Аграрный научный журнал. 2025. № 11. С. 22–27
Agrarian Scientific Journal. 2025;(11):22–27

АГРОНОМИЯ
4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

Научная статья
УДК: 631.432.4:631.816:631.67
https://doi.org/10.28983/asj.y2025i11pp22-27

Формирование влагозапасов и изменение плотности почвы при внесении фосфогипса при возделывании сои в условиях орошения Саратовского Левобережья

Константин Евгеньевич Денисов, Илья Сергеевич Полетаев, Вячеслав Алексеевич Тонкошкур, Анастасия Александровна Гераскина, Федор Петрович Четвериков
Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, г. Саратов, Россия
e-mail: poletaevilja@mail.ru

Аннотация. Работа посвящена исследованию влияния различных доз фосфогипса на агрофизические свойства почвы, влагосбережение и продуктивность посевов сои. Авторами показано, что применение фосфогипса способствует значительному улучшению почвенных условий: снижению плотности и повышению влажности с прямой зависимостью эффекта от увеличивающейся дозы внесения. В результате исследования установлено, что оптимальной дозой фосфогипса является 6 т/га, что обеспечивает достоверное повышение урожайности сои на 32–35 % и существенное снижение коэффициента водопотребления культуры. При этом авторами отмечено снижение эффективности при максимальной дозе 8 т/га, что, по их мнению, может быть связано с возможным угнетающим действием избытка химических элементов и требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: соя, фосфогипс, влажность почвы, плотность почвы, коэффициент водопотребления
Для цитирования: Денисов К. Е., Полетаев И. С., Тонкошкур В. А., Гераскина А. А., Четвериков Ф. П. Формирование влагозапасов и изменение плотности почвы при внесении фосфогипса при возделывании сои в условиях орошения Саратовского Левобережья // Аграрный научный журнал. 2025. № 11. С. 22–27. https://doi.org/10.28983/asj.y2025i11pp22-27.

AGRONOMY

Original article

Stored moisture and soil density changes with phosphogypsum application during soybean cultivation under irrigation in the Saratov Left Bank

Konstantin E. Denisov, Ilya S. Poletaev, Vyacheslav A. Tonkoshkur, Anastasia A. Geraskina, Fedor P. Chetverikov
Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia
e-mail: poletaevilja@mail.ru

Abstract. This paper examines the effect of varying phosphogypsum application rates on the agrophysical properties of soil, water conservation, and productivity of soybean crops. The authors show that phosphogypsum application significantly improves soil conditions: reducing density and increasing moisture, with the effect directly dependent on increasing application rates. The study found out that the optimal phosphogypsum rate is 6 t/ha, which significantly increases soybean yield by 32–35 % and significantly reduces the crop's water consumption coefficient. However, the authors noted a decrease in effectiveness at the maximum rate of 8 t/ha, which, in their opinion, may be due to the potential inhibitory effect of excess chemical elements and requires further study.

Keywords: soybean, phosphogypsum, soil moisture, soil density, water consumption coefficient
For citation: Denisov K. E., Poletaev I. S., Tonkoshkur V. A., Geraskina A. A., Chetverikov F. P. Stored moisture and soil density changes with phosphogypsum application during soybean cultivation under irrigation in the Saratov Left Bank. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2025;(11):22–27. (In Russ.). https://doi.org/10.28983/asj.y2025i11pp22-27.

Введение. В настоящее время остро стоит вопрос проявления эрозионных процессов и деградации почвенного покрова земель сельскохозяйственного назначения. Важнейшими показателями способности почвы противостоять разрушающему действию воды и ветра являются структурный состав и плотность, которые в свою очередь сильно зависят от содержания кальция в почве. Кальций способствует коагуляции почвенных коллоидов и предупрежде-

нию их вымывания, что приводит к облегчению обработки почвы и улучшению ее аэрации [2, 3, 6, 8].

Поскольку в сельскохозяйственном производстве наблюдается нарастающий дефицит кальция в почве, представляется актуальным исследование возможности применения фосфогипса (ФГ) – отхода производства фосфорной кислоты и других химических продуктов, состоящих в основном из $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, способствующего повышению плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур [1, 5, 10].

Мировое производство отходов фосфогипса составляет от 100 до 280 млн т/г. В России на предприятиях по производству минеральных удобрений ежегодно образуется около 15 млн т фосфогипса, а продолжительность его хранения в отвалах и накопителях превышает 50 лет, что создает угрозу загрязнения окружающей среды [7, 11].

В связи с этим использование фосфогипса в качестве удобрения и мелиоранта позволяет повысить плодородие почв, с одной стороны, и утилизировать отходы – с другой [9].

Цель исследований – изучить процессы накопления и сохранения влаги, изменения плотности почвы и коэффициента водопотребления при использовании различных доз фосфогипса.

Материалы и методы. Эксперимент проводили в 2023–2025 гг. на территории ФГБОУ ВО Вавиловского университета в Энгельсском районе Саратовской области в УНПО «Поволжье». Почва опытного участка темно-каштановая, среднемощная, среднесуглинистая с содержанием гумуса 2,8 %.

Погодные условия периода вегетации 2023 г. характеризовались низкими температурами воздуха по сравнению со среднемноголетними значениями и большим количеством осадков в весенний период (ГТК = 0,8). Второй год исследований (2024) был засушливым (ГТК = 0,2). В 2025 г. все месяцы вегетационного периода характеризовались дефицитом осадков (ГТК = 0,3).

Для достижения поставленной цели опыт закладывали по следующей схеме:

1) контроль (без использования фосфогипса);
2) фосфогипс в дозе 4 т/га (4 т ФГ);
3) фосфогипс в дозе 6 т/га (6 т ФГ);
4) фосфогипс в дозе 8 т/га (8 т ФГ).

Повторность – трехкратная. Площадь каждой делянки – 100 м^2. Размещение – рендомизированное.

Фосфогипс вносили весной под предпосевную культивацию. Высевали сорт сои Натали нормой 800 тыс. всхожих семян на 1 га. Все учеты и наблюдения проводили в соответствии с общепринятыми методиками [4].

Результаты исследований. Наличие кальция в составе фосфогипса оказывает влияние на изменение плотности почвы. Перед посевом в годы исследований плотность почвы в слое 0–30 см составила 1,31; 1,15 и 1,14 г/см^3 соответственно. К уборке этот показатель повышался на контроле до 1,42; 1,27 и 1,35 г/см^3 соответственно (таблица 1).

Таблица 1 – Формирование плотности почвы при внесении фосфогипса за годы исследований, г/см^3

Table 1 – Soil density with the phosphogypsum application over the research years, g/cm^3

Слой почвы, см	Плотность почвы, г/см^3			
	0–10	10–20	20–30	0–30
2023 г.				
	До посева			
Контроль	1,08	1,38	1,48	1,31
	После уборки			
Контроль	1,33	1,39	1,54	1,42
4 т ФГ	0,96	1,22	1,42	1,19
6 т ФГ	1,00	1,14	1,15	1,10
8 т ФГ	0,93	1,02	1,08	1,01

Окончание таблицы 1

Слой почвы, см	Плотность почвы, г/см³			
	0–10	10–20	20–30	0–30
2024 г.				
До посева				
Контроль	1,05	1,21	1,19	1,15
После уборки				
Контроль	1,24	1,27	1,30	1,27
4 т ФГ	1,12	1,27	1,21	1,20
6 т ФГ	0,81	1,16	1,14	1,04
8 т ФГ	1,24	1,27	1,30	1,27
2025 г.				
До посева				
Контроль	0,96	1,11	1,35	1,14
После уборки				
Контроль	1,20	1,36	1,49	1,35
4 т ФГ	1,18	1,31	1,49	1,33
6 т ФГ	1,06	1,25	1,43	1,25
8 т ФГ	1,02	1,19	1,20	1,14

Применение изучаемого агрохимиката привело к снижению плотности почвы к моменту уборки. Отмечали, что увеличение вносимой дозы фосфогипса повышало эффективность снижения плотности почвы. Если при дозе 4 т/га плотность почвы в слое 0–30 см по годам варьировала от 1,19 до 1,33 г/см³, то при дозе 6 т/га это значение составило 1,04–1,25 г/см³, увеличение дозы до 8 т/га снижало плотность почвы в 2023 г. до 1,01 г/см³, что ниже контроля на 0,41 г/см³, а в 2025 – до 1,14 г/см³, что ниже контроля 0,21 г/см³.

Влажность почвы – важнейший показатель, определяющий урожайность сельскохозяйственных культур территории Саратовского левобережья. От способности почвы накапливать и удерживать влагу зависит эффективность ее использования культурой.

В результате проведения исследований отмечали, что весной перед посевом сои влажность в метровом слое почвы сильно зависела от погодных условий. В 2023 г. она составила 18,2 %, в острозасушливых 2024 и 2025 г. – 9,4 и 15,2 % соответственно. К моменту уборки сои показатель влажности почвы снижался на контроле до 9,7–12,1 % (таблица 2).

Таблица 2 – Динамика влажности почвы по вариантам опыта в годы исследований, %

Table 2 – Dynamics of soil moisture according to experimental variants during the research years, %

Слой почвы, см	До посева	К моменту уборки			
	Контроль	Контроль	4 т ФГ	6 т ФГ	8 т ФГ
2023 г.					
0–10	19,0	14,7	15,3	16,4	16,6
10–20	19,3	10,8	11,0	11,9	12,3
20–30	19,4	11,0	11,0	11,2	11,6
30–40	18,4	11,8	11,4	11,0	11,2
40–50	18,1	11,5	11,5	11,1	12,3
50–60	17,9	12,0	12,2	12	12,9
60–70	17,7	12,2	12,4	12,3	12,9

Окончание таблицы 2

Слой почвы, см	До посева	К моменту уборки			
	Контроль	Контроль	4 т ФГ	6 т ФГ	8 т ФГ
70–80	17,7	12,2	12,5	12,6	12,8
80–90	17,7	12,6	12,8	12,6	13
90–100	17,3	12,5	12,8	12,9	13
0–20	3,8	2,5	2,6	2,8	2,8
0–100	18,2	12,1	12,2	12,4	12,8
2024 г.					
0–10	8,85	5,8	8,8	9,8	10,8
10–20	11,55	8,1	10,8	11,8	12,2
20–30	11,8	10,9	11,4	11,8	12,6
30–40	9,6	11,5	11,3	10,8	12,1
40–50	8	11,4	10,6	10,4	11,0
50–60	8,2	9,8	9,5	9,4	9,6
60–70	8,65	9,8	9,7	9,5	9,6
70–80	12,6	9,7	9,7	9,7	9,7
80–90	7,65	9,6	9,5	9,7	9,8
90–100	7,65	10,8	9,9	9,8	9,7
0–20	2,0	1,3	1,9	2,1	2,3
0–100	9,4	9,7	10,1	10,2	10,7
2025 г.					
0–10	21,6	10,2	10,6	11,9	12,2
10–20	21,5	8,7	9,8	10,2	10,9
20–30	20,6	8,1	9,4	10,1	10,0
30–40	19,1	10,8	9,0	8,5	10,5
40–50	17,3	10,9	9,9	9,6	10,6
50–60	15,0	9,8	9,5	9,3	10,1
60–70	13,2	9,9	9,7	9,3	10,2
70–80	7,1	9,9	9,6	9,4	10,2
80–90	7,6	10,0	9,6	9,6	10,4
90–100	9,9	9,9	9,7	9,8	10,5
0–20	4,3	1,8	2,0	2,2	2,3
0–100	15,2	9,8	9,6	9,7	10,5

Внесение различных доз фосфогипса способствовало сохранению влаги в почве, при этом отмечали прямую зависимость увеличения влажности почвы от повышения дозы фосфогипса. Наибольший эффект сохранения влаги отмечали в слое 0–40 см, с дальнейшим продвижением вглубь различия между вариантами нивелируются. Это связано с тем, что фосфогипс вносили в верхний 40-сантиметровый слой почвы. На варианте с внесением 8 т/га фосфогипса влажность почвы в 2023 г. составила 12,8 %, отклонение от контроля равнялось 0,7 абс. %; в 2024 г. – 10,7 % с отклонением от контроля 0,1 абс. %; в 2025 г. – 10,5 %, отклонение от контроля составило 0,7 абс. %.

Сохранение влаги в почве способствовало формированию большей урожайности сои в годы исследований. В 2024 г. на контроле этот показатель составил 20,1 ц/га, внесение фосфогипса

в дозе 4 т/га повысило его до 2,58 т/га, отклонение от контроля составило 0,57 т/га, увеличение дозы до 8 т/га повысило урожайность до 2,49 т/га. Самый высокий эффект отмечали на варианте с внесением 6 т/га фосфогипса: урожайность составила 2,66 т/га, что выше контроля на 0,65 т/га, или на 32 %. Аналогичный эффект отмечали в 2024 г.: при урожайности на контроле 1,95 т/га применение фосфогипса в дозе 6 т/га повысило ее до 2,63 т/га, или на 35 % (таблица 3).

Таблица 3 – Урожайность и коэффициент водопотребления сои в годы исследований

Table 3 – Yield and water consumption coefficient of soybeans in the research years

Вариант опыта	2023 г.		2024 г.	
	Урожайность, т/га	Коэффициент водопотребления	Урожайность, т/га	Коэффициент водопотребления
Контроль	2,01	1491	1,95	1033
4 т ФГ	2,58	1151	2,49	787
6 т ФГ	2,66	1111	2,63	734
8 т ФГ	2,49	1158	2,43	772
	$НСР_{05}$= 0,063		$НСР_{05}$= 0,13	

Эффективность использования влаги культурой показывает коэффициент водопотребления. В 2023 г. на контроле он составил 1491, на вариантах с фосфогипсом он снижался при дозе 4 т/га до 1151, при дозе 8 т/га – до 1158. Самый низкий коэффициент водопотребления отмечали при внесении дозы 6 т/га – 1111, что ниже контроля на 380 ед. Это свидетельствует о более эффективном использовании влаги растениями сои при формировании урожая и связано с улучшением почвенных условий при использовании изучаемых доз агрохимиката.

В 2024 г. проведения исследований тенденция снижения коэффициента водопотребления при увеличении доз внесения фосфогипса сохраняется. На контроле изучаемый показатель составил 1033, на варианте с дозой 6 т/га он составил 734, что ниже контроля на 299 ед. и является самым эффективным вариантом.

Заключение. Применение фосфогипса на посевах сои способствует снижению плотности почвы. Самый высокий эффект в среднем по годам отмечается при внесении максимальной изучаемой дозы 8 т/га (0,21–0,41 г/см^3).

Использование фосфогипса способствовало сохранению влаги в почве. Несмотря на то, что влажность в метровом слое почвы сильно зависела от погодных условий, отмечали прямую зависимость увеличения влажности почвы от повышения дозы фосфогипса. На варианте с внесением 8 т/га фосфогипса влажность почвы по сравнению с контролем была выше на 0,7–0,1 абс. %. Основные различия отмечали в слое 0–40 см.

Изучаемый прием за счет улучшения агрофизических и водно-физических свойств почвы способствовал увеличению урожайности сои при дозе 6 т/га на 0,65 и 0,68 т/га, или на 32 и 35 % в 2023 и 2024 г. соответственно. При этом коэффициент водопотребления снижался на 380 и 299 единиц соответственно по годам исследований. Отмечали снижение эффективности фосфогипса при дозе 8 т/га, что, возможно, связано с повышением содержания химических элементов, угнетающих рост и развитие культурных растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агапова П. В., Киселев М. В., Фрейдкин И. А. Оценка биологической эффективности применения обесфторенного фосфогипса в качестве удобрения в последействии // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2024. № 1(75). С. 48–57.

2. Агроэкологическая эффективность фосфогипса в повышении продуктивности картофеля при орошении / Н. И. Аканова [и др.] // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2. С. 10–17.

3. Влияние фосфогипса на микроорганизмы почвогрунта / М. А. Каниськин [и др.] // Доклады по экологическому почвоведению. 2009. Т. 1. № 11. С. 62–78.

4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд. М.: Альянс, 2011. 32 с.

5. Исследование способов использования фосфогипса в качестве удобрения или компонента комплексного удобрения / Д. Монастырский [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 5(143).

6. 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.

7. Нигматзянов А. С. Использование фосфогипса в сельском хозяйстве для улучшения свойств почвы // Modern Science. 2020. № 6–4. С. 186–190.

8. Пиденко С. А., Ловцова Л. Г. Комплексные органоминеральные удобрения и мелиоранты – экологичный подход к утилизации фосфогипса // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2023. Т. 23. № 2. С. 166–174.

9. Содержание и запасы органического вещества в черноземе выщелоченном Южного Предуралья при внесении помета и фосфогипса / И. М. Габбасова [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. 2024. № 2. С. 20–23.

10. Федоткин В. А., Скипин Л. Н., Гузеева С. А. Последействие фосфогипса на химические свойства луговых солонцов // Плодородие. 2007. № 2(35). С. 15–16.

11. Федотова Л. С., Аканова Н. И., Косодуров К. С. Эффективность применения фосфогипса на дерново-подзолистой почве в севообороте с картофелем // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 41–50.

REFERENCES

1. Agapova P. V., Kiselev M. V., Freidkin I. A. Evaluation of the biological efficiency of using defluorinated phosphogypsum as a fertilizer in the aftereffect. *Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University.* 2024;1(75):48–57. (In Russ.).

2. Agroecological efficiency of phosphogypsum in increasing potato productivity under irrigation / N. I. Akanova, N. M. Trots, M. N. Mozharenko, N. V. Borovkova. *Bulletin of the Samara State Agricultural Academy*. 2023;(2):10–17. (In Russ.).

3. The Effect of Phosphogypsum on soil microorganisms / M. A. Kaniskin, V. A. Terekhova, T. A. Semenova, L. V. Lysak. *Reports on Ecological Soil Science.* 2009;1(11):62–78. (In Russ.).

4. Dospekhov B. A. Field experiment methodology (with basics of statistical processing of research results). 6th ed. Moscow, 2011. 32 p. (In Russ.).

5. A Study of Methods for Using Phosphogypsum as a Fertilizer or a Component of Complex Fertilizer / D. Monastyrsky, M. A. Kulikova, A. R. Shikhov, A. I. Sanaev. *International Research Journal.* 2024;5(143). (In Russ.).

6. Kulikova E. V., Gorbunova N. S., Kulikov Yu. A. The influence of phosphogypsum melioration on the ecological state of chernozems of the Kamennaya Steppe. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University.* 2023;16;2(77):81–89. (In Russ.).

7. Nigmatzyanov A. S. The use of phosphogypsum in agriculture to improve soil properties. *Modern Science*. 2020;(6-4):186–190. (In Russ.).

8. Pidenko S. A., Lovtsova L. G. Complex organomineral fertilizers and ameliorants – an environmentally friendly approach to the utilization of phosphogypsum. *Bulletin of the Saratov University. New series. Series Chemistry. Biology. Ecology*. 2023;23(2):166–174. (In Russ.).

9. The content and reserves of organic matter in leached chernozem of the Southern Cis-Urals with the addition of manure and phosphogypsum / I. M. Gabbasova, T. T. Garipov, M. A. Komissarov, R. R. Suleimanov, M. M. Ayvazyan, O. A. Melentyeva. *Problems of Agrochemistry and Ecology.* 2024;(2):20–23. (In Russ.).

10. Fedotkin V. A., Skipin L. N., Guzeeva S. A. Aftereffect of phosphogypsum on the chemical properties of meadow solonetzic soils. *Plodorodie*. 2007;2(35):15–16. (In Russ.).

11. Fedotova L. S., Akanova N. I., Kosodurov K. S. Efficiency of using phosphogypsum on sod-podzolic soil in crop rotation with potatoes. *Bulletin of the Samara State Agricultural Academy.* 2019;(2):41–50. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 02.09.2025; одобрена после рецензирования 28.09.2025; принята к публикации 10.10.2025.
The article was submitted 02.09.2025; approved after reviewing 28.09.2025; accepted for publication 10.10.2025.