Фитосанитарная безопасность агроэкосистем и дистанционный фитосанитарный мониторинг в защите растений

В. А. Павлюшин, А. К. Лысов

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений
Санкт-Петербург, Пушкин, 196608, Россия
E-mail: vapavlyushin@vizr.spb.ru

В статье рассмотрены технологические подходы к решению задач дистанционного фитосанитарного мониторинга вредных объектов в агроландшафтах сельскохозяйственных культур. Представлены результаты исследований по разработке дистанционных методов съёма и обработки информации о мелкомасштабной неоднородности распределения вредных объектов в агроландшафтах сельскохозяйственных культур для дифференцированного внесения средств защиты растений. Проанализированы результаты оценки двух методов съёма и обработки информации о фитосанитарной обстановке на участках поля. Первый — метод дешифрации снимаемой информации, который базируется на решении обратной задачи, когда с полученных изображений удаляли основную культуру, имеющую однородно-периодическую структуру, сильно контрастирующую с почвой и сорной растительностью. Второй метод основан на геокодированом съёме информации с применением оптоэлектронных датчиков, работающих в видимой и инфракрасной областях спектра излучений зелёных растений, сорной растительности и почвы. Рассмотрены вопросы по составлению карт ареалов распространения вредных объектов, картированию очагов поражения, пространственной неоднородности распределения сорной растительности, вредителей и болезней с использованием ГИС (географических информационных систем). Проведён анализ использования спутниковых систем, сверхлёгких и беспилотных летательных аппаратов для решения задач дистанционного фитосанитарного мониторинга вредных объектов на посевах сельскохозяйственных культур и многолетних насаждениях. Показано, что работы в данном направлении позволят решить главные задачи по обеспечению фитосанитарной безопасности страны и экологической безопасности среды обитания человека, животного и растительного мира.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг, съём данных, оптико-электронные датчики, спектральные характеристики отражения, сорные растения, дискретное внесение, средства защиты, экологическая безопасность

Одобрена к печати: 25.03.2019
DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-69-78

Рост объёмов применения средств для защиты растений от комплекса вредителей, болезней и сорной растительности неразрывно связан с решением задач по увеличению биологической и экономической эффективности защитных мероприятий, снижению их негативного воздействия на окружающую среду, биосферу обитания человека и животного мира, а также по повышению качества и безопасности продуктов питания. Следует отметить, что пестициды применяются на значительных территориях, граничащих с крупными экосистемами, при прямом контакте с воздушной средой, почвой, с возможностью накопления их остаточных количеств в воде и растениеводческой продукции. В этой связи востребована концепция фитосанитарной оптимизации агроэкосистем, суть которой состоит в технологической реализации цифрового фитосанитарного мониторинга и прогноза развития вредных и полезных видов, использовании устойчивых к доминантным видам сортов, применении малотоксичных средств защиты растений и биопрепаратов, их ротации и учёте севооборота (*рис. 1*, см. с. 70) (Павлюшин, 2014; Павлюшин и др., 2013).

С учётом данной концепции мероприятия по защите растений должны базироваться на научно обоснованных интеллектуальных системах управления процессом принятия решений о необходимости проведения защитных мероприятий на основе данных фитосанитарного

мониторинга. При этом должны приниматься во внимание условия экономической целесообразности и экологической безопасности, чтобы свести к минимуму негативное воздействие пестицидов на окружающую среду. Прогресс в развитии цифровых технологий на основе высокопроизводительных персональных компьютеров с большими объёмами памяти баз данных, широкое использование интернета создают возможности для использования в сельском хозяйстве качественно новых технологических решений и подходов.

Рис. 1. Интегрированная защита для фитосанитарной оптимизации агроэкосистем

Одним из путей реализации указанной технологической задачи в области защиты растений является создание геоинформационных технологий для дискретного внесения гербицидов и инсектицидов с учётом пространственной неоднородности распределения вредных объектов на участках поля. Переход на данные технологии даёт реальные возможности уменьшить пестицидную нагрузку на агроценозы, повысить качество растениеводческой продукции, снизить затраты на мероприятия по защите растений.

Следует отметить, что создание новых средств механизации для реализации технологий дискретного внесения пестицидов неразрывно связано с решением задач по геокодированному сбору и обработке информации о фитосанитарном состоянии сельскохозяйственных угодий, таких как:

- разработка геоинформационных технологий для автоматизации процесса сбора, накопления и обработки данных фитосанитарного мониторинга с целью оперативного принятия решения по предотвращению ущерба от вредоносности вредных объектов на конкретных участках поля (Точное..., 2009);
- разработка оперативных и достоверных методов съёма и дешифрации получаемой информации о гетерогенности распределения вредных объектов и засорённости полей сельскохозяйственных культур с учётом экономических порогов вредоносности;
- формирование больших баз данных (Big Data) эталонных образцов сорных растений, повреждений вредителями вегетирующих сельскохозяйственных культур, спектральных излучений здоровых и больных растений с учётом влияния уровня минерального питания и метеорологических параметров (Лысов, 2018);
- формирование баз данных по экономическим порогам вредоносности и оценке фитосанитарных рисков от вредителей, болезней и сорной растительности на основных сельскохозяйственных культурах;
- разработка программного обеспечения для дешифрации и цифрового анализа фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур.

Одним из способов получения информации о фитосанитарном состоянии сельскохозяйственных культур и картирования местности по степени неоднородности распространения вредных объектов является дистанционное зондирование поверхности Земли, в основу которого положена многоспектральная аэрокосмическая съёмка. Для её проведения используются геостатические отечественные и зарубежные спутники, которые позволяют производить съёмки с разным пространственным разрешением. В 1980-е гг. в СССР, как и других странах, были развёрнуты научно-исследовательские работы по проблеме дистанционного выявления распространения насекомых, нематод, грызунов, сорняков и возбудителей болезней (Саулич, 1993). Были получены положительные результаты по таким фитосанитарным объектам, как:

- гельминтоспориоз, вироз, тли, гусеницы на кукурузе;
- жёлтая ржавчина, корневые гнили, септориоз, ВЖКЯ и др. на зерновых;
- ризомания, ризоктониоз, проволочники, нематоды на сахарной свёкле;
- фитофтороз, картофельная нематода, колорадский жук и др. на картофеле.

Была продемонстрирована возможность оценки засорённости посевов и посадок сельскохозяйственных культур по 15 видам сорной растительности. Для решения задач дистанционного зондирования применялась аэрофотосъёмка с многоканальной аппаратурой, работающей в диапазонах видимого и инфракрасного излучения, биологические радары, тепловизоры, полевые метеостанции со специальным программным обеспечением и т. д.

Для ряда возбудителей болезней была установлена возможность выявления очагов поражения растений за 3–20 дней до появления визуально заметных признаков заболевания (при съёмках на инфракрасную плёнку).

Исследования показали, что применение дистанционных методов для контроля болезней при реализации долгосрочных программ по их подавлению является наиболее эффективным для решения следующих задач: определение площадей с нарушением фитосанитарного состояния посевов, оценка уровня потерь урожая, картирование зон вредоносности.

Однако накопленные научные знания и сведения по распространению и вредоносности наиболее вредоносных объектов сельскохозяйственных культур с использованием методов дистанционного зондирования слабо используются в производственной фитосанитарии по следующим причинам:

- отдаётся предпочтение сложившейся практике использования методов краткосрочного прогнозирования и сигнализации для обработок химическими препаратами;
- конкуренция со стороны наземных служб, обеспечивающих сбор фитосанитарной информации;
- финансовые и организационные трудности, связанные с необходимостью сочетания в системах информационного обеспечения мероприятий по защите растений, методов дистанционного зондирования, наземных обследований и прогнозов от разных учреждений разной ведомственной принадлежности.

В настоящее время предлагается целый ряд коммерческих спутниковых систем с высоким пространственным разрешением, с 4–8-канальной мультиспектральной съёмкой участков поверхности Земли, в том числе для решения задач фитосанитарного мониторинга, инвентаризации и учёта площадей посевов и многолетних насаждений, оценки урожайности возделываемых культур. Для этих целей наиболее широко используются следующие спутниковые системы: Quick Bird, Pleiades, EROS-3, Kompsat-3/3a, Deimos-2, Spot-6, -7, Formosat, TerraSAR-X, Radar-2 и др.

Стоимость космической мультиспектральной съёмки зависит от пространственного разрешения, сроков получения снимков интересуемых участков поверхности Земли, площади съёмки, количества каналов съёмки. Для большинства спутниковых систем минимальная коммерческая площадь съёмки составляет 25 км^2. При пространственном разрешении от 0,3 до 1 м, архивной информации более 90 дней и мультиспектральной съёмке с использованием 4 или 8 каналов средняя стоимость получаемой информации с 1 км^2 составляет от 1000–1200 руб., а при новой съёмке меньше 90 дней — 1600–1800 руб. за 1 км^2. Для практической

службы защиты растений дистанционное зондирование поверхности с использованием аэрокосмической съёмки не подходит по следующим причинам: невозможность оперативного получения информации о фитосанитарной обстановке на конкретных агроландшафтах сельхозугодий, зависимость качества и возможности проведения съёмки от метеорологических условий в момент пролёта космического аппарата над заданной поверхностью, высокая стоимость аэрокосмической мультиспектральной съёмки. Дистанционное зондирование поверхности Земли с помощью аэрокосмической съёмки в области защиты растений представляет большой практический интерес для составления карт ареала распространения вредоносных видов сорной растительности, особо опасных вредителей (мышевидные грызуны, саранчовые), болезни растений фузариоз колоса, различных видов ржавчины. Так, Центром космических услуг «КосмоИнформ-Центр» Государственного университета аэрокосмического приборостроения проведены исследования зависимости спектральной плотности энергетической яркости и коэффициентов спектральной яркости 17 элементов борщевика Сосновского в его различных фазовых состояниях. На основании полученных данных был разработан вегетационный индекс растения, позволяющий определить территорию произрастания этого вида в районах Ленинградской области по результатам аэрокосмической съёмки (Чичкова и др., 2018). Составление карт ареалов распространения вредных объектов, картирование очагов поражения, пространственной неоднородности распределения сорной растительности или вредителей невозможно без использования ГИС (географических информационных систем). Оцифровка информации для ввода в ГИС осуществляется с помощью специальных программ ArcView, ArcGIS, Mapinfo и др. Имеющиеся во Всероссийском научно-исследовательском институте защиты растений (ВИЗР) базы данных стали основой для построения с помощью ГИС-технологий векторных карт распространения вредоносных видов с отображением динамики их численности в различных агроклиматических зонах РФ и стран ближнего зарубежья. Наложение векторных слоёв распространения вредных объектов, статистически взвешенных по зонам вредоносности, позволяет выделить зоны, наиболее опасные для возделывания сельскохозяйственных культур с учётом конкретных объектов.

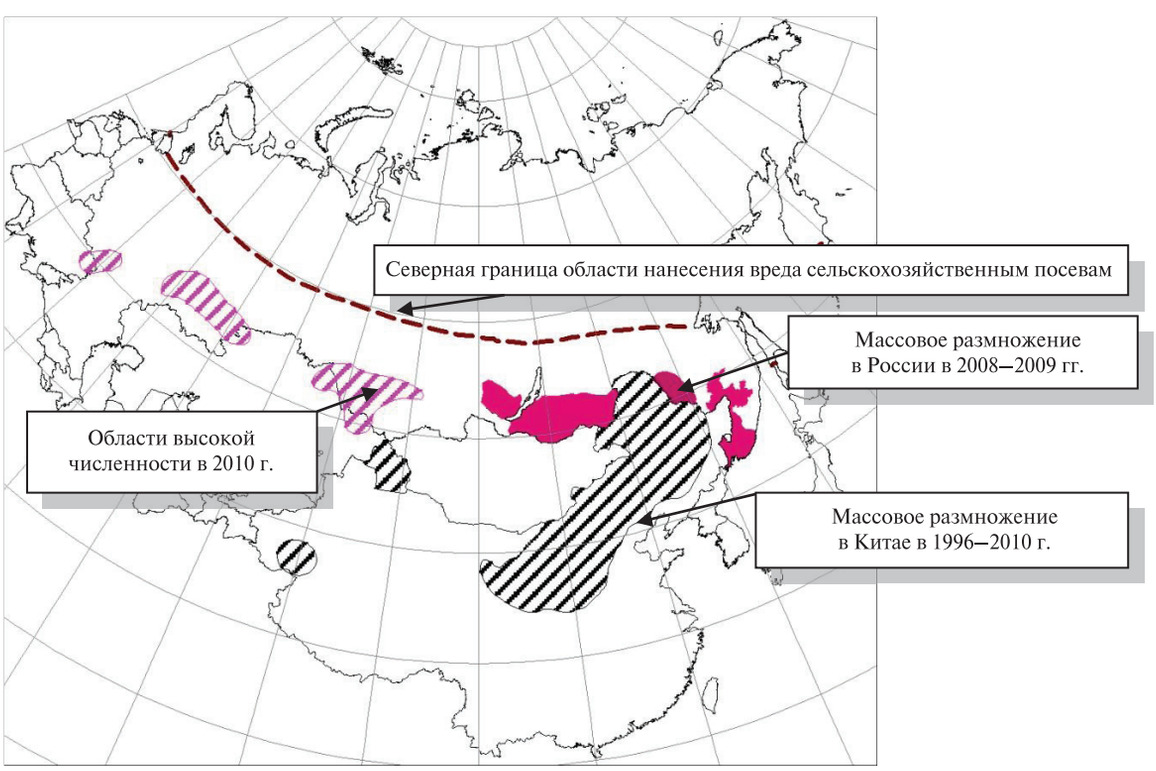

Рис. 2. Карта ареала распространения и зоны вредоносности лугового мотылька (Афонин и др., 2013)

Так, например, луговой мотылёк *Loxostege sticticalis* L. (Pyraloidea, Crambidae) является особо опасным сельскохозяйственным вредителем — это широкий полифаг, повреждающий более 200 видов растений чуть ли не из 40 семейств. Из культурных растений наиболее сильный вред он наносит сахарной свёкле, подсолнечнику, многолетним бобовым травам, гороху, кукурузе, овощным и бахчевым растениям. С помощью ГИС-технологии с учётом накопленных данных об ареалах и зонах вредоносности разработана векторная карта распространения и зон вредоносности лугового мотылька на территории России и Китая (*рис. 2*, см. с. 72).

В настоящее время институтом составлены векторные карты по ареалам распространения и зонам вредоносности 720 вредных объектов.

Для практической службы защиты растений важно получать оперативную информацию с помощью технологий дистанционного мониторинга о пространственной неоднородности распределения вредных объектов в агроландшафтах сельскохозяйственных угодий с целью обоснованного принятия решений о необходимости проведения защитных мероприятий в сжатые агросроки. С учётом имеющегося мирового опыта, на наш взгляд, для этих целей лучше всего использовать сверхлёгкие и беспилотные летательные аппараты, оснащённые цифровой аппаратурой для аэрофотосъёмки. Такие аппараты имеют целый ряд преимуществ по сравнению с самолётами и вертолётами, а именно:

- высокая мобильность и возможность использования без наличия аэродромов, быстрая подготовка к полётному заданию по маршруту;
- большая экономичность из-за малого расхода топлива и других энергетических ресурсов в сравнении с самолётами;
- в силу лётно-технических характеристик возможность установки спутниковой системы навигации и цифровых фотокамер с высокой разрешающей способностью.

Для проведения дистанционного фитосанитарного мониторинга с помощью сверхлёгких или беспилотных летательных аппаратов используются двухэтапные технологические решения. На первом этапе проводится геокодированный сбор данных о неоднородности распределения сорной растительности или вредителей на участках поля с использованием специальной аппаратуры. После обработки полученных данных с помощью ГИС-технологий составляются цифровые карты задания для дискретного внесения средств защиты растений на участках поля с превышением значений экономического порога вредоносности того или иного вредного объекта. Для успешной реализации первого этапа дистанционного фитосанитарного мониторинга определяющим является получение достоверной информации о фитосанитарной ситуации на участках обследуемого поля.

При совместной работе специалистов ВИЗР и Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения по разработке дистанционных методов съёма информации о гетерогенности распределения сорной растительности на участках поля был предложен новый метод обработки получаемых изображений при геокодированной съёмке участков поля с использованием сверхлёгких летательных аппаратов. Поскольку форма и цвет сорной растительности разнообразны, автоматизированное её выделение на исходном изображении представляет собой весьма серьёзную проблему. Проще решить обратную задачу. Как правило, посевы имеют однородно-периодическую структуру и сильно контрастируют с окружающими объектами, следовательно, необходимо удалить с исходного изображения именно основную культуру, а затем определять степень засорённости поля.

Для обработки полученных изображений использовался метод дискретного преобразования Фурье.

На фурье-образах реальных фотографий сельскохозяйственных полей, так же как и в случае с изображением чередующихся светлых и тёмных вертикальных полос, можно наблюдать ярко выраженные светлые пятна, появление которых связано с тем, что яркость основной массы растений меняется в небольшом диапазоне частот. Расстояние от начала координат фурье-образа до центра этого пятна определяет среднюю частоту, с которой изменяется яркость основной культуры на исходном изображении. При фильтрации (удалении) этого пятна в фурье-образе фильтруется и основная культура на исходном изображении. При этом

остальные объекты исходного изображения, яркость которых меняется с другой частотой, остаются нетронутыми. Таким образом, задача отделения основной культуры от других объектов на изображении сводится к нахождению оптимального фильтра для подавления периодического шума, вносимого основной культурой (в данном случае именно основная культура является нежелательным шумом, от которого следует избавиться).

После фильтрации фурье-образа оптимальным режекторным фильтром на исходном изображении остаются только поражённые области, по площади которых легко определить степень засорённости поля и принять обоснованное решение о необходимости дифференцированного внесения средств защиты растений (Lysov, Fedchenko, 2015). Сравнительный анализ результатов, полученных при использовании нового метода обработки информации, с результатами наземного стандартного учёта засорённости показал высокую его достоверность, которая составила 91,7 %.

Вместе с тем ряд отечественных и зарубежных исследователей считают, что наиболее перспективным направлением работ, особенно в области ранней дистанционной диагностики болезней растений на начальных этапах их развития, является использование оптико-электронных датчиков, работающих в видимой и инфракрасной областях спектра. Для оценки данного метода дистанционого съёма информации нами проводились исследования по определению значений спектральных характеристик излучения культурных растений, почвы и сорной растительности на опытных полях ВИЗР и его филиала Тосненская опытная станция защиты растений.

Определение спектральных характеристик излучения проводилось в полевых условиях на таких культурах, как ячмень, картофель, капуста, и следующих видах сорной растительности: лопух паутинистый, крапива двудомная, полынь обыкновенная, хвощ полевой (*таблица*). Также снимались спектральные характеристики излучения почвы в посадках данных культур. Анализ спектральных характеристик излучения почвы, культурных и сорных растений, представленных на графиках (*рис. 3–5*, см. с. 75), показал, что спектральные характеристики отражения вегетирующих культурных, сорных растений и почвы имеют чёткие различия по величине значений отражательной способности. Параметры спектральных характеристик сорных растений приведены в *таблице*.

Полученные данные показывают возможность использования предложенного метода для дистанционного геокодированного сбора информации о неоднородности распределения сорной растительности с целью дискретного внесения гербицидов.

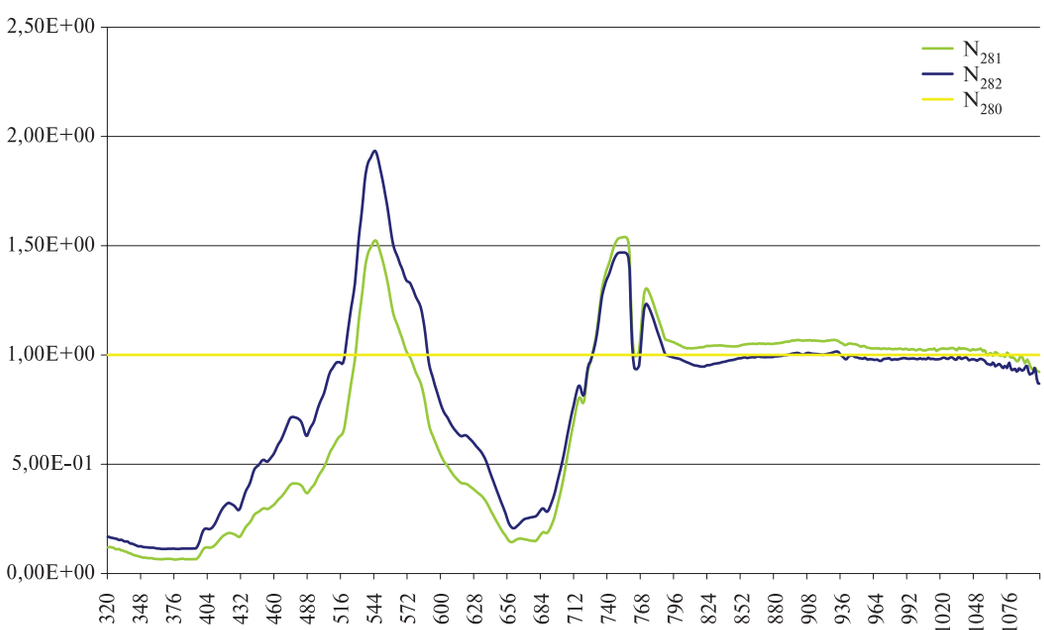

Рис. 3. Картофель в лабораторных условиях

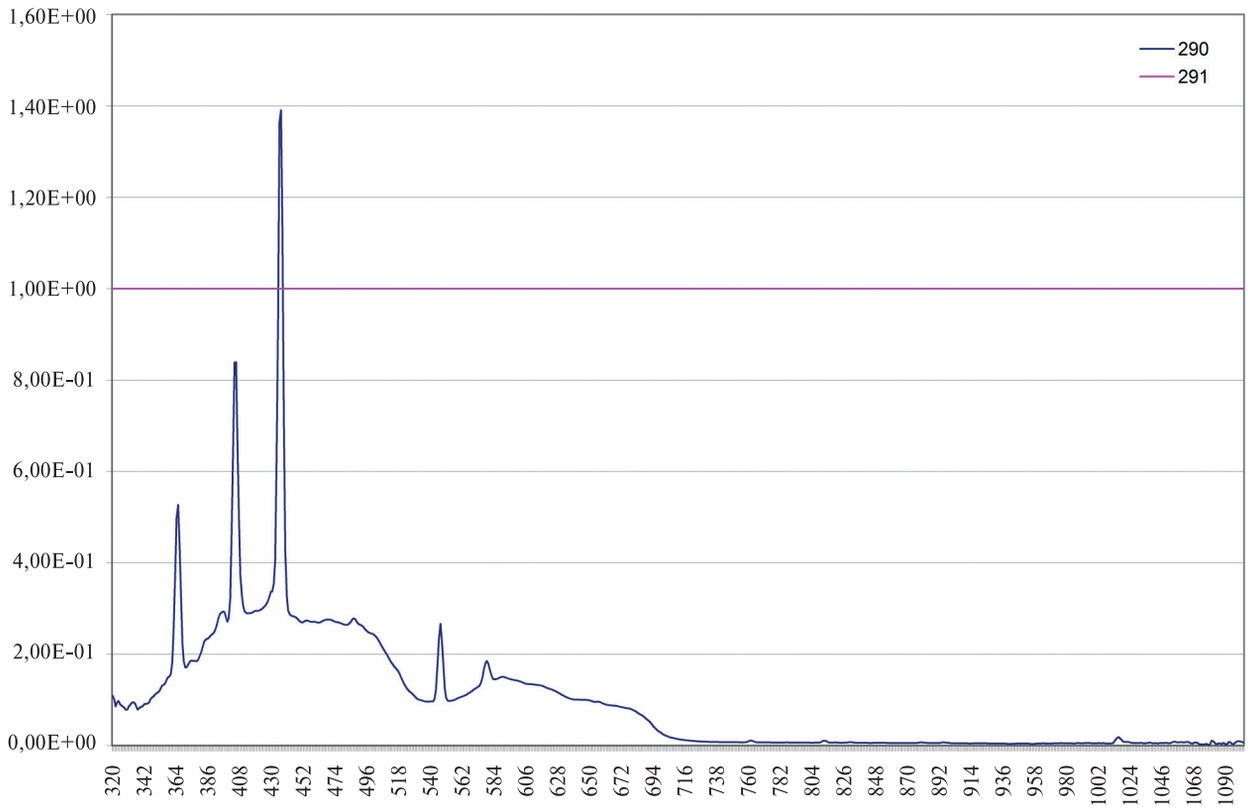

Рис. 4. Ячмень в лабораторных условиях

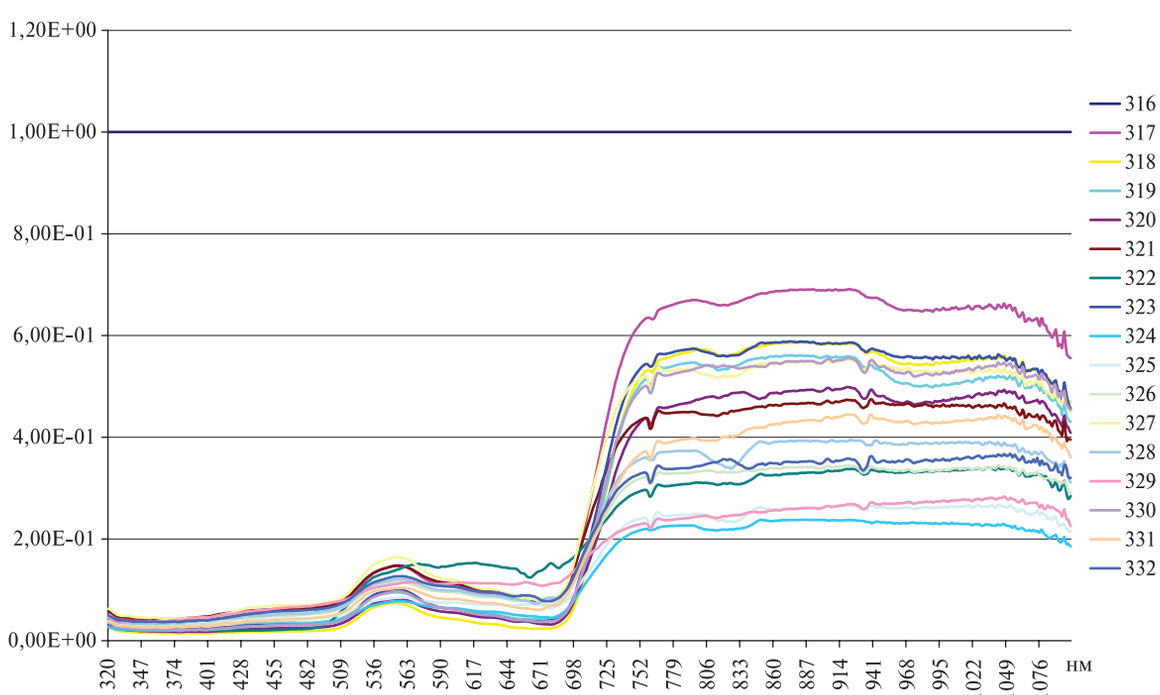

Рис. 5. Сорные растения в полевых условиях

Таким образом, можно сделать вывод, что геокодированный фитосанитарный мониторинг вредных и полезных видов является приоритетным направлением исследований для решения задач фитосанитарного проектирования агроэкосистем. Это позволит решить главные задачи по обеспечению фитосанитарной безопасности страны и экологической безопасности среды обитания человека, животного и растительного мира.

Параметры съёмки сорных растений 28.05.2018

№ показаний прибора PSR-1100	Объект	Время
316	Тарировочная пластина	11:42:00
317	Лопух паутинистый	11:48:00
318	Крапива двудомная	11:48:30
319	Бодяк щетинистый	11:49:00
320	Одуванчик лекарственный	11:49:30
321	Подорожник большой	11:50:00
322	Цветок одуванчика	11:50:30
323	Полынь обыкновенная	11:51:00
324	Хвощ полевой	11:51:30
325	Марь белая	11:52:00
326	Трёхрёберник непахучий	11:52:30
327	Горчица полевая	11:53:00
328	Ярутка полевая	11:53:30
329	Дымянка лекарственная	11:54:00
330	Яснотка белая	11:54:30
331	Пижма обыкновенная	11:55:00
332	Горец птичий	11:55:30

Литература

1. *Афонин А. Н.*, *Аханаев Ю. Б.*, *Фролов А. Н.* Ареал лугового мотылька Loxostege sticticalis L (Lepidoptera, Pyraloidea: Crambidae) на территории бывшего СССР и его районирование по числу генераций в сезоне // Энтомологическое обозрение. 2013. Т. 92. Вып. 4. С. 693–716.
2. *Лысов А. К.* Методологические основы для решения задач по дискретному внесению пестицидов // Вестн. защиты растений. 2018. № 3. С. 5–9.
3. *Павлюшин В. А.* Многогранность проблем защиты растений в современном растениеводстве // Биологическая защита растений — основа стабилизации агроэкосистем: материалы международной научно-практ. конф. Краснодар, 2014. С. 24–31.
4. *Павлюшин В. А.*, *Новожилов К. В.*, *Вилкова Н. А.*, *Сухорученко Г. И.* Фитосанитарная оптимизация агроэкосистем // Материалы 3-го Всерос. съезда по защите растений. Т. 1. СПб., 2013. С. 150–158.
5. *Саулич М. И.* Современное состояние и перспективы дистанционной фитосанитарной диагностики в условиях интенсивного растениеводства // Сб. науч. тр. ВИЗР. Т. 95. СПб., 1993. С. 46–60
6. Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture): учебно-практ. пособие / под ред. Д. Шпаара, А. В. Захаренко, В. П. Якушева. СПб., 2009. 397 с.
7. *Чичкова Е. Ф.*, *Зайцев В. В.*, *Рогачев С. А.*, *Рыжиков Д. М.* Анализ возможностей применения многоспектральной съемки в задачах контроля использования земель сельскохозяйственного назначения // Современные технологии и средства защиты растений — платформа для инновационного освоения в АПК России: сб. материалов Международной научно-практ. конф. СПб., 2018. С. 75–77.
8. *Lysov A. K.*, *Fedchenko V. G.* New approaches for remote reading the information on the heterogeneity of the distribution of weeds in the areas of the field for an application of plant protection products // 29th Intern. Plant Protection Congress. Berlin, Germany. 24–27 August, 2015. Book of Abstracts. 2015. p. 141.

Phytosanitary safety of agro-ecological systems and remote phytosanitary monitoring in plant protection

V. A. Pavlyushin, A. K. Lysov

All-Russian Institute of Plant Protection, Saint Petersburg, Pushkin 196608, Russia
E-mail: vapavlyushin@vizr.spb.ru

Technological approaches to the solution of problems of remote phytosanitary monitoring for harmful organisms in agricultural landscapes are considered. The results of research on the development of remote methods for the acquisition and processing information on small-scale heterogeneity of the distribution of harmful organisms in agricultural landscapes for the differentiated application of plant protection means are presented. The results of evaluation of two methods for the acquisition and processing information about the phytosanitary situation in field are considered. The method of decoding the extracted information is based on the solution of the inverse problem, when the main crop with a uniformly periodic structure contrasted strongly with soil and weeds was removed from the images obtained. The second method is based on the acquisition of geocoding information using optoelectronic sensors that operate in visible and infrared regions of the emission spectrum of green plants, weeds and soil. The issues of mapping the distribution areas of harmful organisms, mapping lesions, spatial heterogeneity of the distribution of weeds, pests and diseases using GIS (geographic information systems) are considered. An analysis of the use of satellite systems, ultralight and unmanned aerial vehicles for solving the tasks of remote phytosanitary monitoring of harmful organisms on crops and perennial plantings was carried out. It is shown that work in this direction will allow solving the main tasks of ensuring the phytosanitary safety of the country and the environmental safety of the human, animal and plant world habitats.

Keywords: remote monitoring, data acquisition, optoelectronic sensors, spectral characteristics of reflection, reflection of weeds, discrete application, means of protection, environmental safety

Accepted: 25.03.2019
DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-69-78

References

1. Afonin A. N., Akhanaev Yu. B., Frolov A. N., Areal lugovogo motyl'ka Loxostege sticticalis L (Lepidoptera, Pyraloidea: Crambidae) na territorii byvshego SSSR i ego raionirovanie po chislu generatsii v sezone (The range of the Beet webworm Loxostege Sticticalis L. (Lepidoptera, Pyraloidea: Crambidae) in the territory of the former USSR and its arrangement by number of successive generations during the season), *Entomologicheskoe obozrenie*, 2013, Vol. 92, Issue 4, pp. 693–716.
2. Lysov A. K., Metodologicheskie osnovy dlya resheniya zadach po diskretnomu vneseniyu pestitsidov (Methodological approaches for solving problems of discrete introduction of pesticides), *Vestnik zashchity rastenii*, 2018, No. 3, pp. 5–9.
3. Pavlyushin V. A., Mnogogrannost' problem zashchity rastenii v sovremennom rastenievodstve (The versatility of the plant protection problems in modern crop production), *Biologicheskaya zashchita rastenii — osnova stabilizatsii agroekosistem* (Biological plant protection — the basis for the stabilization of agroecosystems), Proc. Intern. Scientific-Practical Conf., Krasnodar, 2014, pp. 24–31.
4. Pavlyushin V. A., Novozhilov K. V., Vilkova N. A., Sukhoruchenko G. I., Fitosanitarnaya optimizatsiya agroekosistem (Phytosanitary optimization of agroecosystems), *Materialy tret'ego Vserossiiskogo s″ezda po zashchite rastenii* (3rd All-Russia Plant Protection Congress), Saint Petersburg, 2013, Vol. 1, pp. 150–158.
5. Saulich M. I., Sovremennoe sostoyanie i perspektivy distantsionnoi fitosanitarnoi diagnostiki v usloviyakh intensivnogo rastenievodstva (The current state and prospects of remote phytosanitary diagnostics under conditions of intensive crop production), *Sbornik nauchnykh trudov VIZR*, Saint Petersburg, 1993, Vol. 95, pp. 46–60.
6. *Tochnoe sel'skoe khozyaistvo* (Precision Agriculture), A. V. Zakharenko, V. P. Yakushev (eds.), Saint Petersburg, 2009, 397 p.
7. Chichkova E. F., Zaitsev V. V., Rogachev S. A., Ryzhikov D. M., Analiz vozmozhnostei primeneniya mnogospektral'noi s″emki v zadachakh kontrolya ispol'zovaniya zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya

(Analysis of the possibilities of multispectral surveys in the tasks of controlling the use of agricultural land), *Sovremennye tekhnologii i sredstva zashchity rastenii — platforma dlya innovatsionnogo osvoeniya v APK Rossii* (Modern Technologies and Means of Plant Protection — a Platform for Innovative Development in the Agricultural Sector of Russia), Proc. Intern. Scientific-Practical Conf., Saint Petersburg, 2018, pp. 75–77.

8. Lysov A. K., Fedchenko V. G., New approaches for remote reading the information on the heterogeneity of the distribution of weeds in the areas of the field for an application of plant protection products, *28th Intern. Plant Protection Congress*, 24–27 Aug. 2015, Berlin, Germany, Book of Abstracts, 2015, p. 141.