH	$\text{HCO}_3 - \text{Ca} + \text{Na} + \text{Mg}$, ммоль(экв)/100 г	Ca	Mg	Na
1	2	3	4	5	6	7	8
Чернозем южный (до мелиорации)							
Контроль	0,145	0,104	7,7	0,76	72	20	8
10 т/га Ф	0,157	0,107	7,8	0,82	70	21	9
10 т/га Ф + 20 т/га Н	0,149	0,100	7,9	0,85	71	22	7
10 т/га Ф + 40 т/га Н	0,151	0,112	7,8	0,79	71	20	9
5 т/га Ф + 40 т/га Н	0,153	0,116	7,9	0,99	72	21	7
После 4 лет мелиорации							
Контроль	0,173	0,100	7,9	0,95	68	22	10
10 т/га Ф	0,111	0,065	7,4	0,42	80	17	3
10 т/га Ф + 20 т/га Н	0,096	0,059	7,6	0,54	81	16	3
10 т/га Ф + 40 т/га Н	0,075	0,048	7,7	0,67	82	15	3
5 т/га Ф + 40 т/га Н	0,106	0,061	7,8	0,87	78	16	6
Солонец (до мелиорации)							
Контроль	0,204	0,140	8,0	1,03	64	15	21
10 т/га Ф	0,213	0,159	8,3	1,11	62	17	21
10 т/га Ф + 20 т/га Н	0,209	0,150	8,2	1,15	63	18	19
10 т/га Ф + 40 т/га Н	0,208	0,154	8,3	1,18	62	16	22

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3	4	5	6	7	8
5 т/га Ф + 40 т/га Н	0,217	0,165	8,4	1,20	61	18	21
После 4 лет мелиорации							
Контроль	0,199	0,129	8,4	1,12	63	18	19
10 т/га Ф	0,132	0,091	7,8	0,68	75	16	9
10 т/га Ф + 20 т/га Н	0,115	0,084	7,9	0,65	76	16	8
10 т/га Ф + 40 т/га Н	0,112	0,083	7,6	0,63	77	15	8
5 т/га Ф + 40 т/га Н	0,158	0,111	7,9	0,83	70	19	11

Химизм засоления обеих почв, входящих в комплекс, хлоридно-сульфатный, поэтому до мелиорации южный чернозем относился к незасоленным (менее 0,2 %), а солонец – к слабозасоленным разновидностям, в нем общее содержание солей по вариантам опыта равнялось 0,204–0,217 %. После 4 лет последействия фосфогипса и органики содержание водорастворимых солей уменьшилось в пределах 35–50 % на южном черноземе и на солонце при дозе 10 т/га Ф и на 31–27 и 42–46 % соответственно в вариантах с дозой 5 т/га Ф, которая недостаточна для полной мелиорации солонцовых почв. Это наглядно видно по щелочности и составу ППК.

Южные черноземы до мелиорации обладали слабой степенью щелочности. После 4 лет воздействия эти почвы во всех вариантах перешли в категорию нещелочных, кроме непромелиорированных на контроле, которые остались слабощелочными.

Солонцы до мелиорации имели среднюю щелочность от 1,11 до 1,20 ммоль(экв)/100 г, после 4 лет в вариантах с 10 т/га Ф она была устранена, а с 5 т/га Ф они приобрели свойства слабощелочных почв. Снижение щелочности при химической мелиорации подтвердили результаты определения реакции почв (рН).

Главная цель химической мелиорации солонцеватых почв – заменить обменный натрий (Na) в ППК обменным кальцием (Ca).

Южный чернозем опытного участка характеризовался средней солонцеватостью (от 7 до 9 % Na от Σ ППК) при недостаточном содержании обменного кальция (от 70 до 72 % от Σ ППК) и повышенном количестве обменного магния (Mg). Внесение фосфогипса в дозе 10 т/га способствовало рассолонцеванию чернозема и увеличению количества Ca и Mg до оптимальных параметров (ОП) для этих почв.

На солонце, обладающем сильной солонцеватостью (19–21 % от Σ ППК), содержание обменного Na уменьшилось до 9–8 % в вариантах с 10 т/га Ф. В варианте с 5 т/га Ф процесс рассолонцевания несколько ниже, что связано с недостаточной дозой мелиоранта для солонца.

Глубокое рыхление, на фоне которого проводилась химическая мелиорация, не способствовало оптимизации физико-химических свойств комплексного покрова, но разуплотняло почвы и увеличивало глубину мелиорируемого слоя. Рассолонцеванию был подвергнут весь 50-сантиметровый слой как южного чернозема, так и солонца.

Плотность сложения почв, обобщающий показатель их физических свойств, представлена на рисунках 1 и 2.

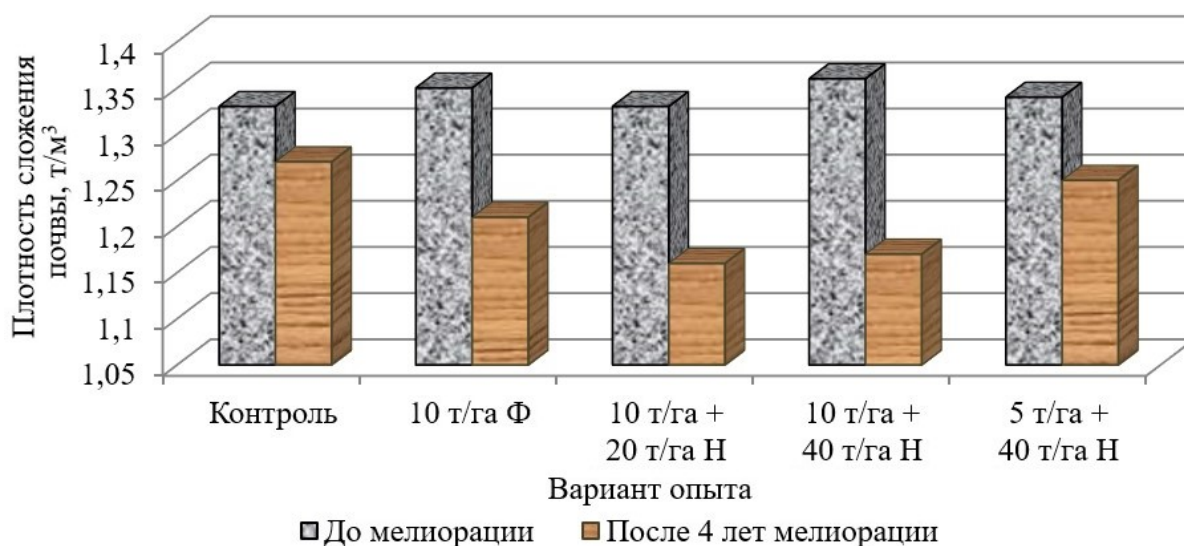


Рисунок 1 – Изменение плотности сложения черноземов южных при химической мелиорации на фоне глубокого рыхления

Figure 1 – Change in the southern chernozem bulk density during chemical reclamation against the background of deep loosening

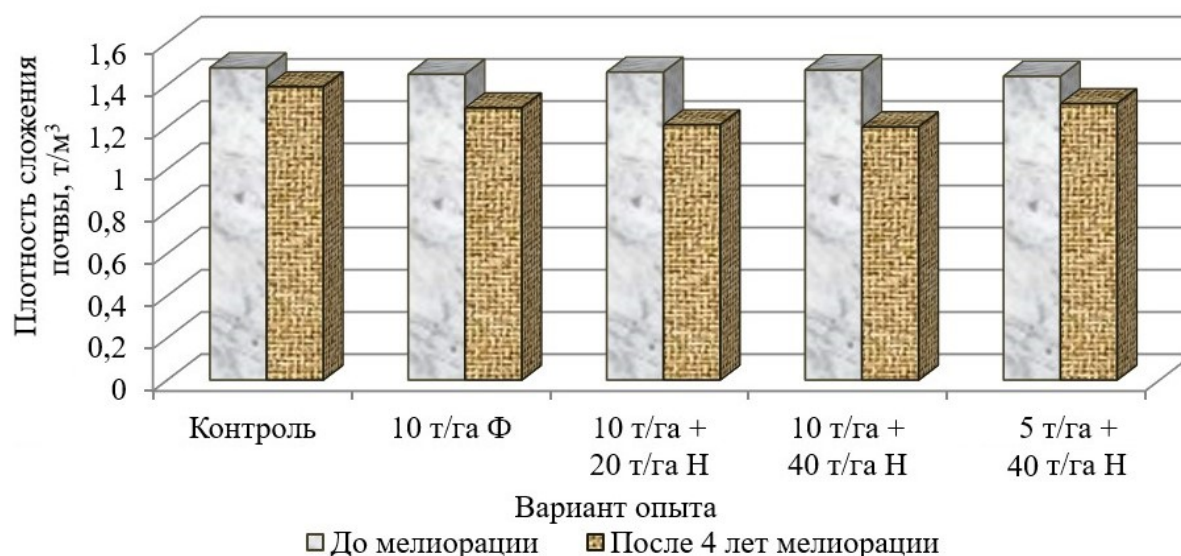


Рисунок 2 – Изменение плотности сложения солонца при химической мелиорации на фоне глубокого рыхления
Figure 2 – Solonetz bulk density variation during chemical reclamation against the background of deep loosening

Улучшение физических и физико-химических свойств почвенного покрова сопровождалось увеличением урожайности возделываемых культур (таблица 2).

Таблица 2 – Урожайность возделываемых культур на почвах комплексного покрова при химической мелиорации

В т/га

Table 2 – Cultivated crop yield on integrated cover soils during chemical reclamation

In t/ha

Культура	Вариант опыта				
	Контроль	10 т/га Ф	10 т/га Ф + 20 т/га Н	10 т/га Ф + 40 т/га Н	5 т/га Ф + 40 т/га Н
1	2	3	4	5	6
Чернозем южный					
Кукуруза на зеленую массу	27,2	33,2	34,8	36,7	34,3
НСР ₀₅ , т/га	3,15				
НСР ₀₅ , %	2				
Кукуруза на зерно	3,58	5,22	5,48	5,69	4,55
НСР ₀₅ , т/га	0,43				
НСР ₀₅ , %	4				
Озимая пшеница	3,74	5,95	6,36	6,76	5,68
НСР ₀₅ , т/га	0,79				
НСР ₀₅ , %	6				

Продолжение таблицы 2

Table 2 continued

1	2	3	4	5	6
Ячмень на зерно	2,35	4,11	4,28	4,35	4,06
НСР ₀₅ , т/га	0,22				
НСР ₀₅ , %	3				
Люцерна на зеленую массу	25,1	43,4	45,4	46,2	44,4
НСР ₀₅ , т/га	2,5				
НСР ₀₅ , %	7				
Солонец					
Кукуруза на зеленую массу	24,2	28,9	29,2	31,5	27,8
НСР ₀₅ , т/га	1,6				
НСР ₀₅ , %	2				
Кукуруза на зерно	3,32	4,65	4,91	5,14	4,55
НСР ₀₅ , т/га	0,92				
НСР ₀₅ , %	7				
Озимая пшеница	3,43	5,21	5,55	5,92	5,01
НСР ₀₅ , т/га	0,9				
НСР ₀₅ , %	3				
Ячмень на зерно	1,97	3,36	3,51	3,62	3,11
НСР ₀₅ , т/га	0,23				
НСР ₀₅ , %	4				
Люцерна на зеленую массу	21,6	36,5	37,4	38,7	33,8
НСР ₀₅ , т/га	2,1				
НСР ₀₅ , %	5				

В течение 4 лет на опытном участке возделывались различные культуры. Так как негативные свойства почв посредством химической мелиорации и глубокого рыхления устраняются постепенно из года в год, то и прибавки урожайности возрастают аналогично. Так, прибавка в первый год воздействия мелиоративных мероприятий при возделывании кукурузы на зеленую массу составила на черноземе южном 22 % в варианте с 10 т/га Ф и 35 % в лучшем варианте – 10 т/га Ф + 40 т/га Н.

На 4-й год последействия прибавки урожая ячменя на зерно равнялись соответственно 75 и 85 %, а люцерны на зеленую массу 73–84 %. Аналогичные результаты по этому показателю получены и на солонце, но с несколько меньшей прибавкой. В среднем за 4 года исследований наибольшие прибавки урожайности возделываемых культур получены как на черноземе юж-

ном, так и на солонце в варианте с внесением 10 т/га Ф + 40 т/га Н, которые соответственно составили 69–64 % (рисунок 3).

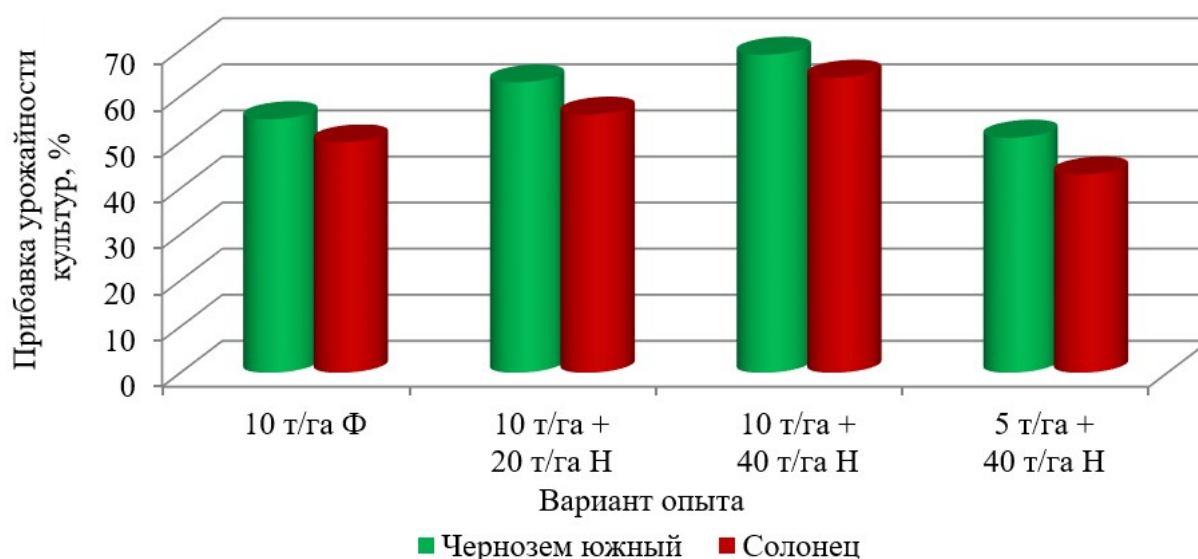


Рисунок 3 – Прибавка урожайности культур при химической мелиорации почв на фоне глубокого рыхления

Figure 3 – Crop yield increase with chemical reclamation against the background of deep loosening

Наихудшие результаты по этому показателю отмечены в варианте с внесением 5 т/га Ф + 40 т/га Н. Здесь прибавки урожайности возделываемых культур соответственно составили 47 и 43 %.

Южные черноземы и солонцы, входящие в комплекс почвенного покрова, обладают низким содержанием гумуса. Так как гумус в почве накапливается за счет гумификации пожнивно-корневых остатков (ПКО) и внесения органики, изучались варианты с 20 и 40 т/га навоза (таблица 3).

Из данных таблицы 3 видно, что наибольшее накопление гумуса наблюдалось в вариантах с внесением 40 т/га Н. Так, расчет баланса гумуса показал, что, например, в варианте 10 т/га Ф + 40 т/га Н гумус из ПКО после 4 лет воздействия мелиоративных мероприятий составил 5,43 т/га, а с навозом поступило 3 т/га гумуса, или 36 % от всей накопленной органики.

Расчет продуктивности мелиорированных земель представлен в таблице 4. Он показывает, что внесение 10 т/га Ф с навозом увеличивает про-

дуктивность от 53 до 67 % как чернозема южного, так и солонца по сравнению с контролем. При дозе 10 т/га фосфогипса прибавка продуктивности на черноземе южном в среднем за 4 года составила 53 %, а на солонце – 41 %. Половинная доза Ф (5 т/га), несмотря на применение 40 т/га Н, не обеспечивает той прибавки, что получается при 10 т/га Ф и 40 т/га Н. Она соответственно в этом варианте составляет 49 и 40 %.

Таблица 3 – Изменение общего содержания и накопления гумуса под влиянием химической мелиорации и внесения навоза
В %

Table 3 – Change in the humus total content and accumulation under the influence of chemical reclamation and manure application
In %

Почва	Вариант опыта				
	Контроль	10 т/га Ф	10 т/га Ф + 20 т/га Н	10 т/га Ф + 40 т/га Н	5 т/га Ф + 40 т/га Н
Чернозем южный	До мелиорации				
	3,12	3,23	3,27	3,19	3,20
	После 4 лет мелиорации				
	3,17	3,38	3,46	3,43	3,41
	Накопление гумуса				
	0,05	0,15	0,19	0,24	0,21
Солонец	До мелиорации				
	2,38	2,40	2,35	2,41	2,37
	После 4 лет мелиорации				
	2,46	2,52	2,51	2,60	2,55
	Накопление гумуса				
	0,08	0,12	0,16	0,19	0,18

Таблица 4 – Продуктивность мелиорированных земель комплексного покрова
В т з. е./га

Table 4 – Productivity of integrated cover reclaimed lands
In tons of grain units per hectare

Культура	Вариант опыта				
	Конт-роль	10 т/га Ф	10 т/га Ф + 20 т/га Н	10 т/га Ф + 40 т/га Н	5 т/га Ф + 40 т/га Н
1	2	3	4	5	6
Чернозем южный					
Кукуруза на зеленую массу	4,62	5,64	5,92	6,24	5,83
Кукуруза на зерно	4,08	5,95	5,25	6,45	5,19
Озимая пшеница	3,74	5,95	6,36	6,76	5,68

Продолжение таблицы 4

Table 4 continued

1	2	3	4	5	6
Ячмень на зерно + люцерна на зеленую массу (2 укоса)	6,87	11,92	12,45	12,67	12,05
Всего за 4 года	19,31	29,46	29,98	32,12	28,75
В среднем за 4 года	4,82	7,37	7,50	8,03	7,18
Солонец					
Кукуруза на зеленую массу	4,11	4,91	4,97	5,36	4,73
Кукуруза на зерно	3,78	5,30	5,60	5,86	5,19
Озимая пшеница	3,43	5,21	5,55	5,92	5,01
Ячмень на зерно + люцерна на зеленую массу (2 укоса)	5,86	9,93	10,24	10,59	9,19
Всего за 4 года	17,18	25,35	26,36	27,73	24,12
В среднем за 4 года	4,30	6,34	6,59	6,93	6,03
Комплексный покров с 30 % солонцов					
В среднем за 4 года	4,64	7,06	7,23	7,70	6,84

В целом по комплексному покрову с 30 % солонцов продуктивность составила от 6,84 т з. е./га (5 т/га Ф + 40 т/га Н) до 7,7 т з. е./га (10 т/га Ф + 40 т/га Н), а на контроле – 4,64 т з. е./га.

Сравнительный анализ экономической эффективности различных доз фосфогипса и навоза на фоне глубокого рыхления представлен в таблице 5.

Из данных таблицы 5 видно, что наибольший экономический эффект, несмотря на большие капитальные затраты, получен в варианте с внесением 10 т/га Ф + 40 т/га Н. На черноземе южном он составил 43,21 тыс. руб./га, на солонце – 34,50 тыс. руб./га. В целом по комплексному покрову он равнялся 40,95 тыс. руб./га.

Окупаемость капитальных затрат во всех вариантах не превышает 1 года, а наибольший $\mathcal{E}_{\text{к.з.}}$ в варианте с 10 т/га Ф.

Мелиорирующий эффект определяется улучшенными свойствами почв, что сказывается на продуктивности земель, а также на экономической эффективности (рисунок 4).

Таблица 5 – Экономический эффект мелиораций на почвах комплексного покрова
Table 5 – Economic impact of reclamation on integrated cover soils

Способ мелиорации	Капитальные затраты, тыс. руб./га	Дополнительная продукция, т з. е./га, в среднем за 4 года	Стоимость дополнительной продукции в среднем за 4 года, тыс. руб./га	Годовой экономический эффект, тыс. руб./га	Окупаемость затрат, год	Коэффициент экономической эффективности капитальных затрат ($\mathcal{E}_{к.з.}$)
Чернозем южный						
10 т/га Ф	20,47	2,55	38,25	35,18	0,6	1,7
10 т/га Ф + 20 т/га Н	26,61	2,68	40,20	36,21	0,7	1,4
10 т/га Ф + 40 т/га Н	32,95	3,21	48,15	43,21	0,8	1,3
5 т/га Ф + 40 т/га Н	24,85	2,36	35,40	31,67	0,8	1,3
Солонец						
10 т/га Ф	20,47	2,04	30,60	27,53	0,7	1,3
10 т/га Ф + 20 т/га Н	26,61	2,29	34,35	30,36	0,9	1,1
10 т/га Ф + 40 т/га Н	32,95	2,63	39,45	34,50	0,9	1,0
5 т/га Ф + 40 т/га Н	24,85	1,74	26,10	22,37	1,1	0,9
Комплексный покров с 30 % солонцов						
10 т/га Ф	20,47	2,42	36,30	33,23	0,6	1,6
10 т/га Ф + 20 т/га Н	26,61	2,59	38,85	34,86	0,7	1,3
10 т/га Ф + 40 т/га Н	32,95	3,06	45,90	40,95	0,8	1,2
5 т/га Ф + 40 т/га Н	24,85	2,20	33,00	29,27	0,8	1,2

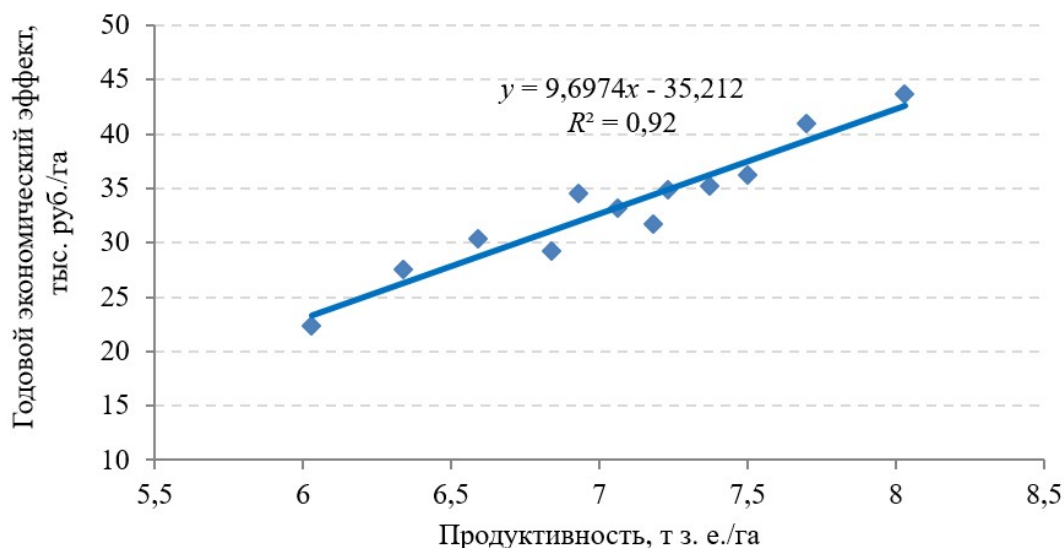


Рисунок 4 – Взаимосвязь между продуктивностью земель и годовым экономическим эффектом
Figure 4 – Relationship between land productivity and annual economic impact

Прослеживается тесная взаимосвязь между данными показателями, что подтверждается коэффициентом детерминации $R^2 = 0,92$.

Выводы. Комплексный покров, представленный южным черноземом (зональная почва) и 30 % солонцов, обладает природной солонцеватостью. Содержание обменного натрия в слое 0–50 см этих почв до мелиорации составило соответственно 7–10 и 19–22 % от Σ ППК. Общее содержание гумуса в черноземе южном низкое (в пределах 3 %), в солонце – очень низкое (в пределах 2 %). Пашня чернозема южного сильно уплотнена, а пашня солонца имеет типичные значения для подпахотных горизонтов.

Выявленные негативные свойства почв комплексного покрова указали на необходимость проведения мероприятий по снижению солонцеватости (внесение фосфогипса), по накоплению органики (внесение навоза) и по разуплотнению (глубокое рыхление).

Четырехлетние исследования показали, что внесение фосфогипса в дозе 10 т/га способствовало рассолонцеванию чернозема южного до 3 % Na от Σ ППК и увеличению количества Ca и Mg до оптимальных параметров для этой почвы. На солонце содержание обменного Na уменьшилось

до 9–8 % в вариантах с дозой 10 т/га Ф. В варианте с дозой 5 т/га Ф процесс рассолонцевания почв протекал несколько медленнее, что связано с недостаточной дозой мелиоранта для солонца.

Накопление гумуса в наибольшей степени наблюдалось в варианте 10 т/га Ф + 40 т/га Н. Оно составило после 4 лет на черноземе южном 0,24 %, а на солонце – 0,19 %. Под воздействием мелиоративных мероприятий, в т. ч. и глубокого рыхления, обе почвы, входящие в комплекс, разуплотнились и в лучшем варианте плотность сложения чернозема южного составила 1,17 т/м³, а на солонце – 1,20 т/м³.

Улучшение свойств почв способствовало увеличению урожайности. К 4-му году последствий мелиорантов она увеличилась на 73–85 % на южном черноземе и на 69–79 % на солонце по сравнению с контролем. Продуктивность в среднем за 4 года исследований на черноземе южном составила от 7,18 (5 т/га Ф + 40 т/га Н) до 8,03 т з. е./га (10 т/га Ф + 40 т/га Н), а на контроле 4,82 т з. е./га. На солонце соответственно от 6,03 до 6,93 т з. е./га, на контроле – 4,30 т з. е./га.

Расчеты экономической эффективности подтвердили целесообразность проведения на почвах солонцовых комплексов мероприятий, включающих фосфогипсование, внесение органики, осуществление глубокого рыхления и орошения. Это обеспечивает годовой экономический эффект от 29,3 до 45,9 тыс. руб./га при окупаемости капитальных затрат за 0,6–0,8 года.

Список источников

1. Мелиорация солонцовых почв в условиях орошения / Н. С. Скуратов, О. Ю. Шалашова, И. Н. Лозановская, Л. М. Докучаева, Т. В. Усанина. Новочеркасск: НОК, 2005. 180 с.
2. Каллас Е. В., Марон Т. А. Мелиорация засоленных почв и методы их изучения: учеб.-метод. пособие. Томск: Изд. дом Том. ун-та, 2018. 138 с.
3. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: информ. изд. М.: Росинформагротех, 2020. 304 с.
4. Докучаева Л. М., Юркова Р. Е., Шалашова О. Ю. О правилах проведения мероприятий по химической мелиорации почв // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 4(64). С. 177–182.

5. Приемы повышения плодородия почв (известкование, фосфоритование, гипсование): науч.-метод. рекомендации. М.: Росинформагротех, 2021. 116 с.
6. Государственный доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2019 году. М., 2020. 206 с.
7. Гребенщикова Е. А., Юст Н. А., Пыхтеева М. А. Влияние химической мелиорации путем внесения золошлаковых отходов на физико-химические свойства почвы // Вестник КрасГАУ. 2016. № 6. С. 3–8.
8. Фоменко Т. Г., Попова В. П., Черников Е. А. Влияние химической мелиорации на физико-химические свойства черноземных почв орошаемых плодовых питомников // Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 2. С. 44–49.
9. Бабичев 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://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1156> (дата обращения: 15.06.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-1-22.
10. Калиниченко В. П. Эффективное использование фосфогипса в земледелии // Питание растений. 2017. № 1. С. 2–33.
11. Перспективы применения фосфогипса как химического мелиоранта в земледелии Российской Федерации / Р. В. Некрасов, Н. И. Аканова, А. Х. Шеуджен, М. М. Визирская // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 6(372). С. 93–98. DOI: 10.24411/2587-6740-2019-16115.
12. Докучаева Л. М., Юркова Р. Е., Шалашова О. Ю. Использование фосфогипса и фосфогипсодержащих мелиорантов для мелиорации солонцовых почв в условиях орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2012. № 3(07). С. 52–64. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=113&id=116> (дата обращения: 16.06.2022).
13. Residual effects of phosphogypsum rates and machinery traffic on soil attributes and common-bean (*Phaseolus vulgaris*) yield in a no-tillage system / L. Michalovicz, C. A. Torrena, M. M. L. Müller, W. A. Dick, E. C. Cervi // Soil and Tillage Research. 2021. Vol. 213. 105152. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105152>.
14. Duart V. M., Garbuio F. J., Caires E. F. Does direct-seeded rice performance improve upon lime and phosphogypsum use? // Soil and Tillage Research. 2021. Vol. 212. 105055. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105055>.
15. Зональные системы земледелия Ростовской области (на период 2013–2020 гг.). В 3 ч. Ч. 1 / М-во сел. хоз-ва и продовольствия Рост. обл. Ростов н/Д., 2012. 234 с.
16. Справочник по планированию и экономике сельскохозяйственного производства / Г. В. Кулик [и др.]. 2-е изд. М.: Россельхозиздат, 1987. Ч. 1. 512 с.
17. Краснощеков В. Н., Ольгаренко Г. В., Ольгаренко Д. Г. Методические рекомендации по оценке эколого-экономической эффективности инвестиционных проектов мелиорации земель сельскохозяйственного назначения. Коломна, 2016. 97 с.
18. 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. Skuratov N.S., Shalashova O.Yu., Lozanovskaya I.N., Dokuchaeva L.M., Usanina T.V., 2005. *Melioratsiya solonzovykh pochv v usloviyakh orosheniya* [Reclamation of Alkaline Soils under Irrigation]. Novocherkassk, NOK Publ., 180 p. (In Russian).
2. Kallas E.V., Maron T.A., 2018. *Melioratsiya zasolennykh pochv i metody ikh izucheniya: uchebno-metod. posobie* [Reclamation of Saline Soils and Methods of their Study: textbook]. Tomsk, Tomsk University, 138 p. (In Russian).

3. *Meliorativnyy kompleks Rossiyskoy Federatsii: inform. izd.* [Land Reclamation Complex of the Russian Federation: inform. ed.]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2020, 304 p. (In Russian).
4. Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., Shalashova O.Yu., 2016. *O pravilakh provedeniya meropriyatiy po khimicheskoy melioratsii pochv* [On the rules for carrying out measures for chemical soil reclamation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(64), pp. 177-182. (In Russian).
5. *Priemy povysheniya plodorodiya pochv (izvestkovanie, fosforitovanie, gipsovanie): nauchno-metod. rekomendatsii* [Techniques for Increasing Soil Fertility (Liming, Phosphorizing, Gypsuming): scientific method. recommendations]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2021, 116 p. (In Russian).
6. *Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Rossiyskoy Federatsii v 2019 godu* [State Report on the State and Use of Land in the Russian Federation in 2019]. Moscow, 2020, 206 p. (In Russian).
7. Grebenshchikova E.A., Yust N.A., Pykhteeva M.A., 2016. *Vliyanie khimicheskoy melioratsii putem vneseniya zoloshlakovykh otkhodov na fiziko-khimicheskie svoystva pochvy* [The influence of chemical melioration on physical and chemical properties of the soil by introduction of ash waste]. *Vestnik KrasGAU* [Bull. of KrasGAU], no. 6, pp. 3-8. (In Russian).
8. Fomenko T.G., Popova V.P., Chernikov E.A., 2018. *Vliyanie khimicheskoy melioratsii na fiziko-khimicheskie svoystva chernozemnykh pochv oroshaemykh plodovykh pitomnikov* [Effect of chemical melioration on the physico-chemical properties of the black soil of irrigated fruit nursery]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* [Russian Agricultural Science], no. 2, pp. 44-49. (In Russian).
9. 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://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1156> [accessed 15.06.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-4-1-22. (In Russian).
10. Kalinichenko V.P., 2017. *Effektivnoe ispol'zovanie fosfogipsa v zemledelii* [Effective use of phosphogypsum in agriculture]. *Pitanie rasteniy* [Plant Nutrition], no. 1, pp. 2-33. (In Russian).
11. Nekrasov R.V., Akanova N.I., Sheudzhen A.Kh., Vizirskaya M.M., 2019. *Perspektivy primeneniya fosfogipsa kak khimicheskogo melioranta v zemledelii Rossiyskoy Federatsii* [Prospects for the phosphogypsum application in agriculture of the Russian Federation as a chemical ameliorant]. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* [International Agricultural Journal], no. 6(372), pp. 93-98, DOI: 10.24411/2587-6740-2019-16115. (In Russian).
12. Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., Shalashova O.Yu., 2012. [The phosphogypsum and phosphogypsum-containing ameliorants application for solonetz reclamation under irrigation]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 3(07), pp. 52-64, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=113&id=116> [accessed 16.06.2022]. (In Russian).
13. Michalovicz L., Tormena C.A., Müller M.M.L., Dick W.A., Cervi E.C., 2021. Residual effects of phosphogypsum rates and machinery traffic on soil attributes and common-bean (*Phaseolus vulgaris*) yield in a no-tillage system. *Soil and Tillage Research*, vol. 213, 105152, <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105152>.
14. Duarte V.M., Garbuió F.J., Caires E.F., 2021. Does direct-seeded rice performance improve upon lime and phosphogypsum use? *Soil and Tillage Research*, vol. 212, 105055, <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105055>.
15. *Zonal'nye sistemy zemledeliya Rostovskoy oblasti (na period 2013–2020 gg.)* [Zonal Farming Systems of Rostov Region (for the period 2013–2020)]. In 3 parts, pt. 1, Ministry of Agriculture and Food of Rostov Region, Rostov-on-Don, 2012, 234 p. (In Russian).
16. Kulik G.V. [et al.], 1987. *Spravochnik po planirovaniyu i ekonomike sel'skokho-*

zyaystvennogo proizvodstva [Handbook of Planning and Economics of Agricultural Production]. 2nd ed., pt. 1, Moscow, Rosselkhozizdat Publ., 512 p. (In Russian).

17. Krasnoshchekov V.N., Olgarenko G.V., Olgarenko D.G., 2016. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke ekologo-ekonomicheskoy effektivnosti investitsionnykh proektov melioratsii zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya* [Guidelines for the Assessment of Ecological and Economic Efficiency of Investment Projects of Land Reclamation for Agricultural Purposes]. Kolomna, 97 p. (In Russian).

18. 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 Irrigated Land Soil Fertility Control and Regulation]. Novocherkassk, RosNIIPM, 137 p. (In Russian).

Информация об авторах

Л. М. Докучаева – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук;
Р. Е. Юркова – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук;
А. Н. Бабичев – ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

L. M. Dokuchayeva – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences;
R. Ye. Yurkova – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences;
A. N. Babichev – Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences.

*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 01.07.2022; одобрена после рецензирования 09.09.2022;
принята к публикации 26.09.2022.*

*The article was submitted 01.07.2022; approved after reviewing 09.09.2022; accepted for
publication 26.09.2022.*