

ВЛИЯНИЕ ДОЗ АКТИВИРОВАННОГО ЦЕОЛИТА ЗЕОЛ НА УРОЖАЙНОСТЬ, КАЧЕСТВО И ФЕНОЛОГИЮ ПОДСОЛНЕЧНИКА В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

С. Р. Сулейманов, Р. М. Низамов

Реферат. Исследования проводили с целью оценки эффективности применения активированного цеолита ЗЕОЛ под подсолнечник на фоне минеральных удобрений для совершенствования технологии возделывания культуры. Работу выполняли в 2020–2022 годы на серых лесных почвах Республики Татарстан. Содержание гумуса в почве опытного участка составляло 3,0%, подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) – соответственно 250 и 145 мг/кг, реакция среды была близкой к нейтральной (рН = 6,6 ед.). Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: цеолит в дозах 150, 350 и 500 кг/га на фоне NPK в расчете на планируемую урожайность подсолнечника гибрида Авенжер 2 т/га. Контролем служил фон минеральных удобрений. Применение цеолита повышало полевую всхожесть с 84,0% (контроль) на 1,8% при 500 кг/га, мощность ростков – на 0,05 г/растение (+27,8%), уменьшало угол наклона корзинок со 175° (контроль) до 140° (500 кг/га), что снижает риски осыпания и повреждения птицами. Диаметр корзинок увеличился с 9,5 см (контроль) до 11,9 см при 350 кг/га, масса семян с корзинки – с 39,9 г до 49,4 г (+23,8%). Vegetационный период сократился на 4...6 дней, влажность семян перед уборкой снизилась до 6,2% (против 6,8% в контроле). Средняя урожайность культуры возросла с 1,71 т/га до 2,24 т/га (+30,1%), демонстрируя устойчивость: в засушливом 2021 году прибавка составила 44,4% (2,05 т/га против 1,42 т/га). Масличность семян выросла с 41,5% до 44,3...46,6%, валовой сбор масла достиг 1043,8 кг/га (+47,1%). При оптимальной дозе 350 кг/га прибавка урожая составляла 0,51 т/га (+29,8%) с окупаемостью цеолита маслосеменами 1,46 кг/кг, выходом масла 983,5 кг/га (+38,6%) и минимальным расширением пустой зоны корзинки.

Ключевые слова: подсолнечник (*Helianthus annuus* L.), активированный цеолит, минеральные удобрения, полевая всхожесть, урожайность, масличность, структура корзинки, климатическая устойчивость.

Введение. В Подсолнечник (*Helianthus annuus* L.) выступает стратегически важной масличной культурой мирового значения, играющей ключевую роль в производстве растительного масла, биотоплива и в обеспечении устойчивых севооборотов. Однако при его возделывании производители сталкиваются с растущими трудностями, обусловленными изменчивостью климата, в частности, нерегулярным выпадением осадков и экстремальными температурами, которые негативно сказываются на фазах прорастания, начального роста и налива семян [1, 2, 3]. Эти ограничения особенно актуальны в таких ключевых регионах производства подсолнечника, как Приволжский федеральный округ, особенно на серых лесных почвах, которые обладают умеренным плодородием. Хотя минеральные удобрения обеспечивают базовые потребности растений в элементах питания, их эффективность снижается под воздействием абиотических стрессов (засуха, высокие температуры, дефицит воды и др.), что ведет к уменьшению стабильности урожайности и качества продукции. В связи с этим, внедрение инновационных мелиорантов, способствующих эффективному использованию питательных веществ из почвы и минеральных удобрений становится критически важным [4].

Известно, что природные цеолиты рассматриваются как перспективные почвенные мелиоранты благодаря их уникальным физико-химическим свойствам: высокой емкости катионного обмена (200...300 мг-экв/100 г), способности к селективному удержанию питательных ионов (NH_4^+ , K^+) и улучшению водного режима почвы. Применительно к

подсолнечнику, применение цеолитов может смягчить ключевые ограничивающие факторы:

- чувствительность в начальные фазы роста (низкая энергия роста всходов увеличивает уязвимость к стрессам);
- потери в репродуктивной фазе (неблагоприятные условия опыления и налива семян снижают масличность и урожайность);
- проблемы при уборке (вертикальный угол наклона корзинки более 160° повышает риск повреждения птицами и осыпания семян).

Несмотря на обнадеживающие результаты, полученные в контролируемых условиях, полевые исследования, подтверждающие эффективность активированных цеолитов в системах возделывания подсолнечника, остаются немногочисленными, особенно в части изучения влияния его доз на фенологию, структуру урожая и качество масла [5, 6]. К текущим проблемам, рассматриваемым в данной статье, относятся:

- взаимодействие с NPK-фоном – синергетические механизмы между цеолитами и макроэлементами в полевых условиях недостаточно изучены и количественно не оценены;
- экономические пороги эффективности, обеспечивающие баланс между прибавкой урожая и затратами на мелиорант;
- недостаточно данных о способности цеолитов стабилизировать колебания урожайности в засушливых регионах.

Цель исследований – исследование агрономической эффективности применения активированного цеолита ЗЕОЛ в дозах 150, 350, 500 кг/га на фоне основного минерального удобрения (NPK) на серых лесных почвах Татарстана.

Для ее достижения решали следующие задачи:

- оценка влияния цеолита на полевую всхожесть, энергию роста и развития вегетативных органов, морфологию корзинок (размер, угол наклона) и приспособленность к уборке;
- повышение стабильности урожайности, качества маслосемян (масличность) и эффективности использования мелиоранта в контрастные по метеоусловиям годы (2020–2022 годы).

Условия, материалы и методы. Стационарные полевые опыты в 2020–2022 годы проводили на базе Агробиотехнопарка Казанского ГАУ (с. Нармонка Лаишевского муниципального района Республики Татарстан) с координатами: широта – 55.5244865824, долгота – 48.274901646, а лабораторные анализы – в Центре агроэкологических исследований Казанского ГАУ.

Полевые опыты проводили на серых лесных почвах со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса по Тюрину – 3,0%, подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) – соответственно очень высокое (> 250 мг/кг) и повышенное (145 мг/кг). Реакция почвенной среды – близкая к нейтральной (pH_{сол.} 6,6).

Схема полевого опыта:

- азотфоска 215 кг/га + аммиачная селитра 100 кг/га + хлористый калий 168 кг/га из расчета на планируемую урожайность 2 т/га маслосемян подсолнечника (фон);
- фон + цеолит активированный ЗЕОЛ, 150 кг/га;
- фон + цеолит активированный ЗЕОЛ, 350 кг/га;
- фон + цеолит активированный ЗЕОЛ, 500 кг/га.

Таблица 1 – Содержание питательных элементов в изучаемом мелиоранте*

Показатель	Содержание, %	Показатель	Содержание, %
SiO ₂	54,11...58,39	Na ₂ O	0,03...0,27
Al ₂ O ₃	5,80...6,44	TiO ₂	0,26...0,34
CaO	12,6...14,95	NnO	0,0...0,01
K ₂ O	1,16...1,9	P ₂ O ₅	0,08...0,49
Fe ₂ O ₃	1,81...3,16	SiO ₂ (аморф.)	23,39...29,04
MgO	1,77...2,0	с соотношением Si/Al	9,06...9,32

*химический состав цеолита представлен по данным производителя (<https://zeol.ru/products/zeolite#!/tab/819464255-2>)

Анализ метеорологических данных за 2020–2022 годы выявил существенные отклонения от среднесезонных значений как по количеству осадков, так и по температуре воздуха (табл. 2). В части осадков отмечена устойчивая тенденция к уменьшению их суммы за вегетационный период (май–сентябрь): если в 2020 году количество осадков составило 92% от нормы, то в 2021 и 2022 годы – лишь 34% и 60% соответственно. Особенно выраженный дефицит осадков отмечали в 2021 году, когда в июне и августе выпало лишь 15% и 22% от нормы, а в августе 2022 году осадки отсутствовали полностью.

Температурный режим характеризовался

Ежегодно в действующем веществе было внесено: азота 69 кг/га; фосфора 34,4 кг/га, калия 135 кг/га.

Полевую всхожесть учитывали во время полных всходов, через 12 суток после посева. Перед уборкой на пробных площадках в четырехкратной повторности определяли плотность стеблестоя.

Высоту растений измеряли перед уборкой в двух несмежных повторениях в пяти равноудаленных местах делянки.

В структурном анализе корзинок учитывали ее диаметр, количество семян, массу 1000 семян (ГОСТ 12042-80).

В фенологических наблюдениях отмечали следующие фазы развития подсолнечника: появление семядольных листочков, формирование листовой площади, бутонизация, цветение, образование корзинок, полная спелость.

Урожай в полевых опытах учитывали на пробных площадках и одновременно определяли влажность. Сравнение урожайности изучаемых вариантов проводили по базисным нормам на маслосемена – влажность 8%, содержание сорной примеси 2%, содержание масличной примеси 5% (ГОСТ 22391-2015).

Основная обработка почвы включала в себя зяблевую вспашку после уборки предшествующей культуры. Весной проведено закрытие влаги в 2 следа.

Изучаемый мелиорант цеолит вносили вручную методом разбрасывания на поверхность почвы с последующей его заделкой с использованием предпосевной культивации на глубину 8...10 см. Площадь опытных делянок – 50 м², площадь учетных – 25 м². Повторность в опыте – четырехкратная.

значительной межгодовой и внутрисезонной изменчивостью. Наиболее аномально тёплым был 2021 году, когда среднемесячные температуры в мае и июне превысили норму на 5,7 и 6,6°C, а средняя температура за весь период составила 19,3°C, что на 3,7°C выше климатической нормы. В 2022 году контрасты были особенно резкими: май был холоднее нормы на 2,4°C, тогда как август – теплее на 5,5°C. То есть рассматриваемый трёхлетний период демонстрирует повышенную изменчивость погодных условий, проявляющуюся в сочетании засушливых тенденций с экстремальными температурными отклонениями, что может свидетельствовать о возрастающей нестабильности климатических параметров в регионе.

Таблица 2 – Количество осадков и среднемесячная температура воздуха в годы проведения исследований (по данным метеостанции Казань-Опорная)

Год	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	За май-сентябрь
Осадки, мм						
Среднегодовое	36	62	59	59	50	266
2020	50	33,6	42	81	39	246
В % к среднегодовому	139	54	71	137	78	92
2021	17	9	25	13,2	27	91
В % к среднегодовому	47	15	42	22	54	34
2022	78	19,3	26,6	0	35	158,9
В % к среднегодовому	216	31	46	0	70	60
Температура, °С						
Среднегодовое	13,0	16,8	19,9	17,0	11,2	15,6
2020	13,1	16,2	21,6	16,8	12,4	16
В °С к среднегодовому	+0,1	-0,6	+1,7	-0,2	+1,2	+0,4
2021	18,7	23,4	22,5	22,4	9,7	19,3
В °С к среднегодовому	+5,7	+6,6	+2,6	+4,8	-1,5	+3,7
2022	10,7	18,6	21,3	22,5	11,7	17
В °С к среднегодовому	-2,4	+1,8	-0,3	+5,5	+0,5	+1,4

Результаты и обсуждение. Активированные цеолиты способствуют оптимизации почвенной среды, доступности элементов питания и, как следствие, стимулируют полевую всхожесть и рост молодых растений (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние цеолита на полевую всхожесть подсолнечника и мощность роста всходов (среднее за 2020–2022 годы)

Вариант	Количество всходов, шт./м ²	Полевая всхожесть, %	Мощность роста всходов, г/растение
НРК – фон (контроль)	4,62	84,0	0,18
Фон + цеолит 150 кг/га	4,65	84,5	0,20
Фон + цеолит 350 кг/га	4,68	85,1	0,22
Фон + цеолит 500 кг/га	4,72	85,8	0,23
НСР ₀₅	0,07	0,3	0,01

Применение минеральных удобрений (N₆₉P₃₅K₁₃₅) обеспечило высокую полевую всхожесть на уровне 84,0% с плотностью стояния растений 4,62 шт./м² и мощностью роста всходов 0,18 г/растение.

Добавление цеолита к фону НРК привело к улучшению всех изученных параметров. Уже при минимальной дозе цеолита (150 кг/га) отмечена тенденция к увеличению количества всходов (4,65 шт./м²) и всхожести (84,5%), но наиболее значимый эффект проявляется в приросте мощности роста всходов до 0,20 г/растение (увеличение на 11,1% относительно контроля), которые увеличиваются с повышением дозы внесения цеолита. При дозе 350 кг/га всхожесть возрастает до 85,1%, а мощность роста достигает 0,22 г/растение (+22,2% к контролю), при этом плотность стояния также увеличивается до 4,68 шт./м². Максимальная в опыте эффективность зафиксирована при дозе цеолита 500 кг/га. Этот вариант обеспечил самые высокие значения:

плотности всходов – 4,72 шт./м², полевой всхожести – 85,8%, что на 1,8% выше контроля и, особенно показательна, мощность роста всходов – 0,23 г/растение, превышавшая контроль на 0,05 г/растение, или на 27,8%.

Наиболее выраженный положительный эффект цеолита проявляется в усилении мощности роста всходов, что выступает важным фактором для формирования будущего урожая.

Продуктивность подсолнечника в значительной мере определяется не только начальными этапами развития, но и ключевыми морфофизиологическими параметрами, формирующимися к фазе уборки урожая. Высота растений, сохранность стеблестоя и архитектура корзинок (в частности, угол их наклона) непосредственно влияют на величину и качество урожая маслосемян [7, 8]. Высокий угол наклона корзинок (близкий к вертикали) повышает риск повреждения птицами, осыпания семян и усложняет механизированную уборку (табл. 4).

Таблица 4 – Высота, сохранность растений к уборке и угол наклона корзинок подсолнечника (2020–2022 годы)

Вариант	Плотность стеблестоя перед уборкой, тыс. шт./га	Сохранность растений, % к всходам	Высота растений, см	Угол наклона корзинок, градусы
НРК – фон (контроль)	45,0	97,4	168	175
Фон + цеолит 150 кг/га	45,1	97,0	170	160
Фон + цеолит 350 кг/га	45,2	96,6	175	145
Фон + цеолит 500 кг/га	45,3	96,0	178	140
НСР ₀₅	0,2	0,4	4	3

В контрольном варианте сохранность растений составляла 97,4% от исходных всходов с плотностью стеблестоя 45,0 тыс. шт./га, высотой растений 168 см и углом наклона корзинок 175°. Последний параметр, близкий к вертикальному положению, указывает на повышенный риск повреждения корзинок птицами и осыпания семян.

Добавление цеолита к фону NPK вызвало выраженные изменения в морфологии растений и положении корзинок, при этом влияние на сохранность было отрицательным. Начиная с дозы 350 кг/га, прослеживается четкая положительная тенденция по основным морфометрическим показателям. При внесении 350 кг/га цеолита плотность стеблестоя соответствовала контролю (45,2 тыс. шт./га), сохранность оставалась высокой (96,6%), но при этом отмечен значительный прирост высоты растений – до 175 см (+7 см к контролю), а угол наклона корзинок существенно уменьшился до 145° (на 30° меньше контроля). Максимальный в опыте эффект цеолита отмечали при дозе 500 кг/га: растения достигли высоты 178 см (увеличение на 10 см или на 6% относительно контроля), что статистически достоверно ($HCPO_5 = 4$ см), а угол наклона корзинок

снижился до 140°, что на 35° меньше контрольных значений. Это изменение угла имеет важное практическое значение, так как наклон корзинок снижает уязвимость к птицам и осыпанию. При этом сохранность растений (96,0%) и плотность стеблестоя (45,3 тыс. шт./га) оставались на высоком уровне, хотя отмечена тенденция к снижению сохранности с ростом дозы цеолита (с 97,4 до 96,0%).

Увеличение высоты растений, вероятно, связано с улучшенным питательным и водным режимом благодаря свойствам цеолита (ионообмен, влагоудержание), что обеспечивает более интенсивное развитие вегетативной массы на протяжении вегетации. Значительное уменьшение угла наклона корзинок (до 140...145°) служит важным агрономическим преимуществом, снижающим потери урожая [9, 10].

Размер корзинки (диаметр), ее морфологическая организация (соотношение продуктивной и пустой зон), а также масса и крупность семян представляют собой интегральные показатели, отражающие эффективность фотосинтетической деятельности, обеспеченность ресурсами и устойчивость гибрида к стрессам в критический период налива семян (табл. 5).

Таблица 5 – Влияние доз цеолита на структуру урожая гибрида подсолнечника Авенжер (2020–2022 годы)

Вариант	Диаметр корзинки, см		Масса семян, г/корзинка	Масса 1000 семян, г
	общий	пустой части		
NPK – фон (контроль)	9,5	3,5	39,9	44,2
Фон + цеолит 150,0 кг/га	11,3	3,8	45,3	40,0
Фон + цеолит 350,0 кг/га	11,9	3,8	49,0	43,5
Фон + цеолит 500,0 кг/га	11,3	5,3	49,4	43,0
НСР ₀₅	0,5	0,2	0,3	0,4

Контрольный вариант (фон N₆₉P₃₅K₁₃₅) характеризовался относительно скромными параметрами: диаметр корзинки – 9,5 см (с пустой частью 3,5 см), масса семян с корзинки – 39,9 г и масса 1000 семян – 44,2 г.

Применение цеолита при всех дозах обеспечивало комплексное изменение параметров корзинки, уже при минимальной дозе цеолита 150 кг/га общий диаметр корзинки увеличился до 11,3 см (+19% к контролю) при незначительном росте пустой части (3,8 см). Это сопровождалось заметным приростом массы семян с корзинки до 45,3 г (+13,5%), однако отмечено снижение массы 1000 семян до 40,0 г (-9,5%), что указывает на увеличение количества семян в корзинке при их меньшей индивидуальной массе. Наибольшее в опыте положительное воздействие на размер и наполненность корзинки отмечено при дозе цеолита 350 кг/га. В этом варианте диаметр корзинки составлял 11,9 см (+25% к контролю) при стабильной величине пустой части (3,8 см). Масса семян с корзинки достигала 49,0 г (+22,8%), что статистически достоверно

выше контроля (НСР₀₅ = 0,3 г), при массе 1000 семян 43,5 г (лишь на 1,6% ниже контроля), свидетельствуя о сбалансированном формировании семян.

Внесение максимальной дозы цеолита (500 кг/га) привело к неоднозначному результату. Хотя общий диаметр корзинки остался высоким (11,3 см, как и при 150 кг/га), но отмечено резкое увеличение пустой части до 5,3 см (+51,4% к контролю и значительно больше, чем в других вариантах с цеолитом). Несмотря на это, масса семян с корзинки достигала максимального в опыте значения 49,4 г (+23,8% к контролю), что также статистически достоверно. Однако масса 1000 семян (43,0 г) осталась несколько сниженной (-2,7% относительно контроля), что в сочетании с ростом пустого пространства в корзинке требует внимания.

Внесение активированного цеолита ЗЕОЛ на фоне NPK способствует значительному увеличению размера корзинок подсолнечника Авенжер и, как следствие, массы семян с корзинки. Оптимальной дозой по комплексу показателей выступает 350 кг/га: она обеспечивает

максимальный прирост общего диаметра корзинки (+25%) без увеличения пустой части, значительный прирост массы семян (+22,8%) при сохранении высокой массы 1000 семян. Доза 500 кг/га, хотя и обеспечивает максимальную абсолютную массу семян (+23,8%), сопровождается существенным увеличением доли пустой части корзинки, что может негативно влиять на общую эффективность использования площади корзинки и потенциально повышать риск заболеваний. Снижение массы 1000 семян при дозах 150 и 500 кг/га указывает на возможное перераспределение ассимилятов или изменение количества формируемых семян.

Фенологический ритм развития подсолнечника служит важным фактором,

определяющим успешность адаптации культуры к конкретным почвенно-климатическим условиям и технологичность ее возделывания. Продолжительность межфазных периодов – от посева до всходов, от всходов до формирования генеративных органов (корзинки), от цветения до физиологической спелости напрямую влияет на реализацию продукционного потенциала, устойчивость к абиотическим стрессам и, что особенно значимо для практики, на качество уборки урожая (прежде всего, влажность маслосемян) [11]. Сокращение вегетационного периода без ущерба для продуктивности представляет особый интерес для зон с ограниченным безморозным периодом или риском осенних заморозков (табл. 6).

Таблица 6 – Продолжительность фенологических периодов развития изучаемых гибридов подсолнечника (2020–2022 годы)

Вариант	Посев- всходы	Всходы- образование корзинки	Образова- ние корзин- ки-цветение	Цветение- созрева- ние	Продолжи- тельность вегетационно- го периода	Влажность маслосемян перед убор- кой, %
НРК – фон (контроль)	11	41	25	44	121	6,8
Фон + цеолит 150,0 кг/га	11	40	24	43	118	6,9
Фон + цеолит 350,0 кг/га	10	40	24	43	117	6,2
Фон + цеолит 500,0 кг/га	10	39	23	43	115	6,2

Применение цеолита вызывало последовательное сокращение продолжительности основных фенологических этапов, причем эффект усиливался с увеличением дозы мелиоранта. В варианте с минимальной дозой (150 кг/га) изменения были незначительными – сокращение на 1 день в фазы всходы-корзинка (40 дней) и корзинка-цветение (24 дня), что уменьшило общий вегетационный период до 118 дней без существенного изменения влажности семян (6,9%). Наибольшие в опыте фенологические сдвиги отмечены при дозах 350 и 500 кг/га. В этих вариантах период посев-всходы сократился до 10 дней, всходы-корзинка – до 39...40 дней (на 1...2 дня меньше контроля), а корзинка-цветение – до 23...24 дней. Фаза налива семян (цветение-созревание) оставалась стабильной (43 дня) во всех вариантах с цеолитом, что свидетельствует о сохранении качества репродуктивного развития. Суммарное сокращение вегетационного периода составило 4...6 дней (117 и 115 дней соответственно), что имеет существенное агротехническое значение для регионов с ограниченными тепловыми ресурсами.

Особый интерес представляет влияние цеолита на влажность маслосемян перед уборкой. При дозах 350 и 500 кг/га зафиксировано снижение влажности до 6,2% (на 0,6% ниже контроля). Этот эффект коррелирует с сокращением вегетационного периода и, вероятно, обусловлен более интенсивным и синхронным

созреванием растений, а также улучшением водного режима почвы в течение вегетации благодаря влагоудерживающей способности цеолита.

То есть внесение активированного цеолита ЗЕОЛ (особенно в дозах ≥ 350 кг/га) на фоне НРК ускоряет прохождение вегетативных фаз подсолнечника без сокращения критического репродуктивного периода. Сокращение фазы всходы-корзинка на 1...2 дня согласуется с данными о стимуляции начального роста (таб. 2), а уменьшение интервала корзинка-цветение может быть связано с улучшением питательного статуса растений. Практически значимым следствием выступает сокращение общего вегетационного периода на 4...6 дней и снижение влажности семян на 0,6%, что облегчает уборку, снижает энергозатраты на сушку и минимизирует риски потерь от неблагоприятных погодных условий в конце сезона. Применение цеолита в указанных дозах не только оптимизирует ростовые и продукционные параметры, но и способствует улучшению технологических качеств урожая подсолнечника.

Урожайность подсолнечника как интегральный показатель эффективности агротехнологии формируется под комплексным влиянием факторов минерального питания, почвенных условий и устойчивости к биотическим/абиотическим стрессам. Несмотря на оптимизацию фона НРК, направленную на обеспечение базовых потребностей растений,

значительные межгодовые колебания продуктивности в современных агроклиматических условиях свидетельствуют о необходимости применения дополнительных агроприемов, способных повысить не только

потенциальную урожайность, но и стабильность производства. Особую актуальность это приобретает для засушливых и неустойчивых по увлажнению регионов, где подсолнечник служит стратегической культурой (табл. 7).

Таблица 7 – Сравнительная оценка урожайности подсолнечника в зависимости от фонов его питания (2020–2022 годы)

Вариант	Урожайность, т/га				Прибавка от цеолита		Окупаемость цеолита, кг/кг	Увеличение окупаемости NPK, кг/кг
	2020г.	2021г.	2022г.	средняя	т/га	%		
НРК – фон (контроль)	1,92	1,42	1,79	1,71	-	-	-	-
Фон + цеолит 150,0 кг/га	2,25	1,80	2,05	2,04	0,33	19,3	2,20	1,38
Фон + цеолит 350,0 кг/га	2,39	2,01	2,25	2,22	0,51	29,8	1,46	2,14
Фон + цеолит 500,0 кг/га	2,42	2,05	2,26	2,24	0,53	30,1	1,06	2,22
НСР ₀₅	0,15	0,12	0,11					

Контрольный вариант (фон N₆₉P₃₅K₁₃₅) показал среднюю за три года урожайность на уровне 1,71 т/га с выраженной межгодовой изменчивостью: от 1,42 т/га в 2021 году до 1,92 т/га в 2020 году, что подчеркивает чувствительность культуры к условиям вегетации.

Добавление цеолита к фону НРК обеспечило статистически достоверную (на уровне НСР₀₅) прибавку урожайности во все годы исследований. Минимальная в опыте доза цеолита (150 кг/га) повысила среднюю урожайность до 2,04 т/га, что на 0,33 т/га (+19,3%) выше контроля. Наибольший в опыте абсолютный прирост урожайности отмечен при дозе 500 кг/га: средняя урожайность достигла 2,24 т/га (+0,53 т/га или +30,1% к контролю). Ключевым выступает факт стабилизации продуктивности: в наиболее неблагоприятном 2021 году применение цеолита в дозе 500 кг/га позволило получить 2,05 т/га против 1,42 т/га в контроле (прибавка 44,4%), что свидетельствует о повышении

устойчивости агроценоза к стрессам.

Экономический анализ выявил важную закономерность несмотря на рост абсолютной прибавки урожайности с увеличением дозы цеолита (0,33 → 0,51 → 0,53 т/га), окупаемость 1 кг мелиоранта снижалась с 2,20 кг/кг при дозе 150 кг/га до 1,06 кг/кг при дозе 500 кг/га. Это обусловлено нелинейным характером отклика урожайности на рост доз цеолита. Вариант с 350 кг/га продемонстрировал оптимальное сочетание эффективности (прибавка 0,51 т/га, +29,8%) и экономической отдачи (1,46 кг семян на 1 кг цеолита).

Внесение цеолита также положительно отразилось на повышении эффективности применения минеральных удобрений на посевах подсолнечника. При норме цеолита 150 кг/га, на 1 кг действующего вещества удобрений было получено дополнительно 1,38 кг маслосемян. При норме мелиоранта 350 и 500 кг/га окупаемость удобрений увеличилось на 2,14 и 2,22 кг/кг соответственно.

Таблица 8 – Влияние цеолита на содержание сырого жира и выход подсолнечного растительного масла (2020–2022 году)

Вариант	Содержание сырого жира, %	Выход растительного масла, кг/га	Прибавка от цеолита ЗЕОЛ	
			кг/га	%
НРК – фон (контроль)	41,5	709,6	-	-
Фон + цеолит 150 кг/га	43,4	885,4	175,8	24,8
Фон + цеолит 350 кг/га	44,3	983,5	273,9	38,6
Фон + цеолит 500 кг/га	46,6	1043,8	334,2	47,1

Применение цеолита обеспечило существенное увеличение как масличности семян, так и общего выхода масла с единицы площади, причем эффективность мелиоранта возрастала с увеличением его дозы. Даже минимальная доза цеолита (150 кг/га) обеспечила значимый прирост содержания жира до 43,4% (+1,9%) и повышение валового сбора масла до 885,4 кг/га, что на 175,8 кг/га (+24,8%) выше контроля. Наибольший в опыте синергетический эффект отмечен при дозе 350 кг/га: масличность достигла 44,3% (+2,8%), а выход масла увеличился до 983,5 кг/га (прибавка 273,9 кг/га или +38,6%), что существенно превышает прибавку урожайности семян (29,8%), свидетельствуя об улучшении качественных

характеристик урожая. Доза цеолита 500 кг/га повышала содержание жира до 46,6% (+5,1% к контролю) и выход масла 1043,8 кг/га, что соответствует прибавке 334,2 кг/га (+47,1%).

Эффективность цеолита повышается с увеличением дозы: при 500 кг/га масличность и сбор масла возрастают максимально в опыте (на 5,1% и 47,1% соответственно). Оптимальная доза 350 кг/га, при которой валовой сбор масла (+38,6%) превышает прирост урожайности семян (+29,8%), что указывает на улучшение биохимического состава семян (табл. 8). Эта доза цеолита также экономически целесообразна, так как обеспечивает максимальную отдачу (0,78 кг масла на каждый кг удобрения), в отличие от дозы 500 кг/га (0,67 кг/кг).

Выводы. Применение активированного цеолита ЗЕОЛ (150...500 кг/га) на фоне $N_{69}P_{35}K_{135}$ достоверно повышает полевую всхожесть подсолнечника (с 84,0% до 85,8%) и мощность роста всходов (на 27,8% до 0,23 г/растение при 500 кг/га), что свидетельствует об улучшении почвенных условий на критически важной ранней стадии онтогенеза.

Применение цеолита существенно улучшает архитектуру растений: увеличивает высоту (до 178 см при 500 кг/га, +10 см к контролю) и снижает угол наклона корзинок с 175° до 140°, минимизируя риски осыпания семян и повреждения птицами.

Внесение цеолита способствует росту диаметра корзинок (до 11,9 см при 350 кг/га, +25%) и массы семян с корзинок (до 49,4 г при 500 кг/га, +23,8%). Оптимальная доза 350 кг/га обеспечивает прирост массы семян (+22,8%) по отношению к контролю без увеличения доли пустой зоны.

Применение цеолита сокращает вегетационный период на 4...6 дней (до 115 суток) и снижает влажность маслосемян перед уборкой до 6,2% (на 0,6%), что повышает эффективность уборочных работ.

Средняя за 3 года урожайность возрастает с 1,71 т/га (контроль) до 2,24 т/га (+30,1%) при внесении 500 кг/га цеолита, демонстрируя

устойчивость в стрессовых условиях (прибавка 44,4% в засушливом 2021 году). одновременно масличность семян увеличивается с 41,5% до 46,6%, выход масла – до 1043,8 кг/га (+47,1%).

Оптимальной признана доза цеолита 350 кг/га, использование которой обеспечило прибавку урожая 0,51 т/га (+29,8% к контролю), выход масла 983,5 кг/га (+38,6%) и окупаемость 1,46 кг семян/кг цеолита. Применение цеолита в дозе 500 кг/га, менее эффективно (окупаемость 1,06 кг/кг).

В целом включение активированного цеолита ЗЕОЛ (350 кг/га) в систему минерального питания подсолнечника на серых лесных почвах Среднего Поволжья повышает урожайность, качество маслосемян и климатическую устойчивость агроценозов, сокращает период вегетации и снижает производственные риски.

Сведения о финансировании. Работа выполнена при поддержке гранта Академии наук Республики Татарстан (соглашение №146/2024 – ПД от 16.12.2024 г.) молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан.

Литература

1. Сулейманов С. Р., Низамов Р. М. Хозяйственный вынос, коэффициенты использования элементов питания подсолнечником в зависимости от применения биопрепаратов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015. Т. 10. № 2 (36). С. 151–155. doi: 10.12737/12558.
2. Актуальность разработки экологически безопасных технологий возделывания сельскохозяйственных культур / А. М. Сабирзянов, С. В. Сочнева, Н. А. Логинов и др. // Зерновое хозяйство России. 2017. № 2 (50). С. 26–29.
3. Горянин О. И., Джангабаев Б. Ж., Щербинина Е. В. Технологии возделывания подсолнечника в засушливых условиях Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 2. С. 55–60. doi: 10.53859/02352451_2022_36_2_55.
4. Куликова А. Х., Волкова Е. С., Яшин Е. А. Цеолит и удобрения на его основе в системе удобрения озимой пшеницы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2 (66). С. 84–89. doi: 10.18286/1816-4501-2024-2-84-89.
5. Перспективы расширения посевных площадей подсолнечника в Зауралье / Н. В. Степных, Е. В. Нестерова, А. М. Заргарян и др. // Земледелие. 2021. № 6. С. 27–33. doi: 10.24412/0044-3913-2021-6-27-33.
6. Приемы повышения эффективности применения биологических препаратов в растениеводстве / Г. Н. Агиева, Л. С. Нижегородцева, Р. Ж. К. Диабанкана и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. №4 (60). С. 5–9. doi: 10.12737/2073-0462-2021-5-9.
7. Левшаков Л.В. Пироженко В.В. Эффективность возделывания подсолнечника на зональных почвах Центрального Черноземья с дефицитом серы // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 2. С. 28–33. doi: 10.53859/02352451_2023_37_2_28.
8. Перспективы развития регионального производства маслосемян подсолнечника / Н. Р. Александрова, А. К. Субаева, А. Р. Валиев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 1 (52). С. 113–119. doi: 10.12737/article_5ccedf732f21b7.08814536.
9. Management of Sunflower Necrosis and Sunflower Leaf Curl Diseases by Using Insecticides / Poornima, V. N. Ghante, V. V. Kulakarni, Umesh M R // Journal of Experimental Agriculture International. 2024. Vol. 46. No. 7. P. 15–21. doi: 10.9734/jeai/2024/v46i72552.
10. The main dynamics of sunflower research presented at the 19th International Sunflower Conference in 2016 / E. Pilorgé, S. Dauguet, Ch. Jestin, E. Mestries // Oilseeds and Fats, Crops and Lipids. 2020. Vol. 27. P. 21. doi: 10.1051/ocl/2020011.
11. Development of genetic stocks of sunflower with resistance to sunflower chlorotic mottle virus / I. Fernández Moroni, S. Lenardon, F. Giolitti, et al. // BAG - Journal of Basic and Applied Genetics. 2024. Vol. 35. No. 1. P. 53–64. doi: 10.35407/bag.2024.35.01.04.

Сведения об авторах:

Сулейманов Салават Разяпович – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой землеустройства и кадастров, e-mail: dusai@mail.ru

Низамов Рустам Мингазизович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: nizamovr@mail.ru
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

EFFECT OF ZEOL ACTIVATED ZEOLITE DOSES ON PRODUCTIVITY, QUALITY AND PHENOLOGY OF SUNFLOWER IN MIDDLE VOLGA REGION

S. R. Suleymanov, R. M. Nizamov

Abstract. Research was conducted to evaluate the effectiveness of using ZEOL activated zeolite for sunflower alongside mineral fertilizers to improve crop cultivation technology. The study was conducted from 2020 to 2022 on gray forest soils in the Republic of Tatarstan. The humus content of the soil in experimental plot was 3.0%, available phosphorus and potassium (according to Kirsanov) were 250 and 145 mg/kg, respectively. Soil pH was close to neutral (pH = 6.6). The experimental scheme involved studying the following options: zeolite at doses of 150, 350 and 500 kg/ha on the background of NPK based on planned yield of Avenzher sunflower hybrid of 2 t/ha. The background of mineral fertilizers served as a control. Use of zeolite increased field germination from 84.0% (control) by 1.8% at 500 kg/ha, sprout vigor by 0.05 g/plant (+27.8%) and decreased the angle of inclination of sunflower basket from 175° (control) to 140° (500 kg/ha), which reduces the risk of shattering and damage by birds. The diameter of baskets increased from 9.5 cm (control) to 11.9 cm at 350 kg/ha and weight of seeds per basket increased from 39.9 g to 49.4 g (+23.8%). Growing season was shortened by 4-6 days and seed moisture before harvest dropped to 6.2% (compared to 6.8% in the control). Average crop yield increased from 1.71 t/ha to 2.24 t/ha (+30.1%), demonstrating resilience: the increase was 44.4% (2.05 t/ha versus 1.42 t/ha) in the dry 2021. Seed oil content increased from 41.5% to 44.3-46.6%, with gross oil yield reaching 1,043.8 kg/ha (+47.1%). At the optimal dose of 350 kg/ha, yield increased by 0.51 t/ha (+29.8%), with a zeolite return on oilseeds of 1.46 kg/kg, oil yield of 983.5 kg/ha (+38.6%) and minimal expansion of the empty head area.

Key words: sunflower (*Helianthus annuus* L.), activated zeolite, mineral fertilizers, field germination, yield, oil content, basket structure, climate resistance.

References

1. Suleymanov SR, Nizamov RM. [Economic removal, coefficients of nutrient utilization by sunflower depending on the use of biopreparations]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015; Vol.10. 2 (36). 151-155 p. doi: 10.12737/12558.
2. Sabirzyanov AM, Sochneva SV, Loginov NA. [Relevance of developing environmentally friendly technologies for agricultural crops cultivation]. Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2017; 2 (50). 26-29 p.
3. Goryanin OI, Dzhangabaev BZh, Shcherbinina EV. [Sunflower cultivation technologies in arid conditions of Volga region]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022; Vol.36. 2. 55-60 p. doi: 10.53859/02352451_2022_36_2_55.
4. Kulikova AKh, Volkova ES, Yashin EA. [Zeolite and fertilizers based on it in the winter wheat fertilization system]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2024; 2 (66). 84-89 p. doi: 10.18286/1816-4501-2024-2-84-89.
5. Stepanykh NV, Nesterova EV, Zargaryan AM. [Prospects for expanding sunflower acreage in the Trans-Urals]. Zemledelie. 2021; 6. 27-33 p. doi: 10.24412/0044-3913-2021-6-27-33.
6. Agieva GN, Nizhegorodtseva LS, Diabankana RZhK. [Methods for increasing the efficiency of using biological products in crop production]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020; Vol.15. 4 (60). 5-9 p. doi: 10.12737/2073-0462-2021-5-9.
7. Levshakov LV, Pirozhenko VV. [Efficiency of sunflower cultivation on zonal soils of the Central Black Earth region with sulfur deficiency]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023; Vol.37. 2. 28-33 p. doi: 10.53859/02352451_2023_37_2_28.
8. Aleksandrova NR, Subaeva AK, Valiev AR. [Prospects for development of regional production of sunflower oilseeds]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 1 (52). 113-119 p. doi: 10.12737/article_5ccedf732f21b7.08814536.
9. Poornima, Ghante VN, Kulakarni VV, Umesh MR. Management of sunflower necrosis and sunflower leaf curl diseases by using insecticides. Journal of Experimental Agriculture International. 2024; Vol.46. No.7. 15-21 p. doi: 10.9734/jeai/2024/v46i72552.
10. Pilorge E, Dauguet S, Jestin Ch, Mestries E. The main dynamics of sunflower research presented at the 19th International Sunflower Conference in 2016. Oilseeds and fats, crops and lipids. 2020; Vol.27. 21 p. doi: 10.1051/ocl/2020011.
11. Fernandez Moroni I, Lenardon S, Giolitti F. Development of genetic stocks of sunflower with resistance to sunflower chlorotic mottle virus. BAG - Journal of Basic and Applied Genetics. 2024; Vol.35. No.1. 53-64 p. doi: 10.35407/bag.2024.35.01.04.

Authors:

Suleymanov Salavat Razyapovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Head of Land Management and Cadastre Department, e-mail: dusai@mail.ru

Nizamov Rustam Mingazovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department, e-mail: nizamovr@mail.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.