

4.1.3. АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА  
И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ (СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.82/46:634.74

DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2025\_4\_68

EDN: RJEJKQ

**Влияние цеолитсодержащего минерального комплекса на состав  
микробиоты субстрата и эффективность доращивания растений  
клюквы и актинидии, полученных в культуре ткани**

**Марина Витальевна Маслова<sup>1✉</sup>, Роман Валериевич Папихин<sup>2</sup>,  
Екатерина Владимировна Грошева<sup>3</sup>, Светлана Александровна Муратова<sup>4</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия

<sup>1</sup> marinamaslova2009@mail.ru✉

**Аннотация.** Представлены результаты изучения реакции микробиоты субстрата, а также растений клюквы и актинидии при внесении минеральных удобрений в виде растворов и с цеолитом в качестве носителя питательных элементов. Изменение химических свойств субстрата регистрировали на основе динамики водородного показателя (рН). Состав микробиоты торфяной смеси определяли путем посева ее суспензий на питательные среды. Состояние растений оценивали по их высоте, количеству листьев и побегов. Выявлены особенности реакции микробиоты в ризосфере горшечных растений (актинидии, клюквы) на наличие и количество добавленных в субстрат минеральных элементов питания, а также на способ их внесения (в растворенном виде и на цеолите в качестве носителя). Анализ вариантов субстрата по значению кислотности показал, что образцы, содержащие цеолит, насыщенный минеральными удобрениями и без них, на протяжении всего периода исследования имели более высокие значения рН (>6,2). У образцов с добавлением растворенных удобрений показатель рН был ниже 6,2. В торфяной смеси с добавлением цеолита, напитанного минеральными удобрениями, отмечалось повышение бактериальной обсемененности на 29,1% и понижение количества патогенных грибов на 30,5%. Внесение растворенных питательных элементов в субстрат снизило численность бактерий на 19,4% по сравнению с контролем, при этом количество патогенных грибов увеличилось на 31,8%. Использование цеолита в качестве носителя минеральных удобрений способствовало увеличению длины побегов и количества листьев у горшечных растений клюквы и актинидии. Стабилизация кислотности субстрата при использовании цеолита обеспечивает пролонгированный характер высвобождения элементов питания. Наличие питательных веществ в доступной форме стимулирует микробную активность почв, что положительно влияет на мобилизацию элементов минерального питания и, как следствие, повышает продуктивность растений. Подбор компонентов субстратов позволяет получать высококачественный посадочный материал ягодных культур.

**Ключевые слова:** минеральные удобрения, цеолит, торфяной субстрат, питательные элементы, кислотность, микробиота, ягодные культуры, клюква, актинидия

**Финансирование:** исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ за счет средств федерального бюджета в рамках государственного задания № 1023050500002-6-4.4.1 «Разработка инновационных биотехнологий получения высококачественного посадочного материала перспективных ягодных и декоративных культур».

**Для цитирования:** Маслова М.В., Папихин Р.В., Грошева Е.В., Муратова С.А. Влияние цеолитсодержащего минерального комплекса на состав микробиоты субстрата и эффективность доращивания растений клюквы и актинидии, полученных в культуре ткани // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2025. Т. 18, № 4(87). С. 68–85. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2025\\_4\\_68](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2025_4_68)–85.

4.1.3. AGROCHEMISTRY, AGRONOMIC SOIL SCIENCE, PLANT  
PROTECTION AND QUARANTINE (AGRICULTURAL SCIENCES)

Original article

**Zeolite-containing mineral complex impact on the substrate microbiota  
content and the effectiveness of finishing growing of cranberry  
and actinidia plants by using tissue culturing method**

**Marina V. Maslova<sup>1✉</sup>, Roman V. Papikhin<sup>2</sup>, Ekaterina V. Grosheva<sup>3</sup>, Svetlana A. Muratova<sup>4</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia

<sup>1</sup> marinamaslova2009@mail.ru✉

**Abstract.** The authors present the results of studies on the reaction of the microbiota of the substrate, as well as cranberry and actinidia plants, when mineral fertilizers were applied in the form of solutions and with zeolite as a carrier of available plant nutrients. Changes in the chemical properties of the substrate were recorded based on

the dynamics of the index of acidity (pH). The composition of the peat mixture microbiota was determined by inoculation of media. The condition of the plants was assessed by their height, number of leaves and shoots. An analysis of the substrate variants by acidity value showed that the samples containing zeolite saturated with and without mineral fertilizers had higher pH values ( $> 6.2$ ). The pH of the samples with the addition of dissolved fertilizers was less than 6.2. In the peat mixture with the addition of zeolite soaked with mineral fertilizers, there was an increase in bacterial contamination by 29.1% and a decrease in the number of fungi by 30.5%. The introduction of dissolved nutrients into the substrate reduced the number of bacteria by 19.4% compared with the control, while the number of pathogenic fungi increased by 31.8%. The use of zeolite as a carrier of mineral fertilizers contributed to an increase in the length of shoots and the number of leaves in cranberry and actinidia potted plants. Stabilization of the acidity of the substrate when using zeolite ensures a prolonged release of nutrients. The availability of nutrients in an accessible form stimulates microbial activity in soils, which positively affects the mobilization of mineral nutrition elements and, as a result, increases plant productivity. The selection of substrate components makes it possible to obtain high-quality planting material for berry crops.

**Keywords:** mineral fertilizers, zeolite, microbiota, turfy substrate, available plant nutrient, acidity, berry crops, cranberry, actinidia

**Funding:** the paper was prepared based on the results of research carried out within the framework of federally funded state assignment No. 1023050500002-6-4.4.1 "Development of innovative biotechnologies for obtaining high-quality planting material for promising berry and ornamental crops" supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

**For citation:** Maslova M.V., Papikhin R.V., Grosheva E.V., Muratova S.A. Zeolite-containing mineral complex impact on the substrate microbiota content and the effectiveness of finishing growing of cranberry and actinidia plants by using tissue culturing method. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2025;18(4):68-85. (In Russ.). [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2025\\_4\\_68-85](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2025_4_68-85).

## Введение

Для получения высококачественного посадочного материала ягодных культур важной задачей является обеспечение их необходимыми элементами питания. При внесении минеральных удобрений питательные вещества сразу становятся доступными для растений, что способствует их активному росту, развитию и повышению биологической продуктивности. Однако, как известно, длительное внесение удобрений может привести к неблагоприятной экологической ситуации: загрязнению почв, водной среды и атмосферы, ухудшению качества сельскохозяйственной продукции, что негативно влияет на здоровье населения.

Минеральные удобрения провоцируют выщелачивание кальция, магния, цинка, меди, марганца и других полезных для растений элементов, что отрицательно сказывается на их физиологическом состоянии. Бесконтрольное применение минеральных удобрений приводит к уплотнению почвы, снижению пористости [3], кроме того, повышается ее кислотность [15]. Известно, что подкисление почв, как правило, наблюдается при применении азотных удобрений [13], что повышает риски возникновения осмотического токсического эффекта, который может привести к полной гибели семян и молодых корней [16].

Дополнительное внесение минеральных удобрений в субстрат смещает баланс между компонентами почвенного биоценоза, так как питательными элементами обеспечиваются не только растения, но и микроорганизмы. При наличии в ризосфере доступных питательных веществ и меньшей конкуренции за них патогенные грибы развиваются как сапротрофы, с минимальной колонизацией корней [11]. Длительное внесение удобрений приводит к накоплению грибов-токсикообразователей, что, в свою очередь, способствует развитию токсикоза почв, вызывающего резкое угнетение роста и развития растений и, как следствие, снижение урожайности [7]. Особым проявлением токсикоза почв является фунгистазис, который выражается в задержке прорастания спор некоторых грибов и снижении микробного разнообразия [10].

Природный цеолит, являясь комплексным мелиорантом, повышает плодородие почв, качество растениеводческой продукции, а также способствует активизации микробного метаболизма в почвах [9, 23]. Внесение цеолита приводит к перераспределению иммобилизованных микроорганизмов в почве, которые располагаются преимуще-

ственно на поверхности твердой фазы. Способность цеолитов адсорбировать микробные клетки позволяет использовать его в качестве носителя микроорганизмов [12, 14], поэтому внесение цеолита влияет на состояние почв и параметры биоразнообразия.

Проблемы, связанные с негативными последствиями внесения минеральных удобрений, можно решить за счет использования их форм пролонгированного действия, что является альтернативой обычным удобрениям благодаря постепенному высвобождению элементов питания, которые активнее потребляются растениями, при этом потери от вымывания становятся меньше [8, 31]. Такие удобрения способны оказывать влияние на почвенное плодородие в течение нескольких лет после внесения. Применение удобрений пролонгированного действия позволяет управлять ростом растений за счет дозированного растворения питательных компонентов в почве [18].

Перспективность использования пролонгированных форм удобрений обусловлена целым рядом преимуществ, из которых ключевым является значительное снижение потерь элементов питания. В большей мере это касается азота, потери которого из удобрений за счет вымывания и денитрификации достигают значительных масштабов. Использование удобрений пролонгированного действия ослабляет или полностью исключает этот эффект. Более того, применение пролонгированных форм азотных удобрений улучшает качество растительной продукции, снижая в них содержание нитратов [13]. Низкая скорость растворения удобрения усиливает мобилизацию элементов питания из почвы за счет отсутствия избытка питательных веществ [4].

Эффективное использование растениями одних питательных веществ повышает их способность потреблять другие элементы питания. Применение удобрений с контролируемым высвобождением также уменьшает затраты на сельскохозяйственное производство за счет снижения количества удобрений, а также затрат на рабочую силу и топливо, связанных с их повторным внесением [26].

Индустрия удобрений пролонгированного действия существует на протяжении почти ста лет. Она решает три задачи, возникавшие последовательно по мере развития агрохимической науки: повышение коэффициента использования удобрений, синхронизация во времени высвобождения питательных элементов с потребностями растений и создание экологических ресурсосберегающих технологий производства. Разрабатываются различные способы, обеспечивающие эффект пролонгации действия удобрений [13]. Так, покрытие гранул с удобрениями монокальцийфосфатом позволяет регулировать скорость высвобождения азота из них. Лабораторные испытания показали, что применение монокальцийфосфата в качестве материала оболочки способно пролонгировать период действия удобрения по сравнению с непокрытыми образцами [17]. Также с этой целью используют капсулы низкой проницаемости для водных растворов, изготавливаемые из различных полимерных материалов, парафинов, смол [2]. За счет применения полимермодифицированного удобрения азофоски, содержащего поливиниловый спирт с медленно растворяющимся удобрением, достигалась высокая эффективность [4]. Нанесение на гранулы оболочки с нанопористой структурой с добавлением диатомита продлевает действие азотной составляющей гранулы. Это способствует длительному действию сердцевин гранул карбамида и накоплению влаги в почве. За счет добавления кремнийсодержащих соединений в оболочку удобрений повышается устойчивость растений к стрессу [21].

Подобными диатомиту свойствами обладают цеолиты – природные, широко распространенные компоненты окружающей среды, состоящие в основном из алюминия, кремния и кислорода. Они были обнаружены в горных породах разных эпох во многих геологических системах. В качестве кинетики процесса ионного обмена в цеолитах были выявлены два основных процесса: диффузия частиц и диффузия пленки. Цеолиты являются одними из лучших катионных обменников, и их способность к ка-

тионному обмену в два-три раза выше, чем у других типов минералов, встречающихся в почве. Цеолиты являются потенциальными адсорбентами благодаря микропористой структуре. Их полезным свойством также является избирательность в отношении катионов аммония и калия. Цеолиты можно использовать как в качестве носителей питательных веществ, так и в качестве среды для их высвобождения [25, 30].

Цель работы состояла в изучении реакции микробиоты субстрата, а также растений клюквы и актинидии при внесении минеральных удобрений как в виде растворов, так и с цеолитом в качестве носителя элементов питания.

#### **Методика исследований**

В экспериментах использовали торфяной субстрат Агробалт-С (производитель – ООО «Пиндструп», Россия).

Состав смеси:

- верховой сфагновый торф низкой степени разложения;
- известняковая (доломитовая) мука;
- комплексное минеральное удобрение с полным набором макро- и микроэлементов.

Основные агротехнические характеристики: влажность – не более 65%; показатель актуальной кислотности  $pH_{\text{водн}}$  – 5,5–6,6; показатель обменной кислотности  $pH_{\text{КС1}}$  – 5,0–6,2; содержание органического вещества – не менее 80%.

Питательные элементы (не менее мг/л):

- Нобщ. – 150;
- Са – 120;
- Mg – 30;
- $K_2O$  – 250;
- $P_2O_5$  – 150.

В качестве минерального компонента, регулирующего гидрологические характеристики субстрата, применяли цеолитсодержащий минеральный комплекс (ЦМК) «Доктор грунт» в концентрации 10% по объему (в дальнейшем в работе он упоминается под термином цеолит), состоящий из равнопропорциональной смеси цеолитов (трепел и опока, месторождение – Калужская область, г. Жиздра).

Минеральные удобрения вносили в виде растворов и в составе базового носителя, в качестве которого выступал природный цеолит. Его насыщение раствором удобрений проводили путем опрыскивания с помощью пульверизатора в 3 этапа с перемешиванием и подсушиванием после каждого в течение 30 минут. Таким образом, добивались получения комбинированного препарата с равномерным насыщением различными минеральными компонентами. Торфяной субстрат инкубировали в контейнерах объемом 1 л, которые помещали в поддоны. Насыщение образцов водой осуществляли путем заполнения поддонов.

Оценку изменения свойств субстрата после внесения минеральных удобрений различными способами проводили на основе изучения динамики водородного показателя на протяжении 109 суток. Его измеряли с помощью pH-метра Checker H198103 (Hanna Instruments Inc., USA). Водородный показатель воды не изменялся в течение всего опыта ( $pH = 7,0$ ). В каждом варианте использовали от 8 до 9 контейнеров. Опыт имел трехкратную повторность.

Параллельно изучали микробиологические свойства субстрата. Для этого отбирали объединенную навеску, состоящую из 3 проб по 1 г (5 мл) из каждого исследуемого образца. Готовили суспензию объемом 300 мл, добавляя стерильную дистиллированную воду, выдерживали на шейкере при 140 об/мин в течение 40 мин. Полученную суспензию фильтровали с использованием марлевого фильтра, после чего готовили

разведение 1:10 и высевали на агаризированные питательные среды по 100 мкл в 5 параллельных чашек Петри. В качестве питательной среды использовали картофельно-глюкозный агар (КГА). Суспензию равномерно распределяли по поверхности среды шпателем Дригальского. Культивировали микроорганизмы при температуре 25 °С. По мере роста колоний бактерий и грибов проводили подсчет колониеобразующих единиц (КОЕ) и идентификацию с последующим пересчетом на 1 г субстрата [22].

В другой серии экспериментов растения актинидии коломикта мужской формы (*Actinidia kolomikta*) и клюквы (*Oxycoccus*) сорта Стивенс выращивали в виде горшечной культуры в условиях пленочной теплицы в течение 3 месяцев.

Включенные в исследования растения предварительно были размножены методом клонального микроразмножения для обеспечения генетической и морфологической однородности. Далее микрорастения высаживали для адаптации в минипарники в касеты (54 ячеек по 80 мл) в торфяной субстрат. Период доращивания составлял 70 дней, после чего проводили морфометрические исследования растений по следующим признакам: высота растений, количество листьев и побегов.

Коэффициент сгущения листьев (Ксл) рассчитывали по методике Н.А. Гашевой (2009) [5].

В каждый вариант опыта было включено по 31 растению. Опыт проводили в четырехкратной повторности.

В процессе вегетации растений в субстрате формировался определенный микробный комплекс под влиянием того или иного состава торфяной смеси и вторичных метаболитов, выделяемых корнями растений. Микробиологический анализ субстрата проводили по той же методике, что и в предыдущем эксперименте.

Состав минеральных удобрений, использованных для насыщения цеолита, приведен в таблице 1. Варианты опытов описаны в таблице 2.

Статистическую обработку данных осуществляли в программной среде Microsoft Excel. Дисперсионный анализ проводили на уровне значимости 5%, 1% и 0,1%.

Таблица 1. Состав вносимых минеральных удобрений

Варианты	Состав минеральных удобрений	Содержание на 1 л цеолита**
1	N : P : K 13 : 41 : 13 + микроэлементы (Fe (ДТПА) – 0,054%; Zn (ЭДТА) – 0,014%; Cu (ЭДТА) – 0,01%; Mn (ЭДТА) – 0,042%; Mo – 0,004%; B – 0,02%) (Акварин-13*)	20 г
2	N : P : K 13 : 41 : 13 + микроэлементы (Fe (ДТПА) – 0,054%; Zn (ЭДТА) – 0,014%; Cu (ЭДТА) – 0,01%; Mn (ЭДТА) – 0,042%; Mo – 0,004%; B – 0,02%) (Акварин-13*)	30 г
3	N : P : K 13 : 5 : 25 + 2MgO + 8S (Акварин «Для цветов»*)	20 г
4	N : P : K 13 : 5 : 25 + 2MgO + 8S (Акварин «Для цветов»*)	30 г
5	N : P : K 18 : 18 : 18 + MgO – 2%; S – 1,5%; Fe (ДТПА) – 0,054%; Zn (ЭДТА) – 0,014%; Cu (ЭДТА) – 0,01%; Mn (ЭДТА) – 0,042%; Mo – 0,004%; B – 0,02% (Акварин «Универсальный»*)	20 г
6	N : P : K 18 : 18 : 18 + MgO – 2%; S – 1,5%; Fe (ДТПА) – 0,054%; Zn (ЭДТА) – 0,014%; Cu (ЭДТА) – 0,01%; Mn (ЭДТА) – 0,042%; Mo – 0,004%; B – 0,02% (Акварин «Универсальный»*)	30 г
7	N : P : K 20 : 5 : 10	20 г
8	N : P : K 20 : 5 : 10	30 г

Примечание: \* – производитель – ОАО «Буйский химический завод», Россия; \*\* – производитель – ООО «Доктор Грунт», Россия.

**Таблица 2. Варианты экспериментов**

<b>Варианты опытов</b>	<b>Состав субстрата</b>
К – контроль	Агробалт-С
Ц	Агробалт-С + цеолит
ЦМ1	Агробалт-С + цеолит + минеральные удобрения – вариант 1
ЦМ2	Агробалт-С + цеолит + минеральные удобрения – вариант 2
М1	Агробалт-С + минеральные удобрения – вариант 1
М2	Агробалт-С + минеральные удобрения – вариант 2
ЦМ3	Агробалт-С + цеолит + минеральные удобрения – вариант 3
ЦМ4	Агробалт-С + цеолит + минеральные удобрения – вариант 4
М3	Агробалт-С + минеральные удобрения – вариант 3
М4	Агробалт-С + минеральные удобрения – вариант 4
ЦМ5	Агробалт-С + цеолит + минеральные удобрения – вариант 5
ЦМ6	Агробалт-С + цеолит + минеральные удобрения – вариант 6
М5	Агробалт-С + минеральные удобрения – вариант 5
М6	Агробалт-С + минеральные удобрения – вариант 6
ЦМ7	Агробалт-С + цеолит + минеральные удобрения – вариант 7
ЦМ8	Агробалт-С + цеолит + минеральные удобрения – вариант 8

### **Результаты исследований**

При внесении минеральных удобрений уже на 3-е сутки в исследуемых субстратах были зафиксированы различия по кислотности в зависимости от вариантов опыта. Водородный показатель (рН) служит объективным критерием оценки протекания химических процессов в средах, поэтому можно предположить, что в торфяной смеси на данном этапе происходит активное растворение минеральных удобрений в образцах М3, М4, М5 и М6, а также ее взаимодействие с насыщенным цеолитом по вариантам Ц, ЦМ3, ЦМ4, ЦМ5 и ЦМ6.

На протяжении эксперимента наблюдали цикличность в изменении рН. В большей степени она была выражена в субстратах с добавлением растворов удобрений без цеолита. Вероятно, это связано с активностью высвобождения минеральных компонентов в субстрат, что влечет смену состава микробиоты, которая при своем развитии претерпевает смену циклов и в процессе метаболизма, в свою очередь, регулирует кислотность среды обитания. При измерении рН в образцах субстрата на 3-е сутки после постановки эксперимента все варианты разделились на две группы: первая – со значениями водородного показателя в пределах 6,5–7,0; вторая – в пределах 5,5–6,3 (рис. 1).

В первую группу вошли варианты, содержащие цеолит как насыщенный минеральными удобрениями, так и без них, а также контрольный субстрат без цеолита. Вторая группа сформировалась из образцов с добавлением растворов удобрений без цеолита. Кроме того, на этапе первого измерения после постановки опыта статистически между вариантами, входящими во вторую группу, различий не наблюдалось, но наметилась тенденция возникновения отличий вариантов М3 и М4 от М5 и М6. Очевидно, что это связано с разным химическим составом, в первую очередь с содержанием макроэлементов. Соотношение N : P : K в образцах М5 и М6 составило 18 : 18 : 18 в количестве соответственно 20 и 30 г/л, что по азоту и фосфору значительно выше, чем в образцах М3 и М4, где соотношение N : P : K составило 13 : 5 : 25 при таком же количестве удобрений.

Снижение рН часто связывают с наличием азота, который в большей степени повышает кислотность по сравнению с фосфором или калием [11, 13]. Это и определило более высокую кислотность субстрата на вариантах М5 и М6. В дальнейшем показатели кислотности имели тенденцию к снижению, этот процесс был более выражен примерно до 45-х суток, после чего наблюдали корректировку. Так, на 65-е сутки значения рН повышались в большинстве вариантов до исходных, но в образцах М5 и М6 в эти же сроки кислотность субстрата была низкой и составляла соответственно 5,54 и 4,88.

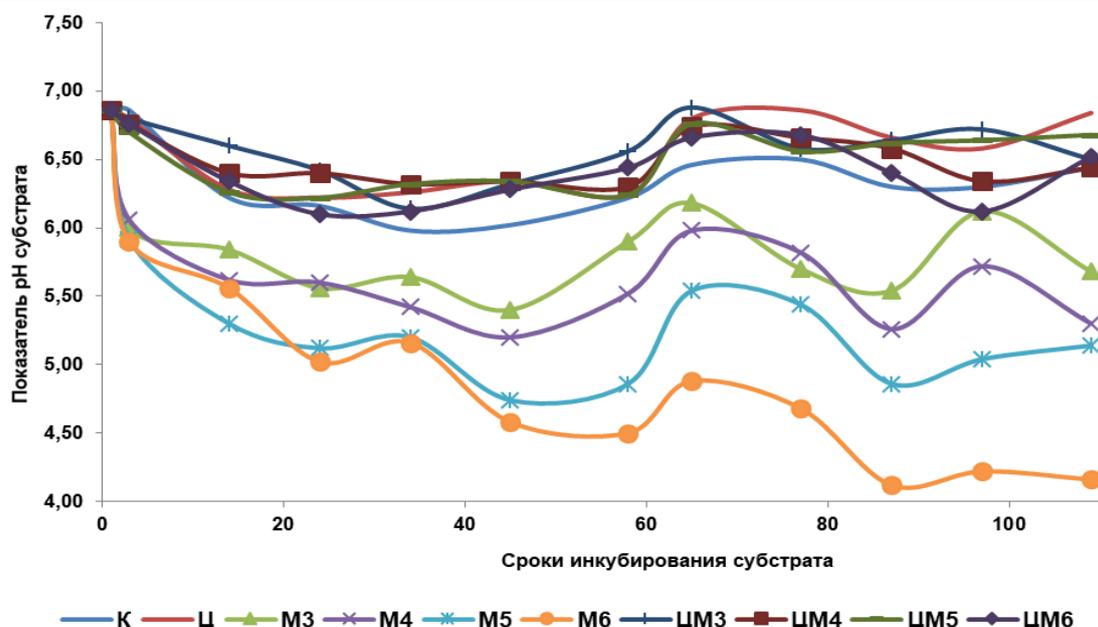


Рис. 1. Динамика кислотности торфяного субстрата в зависимости от состава и способов внесения минеральных удобрений

Минимальные значения pH зафиксированы на вариантах М5 и М6 на 87-е сутки и составляли соответственно 4,86 и 4,12. Вероятно, это связано с максимальным растворением удобрений в торфяном субстрате, после чего происходит понижение кислотности. На 121-е сутки в группе образцов, где использовали цеолит, отмечено восстановление значений исследуемого показателя до исходного уровня.

Изменение кислотности показывает характер высвобождения элементов минеральных удобрений. Повышение данного показателя за счет быстрого растворения и взаимодействия с торфяным субстратом при прямом внесении удобрений способствует понижению pH (рис. 1 и табл. 3).

Таблица 3. Водородный показатель (pH) торфяного субстрата при внесении минеральных удобрений в виде раствора

Сроки учета, кол-во суток	К	М3	М4	М5	М6
3	6,86 ± 0,09	6,00 ± 0,04	6,06 ± 0,09	5,92 ± 0,12*	5,90 ± 0,05*
14	6,22 ± 0,12	5,84 ± 0,007	5,62 ± 0,06**	5,3 ± 0,08**	5,56 ± 0,04**
24	6,16 ± 0,07	5,56 ± 0,09*	5,60 ± 0,12*	5,12 ± 0,08**	5,02 ± 0,09**
34	5,98 ± 0,07	5,64 ± 0,10**	5,42 ± 0,07***	5,20 ± 0,05***	5,16 ± 0,12***
45	6,02 ± 0,08	5,40 ± 0,04***	5,20 ± 0,09***	4,74 ± 0,14***	4,58 ± 0,13***
58	6,22 ± 0,14	5,9 ± 0,11	5,52 ± 0,11**	4,86 ± 0,15***	4,50 ± 0,12***
65	6,46 ± 0,11	6,18 ± 0,09	5,98 ± 0,09*	5,54 ± 0,10***	4,88 ± 0,14***
77	6,50 ± 0,10	5,70 ± 0,11***	5,82 ± 0,11**	5,44 ± 0,14***	4,68 ± 0,11***
87	6,30 ± 0,09	5,54 ± 0,13***	5,26 ± 0,13***	4,86 ± 0,06***	4,12 ± 0,13***
97	6,30 ± 0,10	6,12 ± 0,06	5,72 ± 0,06**	5,04 ± 0,03***	4,22 ± 0,09***
109	6,44 ± 0,07	5,68 ± 0,11**	5,30 ± 0,12***	5,14 ± 0,14***	4,16 ± 0,11***
121	6,78 ± 0,04	5,8 ± 0,07***	5,58 ± 0,04***	5,38 ± 0,04***	4,64 ± 0,05***

Примечание: достоверность различий с контролем здесь и далее подтверждена по *t*-критерию Стьюдента: \* –  $p \leq 0,05$ ; \*\* –  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* –  $p \leq 0,001$ .

Повышение концентрации удобрений приводит к более низким значениям кислотности. Важно отметить, что применение цеолита, насыщенного водорастворимыми удобрениями, стабилизирует кислотность субстрата. Значительных статистических различий с контролем по водородному показателю у этих образцов не зафиксировано (табл. 4).

Таблица 4. Водородный показатель (рН) торфяного субстрата при внесении минеральных удобрений с использованием цеолита в качестве носителя

Сроки учета, кол-во суток	К	Ц	ЦМ3	ЦМ4	ЦМ5	ЦМ6
3	6,86 ± 0,09	6,80 ± 0,05	6,80 ± 0,02	6,76 ± 0,09	6,70	6,76 ± 0,05
14	6,22 ± 0,12	6,28 ± 0,04	6,6 ± 0,11	6,4 ± 0,08	6,26 ± 0,07	6,34 ± 0,13
24	6,16 ± 0,07	6,22 ± 0,07	6,42 ± 0,11	6,40 ± 0,13	6,22 ± 0,09	6,10 ± 0,09
34	5,98 ± 0,07	6,26 ± 0,09	6,14 ± 0,14	6,32 ± 0,13	6,32 ± 0,09	6,12 ± 0,09
45	6,02 ± 0,08	6,34 ± 0,12	6,32 ± 0,11	6,34 ± 0,13	6,34 ± 0,10	6,28 ± 0,09
58	6,22 ± 0,14	6,24 ± 0,10	6,56 ± 0,11	6,3 ± 0,15	6,24 ± 0,010	6,44 ± 0,09
65	6,46 ± 0,11	6,80 ± 0,10	6,88 ± 0,14*	6,74 ± 0,05	6,76 ± 0,09	6,66 ± 0,12
77	6,50 ± 0,10	6,86 ± 0,11*	6,58 ± 0,13	6,66 ± 0,11	6,56 ± 0,08	6,68 ± 0,12
87	6,30 ± 0,09	6,66 ± 0,12	6,64 ± 0,09	6,58 ± 0,09	6,62 ± 0,09*	6,40 ± 0,12
97	6,30 ± 0,10	6,58 ± 0,03	6,72 ± 0,009*	6,34 ± 0,09	6,64 ± 0,02	6,12 ± 0,02
109	6,44 ± 0,07	6,84 ± 0,07*	6,5 ± 0,14	6,44 ± 0,10	6,68 ± 0,06*	6,52 ± 0,04
121	6,78 ± 0,04	7,00 ± 0,05	6,66 ± 0,04	6,68 ± 0,05	6,7 ± 0,03	6,7 ± 0,05

Известно, что внесение цеолита в почву приводит к ее раскислению [9]. Однако при насыщении его минеральными удобрениями, как в нашем случае, происходит их адсорбция в мелкопористых гранулах, что способствует постепенному высвобождению минеральных веществ. Таким образом, обеспечивается стабилизация рН и пролонгированный характер действия синтетического комплекса, состоящего из гранулированного цеолита и минеральных удобрений (табл. 4). Эффективность действия данного комплекса нами была показана ранее на различных культурах. Его добавление в субстрат способствовало активной вегетации растений в течение длительного периода [19]. Так как в основном повышенную кислотность обеспечивают быстрый гидролиз и нитрификация азота, то для снижения потерь азота из удобрений разрабатываются различные методы, снижающие скорость растворения удобрений и увеличивающие их усвоение растениями. С этой целью гранулы удобрений обогащаются биоактивными веществами, ингибиторами нитрификации или другими материалами, снижающими растворимость гранул в почве [26]. Использование гранулированного цеолита предотвращает передозировку питательных веществ, продлевая период, в течение которого удобрения высвобождаются в субстрат, а также закрепляют их на месте, что помогает предотвратить возникновение локально высоких концентраций питательных элементов из-за миграции их после внесения [31].

На 45-е сутки микробиологический анализ образцов субстрата после внесения удобрений в виде растворов и с использованием в качестве носителя цеолита показал зависимость состава микробиоты от компонентов, входящих в торфяную смесь и способов внесения минеральных веществ. В лабораторных условиях проводили изучение состава микроорганизмов в инкубируемых без растений образцах субстрата (К, Ц, ЦМ3, ЦМ4, М3, М4, ЦМ5, ЦМ6, М5, М6).

Выявлены различные экологические группы микроорганизмов:

- с выраженным патогенным действием (*Fusarium*, *Verticillium*, *Alternaria*, *Rhizopus*, *Phoma*, *Pythium*);
- токсинообразователи (*Penicillium* и *Aspergillus*);
- осуществляющие биоконтроль патогенов (гриб *Trichoderma* и бактерии).

Среди выделившихся бактерий доминировали колонии двух морфотипов: бежевого цвета морщинистые и желтопигментные мукоидные, присутствие которых в субстрате не оказывало негативного воздействия на растения. Кроме того, они обладали выраженным фунгицидным действием в условиях культивирования совместно с пато-

генными грибами *Verticillium* и *Fusarium*. При инкубировании торфяной смеси, содержащей цеолит и минеральные удобрения, на различных вариантах опыта и контроле общее микробное число (ОМЧ) в среднем по грибам составило  $7,84 \times 10^4$  КОЕ/г, при этом доминировали грибы *Penicillium* и *Pythium*. Бактерий на 1 г исследуемых образцов насчитывалось  $7,07 \times 10^6$  КОЕ/г.

Отмечены различия в показателях развития микробиоты в зависимости от наличия в субстрате цеолита, минеральных элементов питания, а также от способа их внесения (растворенные в воде или с цеолитом в качестве носителя). Воздействие внешних факторов, в том числе внесение удобрений, приводит к смене видов в субстрате (сукцессии). Одни микроорганизмы уступают место другим, более приспособленным к новым условиям. Добавление цеолита в торфяную смесь способствовало более интенсивному развитию бактериальной микробиоты ( $7,86 \times 10^6$  КОЕ/г), что на 17,4% превышало показатель контроля ( $6,69 \times 10^6$  КОЕ/г). Данное обстоятельство привело к снижению обсемененности исследуемого субстрата грибами на 30,5%, т.е. с  $7,67 \times 10^4$  КОЕ/г на контроле до  $5,33 \times 10^4$  КОЕ/г, в основном за счет снижения численности *Penicillium* и *Pythium* (рис. 2). При этом количество *Trichoderma*, осуществляющей биоконтроль патогенов, увеличилось с  $0,18 \times 10^4$  до  $0,53 \times 10^4$  КОЕ/г.

Внесение растворенных минеральных удобрений в торфяную смесь снизило ее общую бактериальную обсемененность до  $5,39 \times 10^6$  КОЕ/г, в среднем на 19,4% по сравнению с контролем. ОМЧ по грибам оказалось выше, чем у контрольного образца на 31,8% и составило  $10,11 \times 10^4$  КОЕ/г. Это произошло в связи с резким повышением кислотности субстрата после одноразового поступления большой дозы минеральных веществ. В свою очередь, варианты М5 и М6 отличались более активным развитием грибов (соответственно  $10,10 \times 10^4$  и  $11,37 \times 10^4$  КОЕ/г). Данные образцы характеризовались наиболее высоким содержанием азота и фосфора, а также самыми низкими показателями рН. Этот факт стал причиной активного роста мицелиальных микроорганизмов, присутствие которых в субстрате для растений является нежелательным.

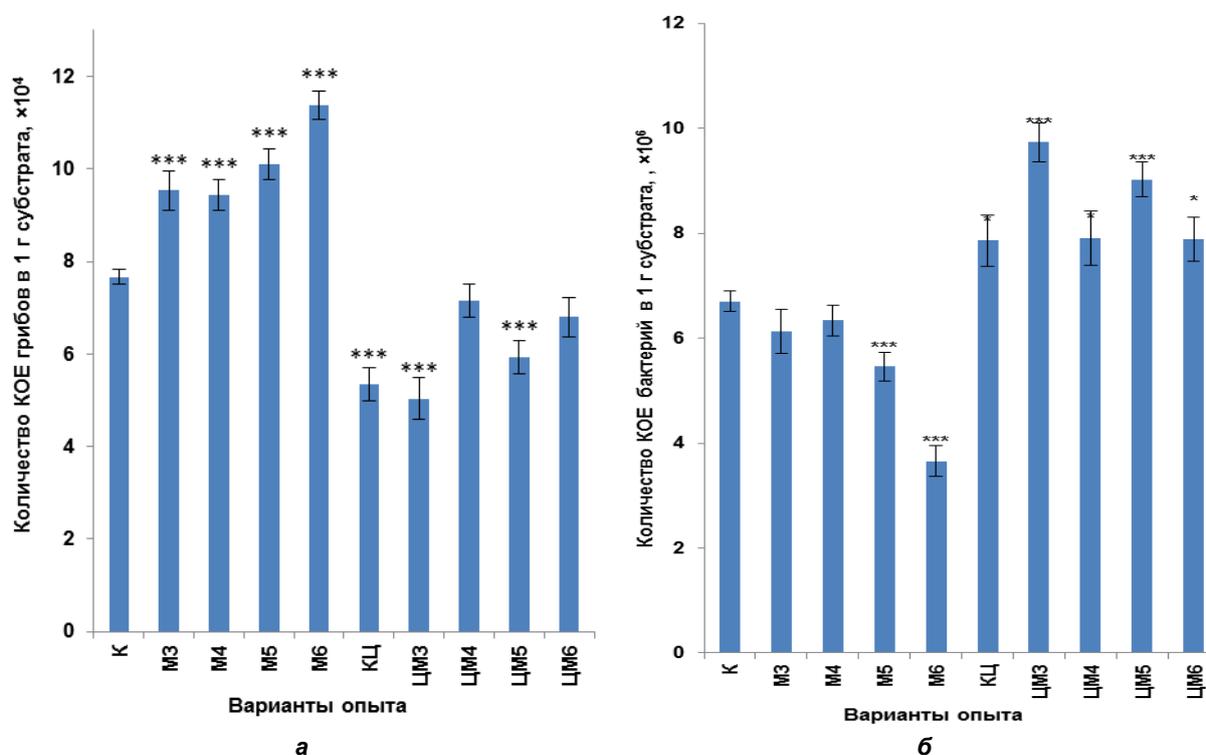


Рис. 2. Обсемененность субстрата патогенными и условно-патогенными грибами (а) и бактериями (б) при внесении минеральных удобрений в виде раствора (М3, М4, М5, М6) и с использованием цеолита в качестве носителя (ЦМ3, ЦМ4, ЦМ5, ЦМ6)

Использование гранул цеолита в качестве носителя минеральных удобрений позволяет постепенно высвобождать питательные вещества небольшими дозами, что способствует лучшему их усваиванию различными организмами без резкого изменения условий обитания. В связи с этим в образцах торфяной смеси с добавлением цеолита, насыщенного минеральными удобрениями, отмечалось повышение бактериальной обсемененности до  $8,64 \times 10^6$  КОЕ/г, т.е. на 29,1% по сравнению с контролем и на 60,3% по сравнению с вариантами, где применяли минеральные удобрения в виде растворов. Это обстоятельство обусловлено наличием доступных для бактерий питательных веществ в удобной форме, которые постепенно высвобождаются из гранул цеолита, не приводя к резкому изменению химического состава субстрата и его кислотности.

Следует отметить, что данный вариант эксперимента характеризовался меньшей численностью грибов ( $6,23 \times 10^4$  КОЕ/г) и по сравнению с контролем (на 18,8%), и по сравнению с вариантами, где удобрения вносили в виде растворов (на 38,4%). Это явилось следствием сложившихся благоприятных условий для роста и развития бактерий, которые проявляли антифунгальные свойства. Такой состав микробиоты исследуемых образцов торфяной смеси сложился благодаря особому химическому составу и пористости структуры гранул цеолита, что способствовало их колонизации бактериями и формированию в сложных структурах биопленок. Наличие питательных веществ в доступной и удобной форме еще в большей степени способствовало активизации бактерий. В процессе жизнедеятельности они высвобождают ряд метаболитов в окружающую среду, контролируя состав ризосферных микроорганизмов.

Основной целью определения оптимального состава субстрата является повышение биологической продуктивности растений, которая является комплексным признаком, контролируемым сложной генетической системой, тесно взаимодействующей со многими факторами внешней среды. Одним из основных компонентов биологической продуктивности растений является величина ассимиляционной поверхности [6], так как от общей площади поверхности листьев и их пространственной структуры зависят количество поглощаемой растением энергии и биологическая продуктивность [32].

Проведение оценки морфометрических показателей растений, культивируемых на субстратах с различным минеральным составом, имеет важное значение. В эксперимент были включены горшечные растения актинидии. В качестве исследуемых вариантов в данном эксперименте выступали следующие смеси: К, Ц, ЦМ1, ЦМ2, ЦМ3, ЦМ4, ЦМ5, ЦМ6.

Анализ морфометрических характеристик растений показал, что при использовании цеолита значения длины прироста варьируют от 85,9 до 107,0 см. Наибольшая длина побега отмечена на вариантах ЦМ1 и ЦМ6, где данный показатель превышал контрольный вариант без цеолита (93,5 см) соответственно на 9,5 и 14,4%. На остальных вариантах различий с контролем не наблюдали, показатели прироста колебались в пределах ошибки среднего значения (рис. 3, а).

При подсчете количества листьев, формирующихся на побегах, было отмечено увеличение этого показателя на вариантах ЦМ1 и ЦМ6 по сравнению с контролем (21,5 шт.) соответственно на 12,6 и 13,5% (рис. 3, б).

Если на контроле без цеолита и с насыщенным цеолитом показатели не различались, то можно предположить, что именно минеральный состав и содержание цеолита в данных субстратах стимулируют развитие листового аппарата. Увеличение количества листьев, в свою очередь, является показателем высокой биологической продуктивности, что в целом говорит о хорошей реализации трофических возможностей конкретного питательного субстрата.

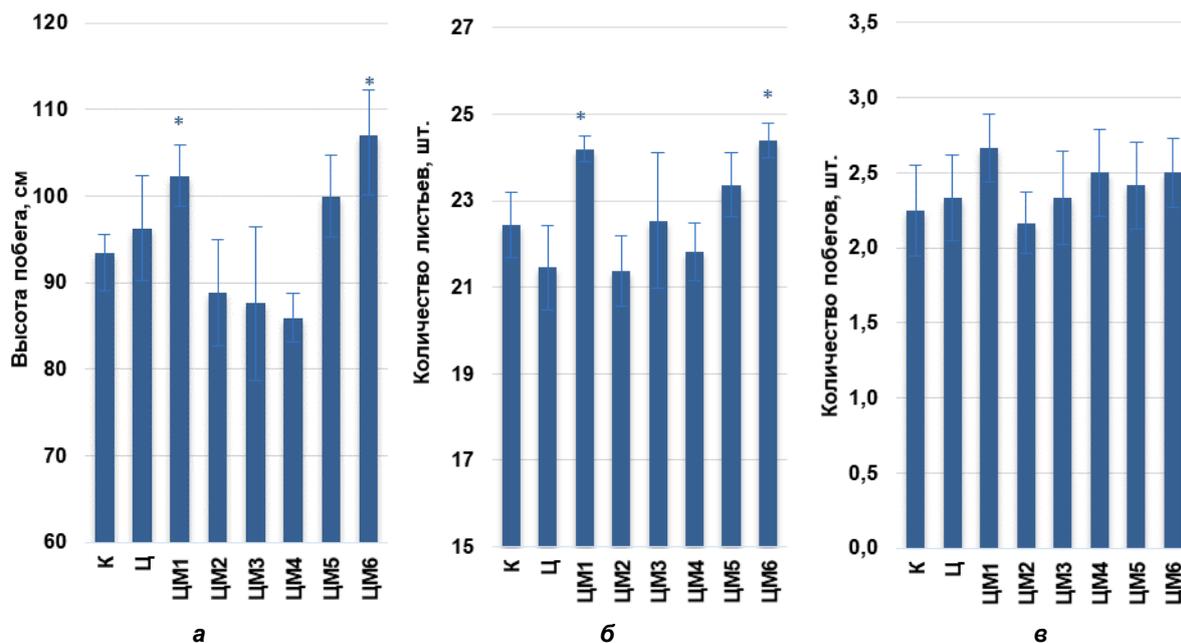


Рис. 3. Морфометрические характеристики актинидии коломикта мужской формы при доразивании на субстратах с разным цеолитминеральным комплексом: а – высота побегов; б – количество листьев; в – количество побегов

Как правило, растения, полученные методом клонального микроразмножения, по характеру формирования надземной части, а именно по характеру «кроны», отличаются от растений, полученных традиционными способами вегетативного размножения, что может быть связано с культивированием эксплантов на определенном этапе в среде с физиологически активными веществами, индуцирующими пролиферацию и/или ризогенез [27]. Однако в нашем эксперименте с растениями актинидии данное явление не было обнаружено. Средние показатели количества формируемых побегов на растениях на всех вариантах субстрата, включая контрольный, колебались в пределах ошибки среднего значения. Наметилась тенденция увеличения числа побегов у опытных растений (рис. 3, в).

Неоднозначность трактовки полученных результатов обусловлена тем, что мы имеем дело со сложной, многокомпонентной системой, в которой основную роль играют взаимоотношения «среда – хозяин – паразит». В связи с этим важно учитывать, что высокое содержание питательных элементов в субстрате способствует развитию не только растений, но и микроорганизмов различных систематических и трофических групп, в том числе патогенных и токсинообразующих. Поэтому для повышения продуктивности растений необходимо подобрать такой состав субстрата, в котором для растений складывались бы благоприятные условия, способствующие росту биомассы и развитию устойчивости к абиотическим и биотическим стрессорам.

Проводили оценку микробиологического состава торфяной смеси, содержащей цеолит с различными комбинациями минеральных удобрений, в которой культивировали горшечные растения актинидии. При ее выращивании в торфяной смеси, содержащей цеолит и минеральные удобрения, на различных вариантах опыта и контроле ОМЧ по грибам составило  $44,41 \times 10^4$  КОЕ/г. В среднем в 1 г субстрата были выявлены следующие количества грибов по родам:

- *Penicillium* –  $17,63 \times 10^4$  КОЕ;
- *Trichoderma* –  $15,80 \times 10^4$  КОЕ;
- *Pythium* –  $9,20 \times 10^4$  КОЕ;
- *Phoma* –  $1,73 \times 10^4$  КОЕ;
- *Aspergillus* –  $0,05 \times 10^4$  КОЕ (рис. 4, а).

Общая обсемененность бактериями составила  $9,81 \times 10^6$  КОЕ/г (рис. 4, б).

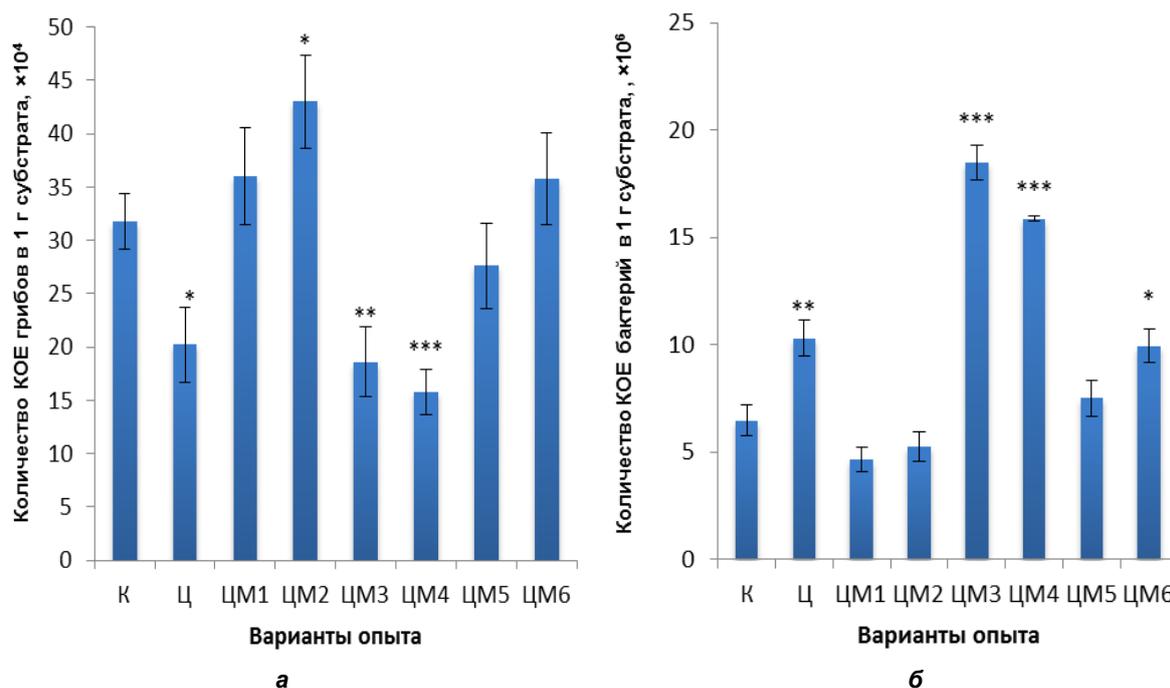


Рис. 4. Обсемененность образцов субстрата патогенными и условно-патогенными грибами (а), а также бактериями (б) при выращивании актинидии

При выращивании актинидии в торфяной смеси с цеолитом, напитанным минеральными удобрениями, развитие грибной микробиоты в большей степени зависело от количества вносимого фосфора. Важно отметить, что именно по данному элементу питания применяемые композиции минеральных удобрений различались в большей степени. Согласно литературным данным, после внесения фосфора биомасса почвенных грибов увеличивается быстрее, чем у бактерий, что указывает на более чувствительную реакцию микромицетов на внесение данного элемента питания [29]. В лабораторных условиях фосфор, добавленный в картофельно-декстрозный агар, способствовал росту численности таких фитопатогенных грибов, как *Alternaria solani* и *Penicillium digitatum* [28]. К тому же грибы рода *Aspergillus*, *Penicillium* и *Trichoderma* проявляют фосфатазную активность, тем самым делая фосфор более доступным как для растений, так и для микроорганизмов [1].

В сравнении с субстратом Ц на вариантах ЦМ1 и ЦМ2, где использовали удобрения в концентрации 20 и 30 г/л, содержащих 41% фосфора, мицелиальных организмов было почти вдвое больше. Та же тенденция отмечена на варианте ЦМ6, где использовали удобрения в концентрации 30 г/л с содержанием 18% фосфора. Анализ морфометрических характеристик растений актинидии показал, что на вариантах ЦМ1 и ЦМ6 отмечено увеличение длины прироста и количества листьев на побег. Применение удобрений в концентрации 20 и 30 г/л с низким содержанием фосфора – 5% (ЦМ3 и ЦМ4), а также в концентрации 20 г/л с содержанием фосфора 18% (ЦМ5), различия с вариантом Ц были незначительными. Высокое содержание питательных веществ в доступной форме в субстратах на вариантах ЦМ1 и ЦМ6 способствовало активному росту растений даже при высоком уровне развития грибного комплекса с доминированием токсинообразующего гриба *Penicillium*.

Развитие гриба рода *Trichoderma*, проявляющего защитные свойства по отношению к растениям, отличалось от других микромицетов. Активный рост наблюдался на всех вариантах с цеолитом, где обсемененность субстрата данным микроорганизмом в среднем составила  $17,4 \times 10^4$  КОЕ/г, в то время как на контроле этот показатель был почти в 4 раза ниже и составил  $4,6 \times 10^4$  КОЕ/г.

При добавлении минеральных удобрений, содержащих азот в количестве 13–18%, повышается кислотность субстрата, а также стимулируется активность почвенно-патогенных грибов. Цеолит нейтрализует закисленную торфяную смесь, возвращая показатели развития микромицетов либо к контрольным значениям, либо понижая их, что создает условия, способствующие развитию бактерий. Достоверность данного факта подтверждена статистически по  $t$ -критерию Стьюдента (рис 4, б). В результате этого в ризосфере формируется наиболее благоприятный для растений микробиоценоз. Регуляция численности бактериальной микробиоты также осуществляется грибами, в нашем случае представителями рода *Penicillium*, доминирующими среди всех выделенных мицелиальных организмов. Количество КОЕ бактерий находилось в обратной зависимости от численности грибов ( $r = -0,91$ ), увеличение биомассы которых в ризосфере актинидии обуславливало снижение активности бактерий в связи с накоплением антибиотических веществ.

Следует отметить, что в образцах с растениями актинидии по сравнению с вариантом, где субстрат инкубировали без растений, грибов насчитывалось почти в 4 раза больше, а бактерий – только в 1,5 раза. Можно предположить, что количество вносимых элементов питания влияет на развитие микробиоты опосредовано через растение-хозяина. В корневых выделениях растений обнаружены разнообразные органические вещества: фосфатиды, аминокислоты, тиамин, биотин, парааминобензойная кислота, углеводы, танины и алкалоиды, которые стимулируют биологическую активность микроорганизмов в прикорневой зоне растений. С одной стороны, изменение физиологического состояния растения-хозяина и, как следствие, состава его корневых выделений, приводит к созданию особых условий обитания микроорганизмов в ризосфере. С другой стороны, почвенные микроорганизмы также влияют на рост растений и их устойчивость к болезням [11].

В экспериментах с растениями клюквы оценивали их морфометрические показатели и микробиологический состав ризосферы. Данная культура является ацидофильной, в связи с этим опытные варианты минеральных удобрений отличались от композиций, используемых в предыдущем эксперименте, высоким содержанием азота. При этом использовали следующие образцы субстрата: К, Ц, ЦМ7, ЦМ8. На основании показателей развития растений клюквы выявлена их реакция на изменения химического состава субстрата при внесении предложенных вариантов композиций минеральных элементов питания. Клюква оказалась отзывчивой на присутствие цеолита, содержащего биологически активный кремний и способного стабилизировать кислотность субстрата.

На основе анализа морфометрических изменений растений клюквы в опыте с высокой достоверностью можно констатировать увеличение по сравнению с контролем прироста побегов при использовании цеолита, присутствие которого в субстрате обусловило увеличение длины побегов с 31,4 (К) до 51,6 см (Ц), или на 35,7%. Насыщение цеолита дополнительно минеральными удобрениями не приводило к увеличению длины побегов, показатели не имели существенных различий, но достоверно превышали контрольные (рис. 5, а). Этот факт показывает значительное влияние цеолита на развитие растений клюквы. Выдвинутый тезис согласуется с данными других исследователей. Так, Т.А. Строт и В.А. Руденок [20] отмечают положительное влияние предпосевной обработки семян клюквы нанокремнием на их прорастание.

При увеличении длины побегов у образцов Ц, ЦМ7 и ЦМ8 увеличивалось и количество листьев – в среднем в 1,5 раза по сравнению с контролем (К) (рис. 5, б). Коэффициенты сгущения листьев ( $K_{сл}$ ) во всех вариантах опыта с цеолитом не различались между собой и варьировали в пределах 1,4–1,6, что говорит об отсутствии удлинения междоузлий под действием минеральных компонентов. Подобное явление при их высоких дозах возникает регулярно и свидетельствует о невызревании стеблей [24].

Количество побегов в опыте практически не отличалось от контрольных образцов. Данный признак по различным вариантам опыта варьировал в пределах ошибки среднего значения (рис. 5, в).

Таким образом, можно говорить об эффективности применения цеолита и его минерализованных вариантов при выращивании клюквы. С коммерческой точки зрения растения, выращенные на субстрате с цеолитом, более презентабельны за счет длины побегов, что подразумевает потенциально большую урожайность в первый год плодоношения. В целом добавление цеолита даже без насыщения минеральными удобрениями способствует более эффективному развитию растений клюквы за счет увеличения длины побегов и, как следствие, количества листьев.

В данной серии экспериментов из субстрата были выделены представители грибов родов *Penicillium*, *Pythium*, *Trichoderma*, *Aspergillus* и бактериальная микробиота. Обсемененность мицелиальными микроорганизмами образцов субстрата из ризосферы клюквы составила  $20,51 \times 10^4$  КОЕ/г. Наибольшее количество КОЕ приходилось на долю *Penicillium* ( $11,25 \times 10^4$  КОЕ/г) и *Pythium* ( $6,42 \times 10^4$  КОЕ/г). Значительно меньше было грибов рода *Trichoderma* ( $2,65 \times 10^4$  КОЕ/г). В единичных случаях выделялись грибы рода *Aspergillus* ( $0,19 \times 10^4$  КОЕ/г). Бактерии росли очень активно и в большинстве случаев на чашке Петри занимали весь газон. В пересчете на 1 г субстрата их насчитывалось более  $20,00 \times 10^6$  КОЕ/г. При этом значимых различий по вариантам не наблюдалось.

Следует отметить, что (как и в случае с показателями развития растений клюквы) наиболее значимые изменения в составе грибной микробиоты субстрата фиксировались в связи с внесением цеолита. Наличие цеолита вызывало снижение обсемененности торфяной смеси микромицетами и грибоподобными микроорганизмами на 75,9%. Добавление к нему минеральных компонентов привело к увеличению исследуемого показателя на 118,1% на варианте ЦМ8 по сравнению с вариантом Ц в связи с высокой концентрацией вносимых удобрений, основным компонентом которых был азот. Но при этом численность микромицетов оставалась на значительно более низком уровне, чем на контроле (рис. 5, г).

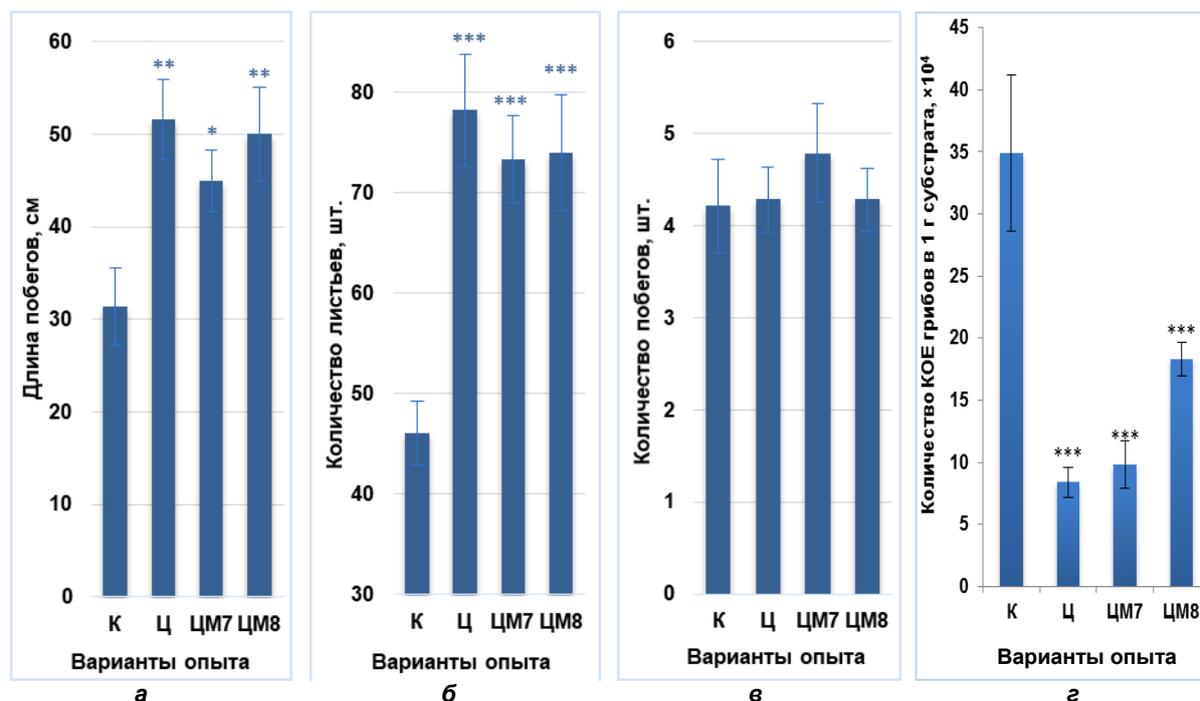


Рис. 5. Морфометрические характеристики клюквы сорта Стивенс на субстратах с минерализованным цеолитом (а – длина побегов; б – количество листьев, в – количество побегов) и обсемененность грибами образцов субстрата при ее выращивании (г)

### Заключение

Исследования выявили особенности реакции микробиоты в ризосфере горшечных растений (актинидии, клюквы) на наличие и количество добавленных в субстрат минеральных элементов питания, а также на способ их внесения (в растворенном виде и на цеолите в качестве носителя). Внесение удобрений в виде раствора непосредственно в субстрат вызывает повышение кислотности, что влечет за собой снижение количества бактерий и увеличение числа КОЕ грибов. Использование цеолита в качестве носителя удобрений позволяет увеличить число бактерий и снизить уровень грибной инфекции за счет постепенного высвобождения минеральных компонентов без резкого снижения рН среды.

Благодаря особенностям химического состава и пористости гранул цеолита, его присутствие в субстрате способствует активному размножению ризосферных бактерий. Они формируют в сложных структурах гранул биопленки, выделяя в процессе жизнедеятельности метаболиты, подавляющие рост патогенных и токсинообразующих грибов, что улучшает рост и развитие растений. Также цеолит способен адсорбировать на поверхности микромицеты, лишая их возможности контактировать с питающим растением. Напитанный минеральными компонентами цеолит постепенно высвобождает питательные вещества в субстрат, улучшая их усвояемость растениями, способствуя накоплению растениями биомассы.

Наличие питательных веществ в доступной и удобной форме повышает микробную активность почв, что положительно влияет на мобилизацию элементов минерального питания для растений. Изменение их состояния и, как следствие, состава корневых выделений, в свою очередь, приводит к созданию особых условий обитания микроорганизмов в ризосфере. Хорошо развитые растения в сложившихся условиях способны противостоять воздействию неблагоприятных биотических факторов даже на высоком инфекционном фоне. Кроме того, при наличии питательных веществ многие патогенные грибы снижают агрессивность в отношении хозяина. Особенности реакции ризосферной микробиоты на изменение состава минеральных компонентов в торфяной смеси позволяют использовать микроорганизмы как биоиндикаторы, реагирующие на смену физических и химических свойств субстрата.

В такой сложной многокомпонентной системе взаимоотношений «среда – хозяин – паразит» ответная реакция растений на внесение минеральных удобрений может быть неоднозначной. Поэтому для повышения продуктивности растений необходимо подобрать такой состав субстрата, в котором для растений складывались бы благоприятные условия, способствующие росту биомассы и проявлению устойчивости к абиотическим и биотическим стрессорным факторам.

Исследование всех необходимых компонентов субстратов и их сочетаний призвано служить развитию современного отечественного питомниководства, уходу от западных технологий и переходу на экологизированную систему производства высококачественного посадочного материала.

### Список источников

1. Белясова Н.А., Игнатовец О.С., Сергиевич Д.С. и др. Выделение и характеристика почвенных фосфатмобилизирующих микроорганизмов // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 2. С. 93–97.
2. Борисова А.А., Коновалов С.Н., Помякшева Л.В. и др. Эффективность регуляторов роста растений и удобрения пролонгированного действия Osmocote при выращивании клоновых подвоев яблони высших категорий качества в защищенном грунте // Агрехимический вестник. 2022. № 1. С. 51–58. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-1-010.
3. Бузетти К.Д., Иванов М.В. Воздействие минеральных и органических удобрений на экосистему, качество сельскохозяйственной продукции и здоровье человека // Аграрная наука. 2020. № 5. С. 80–84. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-338-5-80-84.

4. Васильева Н.А., Абасов Ш.М., Владимиров А.А. и др. Влияние минерального удобрения пролонгированного действия на интенсивность мобилизации почвенного фосфора и калия // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2024. № 120. С. 231–264. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-120-231-264.
5. Гашева Н.А. Классификация элементарных побегов *Salix myrtilloides* L. по морфометрическим показателям // Вестник Тюменского государственного университета. 2009. № 3. С. 215–222.
6. Громова С.Н., Костылев П.И. Роль флагового листа и остей в формировании продуктивности озимой пшеницы (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2018. № 4. С. 32–34. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-58-4-32-34.
7. Зинченко М.К., Селицкая О.В. Биологическая токсичность серой лесной почвы в зависимости от систем удобрений // Агробиологический вестник. 2011. № 5. С. 38–40.
8. Кирейчева Л.В., Яшин В.М., Нефедов А.В. и др. Исследования пролонгированного действия органо-минерального удобрения «Сапросил» и его влияние на урожай овса // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: сборник трудов II международной научно-практической Интернет-конференции (Соленое Займище, 28 февраля 2017 г.). Соленое Займище: Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, 2017. С. 1070–1075.
9. Козлов А.В., Куликова А.Х., Уромова И.П. Подвижность силикатов, показатели плодородия дерново-подзолистой почвы, биоаккумуляция кремния и продуктивность сельскохозяйственных культур под действием цеолита // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56, № 1. С. 183–198. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.183rus.
10. Коробова Л.Н., Косьянова Т.А., Кизимова Т.А. Фунгистазис почвы к возбудителю корневой гнили при внесении азотных удобрений по стерневому фону // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сборник VII Всероссийской (национальной) научной конференции с международным участием (Новосибирск, 20 декабря 2022 г.). Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2022. С. 26–30.
11. Кравченко Л.В., Шапошников А.И., Макарова Н.М. и др. Видовые особенности состава корневых выделений растений и его изменение в ризосфере под влиянием почвенной микрофлоры // Сельскохозяйственная биология. 2011. Т. 46, № 3. С. 71–75.
12. Кулагина Е.М. Активированный цеолит как компонент органо-минерального удобрения // Вестник Технологического университета. 2020. Т. 23, № 11. С. 9–12.
13. Макаров В.И. Влияние азотных удобрений на кислотность дерново-подзолистой супесчаной почвы и химический состав лизиметрических вод // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 4(138). С. 89–94.
14. Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Болонева Л.Н. и др. Фосфатмобилизующие микроорганизмы как биологические активаторы удобрений из агроруд // Плодородие. 2008. № 1. С. 23–24.
15. Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф., Морачевская Е.В. Влияние длительного применения удобрений и известкования на биологические свойства почвы // Проблемы агрохимии и экологии. 2014. № 1. С. 3–9.
16. Мухина М.Т., Боровик Р.А., Коршунов А.А. Удобрения пролонгированного действия: основные этапы и направления развития // Плодородие. 2021. № 4(121). С. 77–82. DOI: 10.25680/S19948603.2021.121.23.
17. Норов А.М., Соколов В.В., Рыбин Е.А. и др. Получение NPK- и NP(S)-удобрений пролонгированного действия путем нанесения неорганического усвояемого покрытия и исследование их свойств // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2025. Т. 68, № 5. С. 39–48. DOI: 10.6060/ivkkt.20256805.7f.
18. Овчинников Л.Н. Исследование процесса получения комплексных гранулированных органо-минеральных удобрений пролонгированного действия на основе торфа // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2017. Т. 60, № 9. С. 100–104. DOI:10.6060/tcct.2017609.5600.
19. Пат. 2828840 Российская Федерация. Кремниевый минеральный комплекс с физиологически активным компонентом для выращивания растений / Папихин Р.В., Виноградова А.Д., Трущенко Е.В. и др. № 2023135338; заявл. 26.12.2023; опубл. 21.10.2024, Бюл. № 30. 7 с.
20. Строт Т.А., Руденок В.А. Влияние предпосевной обработки семян клюквы препаратом нанокремния на их прорастание // Актуальные проблемы природообустройства: геодезия, землеустройство, кадастр и мониторинг земель: материалы международной научно-практической конференции (Ижевск, 02–03 ноября 2017 г.). Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2017. С. 150–151.
21. Таран Ю.А., Фуфаева В.М., Разин С.А. Повышение эффективности применения минеральных удобрений методом капсулирования с целью достижения пролонгированного действия // Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности (ISTS “EESTE-2021”): сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума, посвященного 110-летию А.Н. Плановского, в рамках Третьего Международного Косыгинского форума «Современные задачи инженерных наук» (Москва, 20–21 ноября 2021 г.). Москва: Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2021. Т. 1. С. 300–302. DOI: 10.37816/eeste-2021-1-300-302.
22. Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. Под ред. В.К. Шильниковой. 5-е изд. Москва: Дрофа, 2004. 256 с.
23. Шабаетов В.П., Бочарникова Е.А., Остроумов В.Е. Ремедиация загрязненной кадмием почвы при применении стимулирующих рост растений ризобактерий и природного цеолита // Почвоведение. 2020. № 6. С. 738–750. DOI: 10.31857/s0032180x20060118.
24. Alp Y., Şensoy S. The Effects of Different Fertilizer Applications on Some Morphological Traits in Fresh Bean // Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences. 2023. Vol. 33(1). Pp. 100–110. DOI: 10.29133/yutbd.1209177.
25. Carvalho I.J., Fungaro D.A., Cataldo E. Zeolites synthesized from agro-industrial residues applied in agriculture: A review and future prospects // Soil Use and Management. 2024. Vol. 40(1). Article No. e13003. DOI: 10.1111/sum.13003.
26. Davidson D., Gu F.X. Materials for sustained and controlled release of nutrients and molecules to support plant growth // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2012. Vol. 60(4). Pp. 870–876. DOI: 10.1021/jf204092h.

27. Diaz-Gabutti M.S., Magallanes-Noguera C., Cecati F.M. Plant growth regulator-free propagation of *Hebe multiflora* Benth: comparison of morphological and volatile metabolomic aspects of *in vitro* vs *in vivo* plants // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2023. Vol. 153. Pp. 587–598. DOI: 10.1007/s11240-023-02496-5.
28. Habash S., Bess A., Bess M. et al. Effect of phosphonate fertilizers on the growth of soil fungi // *Journal of Life Sciences*. 2014. Vol. 10. Pp. 835–840. DOI: 10.17265/1934-7391/2014.10.007.
29. Li J., Li Z., Wang F. et al. Effects of nitrogen and phosphorus addition on soil microbial community in a secondary tropical forest of China // *Biology and Fertility of Soils*. 2015. Vol. 51. Pp. 207–215. DOI: 10.1007/s00374-014-0964-1.
30. Mondal M., Biswas B., Garai S. et al. Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety // *Agronomy*. 2021. Vol. 11(3). Article No. 448. DOI: 10.3390/agronomy11030448.
31. Prasad R. Efficient fertilizer use: The key to food security and better environment // *Journal of Tropical Agriculture*. 2009. Vol. 47(1-2). Pp. 1–17.
32. Tang Z., Guo J., Xiang Y. et al. Estimation of leaf area index and above-ground biomass of winter wheat based on optimal spectral index // *Agronomy*. 2022. Vol. 12(7). Pp. 1729. DOI: 10.3390/agronomy12071729.

## References

1. Belyasova N.A., Ignatovets O.S., Sergievich D.S. et al. Isolation and characteristics of soil phosphate-mobilizing microorganisms. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2018;2:93-97. (In Russ.).
2. Borisova A.A., Kononov S.N., Pomyakshva L.V. et al. Efficiency of plant growth regulators and prolonged action fertilizer Osmocote for growing of virus-free clonal apple rootstocks in sheltered ground. *Agrochemical Herald*. 2022;1:51-58. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-1-010. (In Russ.).
3. Buzetti K.D., Ivanov M.V. The impact of mineral and organic fertilizers on the ecosystem, the quality of agricultural products and human health. *Agrarian Science*. 2020;338(5):80-84. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-338-5-80-84. (In Russ.).
4. Vasilyeva N.A., Abasov Sh.M., Vladimirov A.A. et al. Effect of slow-release mineral fertilizer on the intensity of phosphorus and potassium mobilization in soil. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2024;120:231-264. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-120-231-264. (In Russ.).
5. Gasheva N.A. The classification of elementary sprouts *Salix myrtilloides* L. in accordance with morphometric indicators. *Tyumen State University Herald*. 2009;3:215-222. (In Russ.).
6. Gromova S.N., Kostylev P.I. The role of flag leaves and awns in the formation of winter wheat productivity (review). *Grain Economy of Russia*. 2018;4:32-34. (In Russ.).
7. Zinchenko M.K., Selitskaya O.V. Biological toxicity of grey forest soil depending on the fertilizers system. *Agrochemical Herald*. 2011;5:38-40. (In Russ.).
8. Kireicheva L.V., Yashin V.M., Nefedov A.V. et al. Studies of the prolonged action of organic mineral fertilizer Saprozil and its effect on the oat harvest. In: Current ecological status of the natural environment and research & practical aspects of rational nature management: Proceedings of the II International Research-to-Practice Internet Conference (Solyenoe Zaymishche, February 28, 2017). Solyenoe Zaymishche: Precaspian Scientific Research Institute of Arid Agriculture Publishers; 2017:1070-1075. (In Russ.).
9. Kozlov A.V., Kulikova A.Kh., Uromova I.P. Mobility of silicon, fertility of sod-podzolic soil, bioaccumulation of silicon and yields of agricultural crops under the influence of zeolite. *Agricultural Biology*. 2021;56(1):183-198. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.183rus. (In Russ.).
10. Korobova L.N., Kosyanova T.A., Kizimova T.A. Soil fungistasis to the root rot pathogen when applying nitrogen fertilizers against a stubble background. In: Agricultural science role in the sustainable development of rural areas. Proceedings of the VII All-Russian (National) Scientific Conference with International Participation (Novosibirsk, December 20, 2022). Novosibirsk: Zolotoi Kolos Information Centre of Novosibirsk State Agrarian University Publishers; 2022:26-30. (In Russ.).
11. Kravchenko L.V., Shaposhnikov A.I., Makarova N.M. et al. Specific features of the composition of root secretions of plants and its change in the rhizosphere under the influence of soil microorganisms. *Agricultural Biology*. 2011;46(3):71-75. (In Russ.).
12. Kulagina E.M. Activated zeolite as a component of organomineral fertilizer. *Herald of Technological University*. 2020;23(11):9-12. (In Russ.).
13. Makarov V.I. The effect of nitrogen fertilizers on the acidity of sod-podzolic sandy loam soil and lysimetric water chemical composition. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2016;4(138):89-94. (In Russ.).
14. Merkusheva M.G., Ubugunov L.L., Boloneva L.N. et al. Phosphate-mobilizing microorganisms as biological activators of fertilizers from agricultural ores. *Plodorodie*. 2008;1:23-24. (In Russ.).
15. Mineev V.G., Gomonova N.F., Morachevskaya E.V. The influence of long-term fertilizers application and liming on the soil biological activity. *Agrochemistry and Ecology Problems*. 2014;1:3-9. (In Russ.).
16. Mukhina M.T., Borovik R.A., Korshunov A.A. Slow- and control-release fertilizers: brief history and development trends. *Plodorodie*. 2021;4(121):77-82. DOI: 10.25680/S19948603.2021.121.23. (In Russ.).
17. Norov A.M., Sokolov V.V., Rybin E.A. et al. Obtaining NPK and NP(S) fertilizers with long-release by applying an inorganic digestible coating and studying their properties. *ChemChemTech*. 2025;68(5):39-48. DOI: 10.6060/ivkkt.20256805.7f. (In Russ.).
18. Ovchinnikov L.N. Investigation of process of obtaining complex granulated organo-mineral fertilizers of prolonged action based on peat. *ChemChemTech*. 2017;60(9):100-104. DOI: 10.6060/tcct.2017609.5600. (In Russ.).
19. Patent 2828840 Russian Federation. Silicon mineral complex with physiologically active component for plant treatment / Papikhin R.V., Vinogradov A.D., Trushchenkova E.V. et al. No. 2023135338; claimed 26.12.2023; published 21.10.2024, Bulletin 30. 7 p. (In Russ.).

20. Strot T.A., Rudenok V.A. Effect of pre-sowing treatment of cranberry seeds with a nanosilicon preparation on their germination. In: Actual problems of environmental management: geodesy, land management, cadastral and land monitoring: Proceedings of the International Research-to-Practice Conference (Izhevsk, November 02-03, 2017). Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy Publishers; 2017:150-151. (In Russ.).
21. Taran Yu.A., Fufaeva V.M., Razin S.A. The efficiency of application of mineral fertilizers by the method of capsulation with the purpose of achieving the longer action. In: Improving energy and resource efficiency and environmental safety of processes and equipment in the chemical and related industries (ISTS "EESTE-2021"): Proceedings of the International Research and Technical Symposium dedicated to the 110th anniversary of A.N. Planovsky, within the framework of the Third International Kosygin Forum "Current Problems of Engineering Sciences" (Moscow, November 20-21, 2021). Moscow: The Kosygin State University of Russia Publishers; 2021;1:300-302. DOI: 10.37816/eeste-2021-1-300-302. (In Russ.).
22. Tepper E.Z., Shilnikova V.K., Pereverzeva G.I. Practical training in microbiology. Edited by V.K. Shilnikova. 5th edition. Moscow: Drofa Publishers; 2004. 256 p. (In Russ.).
23. Shabaev V.P., Bocharnikova E.A., Ostroumov V.E. Remediation of cadmium-polluted soil using plant growth-promoting rhizobacteria and natural zeolite. *Eurasian Soil Science*. 2020;6:738-750. DOI: 10.31857/s0032180x20060118. (In Russ.).
24. Alp Y., Şensoy S. The Effects of Different Fertilizer Applications on Some Morphological Traits in Fresh Bean. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 2023;33(1):100-110. DOI: 10.29133/yyutbd.1209177.
25. Carvalho I.J., Fungaro D.A., Cataldo E. Zeolites synthesized from agro-industrial residues applied in agriculture: A review and future prospects. *Soil Use and Management*. 2024;40(1):e13003. DOI: 10.1111/sum.13003.
26. Davidson D., Gu F.X. Materials for sustained and controlled release of nutrients and molecules to support plant growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012;60(4):870-876. DOI: 10.1021/jf204092h.
27. Diaz-Gabutti M.S., Magallanes-Noguera C., Cecati F.M. Plant growth regulator-free propagation of *Hedeoma multiflora* Benth: comparison of morphological and volatile metabolomic aspects of *in vitro* vs *in vivo* plants. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2023;153:587-598. DOI: 10.1007/s11240-023-02496-5.
28. Habash S., Bess A., Bess M. et al. Effect of phosphonate fertilizers on the growth of soil fungi. *Journal of Life Sciences*. 2014;10:835-840. DOI: 10.17265/1934-7391/2014.10.007.
29. Li J., Li Z., Wang F. et al. Effects of nitrogen and phosphorus addition on soil microbial community in a secondary tropical forest of China. *Biology and Fertility of Soils*. 2015;51:207-215. DOI: 10.1007/s00374-014-0964-1.
30. Mondal M., Biswas B., Garai S. et al. Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety. *Agronomy*. 2021;11(3):448. DOI: 10.3390/agronomy11030448.
31. Prasad R. Efficient fertilizer use: The key to food security and better environment. *Journal of Tropical Agriculture*. 2009;47(1-2):1-17.
32. Tang Z., Guo J., Xiang Y. et al. Estimation of leaf area index and above-ground biomass of winter wheat based on optimal spectral index. *Agronomy*. 2022;12(7):1729. DOI: 10.3390/agronomy12071729.

### Информация об авторах

М.В. Маслова – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетического анализа плодовых растений ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», [marinamaslova2009@mail.ru](mailto:marinamaslova2009@mail.ru).

Р.В. Папихин – кандидат сельскохозяйственных наук, проректор по научной и инновационной работе ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», [parom10@mail.ru](mailto:parom10@mail.ru).

Е.В. Грошева – научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетического анализа плодовых растений ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», [ekaterina2687@mail.ru](mailto:ekaterina2687@mail.ru).

С.А. Муратова – кандидат биологических наук, зав. лабораторией биотехнологии ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», [smuratova@yandex.ru](mailto:smuratova@yandex.ru).

### Information about the authors

M.V. Maslova, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Research Scientist, Laboratory of Molecular Genetic Analysis of Fruit Plants, Michurinsk State Agrarian University, [marinamaslova2009@mail.ru](mailto:marinamaslova2009@mail.ru).

R.V. Papikhin, Candidate of Agricultural Sciences, Vice-Rector for Research and Innovative Activities, Michurinsk State Agrarian University, [parom10@mail.ru](mailto:parom10@mail.ru).

E.V. Grosheva, Research Scientist, Laboratory of Molecular Genetic Analysis of Fruit Plants, Michurinsk State Agrarian University, [ekaterina2687@mail.ru](mailto:ekaterina2687@mail.ru).

S.A. Muratova, Candidate of Biological Sciences, Head of Biotechnology Laboratory, Michurinsk State Agrarian University, [smuratova@yandex.ru](mailto:smuratova@yandex.ru).

Статья поступила в редакцию 23.08.2025; одобрена после рецензирования 28.09.2025; принята к публикации 10.10.2025.

The article was submitted 23.08.2025; approved after reviewing 28.09.2025; accepted for publication 10.10.2025.

© Маслова М.В., Папихин Р.В., Грошева Е.В., Муратова С.А., 2025

---

---