

РАЗВИТИЕ И РОЛЬ СИСТЕМЫ КРУГЛОГОДИЧНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ В ФИТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ-ОРАНЖЕРЕЯХ НА АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ВОСТОК В 65–70-й РАЭ

Отсутствие возможности обеспечения полярников свежей растительной продукцией на антарктических станциях привело к созданию и размещению рядом со станциями или в них оранжерей различного типа (отдельные сооружения тепличного или контейнерного исполнения, помещения с оранжереями на станции), обеспечивающих выращивание растений и получение растительной продукции. Эта продукция не только пополняет рацион полярников необходимыми витаминами, другими полезными ингредиентами, включая микро-нутриенты, но и способствует улучшению их психолого-эмоционального состояния в условиях изоляции от привычного социума и природного экобиома. Особенно значимо это для станций, расположенных в суровых природно-географических и климатических условиях, таких как антарктическая станция Восток. Ее расположение на ледниковом куполе Антарктиды на высоте 3488 м, где средняя величина барометрического давления составляет 460 мм рт. ст., позволяет оценить влияние на организм гипобарической гипоксии и низкой относительной влажности воздуха (14–40 %, в помещениях до 25 %) наряду с низкими температурами (до –89,2 °С в зимний период), условий полярной ночи, полярного дня, повышенного уровня ультрафиолетовой радиации в период полярного дня, вариаций естественного электромагнитного фона. Перечисленные особенности климата и рельефа сближают природные условия станции Восток с таковыми на Луне и Марсе. Именно станцию Восток в середине 1960-х годов специалисты по космической биомедицине из Государственного научного центра Российской Федерации Институт медико-биологических проблем РАН (ГНЦ РФ ИМБП РАН) выбрали в качестве полигона для изучения человеческого фактора применительно к будущим длительным космическим полетам. Условия жизнедеятельности здесь в значительной степени напоминают условия космического полета или пребывания на будущих лунной или марсианской базах. Наиболее психологически значимыми для человека в условиях годовой зимовки на станции Восток являются физическая и социальная изоляция от внешнего мира, монотонность и однообразие жизни, скудность зрительных впечатлений, обусловленная однообразным снежным ландшафтом, отсутствие животного и растительного мира, небольшая по площади и объему зона обитания, ограничение двигательной активности, небольшой по численности коллектив, непривычная смена дня и ночи и др.

ГНЦ РФ ИМБП РАН был инициатором применения на станции 913 инновационных технологий биомедицинского значения, в том числе с 2020 года здесь ведутся испытания разработанной в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Агрофизический научно-исследовательский институте (ФГБНУ АФИ) технико-технологической системы выращивания в фитотехкомплексах-оранжереях (двух- и одноярусные малогабаритные вегетационные светоустановки с оптимизируемым микроклиматом в зоне роста растений) листовых, листостебельных, плодовых овощных и других сельскохозяйственных и декоративных культур как дополнительных источников питания экипажа и поддержания психологического комфорта.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ФГБУ ААНИИ) поддержал идею и организовал процессы доставки передаваемого от ФГБНУ АФИ необходимого оборудования, комплектующих, расходных материалов и ежегодного испытания двух фитотехкомплексов-оранжерей различного типа на станции Восток с 2020 по 2024 год включительно и на НКЗ Восток после их перемещения и монтажа начиная с 2025 года.

Цель проводимой на антарктической станции Восток совместной междисциплинарной исследовательской работы — оценка производительности фитотехкомплексов-оранжерей 1 и 2, качества получаемой растительной продукции при выращивании в них различных видов и/или сортов листовых, листостебельных, плодовоовощных (томат, перец, огурец), бахчевых (арбуз), плодово-ягодных (земляника) культур, а также влияния получения растительной продукции на психоэмоциональное состояние полярников.

В ходе наблюдений за ростом, развитием и по результатам оценки продуктивности выращиваемых различных сельскохозяйственных культур, качества получаемой растительной продукции сформирован и пополняется реестр скороспелых, высокоурожайных сортов и гибридов растений, адаптированных к условиям станции Восток и дающих высокие урожаи качественной растительной продукции.

Основные задачи исследовательской работы

1. ФГБНУ АФИ: создание фитотехкомплексов-оранжерей с внедренной в них технологией выращивания растений панопопикой и обеспечение их работы посредством поставки комплектующих, расходных материалов; осуществление научного руководства экспериментальной частью работы, консультирование полярников РАЭ, ответственных за проведение вегетационных экспериментов на станции Восток; проведение параллельно вегетационных экспериментов с теми же культурами в аналогичных фитотехкомплексах-оранжереях с одинаковой технологией тонкослойная панопопика на агробиополигоне ФГБНУ АФИ с оптимизированными условиями для выращивания растений; осуществление биохимического анализа образцов растений и растительной продукции по завершении каждой РАЭ и доставки их в ФГБНУ АФИ.

2. ААНИИ: доставка оборудования, комплектующих и расходных материалов на станцию Восток; монтаж оборудования, контроль за его состоянием, проведение вегетационных экспериментов на станции Восток; отбор и доставка образцов растений для дальнейших анализов в ФГБНУ АФИ и ИМБП РАН.

3. ГНЦ РФ ИМБП РАН: научное руководство вегетационными экспериментами; проведение тестирования и психолого-эмоциональной оценки отношения полярников к растениям на станции.

Описание оранжереи и условий экспериментов

Созданные в ФГБНУ АФИ фитотехкомплексы-оранжереи ФТК-1 и ФТК-2 представляют собой двух- и одноярусную автоматизированные вегетационные установки с посевной площадью по 1 м² (рис. 1 и 2) с реализацией

в них разработанной в АФИ технологии культивирования растений на тонкослойном аналоге почв (тонкослойная панопоника)¹.



Рис. 1. Общий вид фитотехкомплекса-оранжереи-1 (а) и выращиваемых в ней листовых и листостебельных культур (б, в, з). Фото предоставлено ФГБНУ АФИ (а), ФГБУ ААНИИ (б, в, з)



Рис. 2. Общий вид фитотехкомплекса-оранжереи-2 (а) и выращиваемых в ней растений огурца (б). Фото предоставлено ФГБУ ААНИИ

Освещение растений производится с помощью разработанных ФГБНУ АФИ совместно с его индустриальным партнером (ООО «Гринтех», Россия) светодиодных светильников с оптимизированным под выращиваемые культуры спектральным составом света и возможностью регулирования интенсивности светового потока. В помещении и в фитотехкомплексах-оранжереях формируются и автоматически поддерживаются благоприятные условия воздушной, световой и корнеобитаемой среды.

Особенности эксплуатации фитотехкомплексов-оранжерей 1 и 2, технологии выращивания в них растений, а также методики наблюдений за развитием растений, оценка показателей их роста и продуктивности подробно описаны в соответствующих инструкциях, подготовленных ФГБНУ АФИ.

Контрольные эксперименты по программе, аналитической программе на станции Восток, проводятся на агробиополигоне ФГБНУ АФИ в оптимальных условиях для роста и развития растений.

К выполнению совместной исследовательской работы привлечена команда специалистов в области агрофизики, растениеводства, физиологии и биохимии растений (ФГБНУ АФИ), геофизики, медицины, масса-медиа и других сфер (ААНИИ), ботаники, экофизиологии растений, психологии человека (ГНЦ РФ — ИМБП РАН).

Основные результаты исследований

В 2020 году на антарктическую станцию Восток полярниками 65-й РАЭ был доставлен, смонтирован и введен в эксплуатацию фитотехкомплекс-оранжерея-1 (ФТК-1). Указанная оранжерея была размещена в жилом помещении геофизика-магнитолога А.В. Теплякова, который внес неоценимый вклад в обеспечение благоприятных условий для растений и проведение вегетационных экспериментов совместно с метеорологом Д.В. Шепелевым.

В ходе проведения исследований на протяжении 2020 года выращено 11 видов и 20 сортов листовых, листостебельных овощных культур: салатные, капустные (редька листовая, рукола, кресс-салат, горчица листовая, капуста японская, капуста китайская), амарант, базилик, укроп, листовая петрушка.

По результатам экспериментов общий урожай сырой растительной продукции с полезной площади оранжереи в среднем составлял 36,5 кг в год; расход воды — в среднем 36,21 л/кг сырой растительной продукции, затраты электроэнергии в расчете на 1 м² — 113,2 кВт/кг сырой продукции. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о высокой производительности оранжереи для большинства исследуемых культур при более низких затратах электроэнергии и потребления воды на единицу продукции по сравнению с зарубежными антарктическими оранжереями¹.

Наиболее адаптированными к условиям выращивания на антарктической станции Восток оказались салатные культуры. Характеристики их роста, развития, совокупной массы товарной части продукции за вегетационные периоды и урожайности с 1 м² за год не отличаются от таковых в контроле (агробиополигон ФГБНУ АФИ). Все остальные культуры имели достоверно более низкие значения по урожайности за год с 1 м² (на 16–61 %) по сравнению с контролем, что может быть связано с разницей на антарктической станции и в контроле в значениях атмосферного давления и в концентрации кислорода.

В 2021 году на станцию Восток доставлены полярниками 66-й РАЭ созданные ФГБНУ АФИ комплектующие для установок, обеспечивающие их модернизацию, расширение ассортимента выращиваемых культур и улучшение условий жизнеобеспечения в зоне роста растений. Впервые на станции Восток выращены и получены урожаи растений томата и перца (детерминантные мелкоплодные сорта) наряду с листовыми и листостебельными овощными культурами (рис. 3).

Геофизиком-магнитологом А.Б. Новаком и врачом анестезиологом-реаниматологом С.В. Запольским проведены вегетационные эксперименты с ранее не испытанными на станции Восток сортаобразцами (18 видов, 40 сортов) овощных культур. Как и в 2020 году, наиболее адаптированными к условиям на станции Восток оказались растения салата, не отличающиеся достоверно по урожайности от таковых в контроле (агробиополигон ФГБНУ АФИ).

В 2022 году геофизиком-магнитологом В.В. Родькиным продолжены на станции Восток вегетационные эксперименты с широким спектром тестируемых овощ-

¹ Panova G.G., Teplyakov A.V., Novak A.B., Levinskikh M.A., Udalova O.R., Mirskaya G.V., Khomyakov Yu.V., Shved D.M., Ilyin E.A., Kuleshova T.E., Kanash E.V., Chesnokov Yu.V. Growth and development of leaf vegetable crops under conditions of the phytotechnical complex in Antarctica // Agronomy. 2023. Т. 13. № 12. С. 3038. DOI: 10.3390/agronomy13123038



Рис. 3. Общий вид растений томата (а) и плоды перца (б) в фитотехкомплексе-оранжерее-1 на станции Восток. Фото предоставлено ААНИИ

ных культур (15 видов, 33 сорта, в том числе ранее не испытанные); на станцию Восток полярниками 67-й РАЭ доставлен фитотехкомплекс-оранжерея-2 (ФТК-2) для выращивания растений огурца и арбуза. Наряду с салатными культурами выявлены впервые сортообразцы капустных культур (рукола, горчица, капуста китайская, капуста пекинская, капуста японская), а также мангольда и плодово-овощной культуры томат, не отличающиеся по показателям урожайности и качества от тех же сортов в контроле и демонстрирующие высокие их значения.

В 2023 году полярниками 68-й РАЭ был смонтирован и введен в эксплуатацию ФТК-2 на антарктической станции Восток (в кают-компании радиодома) и впервые здесь за всю историю станции вырастили и собрали урожай плодов арбуза и огурца (рис. 4а и б).

За 103 и 60 дней от высева семенами до уборки растений с ФТК-2, площадью около 1 м², получено, соответственно, 7,5 кг плодов арбуза и 16,5 кг плодов огурца при формировании длины стебля 2 м, что в пересчете за год позволит получать урожай до 30 кг и до 100 кг с указанной единицы площади.

Полярниками А.В. Тепляковым и Д.А. Башмашниковым, проводившими вегетационные эксперименты с растениями (выращено 15 видов, 52 сорта), отмечено, что «урожайность и вкусовые качества плодов огурца впечатлили и обрадовали всех полярников, но плоды арбуза вызвали настоящий фурор и огромную радость».



Рис. 4. Общий вид растений огурца (а) и арбуза (б) в фитотехкомплексе-оранжерее-2. Фото предоставлено ААНИИ

Среди ранее не испытанных на станции Восток сортов салатных, капустных культур, базилика, томата², а также перца и арбуза установлены сорта, показывающие идентичные контрольным высокие значения скоропелости и урожайности.

В 2024 году магнитологом М.М. Шереметовым (69-я РАЭ) проведены вегетационные эксперименты с листовыми и листостебельными овощными культурами (12 видов, 36 сортов), с растениями томата (4 сорта), перца (1 сорт), огурца (4 гибрида F1). Пополнен перечень овощных культур сортами и гибридами, наиболее приспособленными к условиям на станции Восток, стабильно формирующими за максимально короткий срок развития высокие урожаи растительной продукции, что повысило производительность системы выращивания на 20 % и более.

В конце 2024 года М.М. Шереметовым по завершении вегетационных экспериментов совместно с прибывшими полярниками 70-й РАЭ осуществлены демонтаж ФТК-1 и ФТК-2, перемещение их на НЗК Восток, монтаж и размещение в одном отдельном помещении.

В 2025 году полярниками С.А. Ступниковым и И.И. Степнадзе обеспечена автоматизация поддержания параметров воздушной среды в помещении с ФТК-1 и 2 в благоприятном диапазоне значений для выращиваемых растений и введены в эксплуатацию указанные ФТК. К настоящему времени на протяжении семи месяцев выращено 16 видов, 35 сортов овощных культур, преимущественно ранее не испытанных. Получены высокие урожаи капустных, салатных культур, щавеля, огурца, снимается урожай томата и перца разных сортов, растут растения арбуза двух сортов.

Урожайность растений и качество растительной продукции

Проведенные междисциплинарные исследования показали, что в высокогорных условиях антарктической станции Восток при поддержании ключевых факторов воздушной, световой и корнеобитаемой среды в благоприятных значениях для выращиваемых по технологии тонкослойная панопоника сельскохозяйственных культур, подавляющее большинство из них реализуют в высокой степени продукционный потенциал. При этом выявлены сортообразцы практически каждой из выращиваемых культур показывающие сходные значения по скоропелости и урожайности на антарктической станции Восток и в оптимальных условиях на агробиополигоне ФГБНУ АФИ. Следует отметить, что урожайность испытанных овощных культур не уступает или превышает по значениям таковую в современных мировых передовых тепличных комплексах с искусственной досветкой и регулируемы условиями. Так, в расчете на кг с 1 м² в год урожай составил у капустных культур до 163,0 (лидирует листовая репа), салатных культур — до 122,0, щавель — до 80,0, мангольд — до 69,0, томат мелкоплодный — до 40,0, перец — до 29,0, огурец (стебель длиной 2 м) — до 100,0, арбуз (стебель длиной 2 м) — до 30,0.

Анализ качества и безопасности растительной продукции («надземная» часть листовых и листостебельных культур, плоды томата, перца, огурца) показал отсут-

² Панова Г.Г., Левинских М.А., Новак А.Б. и др. Влияние природно-географических условий на растения карликовых форм томата в сооружениях защищенного грунта различного типа // Сельскохозяйственная биология. 2024. Т. 59. № 5. С. 910–926. DOI 10.15389/agrobiology.2024.5.910rus

ствие значимых отличий в содержании основных макро- и микроэлементов, витамина С, нитратов и других показателей от таковых у тех же культур, выращенных в регулируемых оптимальных условиях агробиополигона ФГБНУ АФИ. Полученные данные в совокупности указывают на высокое качество получаемой растительной продукции, ее безопасность и соответствие санитарно-гигиеническим нормативам РФ.

Психологические аспекты взаимодействия полярников с высшими растениями

Все обследуемые полярники как в первый год эксперимента, так и в последующие годы отмечают позитивное влияние растущих растений на их психолого-эмоциональное состояние. Они обсуждали растения с другими участниками экспедиции «очень часто» или «часто», замечали изменения в состоянии растений. Большинство из полярников имели потребность ежедневного наблюдения и «общения» с растениями.

Немаловажным положительным аспектом также являлось существенное расширение ассортимента блюд из получаемой растительной продукции (рис. 5).



Рис. 5. Растительная продукция, получаемая с ФТК, и некоторые блюда на ее основе.
Фото предоставлено ААНИИ

Заключение

Таким образом, полученные результаты биолого-технических испытаний разработанной в ФГБНУ АФИ системы выращивания в фитотехнических комплексах-оранжереях 1 и 2 на антарктической станции Восток (2020–2024) и далее на НЗК Восток (2025) показали, что:

- технология тонкослойной панопоники, реализованная в фитотехнических комплексах-оранжереях 1 и 2, эффективно и стабильно работает;

- необходимо продолжать исследования, направленные на отбор сортов и гибридов различных сельскохозяйственных культур, наиболее приспособленных к особенностям среды обитания на станции Восток;

- овощные и бахчевые культуры, выращиваемые на станции Восток, обеспечивают благоприятное общебиологическое, пищевое и психолого-эмоциональное влияние на полярников, что чрезвычайно важно для поддержания в норме их общебиологического тонуса и здоровья.

Полученные результаты совместной исследовательской работы на станции Восток, проводимой сотрудниками ААНИИ, ФГБНУ АФИ, ГНЦ РФ — ИМБП РАН, свидетельствуют об актуальности ее продолжения по отработке технологии выращивания растений и подбору культур (сортов, гибридов) сельскохозяйственных растений, наиболее адаптированных к условиям на станции Восток, отличающихся скороспелостью, высокой продуктивностью и качеством получаемой растительной продукции. Сформированный и постоянно пополняемый реестр сельскохозяйственных культур, показавших высокие значения скорости, дружности роста и урожайности на станции Восток, имеет высокую значимость и для использования при организации систем выращивания по технологии тонкослойная панопоника в условиях Антарктики и Арктики.

Установленное положительное влияние оранжерей на полярников также показывает, что само их функционирование на антарктической станции Восток как элемента системы жизнеобеспечения полярников важно и перспективно для дальнейшего тиражирования и на других российских антарктических и арктических станциях.

Благодарности. Выражаем глубокую благодарность руководству ФГБУ ААНИИ, ГНЦ РФ — ИМБП РАН и ФГБНУ АФИ за предоставленную возможность реализовать проект по созданию фитотехнических комплексов-оранжерей различного типа с реализованной в них технологией тонкослойной панопоники и их испытаниям на Российской антарктической станции Восток одновременно с таковыми на агробиополигоне ФБНУ АФИ, а также всем инженерам и промышленным партнерам, которые приняли участие в его реализации, руководству ФГБНУ ФИЦ ВИР и его ведущему научному сотруднику, и. о. зав. отделом генетических ресурсов овощных и бахчевых культур А.М. Артемьевой за предоставление семян листовых и листостебельных овощных культур, руководству ФГБНУ ФНЦ овощеводства и его главному научному сотруднику лаборатории новых технологий И.Т. Балашовой за предоставление семян томата различных сортов селекции данного института.

*Г.Г. Панова, Ю.В. Хомяков
О.Р. Удалова, Ю.В. Чесноков (ФГБНУ АФИ),
М.А. Левинских, Д.М. Швед (ГНЦ РФ ИМБП РАН),
А.В. Тепляков, Д.А. Башмашников (ААНИИ)*