



Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<https://ecopri.ru>

№ 2 (36). Июнь, 2020

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

**Редакционная
коллегия**

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
В. Krasnov
А. Gugolek
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.

E-mail: ecopri@petsu.ru

<https://ecopri.ru>





УДК 630*581.5

ПЕРСПЕКТИВЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗЕЛЕННОГО ФОНДА ГОРОДА С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКОВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

РУМЯНЦЕВ
Денис Евгеньевич

доктор биол. наук, Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана (141005, МО, Мытищи, 1-я Институтская, д. 1, ЛТ-2), dendro15@list.ru

ФРОЛОВА
Вера Алексеевна

кандидат сельскохозяйственных наук, Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана (141005, МО, Мытищи, 1-я Институтская, д. 1, ЛТ-6), frolova.vera@gmail.com

Ключевые слова:

мониторинг
состояния
зеленых
насаждений,
интернет вещей,
дендрология,
дендрохронология

Рецензент:

И. В.
Воскобойникова

Получена:

22 декабря 2019
года

Подписана к

печати:

26 июня 2020 года

Аннотация. Потребность в автоматизации и интеллектуальном принятии решений становится все более важной при разработке и внедрении современных технологий во всех сферах жизни человеческого общества. Под термином "интернет вещей" понимается концепция вычислительной сети физических предметов ("вещей"), оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия и обмена данными друг с другом и внешней средой. Не является исключением и сфера ухода за древесными растениями в урбанизированной среде, ухода за озелененными территориями в городах. В мониторинге состояния древесных растений в урбанизированной среде могут иметь большое значение датчики хода роста по диаметру, фиксирующие камбиальную активность в течение вегетационного сезона. Дендроклиматическая информация содержит значительный потенциал для использования в городском зеленом хозяйстве и, в частности, в сочетании с методами визуальной оценки состояния насаждений, уже может использоваться в практике диагностики неблагоприятного водного режима почвы в городских насаждениях, а впоследствии стать надежным компонентом в системе интеллектуального контроля на базе концепции интернета вещей. Помимо древесных растений, важнейшим компонентом озеленения городских зеленых территорий являются газоны. «Правила создания, содержания и охраны зеленых насаждений города Москвы» подчеркивают необходимость поддержания должного уровня влажности почвы под газонами путем регулярных поливов, которые необходимо достаточно быстро назначать в зависимости от состояния погоды, не допуская иссушения почвы и поддерживая ее постоянную умеренную влажность.

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Потребность в автоматизации и интеллектуальном принятии решений

становится все более важной при разработке и внедрении современных технологий во всех сферах жизни человеческого общества. Под термином «интернет вещей» понимается концепция вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия и обмена данными друг с другом и внешней средой. IoT-технологии уже внедряются на практике в виде домашних смарт-устройств с поддержкой цифровых голосовых ассистентов, «умной» медицинской техники и промышленного оборудования. Есть опыт внедрения подобного рода информационных технологий в сельском хозяйстве (Тарханова, 2017). Не является исключением и сфера ухода за древесными растениями в урбанизированной среде, ухода за озелененными территориями в городах.

Целью исследования был анализ современных возможностей использования датчиков интернета вещей при мониторинге состояния и уходе за растениями в урбанизированной среде.

Материалы

Данная статья представляет собой попытку научного обзора, анализирующего технические и биологические аспекты мониторинга состояния зеленых насаждений (и иных объектов ландшафтной архитектуры, содержащих в своей структуре живые растения); попытку выделить направления, которые могут в первую очередь быть перспективными для исследований. Ее материалы базируются на данных литературных источников и данных производителей устройств, размещенных в сети Интернет.

Традиционные методы исследований

В мониторинге состояния древесных растений в урбанизированной среде могут иметь большое значение датчики хода роста по диаметру, фиксирующие камбиальную активность в течение вегетационного сезона. Исследования такого рода достаточно интенсивно ведутся со второй половины XX в. Отклонение камбиальной активности от нормальной кривой хода роста будет индикатором наступления неблагоприятных условий и необходимости визуального мониторинга состояния насаждений, назначения соответствующих мероприятий, предусмотренных «Правилами создания, содержания и охраны зеленых насаждений города Москвы» (Правила..., 2012): полив, дождевание или обмыв кроны, опрыскивание кроны препаратом «Эпин» и другие виды реакции, которые могут быть выявлены в ходе исследований.

Более чем полуторавековая история изучения камбия древесных растений свидетельствует, что периодичность работы камбия в умеренных широтах контролируется изменением внешних факторов, сопутствующих сезонам года: теплообеспеченности, количества и качества света и влаги.

Как отмечает Н. Е. Судаchkова (1981), нижним пределом температур, при которых начинается реактивация камбия ствольной части хвойных, следует считать +5 °С, а при +10 °С уже наблюдается активная пролиферация. Максимальные температуры в период вегетации в камбии хвойных достигают 47–55 °С. Высокие температуры могут быть причиной перехода камбия в состояние покоя. Аналогичное влияние на камбиальную деятельность оказывает недостаток влаги.

В умеренной зоне северного полушария фактором, лимитирующим камбиальную деятельность, в первую половину лета выступает температура, а во вторую – количество осадков. Камбиальная активность зависит и от продолжительности фотопериода. Длинный день считается атрибутом высокой камбиальной активности. Однако в период прекращения деятельности камбия в естественных условиях продолжительность дня в северном полушарии составляет 12–13 часов, т. е. столько же, сколько и в начале деятельности камбия. Вероятно, что продолжительность фотопериода лишь частично может регулировать камбиальную активность, тогда как температура и оводненность могут выступать в качестве триггеров, запускающих механизм камбиальных делений.

Таким образом, изменения камбиальной активности в большей степени являются индикатором экзогенных воздействий, чем эндогенных процессов, и в первую очередь связаны с изменениями влажности и температуры.

Кроме того, с помощью дендрометра фиксируется не только митотическая активность клеток латеральной меристемы, но и изменения толщины ствола, связанные с его насыщенностью влагой, что является косвенным отражением таких процессов, как интенсивность водного тока через ксилему, интенсивность фотосинтеза и транспирации (Ваганов, Терсков, 1977; Рубцов, 2016). Среди процессов, влияющих на суточные колебания диаметра ствола, фотосинтез имеет четкую суточную периодичность, в то время как транспирация может иметь высокочастотные колебания помимо закономерных суточных колебаний. Эти высокочастотные колебания возникают из-за изменений температуры воздуха, влажности, параметров состояния почвы. В рамках концепции интернета вещей дендрометр является наиболее перспективным видом сенсора, способным давать комплексную оценку состояния древесного растения, а главное – динамики этого состояния с разрешением в десятки минут.

Все существующие в настоящее время модификации дендрометров можно разделить на две категории (Clark et al., 2000):

1. Непосредственно физически контактирующие со стволом;
2. Получающие измерения удаленно.

Внутри этих групп существует разнообразие приборов, некоторые из них используются уже веками, а некоторые лишь годами. Существование разнообразия создает широкое поле для исследований в данном направлении.

Одной из отечественных разработок, сохранившихся со времен СССР, является дендрометр DE-1M. Его технические характеристики типичны для целой серии приборов, производство которых располагалось на территории бывших ЧССР и ГДР, поэтому имеет смысл остановиться на них подробнее. Выполненный на основе LVDT-преобразователя дендрометр DE-1M является высокоточным датчиком контроля микроизменений радиуса ствола дерева в микронном диапазоне. Динамика показаний датчика определяется двумя процессами: ростом и водным балансом. Скорость роста зависит от вида и возраста объекта и экологических условий, а суточная кривая отражает колебания влагосодержания тканей ствола. Для оценки состояния растения используют два параметра кривой: амплитуду полуденного сжатия и суточный прирост. Датчики этого типа позволяют оценивать эффекты полива и других воздействий, влияющих на водный баланс и рост растений. Дендрометр DE-1M содержит линейный трансформаторный датчик перемещений (LVDT), установленный на фиксирующем стержне с винтовой нарезкой. Так как стержень закрепляется внутри ствола, LVDT отражает изменение радиуса ствола. Электронный адаптер обеспечивает питание и обработку сигнала LVDT. Датчик соединяется стандартным кабелем длиной 1 м с электронным адаптером, размещенным во влагозащищенном корпусе.

Вариантом дендрометра, который может, на наш взгляд, иметь перспективы для внедрения в практику мониторинга состояния городских насаждений, является дендрометр DD-S, предназначенный для измерения хода роста по диаметру небольших побегов, который пригоден для установки на ветвях дерева (рис. 1). Согласно данным производителя, он помогает осуществлять контроль над водным режимом растения, неразрушающий контроль над водным состоянием растения, регулирование графика орошения, вести исследования влияния факторов окружающей среды на рост растения, получать точные данные о начале и конце вегетационного сезона. Технические характеристики прибора приведены в таблице.



Рис. 1. Дендрометр DD-S, установленный на стволе молодого дерева
Fig. 1. Dendrometer DDS mounted on the trunk of a young tree

Технические характеристики дендрометра DD-S

Диапазон измерений	< 11 мм
Точность измерения углов	± 1 %
Разрешение	± 2.6 мкм / μm (микрометр)
Коэффициент теплового расширения прибора	(весь диапазон измерения)
Рабочие условия	Температура воздуха -30...+40 °C Влажность воздуха 0-100 %

Для оценки возможностей индикации состояния дерева перспективно протестировать производимый в Чехии дендрометр DRL26C (рис. 2).



Рис. 2. Дендрометр DRL26C в рабочем положении
Fig. 2/ Dendrometer DRL26C in working position

Его использование может давать в реальном режиме времени информацию о наличии водного дефицита в организме растения и необходимости назначения мероприятий по поливу. Развитие среды интернета вещей значительно расширяет возможности использования дендрометров как инструмента индикации состояния дерева и разработки технологий ухода за деревьями в урбанизированной среде, но в

настоящее время такого рода технологии еще находятся в стадии становления.

Оригинальные методы исследований

Помимо древесных растений, важнейшим компонентом озеленения городских зеленых территорий являются газоны. «Правила создания, содержания и охраны зеленых насаждений города Москвы» (Правила..., 2012) подчеркивают необходимость поддержания должного уровня влажности почвы под газонами путем регулярных поливов, которые необходимо достаточно быстро назначать в зависимости от состояния погоды, не допуская иссушения почвы и поддерживая ее постоянную умеренную влажность. Примеры интеллектуального управления поливом полей, которые могут быть адаптированы для нужд содержания газонов, содержит работа О. Ю. Тархановой (Тарханова, 2017).

Автоматизированная система полива состоит из распределенной беспроводной сенсорной сети (БСС), узла-шлюза и удаленного сервера. Проект посвящен системе БСС, способной сократить использование воды.

БСС состоит из сенсоров, измеряющих влажность почвы и температуры, погруженных в землю для измерения показателей на разных глубинах. У узла-шлюза есть встроенные средства, поддерживающие связь ZigBee и GPRS. Он также может принимать интеллектуальные решения, такие как автоматическая активизация полива, зависящая от значений влажности почвы и температуры, превышающих определенное предопределенное пороговое значение. Удаленный сервер используется для хранения всей информации и отображения информации в графическом интерфейсе (GUI). Преимуществом этого приложения является его способность анализа данных в режиме реального времени. Компоненты системы определяются следующим образом:

- Беспроводные секторные блоки (WSU): каждый WSU, размещенный на поле, имеет четыре типа компонентов: специальные датчики, процессор, радиоприемник и аккумулятор. Для экономии энергии микроконтроллер часто остается в спящем режиме. Панель солнечных батарей подключается к каждому из WSU для подзарядки своих батарей.

- Беспроводной информационный блок (WIU). WIU действует как главный узел и сообщает информацию из WSU с использованием технологий ZigBee. Вся полученная информация о влажности и температуре почвы сравнивается с предопределенными пороговыми значениями, и далее насосы активируются в течение рассчитанного периода. Полученные данные и данные, связанные с поливом, сохраняются в приложенной твердотельной памяти и передаются на удаленный сервер через GPRS с использованием протокола передачи гипертекста (HTTP). Насосы управляются двумя электронными реле. По команде WFU может быть изменен график полива с удаленного сервера, а также WIU оснащен кнопкой для ручного полива. Рассматривается серия различных ирригационных действий (UA): ручной полив, предопределенный полив, автоматический полив. Рассматриваются четыре различных ирригационных действия: ручной полив; автоматический полив; автоматический полив по результатам данных о почвенной влажности по меньшей мере от одного сенсора, показания с которого снижаются ниже пороговых значений; автоматический полив по результатам данных о температуре почвы по меньшей мере от одного сенсора, показания с которого превышают пороговые значения.

- Удаленный веб-сервер: на сервере отображается определенный графический интерфейс, который визуализирует данные из каждого WSU, общего потребления воды и типа UA. Веб-приложение также позволяет пользователю прямо программировать запланированные схемы полива и изменять пороговые значения в зависимости от типа и сезона полива.

Полив деревьев и кустарников является более затратной статьей городского бюджета по сравнению с поливом газонов. Установление датчиков интернета вещей в пределах широко посещаемых категорий насаждений, нуждающихся в поливе (например, аллеиных посадок вдоль автомобильных дорог), сталкивается с рядом

проблем: большим объемом территорий, возможностью повреждения и кражи дорогостоящих сенсоров, установленных в почве, низким по сравнению с потребностями городского зеленого хозяйства периодом работы аккумуляторных батарей, необходимостью привлечения альпинистов для размещения и мены датчиков в кроне. Изложенное делает актуальным вопрос минимизации (на начальных этапах практического внедрения) площади территорий, на которых будут устанавливаться интеллектуальные системы полива и минимизации периода установки датчиков (выявление критически значимого для древесных растений периода, когда быстрая реакция на водный дефицит в организме растений является актуальной и экономически обоснованной).

Установление факта существования такого периода (необходимости интеллектуального полива), а также его четкое календарное позиционирование возможно на основе дендроклиматической диагностики (Румянцев, Черакшев, 2013). Немаловажно также, что избыточный полив в силу особенностей физиологии растений (необходимости кислорода для жизни корней дерева и всасывания ими влаги) также может вести к водному стрессу в кроне дерева. Поэтому прежде чем назначать полив, нужно быть действительно уверенным, что растение ослаблено именно вследствие водного стресса, иначе возможно достичь и обратного эффекта – ухудшения состояния насаждений.

В контексте обсуждаемой темы определенный интерес представляет система мониторинга заболеваний на листьях растений, разработанная для нужд сельского хозяйства (Mattihalli et al., 2018). Заболевания листьев у растений вызывают серьезные производственные и экономические потери, а также ведут к снижению как качества, так и количества урожая сельскохозяйственных культур. Выявление болезней листьев на ранних стадиях может основываться на анализе изображений листьев. В предлагаемой авторами системе изображения листьев фиксируются и сравниваются с изображениями из базы данных, которые предварительно были сохранены в памяти устройства. Это позволяет выявить заболевания листьев, а также установить их стадию. По результатам диагностики, если заболевание находится на начальной стадии, система отправляет сообщение пользователю. Пользователь может включить подачу лечящих препаратов через реле, отправив сообщение обратно в GSM. Если заболевание находится в заключительной стадии, то система не ждет сообщений от пользователя и автоматически включает подачу фунгицидов или инсектицидов. В дополнение к этому в системе используются датчики влажности и температуры почвы, чтобы избежать распространения болезней из-за изменения климатических условий. Благодаря этим датчикам система может поддерживать влажность почвы в заданных параметрах. Если значения влажности / температуры превышают предопределенный диапазон, то устройство включает подачу лекарственных препаратов либо воды для растений, при этом информация передается фермеру через GSM.

Использование концепции интернета вещей в мониторинге зеленого фонда мегаполиса может столкнуться с теми же проблемами, что и при использовании для нужд лесного хозяйства. Это низкая интенсивность сигнала и возможность полной потери связи с растениями (Bayne et al., 2017).

Учитывая, что основной целью выращивания растений в урбанизированной среде является выполнение ими разнообразных экосистемных функций (Румянцев, Фролова, 2019), таких как снижение загрязнения воздушного бассейна, регулирование микроклимата, защита от шума, депонирование углерода и др., объектом мониторинга с помощью интернета вещей может быть не только состояние древесных растений, но и состояние городской среды, преобразуемой ими, с последующим принятием решений об изменении структуры зеленого фонда.

Обсуждение

Древесные растения в урбанизированной среде по многим параметрам являются трудным объектом исследования благодаря своим размерам и поздним срокам приобретения ими полного набора экосистемных функций. Кроме того, как отмечал Г.

П. Морозов (1978), «онтогенез каждого дерева осуществляется в отдельной экологической нише... Основным свойством экологической ниши отдельного дерева является крайняя индивидуальность ее, которая в первую очередь проявляется в неповторимой изменчивости экологической ниши... По мере роста и развития дерева меняется и его экологическая ниша».

Указанные соображения, касающиеся деревьев в целом, еще более усиливаются в отношении деревьев (и иных растений), находящихся в урбанизированной среде. Условия произрастания зеленых насаждений в городах резко отличаются от природных условий роста. В первую очередь это связано с техногенным загрязнением атмосферы и почвы в результате деятельности автотранспорта и промышленности. Однако действуют и иные факторы, такие как трансформация климата и микроклимата; трансформация водного и воздушного режима почвы; световое и тепловое загрязнение; иная структура биотических связей в урбоэкосистеме по сравнению с естественной экосистемой; эволюционно новые варианты межвидовой конкуренции; высокая частота механических повреждений поверхности ствола; высокая частота повреждения корневой системы в результате прокладки канализации, водопровода, газопровода и иных коммуникаций; трансформация структуры почвы в результате перемешивания горизонтов; уплотнение почвы; специфичный режим ухода за деревьями со стороны человека, который может включать: обрезку, полив, опрыскивание, внесение удобрений и иные меры ухода. Выделенные факторы не являются полностью независимыми, но и не синонимичны.

С помощью существующих методов не всегда удавалось оценить реакцию древесных растений на антропогенное воздействие и, наоборот, оценить их вклад в трансформацию городской среды. Новые современные технические возможности делают эти проблемы потенциально разрешимыми.

Заключение или выводы

Подводя итог, следует заключить, что использование датчиков интернета вещей, установленных на модельных участках городских насаждений, может в конечном итоге значительным образом удешевить уход за зеленым фондом крупного мегаполиса, позволит избежать субъективности в назначении мероприятий по уходу. На первом этапе внедрения концепции интернета вещей целесообразен мониторинг потребности растений зеленого фонда в поливе. Безусловно, существуют возможности для развития концепции, например, объектом мониторинга с помощью датчиков интернета вещей может быть не только состояние древесных растений, но и качество оказываемых ими экосистемных услуг.

Библиография

Ваганов В. А., Терсков И. А. Анализ роста дерева по структуре годичных колец . Новосибирск: Наука, 1977. 94 с.

Морозов Г. П. Биологические особенности древесных пород с генетико-эволюционной точки зрения // Научные основы селекции хвойных древесных пород. М.: Наука, 1978. С. 27–44.

Правила создания, содержания и охраны зеленых насаждений города Москвы . М.: Департамент природопользования и охраны окружающей среды, 2012. 138 с.

Судачкова Н. Е. Камбиальная активность хвойных и ее регуляция // Научные исследования лесов будущего. М.: Лесная промышленность, 1981. С. 165–172.

Тарханова О. Ю. Применение беспроводных сенсорных сетей в прецизионном сельском хозяйстве // Проблемы информатики. 2017. № 4 (37). С. 1–31.

Рубцов И. Н. Результаты полевых испытаний разработанного автоматического кольцевого дендрометра с цифровым измерительным элементом // Известия Тульского государственного университета. Сер.: Технические науки. 2016. № 3. С. 90–96.

Румянцев Д. Е., Фролова В. А. Методологические подходы к изучению разнообразия экосистемных услуг зеленых насаждений в мегаполисе //

Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 10 (88). Ч. 2. С. 28–34.

Румянцев Д. Е., Черакшев А. В. Дендроклиматическая диагностика состояния сосен секции Strobi в условиях дендрологического сада МГУЛ // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2013. № 7 (99). С. 121–127.

Bayne K., Damessia S., Evans M. The internet of things – wireless sensor networks and their application to forestry // New Zealand Journal of Forestry. 2017. Vol. 6 (14). P. 37–41.

Clark N. A., Wynne H., Schmoldt D. L. A review of past research on dendrometers // Forest Science. 2000. Vol. 46 (4). P. 570–576.

Mattihalli Ch., Gedefaye E., Endalamaw F., Necho A. Plant leaf diseases detection and auto-medicine // Internet of Things. 2018. Vol. 1–2. P. 67–73.

PROSPECTS FOR MONITORING THE STATE OF THE CITY GREEN FUND USING SENSORS OF INTERNET OF THINGS

**RUMYANTSEV
Denis EvgenYevich**

*D.Sc., Mytishi filial of Moscow state technology university
(141005, Moscow region, Mytishi, 1st Institutskaya, 1, LT2),
dendro15@list.ru*

**FROLOVA
Vera Alekseevna**

*Ph.D., Mytishi filial of Moscow state technology university
(141005, Moscow region, Mitishi, 1st Institutskaya, 1, LT2),
frolova.vera@gmail.com*

Keywords:
monitoring of the
state of green
spaces, internet of
things,
dendrology,
dendrochronology

Reviewer:
I. V.
Voskoboynikova

Received on:
22 December
2019

Published on:
26 June 2020

Summary: The need for automation and intelligent decision-making is becoming increasingly important in the development and implementation of modern technologies in all spheres of human society. The term "Internet of things" refers to the concept of a computer network of physical objects ("things") equipped with built-in technologies to interact and exchange data with each other and the external environment. The scope of care for woody plants in an urbanized environment and the care of green areas in cities is no exception. In monitoring the state of woody plants in an urbanized environment, diameter growth sensors that record cambial activity during the growing season can be of great importance. Dendroclimatic information contains significant potential for use in urban green economy. In particular, in combination with methods for visual assessment of the state of plantations, it can already be used in the practice of diagnosing an unfavorable soil water regime in urban plantations. In the future, it can become a reliable component in the system of intellectual control based on the concept of the Internet of things. In addition to woody plants, the most important component of landscaping urban green areas is lawns. "Rules of creation, maintenance and protection of green spaces of the city of Moscow" emphasize the need to maintain a proper level of soil moisture under lawns by regular watering, which must be quickly appointed depending on the weather, preventing soil from drying out and maintaining its constant moderate humidity.