

## ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ, СОИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СИСТЕМ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ НАНОКРЕМНИЯ

**А.А. МНАТСАКАНЯН**, кандидат сельскохозяйственных наук,  
ORCID ID: 0000-0002-1214-1068

**Г.В. ЧУВАРЛЕЕВА**, кандидат сельскохозяйственных наук,  
ORCID ID: 0000-0002-5150-890X

**О.Б. БЫКОВ**, научный сотрудник, ORCID ID: 0000-0002-0675-3463  
тел.: 8 (861) 222-67-47, E-mail: newagrotech2015@mail.ru

ФГБНУ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЗЕРНА ИМЕНИ П.П. ЛУКЪЯНЕНКО»

*В статье представлены данные по действию препарата, состоящего из нано частиц кремния с комплексом микроэлементов. Целью исследований является изучение эффективности действия препарата НаноКремний на плодородие чернозема выщелоченного Краснодарского края и урожайность озимой пшеницы и сои, в зависимости от систем основной обработки почвы. В задачу исследований входило изучение влияния НаноКремния на агрофизические и агрохимические показатели почвы, а также урожайность выращиваемых культур. Исследования проводились на чернозёме выщелоченном Краснодарского края в ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко», на базе агротехнологического отдела. В ходе опытов не выявлено положительного действия исследуемого препарата на органическое вещество, но при этом НаноКремний существенно влиял на изменение таких агрофизических свойств почвы, как объёмная масса и агрономически ценная структура. Так, при традиционной обработке, в слое 0–10 см оценка почвы по структурности – хорошая, а с применением препарата НаноКремний – отличная. Почва, обработанная по минимальной технологии на контроле в слое 0-40 см – плотная, а при внесении препарата НаноКремний – среднеплотная. На этой же системе обработки, уже на глубине 20-40 см структурность почв – удовлетворительная, тогда как с внесением исследуемого препарата – хорошая. Следует отметить положительное влияние НаноКремния на пористость и водопрочность почвенных агрегатов, которые также изменялись в лучшую сторону в зависимости от изучаемого слоя почвы и системы обработки почвы.*

*Обработка почвы препаратом НаноКремний в дозе 100 г/га влияла и на урожайность выращиваемых культурах. На посевах озимой пшеницы у растений отмечено утолщение стенок стебля, что повысило их устойчивость к полеганию. На этих вариантах получена урожайность превышающая контроль от 0,2 до 0,72 т/га, в зависимости от обработок почвы. На сое, в условиях неблагоприятных погодных условий 2018 года, достоверной прибавки урожайности не получено.*

**Ключевые слова:** агрофизика почв, органическое вещество, система обработки почвы, урожайность, озимая пшеница, соя.

## CHANGES IN SOIL FERTILITY AND YIELD OF WINTER WHEAT AND SOYBEANS INDICATORS DEPENDING ON THE SYSTEMS OF BASIC TREATMENT AND THE USE OF NANOSILICON

**A.A. Mnatsakanyan, G.V. Chuvarleeva, O.B. Bykov**  
FSBSI «P.P. LUKYANENKO NATIONAL CENTER FOR GRAIN»

**Abstract:** *The article presents data on the action of a preparation consisting of nanoparticles of silicon with a complex of microelements. The aim of the research is to study the effectiveness of the preparation NanoSilicon on the fertility of the leached chernozem of the Krasnodar Territory and the yield of winter wheat and soybeans, depending on the systems of basic tillage. The task of the research included the study of NanoSilicon for agrophysical and agrochemical parameters of the soil, as well as the yield of crops. The research was carried out on leached chernozem of Krasnodar region at FSBSI "P.P. Lukyanenko National Center for Grain", based on the agro-technological department. During the experiments, no positive effect of the investigated preparation on organic matter was revealed, but at the same time NanoSilicon significantly influenced the change in such agrophysical properties of the soil as bulk density and agronomically valuable structure. So, with traditional tillage, in the 0-10 cm layer, the soil structure assessment is good, and with the use of NanoSilicon preparation it is excellent. The soil cultivated according to the minimum technology on the control in the 0-40 cm layer is dense, and when NanoSilicon is applied, it is medium dense. On the same tillage system, already at a depth of 20-40 cm, the structure of soils is satisfactory, while with the introduction of the studied preparation it is good. It should be noted the positive effect of NanoSilicon on the porosity and water resistance of soil aggregates, which also changed for the better depending on the studied soil layer and the soil cultivation system.*

*Soil treatment with NanoSilicon preparation at a dose of 100 g / ha also influenced the yield of cultivated crops. On the sowing of winter wheat, the plants showed a thickening of the walls of the stem, which increased their resistance to lodging. On these variants, the yield exceeding the control was obtained from 0.2 to 0.72 t / ha, depending on soil treatments. On soybeans, under adverse weather conditions in 2018, no reliable increase in yield was obtained.*

**Keywords:** agrophysics of soils, organic matter, soil cultivation system, yield, winter wheat, soy.

Кремний – это один из самых распространенных элементов земной коры, роль которого в формировании почвенного плодородия и многообразии протекающих в почве процессов трудно переоценить.

В ряде отечественных и зарубежных работ подчеркивается особая важность кремния в формировании различных агрохимических и агрофизических свойств почв, в контроле многих геохимических и почвенных процессов [1, 2, 3]. Причем активно используется не только само вещество, но и все разнообразные и многочисленные его соединения.

Кремний почвенного раствора контролирует и определяет направленность многих процессов почвенной экосистемы. Основная часть соединений кремния играет роль минерального каркаса и инертна по отношению к процессам питания растений, которые могут усваивать только подвижные низкомолекулярные кремниевые кислоты. Содержание последних в почве крайне низко (не превышает 150-200 мг/кг почвы) и сопоставимо с наличием подвижных форм фосфора и обменного калия.

Кремниевые соединения благоприятно влияют на свойства почвы, например, от содержания, и состава алюмосиликатов, зависят связность и набухаемость почв, а также емкость катионного обмена. Содержание инертного кварца в тяжелосуглинистых почвах влияет на улучшение его водно-воздушного режима [4, 5, 6].

При попадании нано частиц кремния в почву и взаимодействии с ней возникают новые свойства и соединения, которые не наблюдались для более крупных его форм. Обработанные нано частицами кремния растения, легко усваивают их на клеточном уровне, что сказывается на росте и развитии растения в целом [7].

На основании вышесказанного научной новизной данных исследований является то, что впервые в условиях центральной зоны Краснодарского края проводятся исследования по изучению кремний содержащего препарата НаноКремний на показатели почвенного плодородия и урожайность сельскохозяйственных культур в зернопропашном севообороте.

### Материалы и методы исследования

Научные исследования велись в агротехнологическом отделе ФГБНУ «Национальный центра зерна имени П.П. Лукьяненко», расположенном в центральной зоне Краснодарского края. Исследования проводились на стационаре шестипольного севооборота, на мониторинговом поле № 3. На полях выращивалась озимая пшеница (2017 г.), сорт Сила (селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко) по предшественнику кукуруза на зерно и соя (2018 г.), сорт Селекта 201 (селекции «СОКО») по предшественнику озимая пшеница. Данные представлены в среднем за 2017 и 2018 годы.

Почва опытного поля чернозём выщелоченный, который отличается большой мощностью гумусового горизонта и сравнительно малым содержанием органического вещества в верхнем слое почвы, с глубиной его содержание уменьшается. Количество общего азота в слое 0-30 см составляет 0,22-0,30%, валового фосфора в пределах 0,17-0,22%, валового калия – 1,7-2,1%.

Верхние слои этих почв имеют нейтральную, реже слабокислую реакцию почвенного раствора.

Структура верхнего 0-20 см слоя, комковато-порошистая, в нижележащих слоях – комковато – зернистая. Механический состав почвы тяжелый, содержание физической глины колеблется от 61 до 64%, а илистой фракции от 37 до 44%. Объемная масса почвы слоя 0-30 см составляет 1,0-1,3 г/см<sup>3</sup>.

Климат центральной зоны умеренно-континентальный, умеренно-засушливый, с коэффициентом увлажнения 0,30–0,40. По многолетним данным среднегодовое количество осадков составляет 600–700 мм со значительными колебаниями от 351 до 882 мм. Распределение их по месяцам неравномерное.

Погодные условия 2016–2017 сельскохозяйственного года сложились следующим образом.

Сентябрь – прохладный и влажный, особенно третья декада месяца. Холодными и дождливыми были октябрь и ноябрь. Декабрь и январь были умеренно холодными, с недобором осадков. Характерной чертой февраля являлось значительное понижение температуры воздуха во второй декаде и резкое потепление в третьей, осадков выпало ниже нормы. Март был теплым и влажным, апрель – прохладным и дождливым. Первая декада мая характеризовалась теплой погодой, вторая и третья декады были холодными и дождливыми, выпало более двух норм осадков. Погода в июне была близкой к среднемноголетней. В целом погодные условия сложились благоприятно для роста и развития озимой пшеницы.

Погодные условия весной и летом 2018 года характеризовались так: март был теплым и влажным, выпало более двух норм осадков, апрель – теплый и сухой, май характеризовался теплой и влажной, особенно третья декада, погодой; июнь – жаркий и сухой, июль жарким, прошли ливневые дожди, очень жарким и сухим был август – температура воздуха на 3,6°C превышала среднемноголетнюю, осадков выпало 10,8% от нормы. В целом погодные условия сложились крайне неблагоприятно для сои.

В качестве кремний содержащегося препарата был выбран агроулучшитель, зарегистрированный под торговой маркой НаноКремний – удобрение минеральное с микроэлементами, основанный на чистом, не связанном кремнии, частицы в препарате имеют нано-размер (от 0,005 мкм). В его состав входит активный кремний – 50-60%, железа – 6%, медь – 1%, цинк – 0,5%, помещенные в среду из полиэтиленгликоля для исключения процессов окисления. Кроме вышеуказанного состава препарат НаноКремний больше ничего не содержит и поэтому является экологически чистым.

Цель исследований – определение показателей плодородия чернозёма выщелоченного и урожайности озимой пшеницы и сои в зависимости от систем основной обработки и применения препарата НаноКремний как агроулучшителя.

Для достижения поставленной цели исследования проводились на мониторинговом поле стационара.

Севооборот включает следующее чередование культур: кукуруза на зерно; озимая пшеница; соя; озимая пшеница; подсолнечник; озимая пшеница.

На мониторинговом поле, заложен опыт с внесением агроメリоранта НаноКремний в дозе 100 г/га для изучения его действия на агрохимические, биологические и агрофизические свойства чернозема выщелоченного и урожайность выращиваемых в стационаре культур. Каждую из имеющих обработок почвы разделили на две части контроль и обработанную препаратом. В исследованиях 2017 года НаноКремний вносили под предпосевную культивацию озимой пшеницы (осень, 2016 г.). В опыте 2018 года НаноКремний вносился под предпосевную культивацию сои (весна, 2018 г.).

Схема опыта включала следующие варианты:

1. Традиционная система обработки почвы (вспашку с оборотом пласта, на глубину 23–25 см, в качестве основного способа обработки) – контроль;
2. Традиционная система обработки почвы + обработка почвы препаратом НаноКремний, нормой 100 г/га;
3. Минимальная мульчирующая с разуплотнением система обработки почвы, (чизелевание на глубину 32-35 см с сохранением пожнивных остатков на полях) – контроль;
4. Минимальная мульчирующая с разуплотнением система обработки почвы + обработка почвы препаратом НаноКремний, нормой 100 г/га;
5. Минимальная мульчирующая система обработки почвы, (исключающая глубокие обработки почвы, с сохранением пожнивных остатков на полях) – контроль;
6. Минимальная мульчирующая система обработки почвы + обработка почвы препаратом НаноКремний, нормой 100 г/га.

Учёты, наблюдения и анализы в наших исследованиях проводили согласно общепринятым методикам: определение плотности почвы – методом Качинского; агрегатный состав - методом сухого фракционирования образцов по методу Н.И. Савинова, общую пористость и степень аэрации – расчётным путём; содержание органического вещества в почве по ГОСТу 26213-91; водопрочность почвенных агрегатов – по методике Андрианова – Качинского.

Статистическая обработка результатов исследований – по методу Б.А. Доспехова (дисперсионный анализ).

### **Результаты и их обсуждение**

Органическое вещество на 85-90% состоит из гумуса, включающего в свой состав углерод, кислород, азот, серу, фосфор, и другие вещества, являющиеся важным критерием при оценке её плодородности. Чем выше уровень органического вещества в почве, тем больше оно способствует созданию благоприятных условий для роста и развития сельскохозяйственных культур [8]. На мониторинговом поле шестипольного севооборота в июне отобраны образцы почвы в слое до 60 см на определение содержания органического вещества в ней, в зависимости от изучаемых факторов (табл. 1).

При традиционной обработке почвы на глубинах 0-20 и 20-40 см количество органического вещества составило чуть более 3,5%, с увеличением глубины уменьшилось на 0,22% (40-60 см) и составило 3,28%. На минимальных системах обработки отмечена та же тенденция, а именно накопление органического вещества в верхних слоях почвы и снижение в более глубоких.

Оценивая сохранение и накопление органического вещества в зависимости от способа обработки почвы, следует отметить, что на минимальных обработках его содержание существенно выше, чем на традиционной системе обработки: на 0,36% на разуплотняющей и на 0,19% на минимальной в слое почвы 0-20 см. В слое почвы 20-40 см на этих обработках отмечена тенденция к снижению содержания органического вещества по отношению к традиционной обработке на 0,13 и 0,15%, соответственно. В более глубоких слоях существенных отличий не наблюдалось.

Наблюдения за содержанием органического вещества при внесении препарата НаноКремний на различных системах обработки почвы не выявили существенных отличий.

Таблица 1

**Влияние систем основной обработки и применения препарата НаноКремний на содержание органического вещества в черноземе выщелоченном, % (июнь, среднее за 2017-2018 гг.)**

Вариант	Глубина отбора, см	Контроль	НаноКремний
Традиционная	0–20	3,51	3,60
	20–40	3,54	3,45
	40–60	3,28	3,34
Минимальная мульчирующая с разуплотнением	0–20	3,87	3,80
	20–40	3,41	3,33
	40–60	3,22	3,26
Минимальная мульчирующая	0–20	3,70	3,67
	20–40	3,39	3,39
	40–60	3,30	3,30
НСР <sub>0,05</sub>		0,09	

Структура почвы это один из важнейших доминант контролирующих показателей антропогенного воздействия на почву. Для хорошего роста и развития сельскохозяйственные культуры требуют определенного структурообразования почвы, которое часто близкое к природному. Влияние обработок почвы и применение препарата НаноКремний на агрофизические показатели плодородия представлены в таблице 2 (мониторинговое поле, шестипольного севооборота).

Таблица 2

**Агрофизические свойства почвы при различных системах её обработки в зависимости от применения препарата НаноКремний, (июнь, среднее за 2017–2018 гг.)**

Вариант	Глубина отбора, см	Объемная масса, г/см <sup>3</sup>	Агрономически ценная структура, %	Оценка почвы по:		
				плотности	структурности	
Традиционная	K*	0 – 10	1,17	76,1	средняя	хорошая
		10 – 20	1,24	66,1	средняя	хорошая
		20 – 40	1,33	64,6	плотная	хорошая
		0 – 40	1,25	68,9	средняя	хорошая
	Si**	0 – 10	1,12	79,3	средняя	отличная
		10 – 20	1,22	69,3	средняя	хорошая
		20 – 40	1,31	64,1	плотная	хорошая
	0 – 40	1,22	70,9	средняя	хорошая	
Разуплотняющая	K*	0 – 10	1,02	75,0	очень рыхлая	хорошая
		10 – 20	1,15	70,8	средне плотная	хорошая
		20 – 40	1,35	69,9	плотная	хорошая
		0 – 40	1,17	71,9	средне плотная	хорошая
	Si**	0 – 10	1,09	74,3	очень рыхлая	хорошая
		10 – 20	1,25	66,3	средне плотная	хорошая
		20 – 40	1,34	68,2	плотная	хорошая
	0 – 40	1,23	69,6	средне плотная	хорошая	
Минимальная	K*	0 – 10	1,28	61,3	средняя	хорошая
		10 – 20	1,31	57,9	плотная	хорошая
		20 – 40	1,37	56,8	плотная	удовлет.
		0 – 40	1,32	58,7	плотная	хорошая
	Si**	0 – 10	1,28	64,7	средне плотная	хорошая
		10 – 20	1,27	64,8	средне плотная	хорошая
		20 – 40	1,29	59,7	средне плотная	хорошая
	0 – 40	1,28	63,1	средне плотная	хорошая	

Примечание: K\* – контроль; Si\*\* – с внесение препарата НаноКремний

Анализ полученных данных показал, что на традиционной системе обработки почвы на контроле объёмная масса в верхнем 0–10 см слое составила  $1,17 \text{ г/см}^3$ , на варианте с кремнием –  $1,12 \text{ г/см}^3$ . В нижележащих слоях 10-20 см и 20-40 см этот показатель составил 1,24 и  $1,33 \text{ г/см}^3$  с применением кремния  $1,22$  и  $1,31 \text{ г/см}^3$  то есть внесение препарата не оказало влияние на объёмную массу почвы на традиционной системе обработки. На мульчирующей минимальной с разуплотнением обработке почвы объёмная масса в верхних слоях также не зависела от применения препарата НаноКремний. Однако в слое 20-40 см на этом варианте наблюдалось уплотнение.

На минимальной мульчирующей системе обработки почвы объёмная масса на контроле не изменялась по слоям и составила  $1,31$ - $1,37 \text{ г/см}^3$ . Внесение препарата НаноКремний способствовало снижению плотности почвы, которая составила  $1,27$ – $1,29 \text{ г/см}^3$ .

Проанализировав результаты структурно агрегатного состава, следует отметить, что на традиционной системе содержание агрономически ценных агрегатов в 0-40 см слое почвы составило на контроле 68,9%, а с внесением препарата НаноКремний данный показатель на 2,0% выше. В то время как на разуплотняющей обработке отмечено снижение содержания агрономически ценных агрегатов на 2,3% при внесении этого препарата. Наиболее существенно действие препарата НаноКремний отмечено на минимальной системе обработки – повышение количества агрегатов 0,25-10,0 мм от его применения составило 4,4%.

По содержанию агрономически ценных агрегатов почвы лучшей является минимальная с разуплотнением система обработки – 71,0%, превышая на 3,0% традиционную и на 13,2% минимальную мульчирующую.

Внесение препарата НаноКремний в почву влияло на показатели оценки по плотности и структурности. Разберем это более подробно по каждой обработке.

На традиционной системе изменений агрофизических свойств почвы в слое 0-40 см на контроле и с применением препарата НаноКремний не наблюдалось. Однако следует отметить, что внесение препарата увеличило показатели оценки по структурности в 0-10 см слое. При обработке почвы по разуплотняющей технологии влияния кремний содержащего препарата на эти показатели не выявлено, наблюдались их незначительные изменения, которые на общей её оценке не сказались.

Изменение под действием препарата НаноКремний отмечено при минимальной мульчирующей обработке почвы. Внесение препарата НаноКремний увеличило в лучшую сторону показатели оценки по плотности почвы, переведя её из разряда плотной в разряд среднеплотной. Следует также отметить и действие данного препарата на оценку почвы по структурности, так на контроле в слое почвы 20-40 см она удовлетворительная, а с применением препарата НаноКремний – хорошая.

Агрофизическим показателем почвы также является пористость. Под пористостью почвы следует понимать суммарный объем пор в единице объема почвы, выраженный в процентах. По почвенным порам перемещается вода с растворенными в ней веществами, в них содержится воздух. В почвенных порах обитают микроорганизмы, простейшие и другие представители почвенной биоты, по ним в почву проникают корни и корневые волоски растений. Поэтому общий объем пор, составляющих это пространство – важнейшие характеристики почвы.

Формирование пористости происходит в результате действия различных факторов, в том числе и от влияния систем обработок почвы и возможно исследуемого препарата (рис. 1.)

Так, средняя пористость почвы 0-40 см слоя на контроле составила на традиционной системе обработки – 52%, на минимальной мульчирующей с разуплотнением – 55% и на минимальной мульчирующей – 49%. Следует отметить, что на традиционной системе обработки верхние слои почвы обладают большей пористостью, чем слой 20-40 см. На минимальной мульчирующей с разуплотнением – меньшей пористостью характеризуется слой почвы 10-20 см, большей – верхний 0-10 см слой и на минимальной мульчирующей

обработке одинаковая пористость по исследуемому профилю.

Внесение препарата НаноКремний способствовало увеличению пористости верхнего 0–10 см слоя почвы и снижению у нижележащего на традиционной системе обработки. На минимальной мульчирующей с разуплотнением системе обработки произошли аналогичные изменения. В то время как на минимальной мульчирующей наблюдалось равномерное повышение этого показателя по всему изучаемому слою.

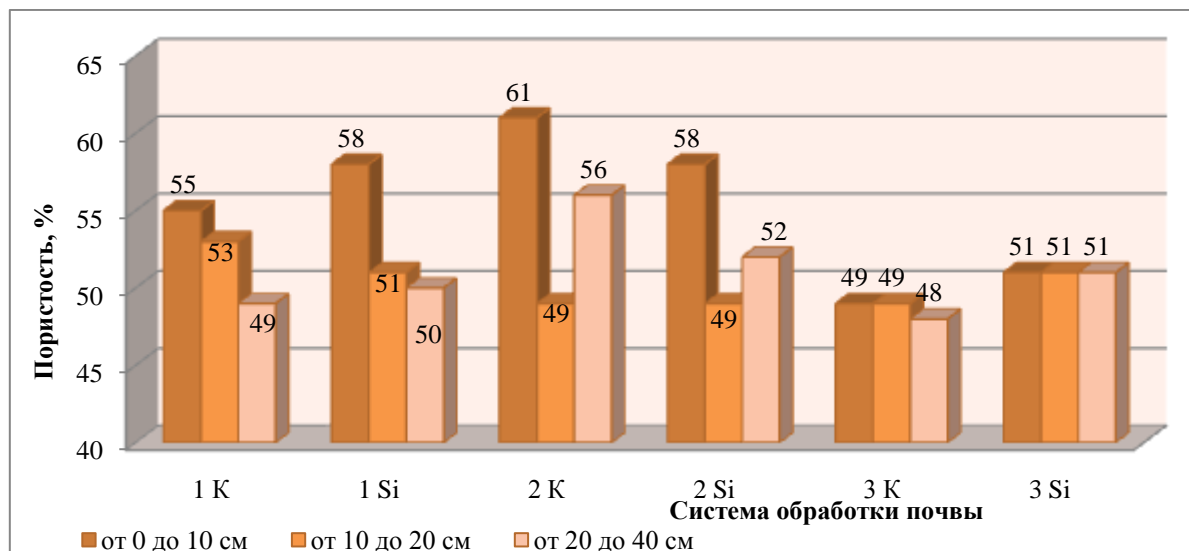


Рис. 1. Влияние препарата НаноКремний на пористость почвы в зависимости от системы обработки почвы, 2017-2018 гг.

Примечание: 1 К – Традиционная, контроль; 2 Si – Традиционная, с внесением НаноКремний; 2 К – Минимальная мульчирующая с разуплотнением, контроль; 2 Si – Минимальная мульчирующая с разуплотнением, с внесением НаноКремний; 3 К – Минимальная мульчирующая, контроль; 3 Si – Минимальная мульчирующая, с внесением НаноКремний.

Большое значение для характеристики почв имеет водопрочность её агрегатов, (табл. 3). В наших исследованиях водопрочность почвенных агрегатов в слое 0-40 см при традиционной системе обработки почвы составила 57,8 %, что на 2,2 и 4,6% ниже, чем при минимальных обработках почвы.

Таблица 3

**Водопрочность почвенных агрегатов при различных системах её обработки в зависимости от применения препарата НаноКремний, 2017–2018 гг.**

Система обработки почвы	Глубина отбора, см	Водопрочность почвенных агрегатов, %	
		контроль	НаноКремний
Традиционная	0 – 10	57,6	59,2
	10 – 20	56,1	60,0
	20 – 40	59,7	59,4
	0 – 40	57,8	59,5
Минимальная мульчирующая с разуплотнением	0 – 10	61,6	62,1
	10 – 20	58,6	63,6
	20 – 40	59,4	58,2
	0 – 40	60,0	61,3
Минимальная мульчирующая	0 – 10	65,5	70,8
	10 – 20	61,0	60,1
	20 – 40	60,8	59,4
	0 – 40	62,4	63,4
НСР <sub>0,05</sub>		0,9	

Внесение в почву препарата НаноКремний улучшило водопрочность независимо от изучаемых обработок. Так, на традиционной обработке почвы она увеличилось в слое 0–40 см на 1,7%, на разуплотняющей на 1,3%, а на мульчирующей – на 1,0%.

Урожайность озимой пшеницы и сои за годы проведенных исследований представлены в таблице 4. В 2017 году при выращивании озимой пшеницы по традиционной обработке почвы отмечено получение высокой прибавки урожайности – 0,72 т/га, что объясняется тем, что внесение 100 г/га НаноКремния в почву способствовало увеличению толщины стенок стебля пшеницы (отмечено визуально), что препятствовало её полеганию в виду сложившихся климатических условий. Полегания озимой пшеницы на минимальных обработках не наблюдалось.

Таблица 4

**Урожайность сельскохозяйственных культур за 2017 - 2018 гг в зависимости от изучаемых факторов, т/га**

Вариант		Урожайность выращиваемых культур			
Система обработки почвы	Обработка НаноКремнием	Озимая пшеница, 2017 г	+/- контр.	Соя, 2018 г	+/- контр.
Традиционная	контроль	5,92	–	1,68	–
	100 г/га	6,64	+ 0,72	1,70	+ 0,02
Минимальная мульчирующая с разуплотнением	контроль	6,56	–	1,69	–
	100 г/га	6,76	+ 0,20	1,72	+ 0,03
Минимальная мульчирующая	контроль	6,30	–	1,56	–
	100 г/га	6,72	+ 0,42	1,58	+ 0,02
НСР <sub>0,05</sub>		0,24		0,04	

Действие препарата НаноКремний отмечена также и на минимальной мульчирующей обработке, где прибавка по отношению к контролю составила 0,42 т/га, что объясняется увеличением количества зерен в колосе.

В 2018 году на мониторинговом поле возделывалась соя, из-за нетипичных климатических условий сложившихся в период роста и развития сои полученная урожайность была низкой. На вариантах с внесением препарата НаноКремний полученная прибавка по отношению к контролю незначительна.

**Выводы**

1. В ходе проведенных исследований выявлено, что внесение препарата НаноКремний в почву не влияет на содержание органического вещества.

2. Объёмная масса почвы в 0-40 см слое на традиционной и на мульчирующей с разуплотнением системах обработки почвы на 0,07-0,15 г/см<sup>3</sup> ниже, чем на минимальной мульчирующей. Применение препарата НаноКремний на этих обработках почвы не оказало воздействия на изменение плотности почвы. Внесение этого препарата на минимальной мульчирующей обработке способствовало снижению плотности почвы с 1,32 до 1,28 г/см<sup>3</sup>.

3. Наибольшее количество агрономически ценных агрегатов почвы наблюдалось на минимальной с разуплотнением системе обработки – 71,0%, что на 3,0% выше, чем на традиционной и на 13,2%, чем на минимальной. Применение препарата НаноКремний увеличило содержание агрономически ценных агрегатов на традиционной обработке почвы – на 2,0% и минимальной – на 4,4%

4. Пористость почвы в 0–40 см слое на традиционной системе обработки составила 52%, на минимальной мульчирующей – 49%. Внесение препарата НаноКремний на традиционной и минимальной мульчирующей с разуплотнением системах обработки почвы привело к увеличению пористости в верхнем 0-10 см слое и снижению в нижележащих слоях. На минимальной мульчирующей наблюдалось равномерное повышение этого показателя.



5. Анализ данных по урожайности озимой пшеницы показал, что из-за сильного полегания посевов на традиционной системе обработки, получена урожайность на 0,64 и 0,38 т/га ниже, чем на минимальной с разуплотнением и минимальной мульчирующей соответственно. Внесение в почву препарата НаноКремний в дозе 100 г/га способствовало повышению устойчивости к полеганию, что позволило увеличить урожайность на 0,72 т/га на традиционной обработке, на 0,2 т/га на разуплотняющей обработке и на 0,42 т/га при минимальной мульчирующей обработке. Урожайность сои из-за нетипичных климатических условий в период роста получена низкой и не отличалась по вариантам опыта.

### Литература

1. Куликова А.Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. // Ульяновск: УГСХА им. П.А. Столыпина, – 2013. – 176 с.
2. Матыченков И.В., Хомяков Д.М., Пахненко Е.П., Бочарникова Е.А., Матыченков В.В. Подвижные кремниевые соединения в системе почва-растение и методы их определения. // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2016. – № 3. – С. 35-39
3. Ma J.F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. // *Soil science and plant nutrition*. – 2004. – Т. 50. – №. 1. – С. 11-18.
4. Орлов Д.С. Химия почв: Учеб. для вузов по спец. Агрохимия и почвоведение // – М.: Изд-во Моск. ун-та, – 1985 – 376 с.
5. Офицеров Е.Н., Рябов Г.К., Убаскина Ю.А., Климовский А.Б., Фетюхина Е.Г. Кремний и гуминовые кислоты: моделирование взаимодействий в почве. // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – № 4-2. – С. 550-556.
6. Самсонова Н. Е. Кремний в почве и растениях // Агрохимия. – 2005. – №. 6. – С. 76-86.
7. Мнатсаканян А.А., Чуварлеева Г.В., Волкова А.С. Кремний и его роль в повышении продуктивности и качества зерна сои. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2020. – № 2 (34). – С.21-28. DOI: 10.24411/2309-348x-2020-11165
8. Кафтан Ю.В., Зенкова Н.А. Агрофизические свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур в севооборотах // Известия ОГАУ. – 2019. – № 3 (77). – С. 27-30.

### References

1. Kulikova A. Kh. Kremnii i vysokokremnistye porody v sisteme udobreniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Silicon and high-siliceous rocks in the fertilization system of agricultural crops]. Ul'yanovsk. *UGSKHA im. P.A.Stolypina*, 2013. 176 p. (In Russian)
2. Matychenkov I.V., KHomiyakov D.M., Pakhnenko E.P., Bocharnikova E.A., Matychenkov V.V. Podvizhnye kremnievye soedineniya v sisteme pochva-rastenie i metody ikh opredeleniya [Mobile silicon compounds in the soil-plant system and methods for their determination]. *Vestnik Moskovskogo universiteta*. Iss. 17. Pochvovedenie- Soil science. 2016. no.3. pp. 35-39. (In Russian)
3. Ma J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil science and plant nutrition*. Vol. 50, no. 1, pp. 11-18.
4. Orlov D. S. Khimiya pochv: Ucheb. dlya vuzov po spets. Agrokimiya i pochvovedenie [Soil Chemistry: Textbook for universities on specials. Agrochemistry and soil science]. Moscow: *Izd-vo Mosk. un-ta*, 1985, 376 p. (In Russian)
5. Ofitserov E. N., Ryabov G. K., Ubas'kina YU. A., Klimovskii A. B., Fetyukhina E. G. Kremnii i guminovye kisloty: modelirovanie vzaimodeistvii v pochve [Silicon and humic acids: modeling interactions in soil]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2011. no.4-2, pp. 550-556. (In Russian)
6. Samsonova N. E. Kremnii v pochve i rasteniyakh [Silicon in soil and plants]. *Agrokimiya*. – 2005, no. 6, pp. – 76-86. (In Russian)
7. Mnatsakanyan A.A, Chuvarleeva G.V., Volkova A.S. Kremnii i ego rol' v povyshenii produktivnosti i kachestva zerna soi [Silicon and its role in increasing of soy gran productivity and quality]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2020. No.2 (34), pp. 21-28. (In Russian). DOI: 10.24411/2309-348x-2020-11165
8. Kaftan Yu.V., Zenkova N.A. Agrofizicheskie svoistva pochvy i urozhainost' sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v sevooborotakh [Agrophysical properties of soil and crop yield in crop rotations]. *Izvestiya OGAU*, 2019, no. 3 (77), pp. 27-30. (In Russian)