

ТЕПЛИЦЫ РОССИИ

журнал для специалистов защищенного грунта

№1 /2009



Фитомониторинг в практическом растениеводстве

Павел Шишкин, генеральный директор ООО «КОМПАС». к.с.-х.н.

Юрий Тон, генеральный директор компании Bio Instruments S.R.L. (Молдова), д.ф.н.

- Юрий, мы знакомы с Вами достаточно давно и не раз встречались на международных выставках и научных конференциях. Я знаю Вас как одного из основоположников методологии фитомониторинга и считаю, что возглавляемая Вами компания производит, на мой взгляд, лучшие в мире приборы для наблюдения за жизнедеятельностью растений. Фитомониторинг начал активно распространяться в промышленном растениеводстве около 15 лет назад. Сегодня разнообразнейшие датчики и приборы можно встретить в сотнях тепличных хозяйств, а также в садах и виноградниках по всему миру. К сожалению, в России мало известно об этих достижениях. В 90-е годы нашим фермерам было не до тонких технологий. Сейчас, когда происходит возрождение российского сельского хозяйства, просто необходимо знакомить наших растениеводов с передовыми технологиями, прочно завоевавшими себе место в сельскохозяйственном производстве. Думаю, что читателям журнала будет интересно узнать о фитомониторинге именно от Вас. Так расскажите нам, что такое фитомониторинг? Откуда пришла эта идея?

- Можно с уверенностью сказать, что все приборы для изучения растений создавались в свое время исключительно для научных исследований. В начале прошлого века ученый-растениевод оперировал в основном линейкой, весами и микроскопом. Спустя полвека благодаря достижениями физики и приборостроения появились мощные методы биохимического анализа и электронная микроскопия, что подтолкнуло интерес ученых к исследованию глубин растительного организма. Десятилетиями ученые получали все более ценную информацию о функционировании отдельных тканей, клеток и оргanelл, раскрывали тайны жизнедеятельности растений на молекулярном уровне.

Где-то на рубеже 80-х годов прошлого века в первую очередь благодаря интересу к экологическим аспектам физиологии растений вновь возник интерес к изучению целых растений на организменном уровне. Не в последнюю очередь вследствие противоречивых результатов многих экспериментов: целое растение реагировало на внешние факторы совсем не так, как его отдельные отделенные органы и клетки! Можно указать на несколько исследовательских групп, ставших пионерами в развитии приборной и методической базы фитомониторинга в бывшем СССР. Они работали в Агрофизическом институте ВАСХНИЛ, КБ «Биоприбор» АН Молдавии, Институте растениеводства Литвы, Карельском филиале АН СССР, Институте физиологии растений АН СССР, Тартуском филиале АН ЭССР. Сам термин «фитомониторинг» появился чуть позднее, когда общими усилиями этих групп были сформулированы основные цели и задачи фитомониторинга в изучении растений.

Фитомониторинг как методология был нацелен на возможность наблюдения за физиологическими функци-

ями «целого» неповрежденного растения в течение продолжительного времени, достаточного для наблюдения за реакциями растения на изменение факторов окружающей среды. При этом воздействие на сами функции растения со стороны измерительного оборудования должно быть сведено к минимуму. Надо сказать, что разработка такого оборудования была непростым делом и проводилась на стыке физических методов исследования, измерительной техники, электроники и физиологии растений. В последние две декады прошлого века появилось немало зарубежных компаний, предлагающих датчики и приборы для изучения целых растений: Phyttech (Израиль), Growlab (Голландия), Dynamax (США), Agricultural Electronics Corporation (США), Cоpa-Technologie (Франция) и некоторые другие.

Несмотря на успешное продвижение методов фитомониторинга в научных исследованиях, применение фитомониторинга в практическом растениеводстве рассматривалось как весьма отдаленная перспектива. По моему мнению, препятствием на пути к практике стала весьма популярная в 80-90-е годы концепция «говорящего растения» (speaking plant). Идея о том, что растение должно «само себя поливать» или «включать себе свет в нужное время» была сама по себе чрезвычайно привлекательной, но одновременно и почти недостижимой. Максимализация ожиданий и одновременная популяризация этой идеи среди растениеводов создали проблему: все требовали систему автоматического управления на основе датчиков для растений. Есть множество различных причин, делающих такую постановку вопроса нереализуемой, по крайней мере сейчас и в обозримом будущем. С технической точки зрения надежность получения управляющей информации в цепи растение-датчик недостаточно высока для того, чтобы подвергнуть весь посев риску ошибочной команды управления. Слабым звеном является само управляющее (так называемое пилотное) растение (или группа растений), которое, по сути, является первичным датчиком. Растение может потерять свою репрезентативность вследствие болезни или повреждения, вероятность чего достаточно высока, особенно по сравнению с риском ущерба от неправильного управления всем посевом. С методической же точки зрения в настоящее время невозможно рекомендовать ни одного измеряемого параметра растения, которое можно было бы использовать в качестве входного сигнала для автоматической системы управления. Даже интенсивность фотосинтеза не может рассматриваться как универсальный оптимизационный фактор, хотя можно встретить немало статей, описывающих такого рода эксперименты. Я уже не говорю о технической сложности и высокой стоимости оборудования для мониторинга фотосинтеза.

Так или иначе, но потребовалось почти десятилетие для продвижения иных концепций применения фитомониторинга в практическом растениеводстве. Большую роль в этом сыграла активная деятельность израильской

компании Phyttech и голландской Phyttools.

- А что это за концепции? Кажется, мы переходим к главному вопросу – для чего нужен фитомониторинг в растениеводстве?

- Совершенно верно. Без ясного понимания того, как фермеру можно извлечь значимую практическую пользу из фитомониторинговой информации, применение фитомониторинга будет простым удовлетворением любопытства. Боюсь, правда, что точная формулировка ответа будет довольно скучной. Однако я постараюсь оживить ее интересными примерами из истории фитомониторинга. Начнем с определений. С точки зрения теории систем управления процессами фитомониторинг – это информационный канал системы управления, и в этой роли он выполняет три базовые функции: а) регулярно предоставляет тому, кто принимает решение (это может быть как человек, так и компьютер), стандартную информацию для принятия решений на управление; б) по мере необходимости предоставляет информацию о нежелательном развитии процесса («сигнал тревоги»); в) используется как система поддержки принятия решений методом «проб и ошибок». В концепции «говорящего растения», о которой мы говорили чуть ранее, имелась в виду как раз функция «а» – прямое управление от растения. В то же время практическое применение фитомониторинга для выявления стрессовых состояний растения («б»), и особенно для экспериментальной оптимизации режимов выращивания («в»), оказалось вполне реализуемым и, более того, открыло новые уникальные возможности повышения эффективности управления.

А теперь – обещанные исторические примеры.

Еще на заре фитомониторинга мне довелось участвовать в пробном мониторинге томатов, выращивавшихся на гравии в одной киевской теплице. Полив велся по влажности гравия, которая определялась, прямо скажем, на глазок. Так вот, на этот «глазок» и на ощупь гравий на глубине 10-15 см начинала подсыхать днем часа через три-четыре после полива. Соответственно и велся полив: каждые три часа. Одним из измеряемых нами параметров был диаметр стебля. Датчик, измеряющий этот параметр, способен определять микронные изменения диаметра, которые отражают колебания внутреннего содержания воды в растении. Амплитуда сжатия стебля в дневное время отражает степень напряженности водного режима растения. Так вот, оказалось, что по показаниям датчика диаметра стебля, растение испытывает нарастающий водный дефицит уже через минут 20 после полива. Гравий при этом выглядел вполне мокрым. Дело, по всей видимости, было в низкой влагопроводности гравия. Корневые волоски быстро впитывали окружающие их капли, а влага, с которой они не соприкасались, была для них недоступна. Сметливые тепличники быстро перестроились на получасовой интервал полива и оформили это как рацпредложение. Эффект был поразительным! Так что и премии тепличники получили немалые. В этом примере мы видим, что фитомониторинг позволил выявить неблагоприятное развитие событий, вызванное неоптимальным режимом управления. Другими методами выявить данную проблему было бы вряд ли возможно.

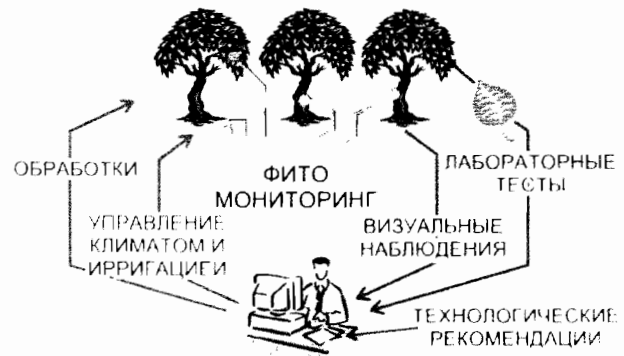


Рис 1. Растениевод управляет ирригацией, подачей удобрений и осуществляет другие операции с посевом, используя три основных источника информации. Это – визуальные наблюдения, результаты лабораторных тестов (главным образом для контроля минерального питания и предупреждения болезней растений) и технологические рекомендации. Фитомонитор в данном случае играет роль дополнительного информационного канала, отличающегося необычайной чувствительностью и, тем самым обеспечивающего быстрый и оперативный контроль состояния растений.

Другой исторический пример является еще более впечатляющим. В середине 90-х годов голландская технология выращивания растений на минеральной (каменной) вате начала применяться и в Израиле. Тогда к нам и обратился один из ведущих израильских розоводов с предложением выяснить причину угнетенного состояния его роз в теплице, где он впервые высадил растения на голландской минеральной вате. Нам хватило одних суток фитомониторинга, чтобы обнаружить по показаниям датчика сокодвижения, что в условиях сухой и жаркой израильской ночи растения продолжают транспирировать! Причем интенсивность ночной транспирации составляла примерно 20% по отношению к дневному уровню. Кроме того, по показаниям датчика диаметра стебля, выяснилось, что при этом запас воды в небольшом блоке минеральной ваты заканчивался к полуночи, и до самого первого утреннего полива растения часов 5-6 сидели на сухом пайке. Немудрено, что розы были чахлые, несмотря на обильный и частый полив в дневное время. Решение, казалось, лежало на поверхности – надо поливать ночью и норму полива подобрать по показаниям датчика диаметра стебля, чтобы не допускать его сжатия ночью. Что вы думаете? Наш фермер категорически отверг предложение ввести ночные поливы и вообще высмеял нас. Во-первых, сказал он, в Голландии никто не поливает ночью. Во-вторых, он указал нам на то, что, мол, всем известно, что транспирации ночью не бывает. И в-третьих, кто мы такие, чтобы учить лучших голландских и израильских фермеров, как надо поливать? Мы потратили два дня, пытаюсь убедить его, что израильский климат существенно отличается от голландского и что листья могут испарять влагу через кутикулу даже

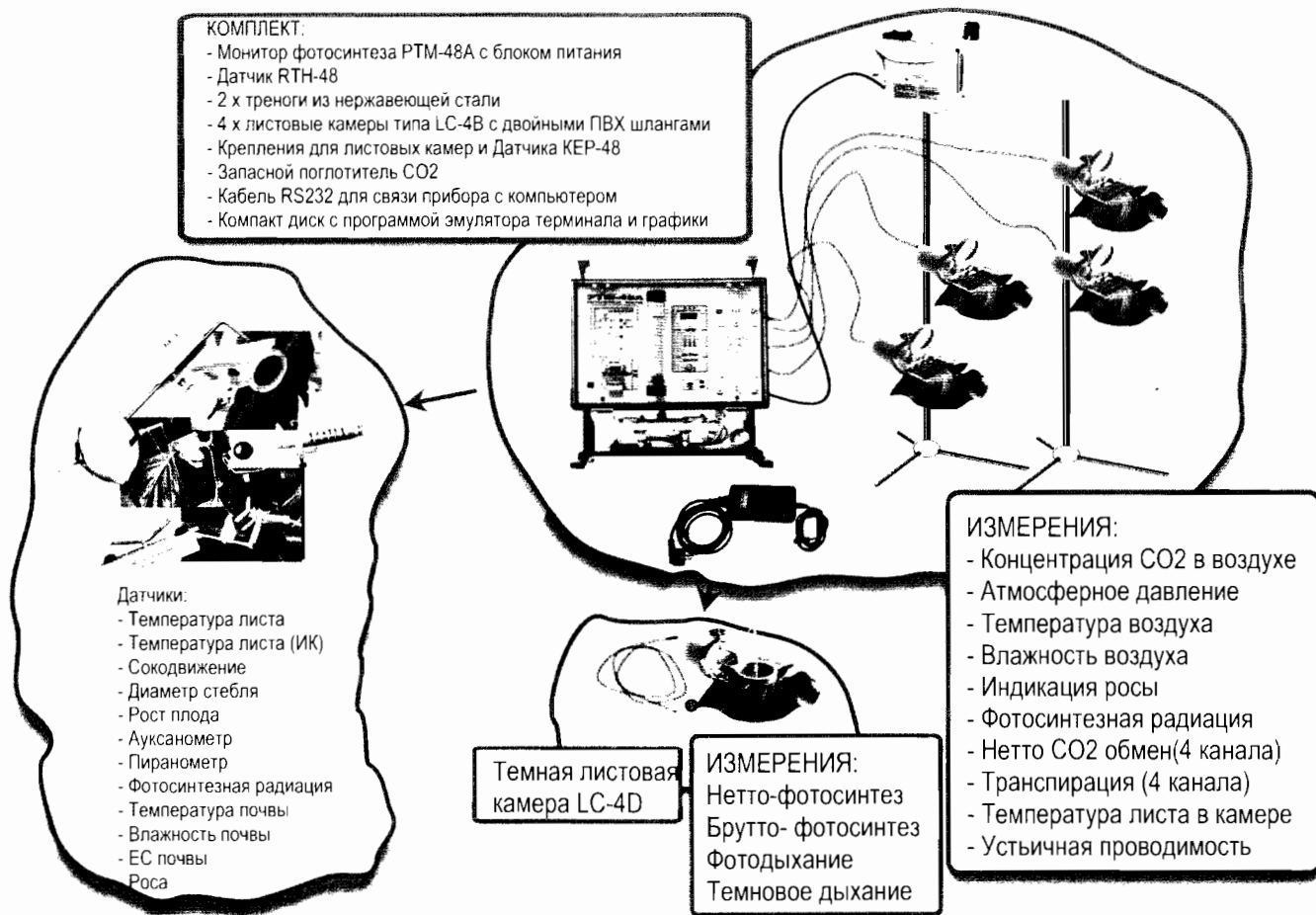


Рис.2. Структура и возможности Монитора фотосинтеза РТМ-48А

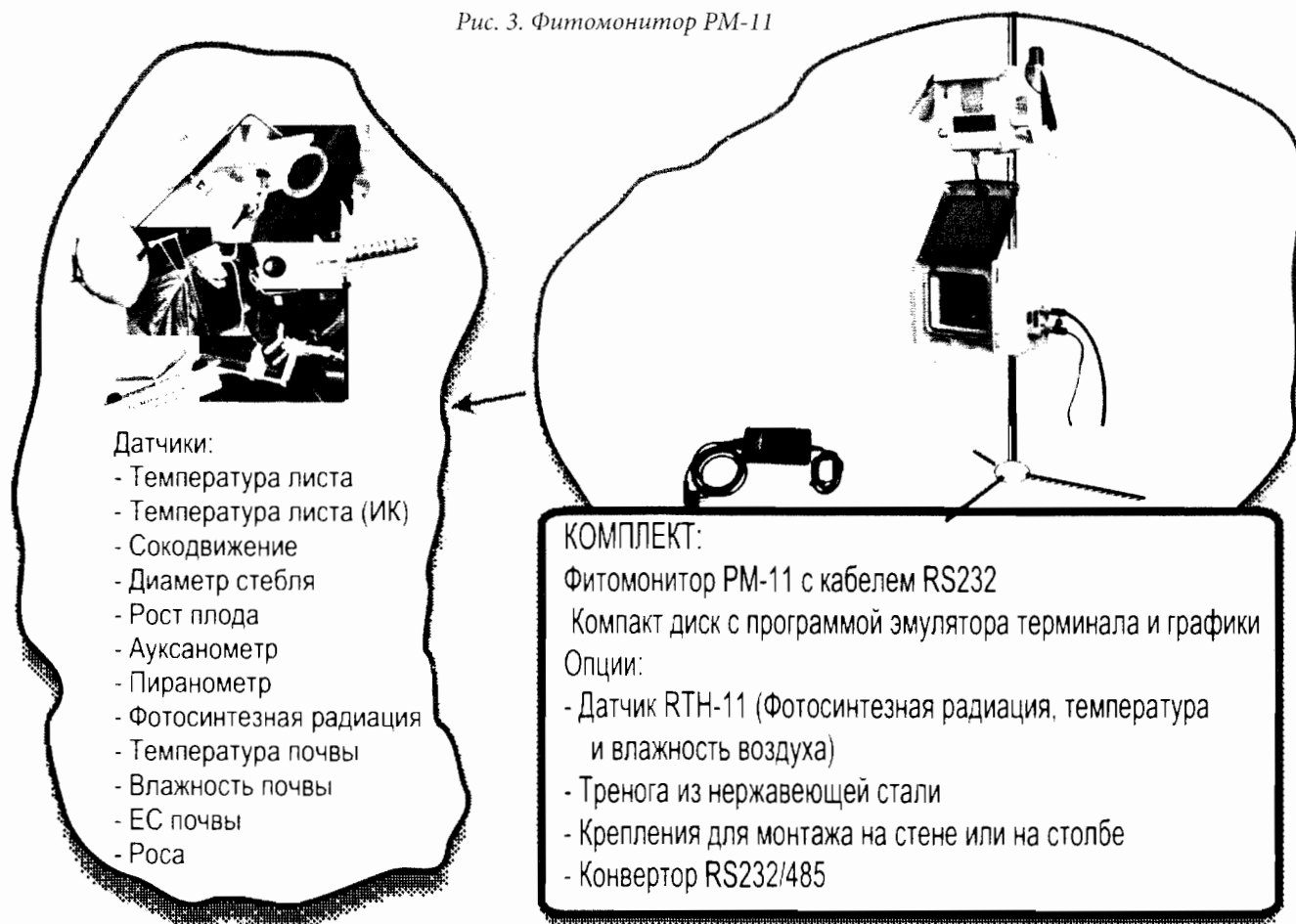
при закрытых устьицах, и что мы просто просим его попробовать - ведь риска нет никакого. В общем, он в конце концов включил ночной полив, и уже на следующее утро датчик показал стабилизацию диаметра стебля, что было явным признаком резкого улучшения водного режима растений. Мы его поздравили, но оказалось, что рано. Он нам не поверил и показал на свои розы, которые, конечно, не успели нарастить листья и побеги за одну ночь. Так он нам не верил еще дней пять, пока посев не изменился до неузнаваемости - появилось много новых зеленых листьев и побегов. Но наш упрямый фермер продолжал твердить, что это просто погода стала помягче, а ночные поливы тут ни причем. Исчерпав все аргументы, мы предложили ему прекратить ночные поливы и начали сворачивать свою аппаратуру. Разумеется, отказаться от ночного полива он не смог. С тех пор и он сам, и все другие израильские розоводы поливают розы ночью. В данном случае сработала система «проб и ошибок». Был изменен режим полива, и по показаниям фитомониторных датчиков было выявлено улучшение состояния растений за несколько дней до того, как это улучшение стало видно невооруженным глазом.

- Очень любопытные примеры. А как выглядит современный практический фитомониторинг? Какие решения мы можем предложить сегодня для российских растениеводов?

- Есть два основных способа использования фитомониторинга, для которых мы рекомендуем несколько различное оборудование и методики.

Первый - это оптимизация управляемых технологических режимов, таких как полив, подсветка, температура воздуха или концентрация углекислого газа. Оптимизация обычно проводится как короткий эксперимент по вышеупомянутой схеме «проб и ошибок». Обычная продолжительность эксперимента - от двух дней до недели. В ходе таких экспериментов вначале выявляется фактор, лимитирующий продуктивность, а затем определяется оптимальное значение этого фактора. Регистрируемый отклик растения является критерием поиска. Поскольку заранее неизвестно, какой именно фактор ограничивает продуктивность, мы рекомендуем наблюдать за всеми измеряемыми характеристиками растения и окружающей среды. Наилучшим прибором для такого рода экспериментов является Монитор фотосинтеза РТМ-48А. Это небольшой переносной прибор, в состав которого входят четыре листовые камеры, с помощью которых ведется мониторинг транспирации и CO₂-обмена листьев растения (фотосинтез днем и дыхание ночью). Листовые камеры могут быть снабжены датчиком температуры листа, что позволяет одновременно определять и устьичное сопротивление. Прибор также измеряет концентрацию углекислого газа в воздухе вблизи каждой листовой камеры, облученность в области фотосинтетически активной радиации (ФАР), температуру и влажность воздуха. Кроме того, к прибору могут быть подключены датчики сокодвижения, диаметра стебля, роста плодов, влажности субстрата, температуры субстрата и ЕС порового раствора (концентрации солей в

Рис. 3. Фитомонитор РМ-11



почвенном растворе). Кроме того, мы закончили разработку новой листовой камеры, которая позволяет определять такие компоненты CO_2 -обмена листьев, как фотодыхание, темновое дыхание, нетто- и брутто-фотосинтез. Имея в распоряжении всю вышеупомянутую информацию, можно по довольно простым методикам выявить зависимость параметров продуктивности от всех управляемых факторов среды, а затем подобрать оптимальные режимы по критерию продуктивности. Хотя прибор достаточно прост в эксплуатации, он все же требует определенного внимания со стороны постановщика эксперимента. Кроме того, прибор относительно недешевый. Поэтому мы рассматриваем Монитор фотосинтеза РТМ-48А как инструмент агронома или консультанта. По нашему мнению, по крайней мере один такой прибор должен быть в каждом крупном тепличном хозяйстве.

Второй способ – это постоянный мониторинг характеристик растения и среды, т.е. когда прибор устанавливается в посеве на весь вегетационный период или на значительную его часть. Для этой цели мы предлагаем миниатюрный и недорогой Фитомонитор РМ-11. Это, по сути, электронный блок, к которому подключаются датчики и который хранит и передает накопленные данные в компьютер фермера. Передача данных может происходить по кабелю, по радиоканалу или через Интернет, в зависимости от условий и желания фермера. Как правило, мы рекомендуем набор датчиков исходя из особенностей каждой культуры и имеющегося в распоряже-

нии фермера управляющего оборудования. Например, минимальный набор для мониторинга водного режима включает два-три датчика диаметра стебля и базовые датчики среды: освещенность, температура и влажность воздуха, влажность почвы. Расширить возможности системы можно, добавив датчики сокодвижения, роста плода, температуры листьев и росы. Фитомонитор РМ-11 позволяет, во-первых, выявить неблагоприятное состояние растения на ранних стадиях его развития, а также при необходимости оптимизировать полив и другие факторы по критериям водного режима и роста плодов. Все регистрируемые величины выводятся на экран компьютера в табличном и графическом виде.

- Спасибо, Юрий. К сказанному Вами хочу добавить, что ООО «КОМПАС» не только поставляет и обслуживает производимое Вами фитомониторное оборудование, но и осуществляет поддержку пользователей путем консультаций по вопросам подбора необходимого оборудования, методик проведения оптимизационных экспериментов и интерпретации полученных результатов. Для тех, кто заинтересовался технологией фитомониторинга, я, с Вашего позволения, добавлю, что мы намерены опубликовать в ближайшее время еще ряд статей, в которых более подробно раскроем секреты и возможности фитомониторинга на конкретных культурах, выращиваемых в теплицах. Отдельно мы расскажем и о фитомониторинге поливных садов и виноградников.