

СУБСТРАТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

Ю. К. Шашко, Н. Ю. Жабровская

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

В настоящее время основное производство продукции защищенного грунта сосредоточено в 20 ведущих тепличных комплексах, на их долю приходится более 97 процентов всего объема. Площадь крупных зимних теплиц в Беларуси составляет 252 га. В числе организаций с наибольшими площадями защищенного грунта – тепличное хозяйство ОАО «ДорОрс» (43 га), «Агрокомбинат «Ждановичи» (31,4 га), ТК «Берестье» (22 га), КУП «Минская овощная фабрика» (18,6 га), КСУП «Рудаково» (16 га), КСУП «Тепличное» (13,4 га), РУАП «Гродненская овощная фабрика» (13,9 га), УП «Минский парниково-тепличный комбинат» (11,07 га), ОАО «Рассвет» им. К. П. Орловского» (10 га), КСУП «Брилево» (9,5 га), ОАО «Тепличный комбинат Мачулищи» (6,44 га) [1–11].

За последние годы значительно увеличился ассортимент культур, выращиваемых в условиях защищенного грунта. Как отметили в Минсельхозпрод, сегодня он насчитывает более 15 наименований. Наряду с традиционными томатами и огурцами различных сортов ежегодно в тепличных комбинатах выращивается от 1,5 до 2 тыс. т таких культур, как перец, баклажаны, лук на перо, салат, укроп, кучерявая и листовая петрушка, руккола, щавель, гвоздичный базилик, кинза, листовой сельдерей, кориандр, мята. Выращивают цветочную продукцию, грибы и землянику. В обновленной версии госпрограммы «Аграрный бизнес» на 2021–2025 гг., которая принята правительством в мае 2023 г., представлен план-график модернизации теплиц для того, чтобы выйти на необходимые для населения республики объемы продукции защищенного грунта [12–14].

На начальном этапе развития выращивания овощных и цветочных культур в теплицах по всему миру применялись местные почвы, агрофизические и агрохимические свойства которых улучшались для достижения максимального урожая. Удобрениями служили органические материалы: торф, навоз и различные компосты. При этом не проводилось детального изучения влияния этих добавок на урожайность выращиваемых культур [15–18].

В настоящее время тепличное овощеводство стремительно переходит на энергосберегающие и компактные технологии выращивания. В конце двадцатого века в сфере растениеводства возникла инновационная технология – гидропоника, которая кардинально изменила подход к выращиванию культур, предоставляя возможность более точного управления растениями. Разработаны методы выращивания растений на искусственных субстратах с применением малообъемных систем. Такие технологии обеспечивают более благоприятные гигиенические условия и позволяют сократить трудозатраты и расходы на работы по уходу за растениями и обслуживанию сооружений. С 1975 г. по сегодняшний день, в таких странах как США, Испания, Италия и Израиль, площадь, занимаемая теплицами

с малообъемной технологией, ежегодно увеличивается на десятки тысяч гектаров [18–21].

Гидропоника – это технология выращивания растений без почвы, на искусственных средах или смешанных субстратах с использованием компьютерного управления питанием. При этом растение получает из рабочего раствора все необходимые питательные вещества в нужных количествах и точных пропорциях, что почти невозможно осуществить при почвенном выращивании [22, 23]. Малообъемная технология выращивания овощей в теплицах предусматривает создание оптимальных водно-воздушных, питательных и температурных параметров в корнеобитаемой зоне растений. Полностью автоматизирует процессы приготовления и подачи минерального питания, оптимизирует водный и воздушный режимы, значительно улучшает условия для работающих в теплицах, стандартизирует агротехнику и питательные растворы по культурам [24].

Одним из ключевых факторов, значительно влияющих на урожайность культур защищенного грунта при малообъемной технологии, является субстрат. В производственных условиях отмечен значительный прогресс в выращивании растений на искусственных субстратах как органического, так и инертного происхождения. Найти идеальный универсальный состав, который гарантировал бы оптимальные условия для развития растений, довольно сложно. При выборе субстрата важно учитывать его способность обеспечивать благоприятные условия для роста и нормальной работы здоровой корневой системы. Субстраты, которые применяются в условиях защищенного грунта, должны соответствовать биологическим особенностям возделываемых культур, иметь устойчивую структуру в течение длительного времени, быть безопасными для окружающей среды при изготовлении, применении и утилизации, пригодными для стерилизации, инертными, с хорошей воздухоемкостью, должны обладать достаточной влагоемкостью, не засоляться и легко промываться от избытка солей. Кроме того, они должны быть дешевыми и не требующими высоких затрат на эксплуатацию [25–29].

В результате многолетних исследований установлено, что хорошими свойствами обладают почвогрунты, имеющие плотность $0,2\text{--}0,7\text{ г/см}^3$, $20\text{--}30\%$ воздуха, $50\text{--}60\%$ влаги и общую влагоемкость – $70\text{--}90\%$ от объема (объемная масса или показатель плотности до $0,5\text{ г/см}^3$ для рыхлых почвогрунтов, $0,5\text{--}0,7$ – для средних и $0,7\text{--}1,0\text{ г/см}^3$ – для плотных) [30].

Правильно подготовленный субстрат обеспечивает формирование растений со здоровой и мощной корневой системой.

В современных тепличных комбинатах наиболее распространенными материалами являются торф, минеральная вата, перлит, кокосовый субстрат, цеолит, отходы деревообрабатывающей промышленности и др. Однако практика показывает, что не все субстраты, несмотря на их ценные агрофизические свойства, способны выдерживать длительное использование в условиях гидропонного производства. Продолжительная эксплуатация нередко приводит к их химическому и биологическому ухудшению, изменению характеристик и созданию сложных экологических проблем, связанных с накоплением и утилизацией отходов.

Торф. Верховой торф широко используется в теплицах как субстрат для выращивания овощей или в составе сложных субстратных смесей, а также служит основой для многих видов компостов. Использование торфа при создании корнеобитаемых сред широко распространено благодаря его исключительным фи-

зическим, химическим и биологическим свойствам. Эти характеристики создают благоприятные условия для роста и развития всех частей растений как наземных, так и корневых. Применение торфа и торфяных субстратов с определенными характеристиками позволяет эффективно контролировать условия выращивания растений. Для создания пористого субстрата рекомендуется добавлять рыхлящие компоненты в количестве 30–50 %. Наиболее эффективным вариантом считается перлит, однако на замену также подойдут мелкий керамзит, вермикулит или опилки. Использование субстратов на основе торфа актуально только в определенный период его эксплуатации. [31–34].

Как отмечает М. Raviv [35], органические субстраты по мере их минерализации изменяют свои физические, химические и биологические свойства. В результате происходит уплотнение, увеличение объемного веса субстрата, уменьшение воздухоемкости и содержания кислорода в ризосфере, повышается уровень засоления, а также накапливаются патогенные микроорганизмы. Для дальнейшего использования требуется регулярно добавлять свежий грунт в объеме 18–20 % от первоначального или полностью заменять субстрат, утилизируя изношенный материал. К числу недостатков торфа как субстрата также относится его недостаточно высокая катионообменная емкость.

Производство грунтов, состоящих из верхового или низинного торфа с внесением минеральных удобрений, для выращивания рассады овощей и цветов, а также сеянцев, саженцев, деревьев и кустарников, ведется как частными фирмами, так и государственными предприятиями. Последние десять лет в Европейском сообществе характеризуются ограничениями на промышленную добычу торфа, включая его использование для производства субстратов. Такие ограничения вводятся в рамках ключевых международных природоохранных директив, ставящих своей целью сохранение окружающей среды, в частности болотных экосистем. В связи с этим, прогнозировать значительное увеличение объемов торфяной добычи для субстратов в ближайшем будущем не приходится [36].

Глина. При необходимости в смеси могут добавляться природные разрыхлители (песок, глина) [34].

Результаты экспериментов, проведенных в Институте экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, продемонстрировали перспективность разработки искусственных субстратов на основе органоминерального сырья, таких как торф и глина. Исследования, касающиеся особенностей продукционного процесса овощных культур в условиях защищенного грунта, показали, что глино-торфяной субстрат без добавления минеральных удобрений является оптимальным для выращивания рассады овощей. Для дальнейшего роста растений, например, при пикировке томатов, рекомендуется использовать субстраты, обогащенные макро- и микроэлементами. При этом выращивание редиса на глино-торфяном субстрате, дополненном минеральными солями и агроперлитом, позволяет получить значительно более высокий урожай корнеплодов по сравнению с использованием почвогрунта «Двина» в качестве среды для корней. [37].

Опилки. На предприятиях по переработке древесины накапливаются значительные объемы древесных отходов, требующих утилизации для предотвращения вреда окружающей среде. При выбросе этих материалов в природу они оказывают негативное воздействие, что может привести к загрязнению и нарушению баланса животной и растительной микрофлоры [38].

В период с 1960 по 1980 гг. наблюдался рост интереса к использованию отходов древесины, в основном измельченной древесной коры, в качестве органического субстрата или его части [39–44]. Множество исследований связано с разнообразием выращиваемых цветочно-декоративных и овощных культур, а также с особенностями химического состава древесины и коры различных пород деревьев и разной скоростью их разложения [45–47].

Современным и эффективным способом утилизации древесных отходов считается вермикомпостирование. Этот метод привлекателен тем, что при переработке органических материалов с помощью червей не только улучшаются водно-физические свойства и снижается токсичность отходов, но и происходит закрепление элементов минерального питания растений в конечном продукте [48].

Рассматривается использование вермикомпостирования для переработки крупнотоннажных древесных отходов с целью создания субстратов для теплиц. М. С. Шамаевой и др. в процессе исследования были проведены эксперименты с семью вариантами смесей, содержащих различное соотношение опилок и навоза мелкого рогатого скота, где применялись черви *Eisenia fetida* (Sav.). Выявлено оптимальное содержание опилок в составе смеси, благоприятное для жизнедеятельности червей. Оценивалась степень переработки органических отходов и пригодность полученных вермикомпостов для выращивания семян древесных растений. Также проведен анализ агрохимических характеристик смесей и вермикомпостов, что позволило определить их эффективность в повышении плодородия [49].

Коковит (кокосовый субстрат) – это относительно новый материал, используемый в качестве субстрата для выращивания различных культур в защищенном грунте. Его основными компонентами являются волокна и измельченная скорлупа кокосовых орехов. Благодаря своей грубоволокнистой структуре такие субстраты не уплотняются и сохраняют отличную воздухоемкость на протяжении нескольких лет. Высокая влагоемкость в сочетании с хорошей аэрацией делает кокосовый субстрат идеальной средой для выращивания растений в защищенном грунте, особенно культур с корневой системой, чувствительной к переувлажнению. Баланс воды и воздуха в корневой среде способствует успешному укоренению черенков и их дальнейшей приживаемости. Кокосовый субстрат, в свою очередь, не является полностью инертным и оказывает непредсказуемое воздействие на корни растений. Он способствует отличному развитию растений на начальном этапе, но при продолжительном использовании (более года) уступает, например, субстратам на основе минеральной ваты по однородности, стабильности и управляемости. Этот субстрат также содержит избыточное количество солей, которые необходимо удалить посредством тщательного промывания. Перед использованием органических материалов с высоким содержанием углерода по отношению к азоту, таких как кокосовая кожура, в составе субстрата или его компонентов, требуется провести ферментацию. Для чего коковит выдерживается в буртах на протяжении трех лет. За это время материал частично разлагается, однако его структура все равно остается более грубой и жесткой по сравнению с торфом [50–54].

Сапропель используют в качестве добавок в торфяные и многокомпонентные субстраты. Сапропель – органическое вещество, образованное путем отложения на дно пресноводных водоемов отмирающих растений и микроорганизмов с ог-

раниченным доступом кислорода. Содержит комплекс органических и минеральных веществ, соединения азота, фосфора, калия, серы, меди, бора, молибдена и других микроэлементов. В составе органической части сапропелей имеются биологически активные вещества – гуминовые кислоты, витамины [55].

В защищенном грунте применяют как органические субстраты, так и неорганические (минеральные). На первых Международных Симпозиумах по использованию субстратов в садоводстве (International Symposium on Substrates in Horticulture other than Soils In Situ), состоявшихся в Шотландии (1980) и Испании (1983), кроме субстратов с участием измельченной древесной коры, большое внимание также было уделено инертным минеральным субстратам. В качестве субстратов или их компонентов изучались перлит, вермикулит, керамзит. Эти материалы могут использоваться как по отдельности, так и в комбинации друг с другом. У каждого типа субстратов есть свои преимущества и недостатки, но получаемые смеси должны отвечать определенным агротехническим требованиям [34, 56–60].

Перлит. В последнее время перлит стал предметом особого внимания в растениеводстве благодаря своим полезным свойствам. Перлит изначально был создан для промышленных целей. Этот пористый и легкий материал обладает высокой способностью удерживать воздух и влагу. Его уровень pH находится в диапазоне от 6,0 до 8,0. По своей природе это минерал вулканического происхождения с характерной стекловидной структурой. Перлит получают из вулканических апломосиликатных пород. Агроперлит (вулканическое стекло) представляет собой экологически чистую разновидность перлита, предназначенную специально для выращивания растений. Он полностью нейтрален, не включает химически активных или вредных для растений веществ, стерильный и не содержит болезнетворных микроорганизмов, семян или насекомых. В растениеводстве обычно используют его фракцию размером 1,5–4,5 мм. Материал крайне легкий – в 3–4 раза легче воды. Применение перлита помогает поддерживать водно-воздушный баланс в субстрате, предотвращая слеживание и уплотнение грунта. Кроме того, он обеспечивает качественный дренаж, что исключает кислородное голодание у растений. Благодаря прочной структуре с закрытыми порами он способен впитывать жидкости в объеме, превышающем собственную массу в 6–7 раз, эффективно впитывает воду во время полива и постепенно отдает ее корням растений, обеспечивая равномерное увлажнение. В настоящее время субстраты для выращивания растений в странах Скандинавии включают 25–30 % перлита. Применение смесей, состоящих из торфа и перлита, способствует снижению веса субстрата, значительно упрощает процесс работы с контейнерами и обеспечивает высокий уровень производства качественного посадочного материала. Тем не менее, по мнению ряда авторов инертный перлит обладает определенными недостатками в регулировании водно-воздушного баланса. Из-за отсутствия пор среднего размера он, с одной стороны, хорошо пропускает воду, но с другой – крайне медленно высыхает, так как мелкие поры внутри гранул задерживают влагу. Это осложняет эффективное управление уровнем его влажности. Из-за того, что перлит сильно пылит в сухом состоянии, для защиты дыхательных путей работников требуются дополнительные меры предосторожности при работе с ним [61–69].

Цеолиты. Цеолиты были впервые описаны в 1756 г. шведским минералогом и химиком Акселем Кронштедтом. На сегодняшний день основные природные запасы цеолитов сосредоточены в Европе, России, США и Японии. Цеолиты

представляют собой группу минералов, образованных в результате осадочных или вулканических процессов, насчитывающую до 30 различных наименований. Эти минералы являются водными алюмосиликатами натрия и кальция и внешне напоминают мелкие острые камешки с легким стеклянным блеском. Они характеризуются уникальной структурой кристаллической решетки, пронизанной тонкими каналами и полостями, что придает им свойства своеобразного молекулярного сита [70–72].

В последние годы в Центральной России начало активно эксплуатироваться Хотынецкое месторождение в Орловской области, богатое цеолитсодержащими трепелами. Эти природные минералы осадочного происхождения формируются за счет кремнийсодержащих остатков диатомовых водорослей, простейших морских губок, игл и радиолярий. Они преимущественно состоят из соединений кремния, кальция, магния, калия, фосфора и других микроэлементов, жизненно важных и легкоусвояемых для растений. В трепелах содержится до 35 % цеолита (клиноптилолита), а также до 7 % глинистых минералов [73].

В качестве минерального компонента используют природный активированный цеолит Татарско-Шатрашанского месторождения с высокой влагоемкостью и содержанием доступного кремния и микроэлементов. Минеральный состав: клиноптилолит – 20–30 %, монтмориллонит – 20–30 %, опал-кристобалит – 28,0–36,7 %, кальцит – 10,6–21 %, кварц – 4,6–11,3 %. Химический состав, окислы, % масс., средние значения: SiO_2 – 65,8, TiO_2 – 0,35, Al_2O_3 – 6,19, Fe_2O_3 общ. – 2,65; MnO – < 0,01, CaO – 17,16, MgO – 1,45, Na_2O – 0,16, K_2O – 1,43, P_2O_5 – 0,13, п.п.п. (потери при прокаливании) – 4,6. Суммарная ионообменная (катионообменная) способность природного цеолита ZEOL составляет 130,0 мг-экв/100 г. Основная роль в обмене принадлежит кальцию, на его долю приходится 86–88 %, на калий – 5–8 %, натрий – 3–4 %, магний – 3 % [74].

Цеолиты обладают двумя важными характеристиками: они способны поглощать и высвобождать воду в зависимости от температуры и уровня влажности; благодаря своей ионообменной активности они избирательно поглощают и выделяют различные вещества. Цеолит способствует улучшению физических характеристик почвы. Он разрыхляет тяжелые, плотные и заплывшие глинистые почвы, делая их более пористыми и воздухопроницаемыми, а также предотвращает образование комков и корки на поверхности. Минерал также уменьшает кислотность почвы [70].

Цеолит в виде мелкозернистых гранул выступает в качестве минерального удобрения, обогащая почву кальцием, калием, магнием, кремнием, цинком и другими микроэлементами, которые растения легко усваивают. Помимо этого, цеолит, благодаря своим абсорбирующим качествам, препятствует вымыванию из почвенного профиля внесенных удобрений, в том числе органических, удерживая их в зоне корневой системы растений. В результате этого снижается вымывание азота на 4–5 раз, а общее усвоение удобрений возрастает на 30 %. Использование цеолита с минеральными удобрениями пролонгирует их действие, уменьшает слеживаемость, насыщает дополнительными микроэлементами, удерживает в прикорневой зоне растения [72, 73–75]. Использование цеолита в почве для выращивания овощных культур может значительно повысить урожайность. При этом плоды обогащаются витаминами, а уровень нитратов и токсичных веществ уменьшается [60, 75].

В опытах Т. Ю. Анисимовой введение биопрепаратов в состав торфогрунта на основе торфонавозного компоста обеспечило получение здоровой стандартной рассады томата и капусты. Тенденция к увеличению биомассы растений в варианте с цеолитом объясняется особенностями самих цеолитов, которые являясь источником минеральных веществ, способны поглощать, удерживать и постепенно расходовать влагу и минеральные элементы в почве, создавая благоприятные условия для роста и развития растений [33].

Для растений рекомендуется использовать только вулканический цеолит. Океанический или осадочный цеолит в воде разрушается, превращаясь в густую массу, поэтому его применение в растениеводстве нежелательно, такие пометки, как «океанический» или «цеолитсодержащая глина», указывают на непригодность материала для выращивания растений.

Диатомит – это высококремнистая осадочная порода, имеет высокую пористость и адсорбирующую поверхность, содержит высокий процент (от 40 до 85) аморфного кремния, обладающего растворимостью больше 0,012 %, более 1 % окиси калия, а также марганец, фосфор и серу. Широко используется в растениеводстве, ландшафтном дизайне, садоводстве, а также при выращивании комнатных и контейнерных растений. Применение способствует улучшению увлажнения и аэрации почвы, снижению частоты полива и увеличению урожайности [76–80].

Керамзит получают из тяжелой глины, при спекании которой освобождается газ, который вызывает ее расширение. Для получения керамзита используют только специальные сорта глины с низким содержанием растворяющихся в воде солей. Он имеет очень низкую плотность. Керамзит содержит очень много воздуха и мало воды, имеет величину pH около 7,0 и низкую величину ЕС (электропроводность). Керамзит можно применять в течение многих лет, но как субстрат он не долговечен, разрушается в результате интенсивного почвообразовательного процесса под действием выделений корней, питательного раствора и микроорганизмов [80–82].

Вермикулит – это природный слоистый минерал группы гидрослюд, который при электрообжиге вспучивается и превращается в легкий, пористый, золотистый материал, образующий «гармошку». Полученный материал в целом приобретает ряд ценных физических и химических свойств в качестве субстрата для выращивания любых видов растений. Вермикулитовые субстраты можно использовать как в открытом грунте, так и в защищенном при гидропонном способе возделывания культур. Обожженные при высоких температурах гранулы становятся стерильными, не содержат возбудителей болезней и вредителей. Вермикулитовые субстраты обладают хорошо развитой капиллярной системой и способны поглощать и удерживать большое количество воды и питательного раствора, что способствует увеличению влагоемкости почвы, сокращению поливов и расхода поливочной воды [83–86].

По данным Л. А. Ивановой благодаря высокой влагоемкости вермикулитовых субстратов, в ряде случаев поливы проводят не чаще 1 раза в течение 7–14 дней. Гранулы вермикулита содержат много воздуха, поэтому они очень легкие. Высокая внутренняя пористость (объем пор 74–85 %) сохраняется даже при полном насыщении субстратов водой и на протяжении всего периода их эксплуатации [83]. Исходная pH субстратов – 7,0–7,5, на протяжении всего периода выращивания в питательной среде сохраняется заданный уровень pH, что позволяет выращи-

вать культуры с различными требованиями к кислотности субстрата. Важно, что водно-физические свойства субстрата не меняются с течением времени, при этом качество и выравненность среды обитания корневой системы растений гарантированы [83, 85–87].

Вермикулит не подвержен физико-химическому старению, засолению, поэтому долговечен. допускает многократное повторное применение. В исследованиях, проведенных М. F Hirai и др., в гидропонике вермикулит может быть использован для выращивания многолетних растений – до 15 лет без замены [39].

При выращивании культур гидропонным методом с вермикулитом можно увеличить объем субстрата в корнеобитаемой среде в несколько раз и плотность посадок до 6 растений на 1 м², при этом облегчается процесс отделения корней от субстрата после окончания вегетации [88].

Эффективность использования вермикулита в защищенном грунте изучали в 1960–1970 гг. на примере вермикулитов Наткруитского (Южная Африка), Потанинского (Урал) и Кокшаровского (Дальний Восток) месторождений. Была доказана возможность его успешного применения для выращивания растений [85, 87]. На северо-западе России находится богатейшее в мире Ковдорское месторождение вермикулита (Кольский полуостров), где сосредоточено 80 % мировых запасов этого минерала. Начиная с 1963 г. до настоящего времени исследования по выявлению возможности использования ковдорского вермикулита для выращивания растений проводятся в ФИЦ «Кольский научный центр РАН». Сотрудниками центра разрабатываются технологии эффективного применения вермикулита для гидропонного культивирования одно- и многолетних культур защищенного грунта [83, 88]. По данным М. А. Ярцевой и др. применением вермикулитовых субстратов способствуют более интенсивному по сравнению с почвой, прорастанию семян, росту надземной части и корней сеянцев овощных культур [88].

В настоящее время вермикулитовые субстраты в чистом виде или в многокомпонентных составах широко используются в странах с высокой культурой земледелия в промышленном тепличном производстве, а также при дражировании семян, хранении и транспортировке фруктов и овощей.

В условиях защищенного грунта применяют *многокомпонентные субстраты*, состоящие из вышеперечисленных материалов. Зачастую базовой составляющей является торф и в разных пропорциях перлит, вермикулит, керамзит, органические отходы производства (опилки, коковит, лузга гречихи, костра льна и др.). В опытах И. В. Андреевой и др. оптимальные параметры роста и развития растений были получены при использовании вермикулита и его смеси с керамзитом (в соотношении 1:1). В неорганических субстратах в процессе их длительной эксплуатации колониеобразующих единиц фитопатогенных грибов рода *Fusarium* было в 3,3–3,8 раза меньше по сравнению с почвой, в связи с чем отмечали улучшение фитосанитарного состояния растений [89].

В опытах, проведенных И. А. Козловской и Е. А. Саковой, при выращивании салата листового методом проточной гидропоники наибольшее количество растений с хорошо сформированными четвертым и пятым листом оказалось на многокомпонентных субстратах. Добавки к торфу сапропеля (25 %) и агроперлита (25 %) обеспечили формирования четырех листьев у 90,1 % растений и пяти листьев у 24,1 %. Аналогичное влияние на развитие листьев оказали добавки (25 %) керамзита. Наибольшая площадь листьев сформировалась у растений салата

листового, выращенного на многокомпонентных субстратах. Причем у растений с четвертым и пятым листом это превышение составило 3,8–4,4 и 3,8–3,2 см² к контролю соответственно. Использование торфяных субстратов с добавками сапропеля (25 %), в сочетании с агроперлитом (25 %) или керамзитом (25 %), обеспечивает формирование листового аппарата, площадь которого на 7,8–6,6 % больше, чем на торфяном субстрате [61].

Минеральная вата. В настоящее время на 81 % общей площади теплиц во всех тепличных комбинатах Республики Беларусь применяется голландская технология, где корнеобитаемой средой является минеральная вата. Благодаря своей пористой структуре, она обладает свойствами, сравнимыми с сфагновым мхом. Для питания растений в такой среде используется капельная система орошения с водным раствором минеральных солей. Поставка минеральной ваты в тепличные комплексы осуществляется из-за рубежа [15, 90–94].

Бессубстратная технология стала мощным фактором экономического развития производства культур защищенного грунта. Сегодня этот метод является золотым стандартом в производстве, обеспечивая максимальную эффективность труда, высокую урожайность и превосходное качество выращиваемой продукции. Бессубстратный способ выращивания – ярчайший пример инноваций, которые задают темп прогресса в отрасли [15, 92].

В 1969 г. на опытной станции в Хорнуме (Дания) началось применение минеральной ваты в качестве субстрата для выращивания растений. Данная инновация, запущенная сотрудниками Бьовре и Кноблаух, положила начало новому подходу к беспочвенному земледелию. С 1975 г. исследования и разработка рекомендаций по использованию минеральной ваты в сельском хозяйстве были развернуты в скандинавских странах, а затем получили дальнейшее развитие и распространение в Голландии, Франции, Англии и Бельгии. Минеральную вату получают путем плавления базальта с добавлением известняка при температуре 1500 °С. Известняк придает субстрату слабощелочную реакцию, однако, не обладая буферной способностью, минераловатный субстрат быстро принимает реакцию используемого питательного раствора [96].

При использовании минеральной ваты для выращивания растений открываются широкие возможности управления их ростом. Инертные свойства субстрата облегчают контроль за развитием корневой системы, что способствует улучшению качества плодов, снижает вероятность заболеваний и поддерживает растения в гармоничном состоянии. Минеральная вата позволяет экономнее расходовать воду и удобрения, значительно упрощает подготовку теплиц к новому циклу выращивания, но самое важное – обеспечивает стабильные и высокие урожаи овощей. Такой результат достигается благодаря оптимальному водно-воздушному балансу корневой среды, который легко поддается контролю, а также стерильности, долговечности и однородности самого субстрата [15, 90, 96–99].

Важно отметить, что это сырье не обладает экологической безопасностью и после использования требует применения специальных технологий утилизации, что требует затрат на их переработку либо складирования на полигонах ТКО [39, 100].

В последние годы научные исследования активно фокусируются на внедрении инновационных синтетических материалов в области растениеводства, таких как *сильно набухающие полимерные гидрогели (СПГ)*, почвенные структурообразо-

ватели, закрепители грунта и другие. Гидрогели, функционирующие как своеобразные «водные резервуары», обеспечивают растения достаточным количеством влаги, когда это необходимо. Эти материалы создают оптимальные условия для роста растений: обеспечивают корни водой и питательными веществами в необходимом количестве, улучшают пористость почв и их водопроницаемость, а также повышают качество смесей для растений. Их эффективность проявляется в увеличении влагоемкости субстратов на 10–25 %, в улучшении всхожести семян в грунте и в ускорении роста и развития растений [101, 102].

В связи с многообразием материалов, пригодных для использования в аграрном производстве, во всем мире продолжают поиски более совершенных субстратов для гидропоники. На сегодняшний день перед учеными, занятыми исследованиями в защищенном грунте, стоит актуальная задача – создание эффективного субстрата, который был бы лишен ряда недостатков существующих субстратов, обеспечил бы долговременное и безотходное производство высококачественной сельскохозяйственной продукции, отвечал бы необходимым требованиям тепличного производства, простого и дешевого, безопасного для окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информация о Тепличном хозяйстве ОАО «ДорОрс». URL: <https://dorors.by/teplica> (дата обращения: 01.10.2025).
2. Ждановичи – овощная столица. URL: <https://akz.by/production/ovoshi-otkrytogo-i-zakrytogo-grunta> (дата обращения: 01.10.2025).
3. ОАО Тепличный комбинат «Берестье». URL: <https://berestie.by/> (дата обращения: 01.10.2025).
4. Корпоративные ценности предприятия. Минская овощная фабрика. URL: <https://mof.by/company> (дата обращения: 01.10.2025).
5. КСУП «Рудаково» лидер аграрного рынка Витебской области. URL: <https://www.rudakovo.by> (дата обращения: 01.10.2025).
6. В КСУП «Тепличное» приступили к сбору огурцов нового урожая. URL: <https://sozhnews.by/news/selskoe-khozyaystvo/v-ksup-teplichnoe-pristupili-k-sboru-ogurtsov-novogo-urozhaya> (дата обращения: 01.10.2025).
7. Гродненская овощная фабрика. URL: <https://ovoschi.by/> (дата обращения: 01.10.2025).
8. УП «Минский парниково-тепличный комбинат». URL: https://minsk.gov.by/ru/freepage/other/bel_marka/greenstolitsa.shtml (дата обращения: 01.10.2025).
9. В хозяйстве Кировского района после модернизации теплиц огурцы смогут выращивать круглый год. URL: <https://mogilev-region.gov.by/news/v-hozyaystve-kirovskogo-rayona-posle-modernizacii-teplic-ogurcy-smogut-vyrashchivat-kruglyy-god> (дата обращения: 01.10.2025).
10. Брилево. Тепличный комбинат. URL: <https://brilevo.by/predpriyatie/teplichnyj-kombinat> (дата обращения: 01.10.2025).
11. ОАО «Тепличный комбинат Мачулищи». URL: <http://tk-m.by/> (дата обращения: 01.10.2025).
12. Более 20 тыс. т овощей получено в теплицах за январь-апрель. URL: <https://www.belta.by/economics/view/bolee-20-tys-t-ovoschej-polucheno-v-teplitsah-za-janvar-aprel-393229-2020> (дата обращения: 01.10.2025).

13. Головченко: Беларусь полностью обеспечит себя огурцами. URL: <https://sputnik.by/20230927/golovchenko-belarus-polnostyu-obespechit-sebya-ogurtsami-1079805895.html> (дата обращения: 01.10.2025).

14. В Беларуси в 2022 году выращено на 13 % больше цветов и бутонов на срез <https://www.belta.by/society/view/v-belarusi-v-2022-godu-vyrascheno-na-13-bolshe-tsvetov-i-butonov-na-srez-554104-2023> (дата обращения: 13.11.2023).

15. Аутко, А. А. Овощеводство защищенного грунта / А. А. Аутко, Г. И. Гануш, Н. Н. Долбик. – Мн. : ВЭВЭР, 2006. – 310 с.

16. Скорина В. В. Производство овощей в защищенном грунте Беларуси / В. В. Скорина, Д. А. Романьков // Овощеводство / РУП «Институт овощеводства». – Самохваловичи, 2020. – Т. 28. – С. 149–155.

17. Козловская, И. П. Оценка производственного потенциала и пути формирования нового технологического уклада в тепличном овощеводстве Беларуси / И. П. Козловская // Вестник БГСХА. – 2020. – № 3. – С. 127–131.

18. Дьяконова, Р. Н. Малообъемная технология выращивания огурца в тепличных условиях / Р. Н. Дьяконова, В. Д. Гревцева // Наука и техника в Якутии. – 2012. – № 2(23). – С. 92–95.

19. Аутко, А. А. Инновационное обеспечение развития и эффективного функционирования тепличного хозяйства / А. А. Аутко, Г. М. Гануш, А. Г. Кабков // Земледелие и защита растений. – 2007. – № 3. – С. 7–9.

20. Литвинов, С. С. Защищенный грунт России: состояние, проблемы, внедрение новейших инновационных технологий / С. С. Литвинов, Р. Дж. Нурметов, Н. Л. Девочкина // Теплицы России. – 2011. – № 2. – С. 5–8.

21. Состояние и перспективы развития овощеводства защищенного грунта. – URL: https://knowledge.allbest.ru/agriculture/2c0b65635a2ad69b4c53b88421206c37_0.html#text (дата обращения: 23.03.2018).

22. Мамедов, М. И. Структура и площади защищенного грунта в мире и глобальная тепличная технология: будущее производства продуктов питания / М. И. Мамедов // Овощи России. – 2015. – № 3–4. – С. 64–69.

23. Малообъемная технология возделывания томатов на минеральных субстратах: анализ. обзор / Л. С. Герасимович [и др.]; М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Белорус. науч. ин-т внедрения новых форм хозяйствования в АПК. – Минск, 2004. – 54 с.

24. Герасимович, Л. С. Адаптивные системы управления капельным поливом малообъемной культуре / Л. С. Герасимович, Л. А. Веремейчик, С. Н. Телешевский // Научно-инновационная деятельность в агропромышленном комплексе: сб. науч. ст. 3-й Междунар. науч.-практ. конф., 29–30 мая, 2008 г. / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – Минск, 2008. – Ч. 2. – С. 8–9.

25. Контровская, И. А. Технологические аспекты повышения эффективности тепличного производства / И. А. Контровская, К. А. Ловчая // Устойчивое социально-экономическое развитие регионов: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 95-летию создания кафедры экономики и МЭО в АПК; Горки, 28–29 нояб. 2019 г., БГСХА / редкол.: А. В. Колмыков [др.]. – Горки : БГСХА, 2020. – С. 128–133.

26. Кусаинова, Г. С. Изменение водно-физических свойств субстратов при выращивании томата на малообъемной гидропонике / Г. С. Кусаинова, Е. П. Петров // Аграрная наука – сельскому хозяйству : материалы XIII Междунар. науч.-практ.

конф., 15–16 февр. 2018 г., Барнаул : в 2 кн. / РИО Алтайского ГАУ. – Барнаул : РИО Алтайского ГАУ, 2018. – С. 338–340.

27. *Сирота, С. М.* Новые технологии в овощеводстве защищенного грунта / С. М. Сирота, И. Т. Балашова, Е. Г. Козарь, Е. В. Пинчук // Овощи России. – 2016. – № 4 (33). – С. 3–9.

28. Продуктивность растений салата листового в зависимости от вида субстрата – почвозаменителя в условиях замкнутой системы фитотрона ИСП-1 / А. И. Попов, В. Н. Зеленков, М. И. Иванова, [и др.] // Актуальная биотехнология. – 2018. – № 3 (26). – С. 394–398.

29. *Кусаинова, Г. С.* Использование минеральных и органических субстратов при выращивании томата на малообъемной гидропонике Г. С. Кусаинова, Е. П. Петров // Аграрная наука – сельскому хозяйству : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., 15–16 февр. 2018 г., Барнаул : в 2 кн. / РИО Алтайского ГАУ. – Барнаул : РИО Алтайского ГАУ, 2018. – С. 340–342.

30. *Bunt, A. C.* Physical properties of mixtures of peat and minerals of different particles size and bulk density for potting substrates // Acta Horticulturae (ISHS). – 1984. – № 150. – P. 143–153.

31. *Голубина, О. А.* Физикохимия и биология торфа: Использование торфа в сельском хозяйстве / О. А. Голубина. – Томск : Томский ЦНТИ, 2011. – 45 с.

32. *Иванова, Л. А.* Перспективные субстраты для гидропонного выращивания овощей / Л. А. Иванова, Е. С. Иноземцева // Гавриш. – 2010. – № 3. – С. 16–21.

33. *Анисимова, Т. Ю.* Эффективность применения торфогрунтов с использованием биопрепаратов и цеолита для выращивания рассады овощных культур / Т. Ю. Анисимова, В. А. Раскатов // Плодородие. – № 6. – 2015. – С. 23–24.

34. *Томсон, Э. А.* Торф и продукты его переработки / Э. А. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : Белорус. навука. – 2009. – 328 с.

35. *Raviv, M.* Substrate's end-of-life: environmental and horticultural considerations / M. Raviv // Acta Horticulturae (ISHS). – 2016. – № 1112. – P. 281–290.

36. *Hoitink, H. A. J.* Factors affecting quality of compost for utilization in container media / H. A. J. Hoitink, H. A. Poole // The International Plant Propagation' Society. – 1979. – Vol. 29 – P. 495–504.

37. *Дорощук, О. В.* Экологически безопасные искусственные субстраты для выращивания овощных культур / О. В. Дорощук, Н. А. Ламан, С. Л. Соболевская // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2013. – № 3. – С. 11–16.

38. *Кислицына, С. Н.* Способы переработки отходов деревообрабатывающей промышленности: учеб. пособ. по направл. подгот. 35.03.02 Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств / С. Н. Кислицына. – Пенза : ПГУ-АС, 2016. – 140 с.

39. *Hirai, M. F.* Standard measurement for compost maturity / M. F. Hirai, V. Chan-yasak, H. Kubota // BioCycle. – 1983. – Vol. 26. – № 4. – P. 44–49.

40. *Nichols, D. G.* The effect of Pinus radiata bark toxicity on early growth of plants in containers / D. G. Nichols // Scientia Horticulturae. – 1981. – Vol. 15. – № 3. – P. 291–298.

41. *Revier, M.* The use of wood waste compost in the making of substrates for container crops / M. Revier, C. Milhau // Acta Horticulturae (ISHS). – 1984. – № 150. – P. 475–489.

42. Sant, M. D. The effect of N-fertilization on the growth of Chrysanthemum 'White horim' in bark compost and peat / M. D. Sant, A. R. Selmer-Olsen, H. R. Gislerod, K. Solbrae // *Acta Horticulturae (ISHS)*. – 1984. – № 150. – P. 371–381.
43. Worrall, R. Composting wood wastes for potting mixes / R. Worrall // *Horticultural Science* – 1985. – Vol. 83. – № 10. – P. 34–37.
44. Лях, В. М. Использование субстратов с отходами древесины для выращивания декоративных растений / В. М. Лях // *Гавриш*. – 1998. – № 2. – С. 15–19.
45. Лях, В. М. Особенности минерального питания декоративных растений, выращиваемых на отходах древесины / В. М. Лях // *Гавриш*. – 1999. – № 1. – С. 28–31.
46. Шамин, А. А. Биохимические и микробиологические процессы при компостировании еловой коры / А. А. Шамин, Л. И. Бобнева, О. Н. Колчина // *Агрохимия*. – 1977. – № 7. – С. 97–103.
47. Влияние субстратов из древесных опилок и рисовой шелухи на урожайность томатов Lilos F1 / Г. Е. Дямуршаева, Э. Б. Дямуршаева, Г. З. Сауытбаева, Р. И. Кудияров // *Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства*. – 2021. – № 23. – С. 30–34.
48. Основы экологического мониторинга: практ. пособие для бакалавров экологии / И. С. Белюченко, А. В. Смагин, Г. В. Волошина [и др.]. – Краснодар : КубГАУ, 2012. – 252 с.
49. Шамаева, М. С. Разработка технологии вермикомпостирования древесных отходов для производства тепличных субстратов для выращивания сеянцев древесных растений / М. С. Шамаева, М. А. Окач, Д. И. Мухортов // *Труды Поволжского госулар. технолог. ун-та*. – Йошкар-Ола, 2022. – С. 129–133.
50. Сравнительная оценка кокосового субстрата и минеральной ваты при культивировании салата листового и горчицы листовой в условиях замкнутой гидропонной системы фитотрона класса синерготрон ИСП-1 / В. Н. Зеленков, В. В. Латушкин, М. И. Иванова, [и др.]. // *Актуальная биотехнология*. – 2018. – № 3 (26). – С. 442–446.
51. Реутова, Т. О. Возвращаясь к вопросу о качестве кокосового субстрата / Т. О. Реутова, В. В. Шевлягин // *Гавриш*. – 2013. – № 3. – С. 52–54.
52. Агрофизические свойства кокосового субстрата, применяемого в тепличном овощеводстве / В. И. Галицкий, Ю. В. Егоров, А. В. Кириченко [и др.] // *Гавриш*. – 2011. – С. 22–24.
53. Козлова, Е. П. Влияние ферментации на свойства кокосовых субстратов при выращивании овощных и цветочных культур на малообъемной гидропонике / Е. П. Козлова // *Гавриш*. – № 5. – 2011. – С. 28–29.
54. Ахмедова, П. М. Экономическая эффективность выращивания гибридов томата на кокосовом субстрате в зимне-весеннем обороте в условиях Дагестана / П. М. Ахмедова // *Вестник Казанского госулар. аграр. ун-та*. – 2020. – Т. 15. – № 3 (59). – С. 5–9.
55. Косов, В. И. Сапропель. Ресурсы, технология, геоэкология / В. И. Косов. – М. : Наука, 2007. – 224 с.
56. Bunt, A. C. Physical properties of mixtures of peat and minerals of different particles size and bulk density for potting substrates / A. C. Bunt // *Acta Horticulturae (ISHS)*. – 1984. – № 150. – P. 143–153.

57. *Pasquier, P.* Effect of the rooting substrate on rooting growth and flowering *Chrysanthemum morifolium* Ramat / P. Pasquier, A. Anstett, A. Amiraux // *Acta Horticulturae* (ISHS). – 1982. – № 125. – P. 37–46.

58. *Wilson, G. C. S.* The physico-chemical and physical properties of horticultural substrates / G. C. S. Wilson // *Acta Horticulturae* (ISHS). – 1984. – № 150: – P. 19–32.

59. *Wilson, G. C. S.* Use of vermiculite as a growth medium for tomato / G. C. S. Wilson // *Acta Horticulturae* (ISHS). – 1984. – № 150. – P. 283–288.

60. *Яковлева, Н. Н.* Выращивание цветочных культур на цеолитовых субстратах / Н. Н. Яковлева // *Гавриш*. – 2000. – № 1. – С. 25–26.

61. *Козловская, И. П.* Формирование листового аппарата у растений салата на субстратах различного состава при выращивании в зимних теплицах / И. П. Козловская, Е. А. Сакова // *Вестник Белорусской госуд. сельскохозяйств. академии*. – 2022. – N 2. – С. 77–80.

62. Перспективы использования перлита в сельском хозяйстве / Б. Т. Багманов [и др.] // *Современные тенденции развития науки и технологий* : сб. науч. тр. по материалам III Междунар. науч.-практ. конф., 30 июня 2015 г. : в 6 ч. / под общ. ред. Е. П. Ткачевой. – Белгород : ИП Ткачева Е. П., 2015. – Ч. II. – С. 60–63.

63. *Конеева, Е.* Что такое перлит и как его правильно использовать в садоводстве / Е. Конеева. – URL: <https://dach.ru/Eleko/chto-takoe-perlit-i-kak-ego-pravilno-ispolzovat-v-sadovodstve-243790.html> (дата обращения: 20.04.2025).

64. Perlite Group [Электронный ресурс] / Перлит для растений. – URL: <https://www.perlitgroup.com/ru/svojstva-i-xarakteristiki-perlita> (дата обращения: 20.04.2025).

65. *Трефилов, Р. А.* Перспективы использования перлита в сельском хозяйстве / Р. А. Трефилов // *Инновационный потенциал сельскохозяйственной науки XXI века: вклад молодых ученых-исследователей* : материалы Всерос. науч.-практ. конф., М-во сельского хозяйства РФ, ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА». – 2017. – С. 54–57.

66. *Гиль, Л. С.* Опыт применения агроперлита в малообъемных тепличных субстратах / Л. С. Гиль // *Производство и применение агроперлита. Опыт, технологии, перспективы*: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Киев, 26–28 мая 2008 г. / Нац. бот. сад им. Н. Н. Гришко НАН Украины, Гос. предпр. «Украин. науч.-исслед. и проектно-конструктор. ин-т строит. материалов и изделий «НИИСМИ». – Киев, 2008. – С. 12–16.

67. *Скалий, Л. П.* Использование перлита в технологии зеленого черенкования / Л. П. Скалий, Е. Г. Самощенко // *Производство и применение агроперлита. Опыт, технологии, перспективы*: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Киев, 26–28 мая 2008 г. / Нац. бот. сад им. Н. Н. Гришко НАН Украины, Гос. предпр. «Украин. науч.-исслед. и проектно-конструктор. ин-т строит. материалов и изделий «НИИСМИ». – Киев, 2008. – С. 79–81.

68. Перлит для растений: что это, преимущества и недостатки, особенности использования URL: <https://www.novochag.ru/dacha-and-garden/gardening/perlit-dlya-rastenii-chto-eto-preimushchestva-i-nedostatki-osobennosti-ispolzovaniya> (дата обращения: 20.04.2025).

69. Субстраты на основе органических отходов для выращивания сеянцев в контейнерах / Е. М. Романов, Д. И. Мухортов, А. В. Ушнурцев, В. В. Ускова // *Лесное хозяйство*. – 2009. – № 2. – С. 35–37.

70. *Андроникашвили, Т. Г.* Применение цеолитсодержащих горных пород в растениеводстве / Т. Г. Андроникашвили, Т. Ф. Урушадзе // Агрохимия. – 2008. – № 12. – С. 63–79.

71. Патент RU RU 2343696 C1 МПК A01G 31/00 Субстрат для выращивания растений в защищенном грунте : № а 2007131920/12, заявлено 22.08.2007 / Л. П. Степанова, Е. А. Коренькова, Е. И. Степанова, А. В. Таракин ; заявитель ФГОУ ВПО Орел ГАУ. – URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/a5/40/10/ae6ae970dc5fd1/RU2343696C1.pdf> (дата обращения: 20.04.2025).

72. Использование природных цеолитов Зауралья Башкортостана для повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур (рекомендации производству) / Я. Т. Суюндуков, Х. М. Сафин, М. Б. Суюндукова, Р. Ф. Хасанова. – Сибай, СИЦ – ф-л ГУП РБ : Изд. дом «Республика Башкортостан», 2017. – 40 с.

73. *Лобода, Б. П.* Орловский цеолит - перспективный компонент тепличных субстратов для малообъемного выращивания огурца // Б. П. Лобода, В. М. Ходырев, И. А. Гористова // Гавриш. – 2007. – № 2. – С. 12–13.

74. Цеолит активированный ZEOL TY 2163-001-27860096-2016. – URL: <https://zeol.ru/catalog/ceolit-aktivirovannyy> (дата обращения: 01.10.2025).

75. Биохимический состав сортов и гибридов овощных культур в зависимости от применения удобрений, цеолита и регуляторов роста / В. А. Борисов, О. Н. Успенская, И. Ю. Васючков, А. А. Коломиец // Селекция, семеноводство и сортовая агротехника овощных, бахчевых и цветочных культур. – М.: ФГБНУ ВНИИО, 2016. – С. 40–45.

76. Применение диатомитов в сельском хозяйстве. – URL: <https://diatomitural.ru/company/blog/205/> (дата обращения: 01.10.2025).

77. *Байкин, Ю. Л.* Влияние диатомита и птичьего помета на урожайность ячменя / Ю. Л. Байкин, Н. А. Цапаев // Коняевские чтения : сб. ст. Всероссийской науч.-практ. конф., 4–8 февр. 2008 г., УрГСХА. – Екатеринбург : УрГАУ, 2008. – С. 285–287.

78. *Карпухин, М. Ю.* Эффективность использования диатомита в качестве удобрения при возделывании моркови в условиях Среднего Урала / М. Ю. Карпухин // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 1. – С. 17–19.

79. *Карпухин, М. Ю. В.* Эффективность диатомита Камышловского месторождения Свердловской области в качестве субстрата для выращивания овощных культур / М. Ю. Карпухин, А. В. Юрина // Актуальные проблемы развития биотехнологий : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 23–24 мая 2013 г. / М-во сельского хоз-ва РФ, ФГБОУ высш. проф. образования «Уральский гос. аграрный ун-т» ; науч. ред. И. М. Донник, Б. А. Воронин. – Екатеринбург : УрГАУ, 2013. – С. 98–101.

80. *Русакова, Г.* Керамзит на гидропонике / Г. Русакова // Цветоводство. – 1969. – № 5. – С. 8.

81. *Веремейчик, Л. А.* Использование промышленного керамзита для производства томатов в условиях защищенного грунта / Л. А. Веремейчик, Л. С. Герасимович // Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности : сб. ст. по материалам Междунар. науч. экол. конф., 27–29 мар. 2018 г. / Куб. гос. аграр. унт. – Краснодар, 2018. – С. 84–86.

82. Керамзит как субстрат в гидропонике. – URL: <https://www.rzevgbi.ru/o-kompanii/stati/keramzit-kak-substrat-v-gidroponike> (дата обращения: 01.10.2025).

83. *Иванова, Л. А.* Перспективы гидропонного выращивания растений в условиях Мурманской области / Л. А. Иванова, В. А. Котельников. – Апатиты : Изд-во Кольского научного центра РАН, 2006. – 106 с.

84. *Иванов, Д. И.* Развитие рассады корневого сельдерея в зависимости от содержания вермикулита в составе субстрата / Д. И. Иванов, Н. Н. Иванова // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2020. – № 1(30). – С. 36–42.

85. *Бойко, Л. А.* Вермикулит в гидропонике / Л. А. Бойко, В. В. Левицкий. – Л. : Наука, 1976. – 95 с.

86. *Онохина, Ж. Ф.* Некоторые итоги исследований применения вермикулита для выращивания растений / Ж. Ф. Онохина, Л. А. Иванова // Ботанические исследования за Полярным кругом. – Апатиты, 1985. – С. 15–18.

87. *Переверзев, В. Н.* Физико-химические свойства ковдорского вермикулита как субстрата для выращивания растений на гидропонике / В. Н. Переверзев // Агрохимия. – 1965. – № 2. – С. 115–122.

88. *Ярцева, М. А.* Влияние термовермикулита на рост и развитие овощных культур на ювенильном этапе онтогенеза // М. А. Ярцева, И. П. Кременецкая, Л. А. Иванова, М. В. Слуковская // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2024. – Т. 19. – № 2. – С. 250–268.

89. Использование неорганических субстратов в технологии размножения хищного клеща фитосейулюса / И. В. Андреева, А. А. Зенкова, В. П. Цветкова, Д. Ю. Герне // Инновации и продовольственная безопасность». – 2018. – № 1(19). – С. 7–15.

90. Mineral and organic growing media have distinct community structure, stability and functionality in soilless culture systems / O. Grunert, E. Hernandez-Sanabria, R. Vilchez-Vargas [et al.] // Sci. Rep. – 2016. – Vol. 6:18837. URL: https://www.researchgate.net/publication/289367867_Mineral_and_organic_growing_media_have_distinct_community_structure_stability_and_functionality_in_soilless_culture_systems (дата обращения: 01.10.2025).

91. *Raviv, M.* Soilless Culture. Theory and Practice. / M. Raviv, J. H. Lieth. – Amsterdam: Elsevier Science, 2008. – 691 p.

92. *Козловская, И. П.* Энергосбережение за счет теплоизоляции почвы в зимних теплицах при бессубстратном выращивании огурца / И. П. Козловская, В. А. Курочкин // Интеллектуальные технологии и техника в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Мичуринск, 18–20 окт. 2016 г. – Мичуринск-Наукоград, 2016. – С. 379–384.

93. *Веремейчик Л. А.* Оптимизация питания томатов на минеральных субстратах: рекомендации / Л. А. Веремейчик, Л. С. Герасимович. – Минск, 2006.

94. *Веремейчик, Л. А.* Основы питания томатов, выращиваемых в малообъемной культуре: монография / Л. А. Веремейчик. – Минск : Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь, 2002. – 176 с.

95. *Веремейчик, Л. А.* Питание, продуктивность и качество томатов на минеральных субстратах в малообъемной технологии выращивания: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / Веремейчик Лариса Антоновна; РУП «Информационно-вычислительный центр М-ва финансов Респ. Беларусь». – Минск, 2008. – 42 с.

96. Тепличное овощеводство на малообъемной гидропонике / Х. Симитчиев, В. Каназирска, К. Милив [и др.]. – Пер. с болг. – М.: Агропромиздат, 1985. – 144 с.

97. *Рассоха, Н. Ф.* Об эффективности применения регуляторов роста при выращивании томатов в зимних теплицах на минеральной вате / Н. Ф. Рассоха, Г. В. Наумова, Н. А. Жмакова // Природопользование. – 2011. – № 20. – С. 100–104.

98. *Степанов, А. Ф.* Урожайность огурца при выращивании в зимней теплице на малообъемной гидропонике при разном уровне освещения / А. Ф. Степанов, К. А. Пермякова, Л. А. Кротова // вестник омского госулар. аграр. ун-та. – 2023. – № 3 (51). – С. 69–76.

99. *Горохова, Т. Ю.* Особенности использования минераловатного субстрата «Агрос» производства ОАО «Комат» (г. Ростов на Дону) для выращивания овощных культур в теплицах / Т. Ю. Горохова // Гавриш. – 2005. – № 5. – С. 8–11.

100. *Куропатина, Н. Д.* О необходимости экспертизы минераловатных субстратов / Н. Д. Куропатина. – Гавриш. – 2013. – № 4. – С. 20–22.

101. *Данилова, Т. Н.* Возможности использования гидрогелей для управления водообеспеченностью полей / Т. Н. Данилова, Л. В. Козырева // Плодородие. – 2008. – № 6. – С. 24–25.

102. *Енгальчева, Н. А.* Эффективность применения гидрогеля при выращивании рассады огурца для открытого грунта / Н. А. Енгальчева, Д. И. Енгальчев, К. Л. Алексеева // Известия ФНЦО. – 2021. – № 1–2. – С. 84–89.

УДК 631.8:631.416.9

ВЛИЯНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

Л. А. Веремейчик¹, А. Р. Цыганов²

*¹Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь*

*²Международный институт управления и предпринимательства,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в связи с увеличением антропогенной нагрузки на экологические системы и раскрытия биологических основ тесного взаимодействия человека и окружающей среды особенно значимым является комплексное изучение вопросов динамики функционального состояния живого организма в зависимости от изменений, происходящих в окружающей природной среде. Анализ закономерностей функционирования экологических систем в условиях природопреобразующей деятельности для жизнеобеспечения современного общества требует выработки тактики и стратегии поведения человечества в целях оптимизации функционирования этих систем.

В настоящее время исследования по комплексной, научно обоснованной оценке влияния факторов среды обитания на здоровье населения считаются одним из приоритетных направлений в области экологии человека. Установлено, что