Литература

1. **ГОСТ 15150 – 69.** Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – М.: Стандартинформ, 2006. – 60 с.
2. **ГОСТ 9.602 – 2016.** Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. – М.: Стандартинформ, 2016. – 93 с.
3. **Зейнетдинов Р.А., Колесникова Т.А.** Энтропийный метод анализа тепловых схем в системе теплоэнерго-снабжения// Сб. материалов конференции. – Ярославль: ЯГТУ, 2019. – С. 738–742.
4. **Каталог стандартных изделий.** Шкафные газорегуляторные пункты в исполнении для подземных газопроводов (ШРП-ПГ) с основной и резервной линией редуцирования: без учёта расхода газа, с узлом учёта расхода газа. Издание 2. – Волгоград: Итгаз, 2017. – 48 с.
5. **РД 153-39.4-091-01.** Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии. – Санкт-Петербург: Издательство ДЕАН, 2002. – 242 с.

УДК 631.171

ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В БИОЦЕНОЗЕ САДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ СОДЕРЖАНИЯ ПОЧВЫ

А.Н. Перекопкий, канд. техн. наук, доцентКонтактная информация (e-mail): aperekopskii@mail.ru**А.В. Зыков**Контактная информация (e-mail): zav35@list.ru**К.И. Егорова**, аспирантКонтактная информация (e-mail): unknown_06@list.ru**С.П. Евсеев**, аспирантКонтактная информация (e-mail): levseevser@gmail.com

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. СПб, РФ)

ВВЕДЕНИЕ. Интеллектуальная система мониторинга и управления «Умный сад» является частью производственной концепции «Умное сельское хозяйство»: интеллектуальной системой подготовки, выполнения и контроля всех технологически операций производства садоводческой продукции. Целью создания «Умного сада» является разработка интеллектуальной технической системы, осуществляющей в автоматическом режиме анализ информации о состоянии агробиоценоза сада, с возможностью принятия управленческих решений и их реализации с помощью роботизированных технических средств [1, 2].

Для управления технологиями возделывания садовых культур в ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» разработана система интеллектуального управления промышленными технологиями в садоводстве, состоящая из трёх блоков и позволяющая осуществлять контроль за состоянием растения и обеспечивать необходимую агротехнологию ухода [3, 4].

Наши исследования относятся к блоку контроля параметров производственного процесса, включающего систему контроля жизнедеятельности растений и состояния окружающей среды.

Объектом исследований является почвенная среда в саду в связи с биологическими потребностями активной части корневой системы плодовых культур, в частности яблони.

Роль корня в жизни растений многогранна. Корень – специфический орган поглощения воды и минеральных элементов из почвы. В корнях частично или полностью происходит переработка поступивших ионов, их восстановление и включение в различные органические соединения. Синтетическая деятельность корневой системы, которая особенно активно исследовалась учеными во второй половине прошлого столетия, необходима для обеспечения нормального роста растений [5, 6].

Наиболее важными, в функциональном отношении, являются всасывающие корни

первичного строения, обладающие высокой физиологической активностью. В период самого активного роста эта категория корней составляет до 90 % от всего количества корней растений. Всасывающие корни недолговечны, они отмирают через 15–25-дней после их образования [7, 8].

Из факторов среды выделяется роль температуры почвы как показатель жизнедеятельности растения. Диапазон оптимальных температур роста корней, установленный в условиях различных агроклиматических зонах, не имеет значительных различий. Рост активных корней карликовых и полукарликовых подвоев начинается при температуре почвы 5–6 °С; интенсивный рост – при 10–18 °С; при температуре более 20 градусов – рост корней замедляется; при 26–28 °С – рост прекращается. В жаркие дни рост корней продолжается только в глубоких слоях почвы.

Корневая система постоянно находится под влиянием меняющейся температуры почвы. Характер изменений может быть ритмичным (суточные и сезонные ритмы), аритмичным, вызываемый за короткий отрезок времени (изменение температуры воздуха из-за облачности, выпадения осадков). Установлены слабые изменения в скорости роста корней при изменении температуры на 0,3–0,8 °С; при постепенном повышении температуры (7–9 ночью, 22–24 – днём) за 3 часа с 15,4 до 23,6 °С скорость роста увеличивается; быстрое повышение температуры почвы с интервалом от минимума до максимума – приводит к гибели корней. Условия начала роста корней находятся в зависимости не только от текущего хода почвенных условий, но и от суммы факторов, складывающихся в период осенних работ [9, 10].

Такое физиологически важное свойство корня, как проницаемость плазмы, определяющая скорость всасывания корнями минеральных соединений, так же зависит от температурного режима почвы. Корни первичного строения чувствительны к изменениям водного режима почвы. Нормальное увлажнение почвы для яблони составляет 70–75 % от предельной полевой влагоемкости. Снижение важности почвы до 65–70 % резко снижает прирост активных корней.

Гидротермические условия почвы складываются в зависимости от изменений погодных условий. Особое значение для многолетних плодово-ягодных растений, так же как для любой сельскохозяйственной культуры, имеют микроклиматические условия приземного слоя воздуха (ориентировочно до 2 метров от уровня почвы). В приземном слое воздуха вертикальные градиенты всех метеорологических элементов (влажность, температура и др.) оказывают значительное влияние на корни и надземную часть растения [11, 12].

Летом в дневные часы температура воздуха в надземном слое возрастает. В ночные часы тепловой баланс поверхностного слоя земли становится отрицательным, так как, вследствие ночного излучения, земля охлаждается. Летом инсоляционный и радиационный типы распределения температуры воздуха с высотой являются основными типами при ясной, безоблачной и тихой погоде. В облачную погоду земная поверхность и прилегающий слой воздуха нагреваются меньше. В ночные часы, при полной облачности, может и не быть температурной инверсии. Тогда температура воздуха над поверхностью земли с высотой не изменяется.

Деятельность корневой системы и надземной части дерева взаимосвязаны и представляют функциональное единство. Роль надземных органов растения, в первую очередь, заключается в непрерывном снабжении корней продуктами фотосинтеза. Основной формой ассимилянтов является сахароза и её полимеры – универсальные источники углеводов и органических соединений для корней. В корневой системе частично или полностью восстановленные ионы включаются в различные органические соединения и транспортируются в надземные органы для использования на построение более сложных метаболитов [13].

Корневая система является доступным объектом воздействия на продукционные процессы дерева в результате изменений почвенных условий под влиянием агротехнических приёмов (системы содержания почвы, удобрений, орошения и др.). Н. Г. Жучков считал [14], что ни одно мероприятие по уходу за садом не следует выполнять без учёта состояния корневой системы и возможной реакции корней на эти агроприемы.

Цель работы: исследование термических условий почвы в агроценозе сада в связи с биологическими потребностями первичных корней яблони.

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА. Опыт был проведен в яблоневом саду 17-летнего возраста, расположенном на Ленинградской плодовоовощной опытной станции ИАЭП-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Почва сада окультуренная, перегнойно-карбонатная супесчано-пылеватая на карбонатном суглинке с мощностью гумусового горизонта 0,3–0,31 м. Объемный вес почвы в слое 0–0,2 м – 1410 кг/м³, в слое 0,2–0,4 м – 1410 кг/м³, в слое 0,4–0,6 м – 1540 кг/м³.

Содержание почвы в саду осуществляли по 2-м системам: постоянное задернённые почвы многолетними злаковыми травами в форме дерново-перегнойной системы и постоянное рыхление почвы – чёрный пар. Возраст дернины в варианте задернения почвы составлял 3–4 года. Вариант – год, характеризовавшийся показателями метеорологических элементов, близкими к среднемноголетним. Сумма осадков за год составляла 662 мм (за вегетационный период – 344 мм), ГТК=1,8. Теплая погода в феврале и марте чередовалась с холодной – в конце марта и апреле. В короткий период засухи наблюдался дефицит влажности почвы.

Температура почвы определялась прибором ЭТП. Датчики прибора были установлены по линии в ряд на расстоянии 1,5 метра от штамба деревьев в почве на глубине: 0,1, 0,2, 0,4 и 0,6 метра. Определение температуры велось дистанционно. Для этого провода от датчиков помещались в деревянный контейнер, врытый в верхний слой почвы на расстоянии 1,5 метра от места размещения датчиков. Поверхность почвы в месте размещения датчиков искусственно защищалась от утаптывания.

Период исследований происходил в тихую и солнечную погоду для устранения метеорологических изменений. Определение температуры и относительной влажности воздуха на высоте 0,1 метр от уровня почвы были проведены 20 и 21 июля. Суточные определения температуры задернённой и паровой почвы – на глубине почвы 0,1, 0,2, 0,4 и 0,6 метра проведены 7–8 сентября 2020 года.

Контрольное измерение температуры почвы определялось три раза в сутки (9-00, 12-00, 15-00) в течение 6 месяцев вегетационного периода. В варианте 70 дней определение сопровождалось измерением температуры и влажности воздуха на поверхности почвы на высоте 0,1 метра аспирационным психрометром. В зимнее время температура почвы определялась эпизодически.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Данные, полученные в конкретных условиях окружающей среды и базового варианта содержания почвы в саду (чёрный пар), позволяют характеризовать температурный режим почвы как благополучный для роста корней яблони. Температура в слое почвы 0–0,6 м (к моменту максимального прогрева в 15 часов) в начале вегетационного периода, середина апреля – середина мая, складывалась в пределах 5,5–10,2 °С; в период с середины мая по третью декаду сентября – 10,9–18,2 °С.

В целом результаты исследований фрагментально отражают основные закономерности теплового баланса почвы. В условиях содержания почвы в различных агротехнических режимах (задернение и чёрный пар) проявились особенности в формировании теплообеспеченности каждого из них. Растительный покров почвы является экраном, который уменьшает приход солнечной энергии к поверхности почвы, но и затрудняет расход тепла на излучение. Эти процессы происходят постоянно в течение суток, оказывая большое влияние на тепловой режим почвы и определяя особенности температурного режима задернённой и паровой почвы.

Под влиянием погодных условий происходит постоянное изменение температуры почвы и воздуха на поверхности почвы. Характер динамики температурных изменений наиболее полно отражают данные разницы температур двух смежных дней, т.е. величина изменений температуры в течение суток, представленные на рис. 1. Среднесуточная температура 7 сентября 2020 года составляла 14,8 °С.

В результате обработки полученных данных установлено что наибольшая амплитуда колебаний температуры паровой почвы в суточном интервале происходит в поверхностном слое почвы (глубина 0,1 м). Резкое снижение температуры почвы вызывает солнечная ветре-

ная погода. Длительное воздействие таких условий вызывает снижение температуры почвы и на глубине 0,6 м. В пасмурную, дождливую, облачную погоду амплитуда колебаний суточных изменений температуры почвы приближается к показателям задерженной почвы. В задерженной почве динамика суточных изменений температуры почвы более сглажена по сравнению с суточными изменениями температуры в паровой почве. При смене солнечной погоды пасмурной дождливой погодой температура поверхностного слоя почвы снижается меньше, чем в таких же условиях в паровой почве.

Рис. 1. Среднесуточное изменение температуры задерженного и парового опытного участка сада

Особенности суточных изменений температуры почвы на разных глубинах связаны с распределением температуры почвы по вертикали в разное время суток. Метеорологические условия начала сентября характеризовались тёплой устойчивой погодой, когда температура воздуха к 15 часам достигала 16–23 °C, а ночью – опускалась до 10 °C. При таком тепловом режиме активизируется рост всасывающих корней.

Суточное изменение температуры почвы до глубины 0,4 метра – динамично. Все суточные изменения в этом слое почвы происходят в довольно узких температурных пределах; в паровой почве в интервале – 15,8–15,45 °C, в задерженной – 15,6–14,7 °C.

Сезонное и суточное изменение интенсивности солнечной радиации и выпадение осадков вызывают колебания температуры верхних слоев почвы. Задерженные участки почвы не подвержены резкому насыщению влагой с последующей быстрой отдачей (испарением). В ходе наблюдений выявлено, что при увеличении влажности почвы, увеличивается теплопроводность. При изменении влажности с 0,13 до 25–30 % приводит к росту теплопроводности в 5 раз.

ВЫВОДЫ. Показатели изменения температуры, влажности почвы и воздуха, напрямую влияют на жизненный цикл растений.

Получаемые данные будут использованы для разработки информационной системы мониторинга состояния биообъекта и получения общих данных об изменениях состояния сада и окружающей среды.

Анализ результатов работы позволил конкретизировать дальнейшее определение параметров значимого процесса в связи с деятельностью корней в условиях почвенной среды и влияния внешних условий сада.

Концепция «Умное сельское хозяйство», и в частности «Умный сад», основана на использовании различных инновационных решений. Элементы мониторинга термических условий почвы в биоценозе сада являются этапами перехода к цифровому сельскому хозяйству. Разработки в этом направлении позволят роботизировать сельскохозяйственную отрасль, повысить урожайность и снизить затраты производства.

Литература

1. **Кирюшин В.И.** Цифровое земледелие// Вестник российской сельскохозяйственной науки, № 5, 2018. – С. 4–9.
2. **Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Хорт Д.О.** Цифровые агротехнологии в системе «Умный сад»// Садоводство и виноградарство, 2018. – № 6. – С. 33–39.
3. **Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Хорт Д.О.** Информационно-аналитическое обеспечение машинных технологий производства посадочного материала плодовых и ягодных культур// Садоводство и виноградарство, 2018. – № 2. – С. 61–67.
4. **Хорт Д.О., Смирнов И. Г., Филиппов Р.А., Вершинин Р.В.** Обоснование параметров системы автоматического орошения «Умного сада»// Инновации в сельском хозяйстве, 2018. – № 3 (28). – С. 123–127.
5. **Рязанцев П.А., Кабонен А.В., Родионов А.И.** Определение архитектоники корневой системы деревьев методом георадиолокации// Вестник Томского государственного университета. Биология, 2020. – № 51. – С. 179–204.
6. **Кузин А.И., Трунов Ю.В., Соловьев А.В.** Оптимизация азотного питания яблони (*malus domestica borkh*) при фертигации и внесении бактериальных удобрений// Сельскохозяйственная биология, 2018. – Т. 53. – № 5. – С. 1013–1024.
7. **Михайлова О.А.** Особенности онтогенеза *Crambe Maritima L.* в условиях *Ex Situ*// Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия, 2015. – Т. 1 (67). – № 2. – С. 105–115.
8. **Усольцев В.А.** В подвалах биосферы: что мы знаем о первичной продукции корней деревьев// Экопотенциал, 2018. – № 4 (24). – С. 25–79.
9. **Рязанцев П.А.** Определение архитектоники корневой системы деревьев методом георадиолокации/ П.А. Рязанцев, А.В. Кабонен, А.И. Родионов// Вестник Томского государственного университета. Биология, 2020. – № 51. – С. 179–204.
10. **Перекопский А.Н., Зыков А.В., Егорова К.И.** Оценка сортов смородины черной на пригодность в комбайновой уборке// Аграрный научный журнал, 2021. – № 7. – С. 35–39.
11. **Ненько Н.И., Киселева Г.К., Шестакова В.В. [и др.]** Адаптационная устойчивость яблони к гидротермическим условиям зимнего и летнего периодов// Плодоводство и виноградарство юга России, 2017. – № 45(3). – С. 33–48. [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: <http://journal.kubansad.ru/pdf/15/05/17>. (Дата обращения 26.07.2021 г.).
12. **Васильев С.М., Штанько А.С., Удовидченко Я.Е.** Методика прогнозирования параметров корневых систем яблоневых растений// Аграрный научный журнал, 2020. – № 8. – С. 76–82.
13. **Краюшкина Н.С. Барыльник К.Г.** Рециркуляция элементов минерального питания в условиях постоянного задержания почвы в плодородном саду// Региональная экология, 2015. – №5 (40). – С. 39–42.
14. **Жучков Н.Г.** Агробиологические основы плодоводства. – Ленинград: Лениздат, 1962. – 119 с.