

УДК 504.064.3:574

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФИТОМОНИТОРИНГ: ИСТОРИЧЕСКИЙ  
ЭКСКУРС, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ****Юрий Владимирович Плугатарь, Олег Антонович Ильницкий,  
Светлана Павловна Корсакова, Андрей Владимирович Паштецкий**Никитский ботанический сад – Национальный научный центр  
298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт. Никита  
ilnitsky.oleg@rambler.ru

Проведен обзор истории возникновения и развития нового направления в биологической науке – фитомониторинга. Использование методов фитомониторинга позволяет получать непрерывную и синхронную информацию о различных процессах жизнедеятельности растения. Очень важным направлением является исследование влияния природных и антропогенных неблагоприятных факторов на растительный покров. Использование методов фитомониторинга позволяет также определить степень устойчивости и адаптации растений к различным стрессам и конкурентной способности в условиях изменения климата и загрязнения окружающей среды. Конечная цель этих исследований заключается в том, чтобы дать прогноз экологического состояния конкретного региона и сформулировать рекомендации для решения экологических проблем.

**Ключевые слова:** *фитомониторинг; экспресс-метод; прогноз экологического состояния.*

В связи изменениями климата и усиливающимся антропогенным воздействием человеческой деятельности на биосферу особо остро встает вопрос о последствиях этих изменений для растительного покрова Земли. Для изучения и прогнозирования этих изменений необходимо выяснить, каковы стратегии и пути адаптации древесных растений к наблюдаемым изменениям окружающей среды. В 50-е годы прошлого столетия появилось новое направление в биологической науке – «фитомониторинг», хотя сам термин был предложен в 1987 г. научными сотрудниками лаборатории биокибернетики растений Ленинградского АФИ [9, 10]. На начальном этапе развития это направление было провозглашено как «физиологический мониторинг» [10]. При помощи разработанных разнообразных миниатюрных датчиков, позволяющих получать информацию о физиологическом состоянии растений без их повреждения, был проведен цикл исследований, посвященный изучению возможностей автоматической регистрации различных физиологических процессов, протекающих в интактном растении. Целью исследований являлось создание на этой основе автоматических систем управления жизнедеятельностью растений [14].

Под термином «физиологическое состояние» подразумевается использование в фитофизиологических и экологических исследованиях совокупности неповреждающих методов, сохраняющих целостность растительного организма, и специальных информационно-измерительных систем, которые позволяют получать непрерывную и синхронную информацию о различных процессах жизнедеятельности растения. Этот термин также подразумевает получение информации об уровне и направлении изменения контролируемых функций (параметров) растения, которыми могут быть: интенсивность фотосинтеза, рост различных органов растения, CO<sub>2</sub> газообмен, водный режим, минеральное питание, продуктивность и т.п. Физиологическое состояние отражает степень оптимальности внешних условий потребностям растения.

Невозможно подвергнуть мониторингу все физиологические процессы, протекающие в растении. При построении информационных технологий возникает необходимость определения некоторого минимального набора наиболее информативных параметров, которые могут достаточно полно характеризовать функциональное состояние растений, выступать в качестве маркеров их функционального статуса. Набор таких базовых физиологических показателей, поддающихся непрерывной автоматической регистрации, был предложен в 1987 [10]. Со временем выяснилось так же, что наиболее информативными и репрезентативными оказались не абсолютные значения регистрируемых параметров (хотя они, разумеется, так же учитываются при интерпретации данных), а формы кривых, образованных, как правило, в результате их суточной регистрации, а так же многосуточные тренды изменений параметров.

В настоящее время фитомониторинг как новая методология получил всеобщее признание. Курсы по фитомониторингу читаются во многих известных университетах (Львовский, Санкт-Петербургский, Уральский и др.). Термин стал общепринятым в научных кругах не только СНГ, но и Австралии, Голландии, Израиля, США, Чили и др. стран. Вместе с тем, приобретя популярность, данный термин утратил свой первоначальный смысл. Так, практически любое наблюдение за растением (вплоть до созерцания) с применением любой методики оценки его состояния стали тоже относить к фитомониторингу.

Однако, употребляя термин «фитомониторинг», необходимо подразумевать его изначальное (классическое) появление в научной терминологии.

Дальнейшее развитие методологии и, особенно, приборной базы фитомониторинга кардинально расширило круг задач, решаемых в различных направлениях науки. Особенно быстрому развитию этого направления способствовало развитие вычислительной техники [13].

Методология и приборная база фитомониторинга начали применяться специалистами других областей знаний: в экологии, селекции, сортоиспытании, интродукции, а также технологами по выращиванию растений в условиях закрытого и открытого грунта [3, 5, 11, 12, 15, 16].

В экофизиологических исследованиях до настоящего времени нет разработанной теоретической и материальной основы для сбора и анализа информации о физиологическом состоянии растительности. Проводятся периодические обследования растений на выбранных территориях с тем, чтобы можно было оценить эволюцию состояния растений и составить прогнозы его развития с учетом изменения состояния окружающей среды в данном регионе. С использованием методологии и приборной базы фитомониторинга предполагается выявить особенности реакции параметров, характеризующих различные процессы жизнедеятельности растения.

К ним можно отнести: радиальный прирост ствола древесных растений (интегральный показатель), а также методы, прямо или косвенно предназначенные для изучения различных процессов жизнедеятельности растения. Основными являются методы:

- измерения линейных и относительных скоростей ксилемных потоков в разных органах растений (стебель, ствол, корень, ветви, побеги и т.п.);
- изучения изменения тургора этих органов под воздействием внешней среды (линейных размеров);
- изучения роста разных органов растений и нарастания биомассы;
- изучения водного потенциала разных органов растений;
- изучения дефицита влажности ксилемы древесных растений;

- изучения концентрации основных элементов минерального питания (P, N, K) в пасоке ксилемы;
- изучения CO<sub>2</sub> – газообмена (интенсивности фотосинтеза и дыхания);
- измерения оптических свойств листьев растений в разных диапазонах излучения с целью изучения особенностей их водного режима и засухоустойчивости;
- косвенные методы изучения репродуктивной сферы растения (получение полноценных жизнестойких семян и т.п.).

Исследования базируются на многопараметрическом подходе, основанном на получении и анализе уникального набора эколого-физиологических характеристик древесных растений, произрастающих в зонах с различной антропогенной нагрузкой.

Экологический фитомониторинг дает возможность объективной оценки антропогенных воздействий на природные растительные комплексы, выявления лимитирующих факторов, отрицательно действующих на них и составление прогноза возможных последствий, а также, в перспективе, накопление систематизированной базы данных по функциям растений.

Практический выход такой базы данных по функциям растений с соответствующими количественными характеристиками состоит в том, что в дальнейшем можно будет давать прогноз экологического состояния конкретного региона.

Функции приборной базы фитомониторинга – это непрерывный мониторинг как характеристик растения, так и параметров среды, системный анализ данных и их изменений во времени.

Техническая база информационно-измерительного фитомониторного комплекса должна включать:

- чувствительные датчики для сбора информации с растения и окружающей среды;
- электронный блок обработки сигналов с датчиков для подачи их на компьютер;
- специальное программное обеспечение.

Экологические исследования позволяют выявить особенности реакции различных процессов жизнедеятельности древесных растений на изменяющиеся условия среды и определить наиболее чувствительные к тем или иным внешним воздействиям, которые в дальнейшем могут быть использованы для целей индикации и мониторинга.

В своих исследованиях особое внимание мы уделяем Крыму и особенно его Южному берегу (ЮБК), г. Ялте и Никитскому ботаническому саду.

Нами проведен анализ особенностей водного режима и засухоустойчивости ряда видов кустарников арборетума Никитского ботанического сада, произрастающих в условиях микроклимата нижнего яруса. Для этих целей использованы экспресс-методы, позволяющие получить экофизиологические характеристики исследуемых видов. В результате проведенных исследований уточнены известные из научной литературы особенности их водного режима и засухоустойчивости. По этим параметрам дифференцирован ряд относительной засухоустойчивости изучаемых видов.

Построены динамические модели зависимости между экофизиологическими характеристиками исследуемых видов растений и основными факторами внешней среды.

Разница между экспериментальными и расчетными значениями не превышает 10-15%, что вполне приемлемо для прогностических целей в биологии.

Результаты проведенных исследований имеют общебиологическую значимость и могут рассматриваться как источник дополнительной информации при сравнительной оценке степени засухоустойчивости растительных объектов, а также разработке критерия оценки генотипической засухоустойчивости видов, позволяющих дифференцировать их при дальнейшей паспортизации.

Такая дифференциация дает возможность рекомендовать эти виды растений для выращивания в условиях конкретного региона ЮБК с учетом его микроклиматических особенностей. Показана также сравнительная чувствительность используемых методов при проведении научных исследований.

Нами также выполнены исследования по подбору лесодекоративных культур для засушливого климата юга Украины – в Херсонской области, в районе Новой Каховки. Подбор растений, устойчивых к засушливым условиям, имеет важное хозяйственное значение, и такая характеристика необходима для тех, которые применяются в озеленении и лесополосах. Методами фитомониторинга были изучены особенности водного режима и засухоустойчивости 14 видов декоративных культур, построен ряд их относительной засухоустойчивости, рассчитаны динамические модели зависимости между экофизиологическими характеристиками исследуемых видов растений и основными факторами внешней среды. Выполненная работа позволила дать практические рекомендации по выращиванию наиболее засухоустойчивых видов в условиях данного региона [4].

Методология и приборная база фитомониторинга была также нами применена для изучения динамики роста древесных растений в условиях Карадагского природного заповедника [4]. Объектами исследований являлись *Quercus pubescens* Willd. (Дуб пушистый) и *Pistacia atlantica* subsp. *mutica* (Фисташка туполистная).

Была изучена динамика их роста на протяжении всего периода вегетации, найдены зависимости между основными факторами внешней среды и диаметром ствола, являющимся интегральным показателем роста растения.

Построены уравнения линейной регрессии, описывающие эти зависимости. При построении моделей использовались два варианта: в первом варианте значения температуры воздуха и почвы являлись текущими переменными, во втором варианте – как почасовые накопления этих температур от начала периода вегетации. В первом случае точность моделей была не высокой – погрешность равнялась 30-40%, во втором случае она равнялась 15-20% и такая модель имела прогностическое значение.

Проведенные исследования позволили оценить динамику роста диаметра ствола изучаемых видов и прогнозировать ее в различные годы в зависимости от климатических условий данного периода времени.

Развитие приборной базы значительно опередило методологическую часть фитомониторинга. Нами внесен определенный вклад в развитие методологической базы фитомониторинга. Применение новой исследовательской аппаратуры позволило нам получить и обработать очень большое количество информации, анализ которой изложен в монографиях [4, 6, 7]. Разработано и защищено патентами несколько способов определения различных параметров жизнедеятельности растений [8].

На смену первым несовершенным фитометрическим системам [8] пришли новые, использующие последние достижения электроники.

В конце 90-х годов XX века и в начале XXI века на базе новейшей компьютерной техники иностранными компаниями Phyttech Ltd., Phyto-Sensor Group, Dynamax Inc., Skye Instruments Ltd., Decagon Devices Inc., Spectrum Technologies Inc., PP Systems, Li-Cor Inc., Daletown Company Ltd., Regent Instruments Inc., Hoogendoorn и другими были созданы малогабаритные системы фитомониторинга, позволяющие измерять различные параметры внешней среды и растения. Разработка их продолжается и в настоящее время.

Мы не располагаем систематизированными данными о влиянии неблагоприятной экологии на жизнь растения, о физиологических изменениях в растениях под длительным влиянием этого фактора, т.е. об эволюции функций растений. Не располагая такими систематизированными данными сейчас, невозможно

оценить их изменения в будущем. Поэтому результатом наших исследований будет определение, в первом приближении, какими данными следует наполнить этот банк, то есть, какие функции растений нужно исследовать, что следует принять за стандарт, чтобы пользоваться им в дальнейшем. Это задача нахождения компромисса между желанием поместить как можно больше данных возможностями современной методики и затратами на процедуру сбора данных. Результаты этих исследований дают возможность:

- исследовать степень соответствия метаболизма растений условиям среды, которая позволит определить наличие или отсутствие стрессов природного или антропогенного характера;

- сравнить характеристики растений «городских» и «чистых», которые покажут различия в характеристиках потенциально неблагоприятных и благоприятных условий среды, если эти условия существенны для жизни растений;

- сформулировать основы концепции банка данных экологического мониторинга и занести в базу первые данные;

- оценить степень возможности и адекватности использования растений в качестве индикатора экологической ситуации места произрастания.

Таким образом, проведенный анализ развития экологического фитомониторинга в историческом ракурсе его развития показал, что появление этого направления в науке происходило по мере совершенствования приборной базы, особенно вычислительной техники. Это позволяло ставить и решать все более сложные задачи и применять методологию и приборную базу фитомониторинга в других областях знаний.

В последнее время в связи с появлением ГИС-технологий появилась возможность создать единое городское (территориальное) информационное пространство, в которое входит и природно-экологический блок. В задачи этого блока входит слежение за последствиями предпринимаемых действий на локальном и региональном уровнях. Источниками обновляемой информации могут быть результаты наземных съемок или дистанционных наблюдений с воздушного транспорта и из космоса. Использование ГИС эффективно и для мониторинга условий жизнедеятельности местных и привнесенных видов, выявления причинно-следственных цепочек и взаимосвязей, оценки благоприятных и неблагоприятных последствий предпринимаемых природоохранных мероприятий на экосистему в целом и отдельные ее компоненты, принятия оперативных решений по их корректировке в зависимости от меняющихся внешних условий [1, 2].

Разработаны программы ГИС, например ESRI ArcView 3.2a, Arc Gis 9.2 и другие. В состав программы ESRI ArcView 3.2a входит в качестве отдельного блока программа City Green 5 (зеленый город), которая позволяет, используя информацию, решить ряд экологических проблем:

1. Информационная система "Каталог водных объектов"
2. Информационная система "Зеленые насаждения"
3. Информационная система "Атмосферный воздух"
4. Информационная система "Земельные ресурсы, рельеф местности"
5. Информационная система «Инженерные сооружения, дороги»

Информационная система "Зеленые насаждения" для использования программой City Green 5 должна иметь эколого-физиологические характеристики растений (вид растения, возраст, площадь кроны и ряд других), позволяющие проводить ряд расчетов, в конечном итоге характеризующих экологическое состояние данного участка (парка, сквера, заповедника, квартала города и т.д.). Появляется возможность решить следующие проблемы:

- дать оценку состояния прилегающих прибрежных акваторий, природных заповедников и парков и прогноз их развития под воздействием антропогенных нагрузок;
- разработать и реализовать программы модернизации существующих производств, а также перепрофилировать и ликвидировать опасные в экологическом отношении производства и предприятия на основе оценки показателей их деятельности с точки зрения влияния на качество экологических ресурсов;
- координировать программы деятельности всех государственных служб и систем мониторинга, которые ориентированы на наблюдение и оценку состояния территории ЮБК.

**Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда по гранту 14-50-00079.**

### Список литературы

1. ГИС и охрана окружающей среды [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://dataplus.ru/Industries/13Ecolog/gis\\_ecol.htm](http://dataplus.ru/Industries/13Ecolog/gis_ecol.htm).
2. Глебова Н. ГИС для управления городами и территориями // ArcReview. – 2006. – № 3 (38) [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://dataplus.ru/Arcrev/Number\\_38/1\\_Vved.html](http://dataplus.ru/Arcrev/Number_38/1_Vved.html).
3. Ермаков Е.И., Мелешенко С.Н., Радченко С.С. Фитомониторинг. Современные проблемы и перспективы // С-х биология. – 2002. – №3. – С. 25-35.
4. Ильницький О.А., Бойко М.Ф., Федорчук М.И. и др. Основы фитомониторинга. – Херсон, 2005. – 345 с.
5. Ильницький О.А., Лищук А.И. Динамическая модель водного режима саженцев плодовых культур // Тез. докл. советов ботан. садов Украины. – 1993. – С. 22-24.
6. Ильницький О.А., Щедрин А.Н., Грамотенко А.П. Экологический фитомониторинг. – Донецк, 2010. – 294 с.
7. Ильницький О.А., Лищук А.И., Ушкаренко В.А. и др. Фитомониторинг в растениеводстве. – Херсон, 1997 – 236 с.
8. Ильницький О.А., Ушкаренко В.А., Федорчук М.И., Радченко С.С., Бондарчук С.В. Методология и приборная база фитомониторинга. Учебное пособие. – Херсон, 2012. – 124 с.
9. Карманов В.Г. Применение автоматизации и кибернетики к растениеводству // Докл. АН СССР. – 1959. – Т. 126, №1. – С. 207-209.
10. Лялин О.О., Радченко С.С., Карманов В.Г. Проблемы фитомониторинга на современном этапе. Физические методы и средства получения информации в агромониторинге. – Л., 1987. – С. 30-35.
11. Нилов Н.Г. Опыт применения методологии фитомониторинга в виноградарстве // Биофизика растений и фитомониторинг. – Л., 1990. – С. 140-150.
12. Новак В., Осмоловская Н. Фитомониторинг в физиологии растений: организация, устройство и возможности // Физиология растений. – 1997. – Т.44, №1. – С. 138-145.
13. Тон Ю.Д., Клейман Э.И. Алгоритмические методы в фитомониторинге // Биофизика растений и фитомониторинг. – Л.: АФИ, 1990. – С. 27-33.
14. Чудновский А.Ф., Карманов В.Г., Савин В.Н., Рябова Е.П. Кибернетика в сельском хозяйстве. – Ленинград: «Колос», 1965. – 152 с.
15. Nilov N., Ton Y. 1996. Phytomonitoring and irrigation of vineyards // Phytomonitoring International Bulletin. – 1996. – № 2. – P. 3-7.
16. Ton Yu., Kopyt M. Phytomonitoring information and decision-support system for crop growing // Proc. 2-nd ISITA. – Ed. Zhao Chunjian. – Beijing, 2003. – P. 39-43.

Статья поступила в редакцию 09.02.2015 г.

**Plugatar Yu.V., Ilitsky O.A., Korsakova S.P., Pashtetsky A.V. Ecological phytomonitoring: historical review, current state and prospects** // Bull. of the State Nikit. Botan. Gard. – 2015. – № 114. – P. 7-13.

The article focuses on historical review of the new direction in Biology, phytomonitoring, its emergence and development. Applying of phytomonitoring methods gives an opportunity to get continuous and synchronic data about various processes of plant vital functions. Research of the natural and anthropogenic effects on vegetation cover is of great importance. Phytomonitoring methods permitted to determine plant-resistance and adaptation level to diverse stress factors and competitive ability being under conditions of climatic changes and environmental pollution. The research ultimate goal is to prognosticate ecological situation of the certain region and make recommendations for ecological problems solution.

**Key words:** *phytomonitoring; express-method; prognostication of the ecological situation.*