Экспериментальная база для дистанционного зондирования фитосанитарного состояния агроэкосистем на Северо-Западе РФ

А. М. Шпанев

Агрофизический научно-исследовательский институт
Санкт-Петербург, 195220, Россия
E-mail: ashpanev@mail.ru

Фитосанитарный мониторинг, являясь ключевым элементом интегрированной защиты растений, нуждается в модернизации существующих подходов и методов в соответствии с современным уровнем развития высоких технологий и их применения в сельском хозяйстве. Наибольшие перспективы связаны с развитием дистанционной оценки фитосанитарного состояния агроэкосистем, позволяющей выявлять картину пространственного распространения вредных организмов на полях и с учётом этого проводить защитные обработки. Исследования в этом направлении активно ведутся в последние годы на Меньковском филиале Агрофизического НИИ, который представляет собой мощную и единственную на Северо-Западе РФ экспериментальную базу с длительными стационарными и краткосрочными детализирующими опытами по защите растений. В данной работе приводится подробная характеристика имеющихся опытов и используемый инструментарий, делается анализ фитосанитарной обстановки, которая формируется в посевах и посадках сельскохозяйственных культур. При этом выделяются хозяйственно значимые для региона вредные организмы, по отношению к которым дистанционное зондирование является наиболее актуальным и востребованным сельскохозяйственным производством. В агроценозах большинства культур к таковым относятся сорные растения, в особенности массовые виды: пастушья сумка обыкновенная, фиалка полевая, ромашка непахучая, марь белая. Среди болезней зерновых культур это снежная плесень, септориоз листьев и колоса, гельминтоспориоз; для картофеля — фитофтороз, ярового рапса — альтернариоз. Из вредителей зерновых культур внимания заслуживает черёмухово-злаковая тля, картофеля — жуки щелкуны, ярового рапса — крестоцветные блошки, капустная моль, рапсовый цветоед.

Ключевые слова: экспериментальная база, фитосанитарное состояние, дистанционное зондирование, беспилотные летательные аппараты, спектральная характеристика, вегетационные индексы

Одобрена к печати: 20.03.2019
DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-61-68

В настоящее время изучение возможностей дистанционной оценки фитосанитарного состояния агроэкосистем — самое развиваемое и перспективное направление в защите растений в нашей стране. Такая ситуация напрямую связана с внедрением точного земледелия как наиболее прогрессивного способа ведения сельского хозяйства, основанного на использовании последних инноваций в области информационных технологий, микрокомпьютеров, географических информационных систем глобального позиционирования и автоматического управления сельскохозяйственными машинами (Точное..., 2009).

Исследования по дистанционному зондированию фитосанитарного состояния агроэкосистем сосредоточены в двух удалённых друг от друга географических точках: в Краснодарском крае на базе опытных полей Всероссийского НИИ биологической защиты растений (ВНИИБЗР) и в Северо-Западном регионе на территории Меньковского филиала Агрофизического НИИ (МФ АФИ).

За счёт развитого сельскохозяйственного производства на юге нашей страны база ВНИИБЗР является особо привлекательной для других научно-исследовательских учреждений, занимающихся проблемой дистанционного зондирования Земли. На это указывает ряд публикаций, подготовленных сотрудниками ВНИИБЗР, Центрального НИИ машиностроения, Московского физико-технического института, Московского государственного

университета геодезии и картографии по результатам совместно проводимых исследований в области аэрокосмической, самолётной и наземной гиперспектральной съёмки сорной растительности (Исмаилов и др., 2012; Чабан и др., 2012).

Экспериментальная база МФ АФИ является центром коллективного пользования региональных образовательных и научно-исследовательских учреждений, которые проводят здесь свои многолетние полевые исследования. На полях МФ АФИ были заложены первые в нашей стране опыты по точному земледелию и начиная с 2004 г. проводится дистанционный мониторинг агроэкосистем с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Исследования в области дистанционного зондирования фитосанитарного состояния агроэкосистем ведутся на МФ АФИ с 2010 г. За это время разработана методика и методологические основы изучения оптических характеристик фитосанитарного состояния посевов, накоплены данные по проявлению различных фитосанитарных ситуаций в агроценозах на Северо-Западе РФ (Шпанев, 2015; Шпанев, Лекомцев, 2012; Шпанев, Петрушин, 2017; Шпанев и др., 2017; Фесенко и др., 2016).

Цель данной работы — привести характеристику экспериментальной базы МФ АФИ, используемой для дистанционного зондирования фитосанитарного состояния агроэкосистем на Северо-Западе РФ.

Характеристика экспериментальной базы МФ АФИ

МФ АФИ расположен в юго-западной части Ленинградской области, вблизи деревень Меньково и Кривое Колено, в 18 км от Гатчины и в 60 км от Санкт-Петербурга (59°34′ с. ш., 30°08′ в. д.). Общая площадь земельных угодий составляет 600 га, в том числе пашни — 350 га (*рис. 1*). Территориальное расположение МФ АФИ приурочено к наиболее используемой в сельскохозяйственном отношении земле Ленинградской и соседних областей Северо-Западного региона. Почвенный покров, представленный дерново-подзолистыми почвами, является типичным для пахотных земель Ленинградской области и всего Северо-Западного региона.

Рис. 1. Меньковский филиал Агрофизического НИИ

Научно-исследовательская работа сконцентрирована на биополигоне МФ АФИ. Здесь расположены длительные стационарные опыты с внесением удобрений (агроэкологический и агрофизический стационары) и целая серия детализирующих опытов по защите растений, имеющих краткосрочный период (*рис. 2*).

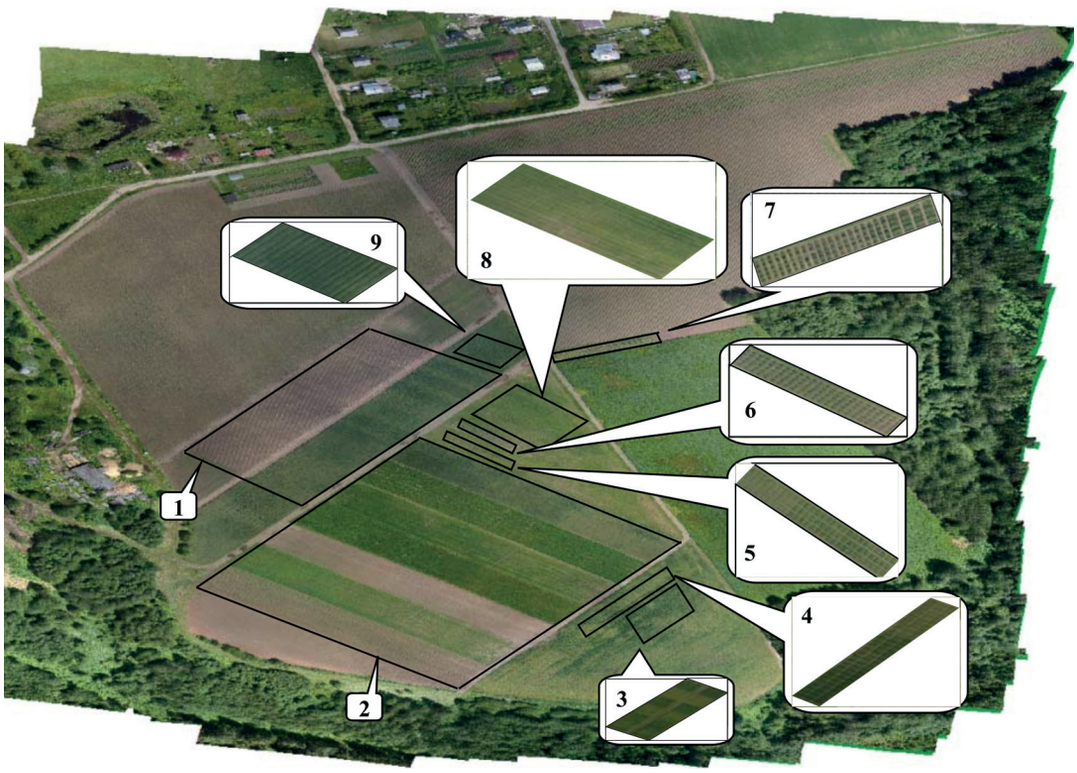

Рис. 2. Биополигон МФ АФИ: 1 — агрофизический стационар; 2 — агроэкологический стационар; 3 — опыт по оценке эффективности интегрированной защиты озимой пшеницы от вредных организмов; 4 и 5 — опыты с дифференцированным применением гербицидов в посевах озимых и яровых зерновых культур; 6, 7 — опыты с обработкой фунгицидами семян яровых и озимых зерновых культур; 8, 9 — опыты с обработкой фунгицидами вегетирующих растений яровых и озимых зерновых культур

Агроэкологический стационар был заложен в 1982 г. в соответствии с постановлением Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени В. И. Ленина о формировании Всесоюзной сети полигонов по программированию урожаев. Он представляет собой развёрнутый во времени и пространстве зернотравяно-пропашной севооборот с традиционным для Северо-Западного региона набором и чередованием культур: сидеральный пар – рожь озимая – ячмень плюс многолетние травы — многолетние травы 1-го и 2-го годов пользования – картофель – рапс яровой. Общая площадь севооборота — 4,2 га, одного поля — 0,6 га, делянки опыта — 300 м^2, размещение повторений и вариантов систематическое. Повторность в опыте трёхкратная. Схемой двухфакторного опыта предусмотрено изучение трёх уровней удобренности (низкий — $N_0P_0K_0$, средний — $N_{65}P_{50}K_{50}$, повышенный — $N_{100}P_{75}K_{75}$), формируемых предпосевным внесением азофоски и аммиачной селитры из расчёта планируемой урожайности, и двух вариантов защиты растений от вредных организмов (без защиты — контроль, интегрированная система защиты растений). Интегрированная система защиты включает обязательное протравливание посевного и посадочного материала против семенной и почвенной инфекции и вредителей, обработки гербицидами, фунгицидами и инсектицидами в период вегетации культурных растений при превышении экономического порога вредоносности. Согласно схеме опыта на агроэкологическом стационаре изучается влияние минерального питания и фитосанитарной обстановки на оптические свойства посевов и посадок сельскохозяйственных культур.

Агрофизический стационар функционирует с 2006 г. Он состоит из полевого и овощного севооборотов, развёрнутых во времени на двух смежных полях площадью 1 га каждое. Полевой севооборот имеет следующее чередование культур: ячмень плюс многолетние травы — многолетние травы 1-го и 2-го годов пользования – озимая рожь – картофель – однолетние зернобобовые – картофель; овощной: белокочанная капуста – морковь – столовая свёкла – ячмень плюс многолетние травы — многолетние травы 1-го и 2-го годов пользования. Опыт нацелен на определение влияния органоминеральной системы удобрения на урожайность и качество продукции возделываемых культур в зависимости от уровня окультуренности почв и типа севооборота. Соответственно, схема опыта включает три уровня окультуренности (средний, хороший, высокий) и три дозы минеральных удобрений ($N_0P_0K_0$, $N_{20}P_{20}K_{20}$, $N_{40}P_{40}K_{40}$). Уровни окультуренности создавались внесением высоких (160 т/га за 2003–2005 гг.) и очень высоких (480 т/га) доз органических удобрений, в настоящее время поддерживаются внесением органических удобрений однократно за ротацию: в полевом севообороте — под картофель, в овощном — под капусту белокочанную. Дозы органики составляют 80 т/га на хорошо окультуренном варианте и 160 т/га на высокоокультуренном. Дальнейшее развитие опыта предполагает включение в его схему ещё одного изучаемого фактора — интегрированной системы защиты культур. В этом случае площадь делянки составит 200 м^2. Наличие данного варианта позволит расширить состав культур, фитосанитарное состояние которых оценивается дистанционными методами мониторинга, а также изучить влияние условий их возделывания на оптические свойства посевов.

Для изучения оптических характеристик сорных растений на МФ АФИ закладываются опыты с дифференцированным применением гербицидов на посевах зерновых культур. Схемой опыта предусмотрено формирование делянок с разной степенью засорённости (слабая — менее 10 % проективного покрытия, средняя — 10–25 %, сильная — более 25 %), три фона азотного питания (низкий — N_0, средний — N_{60}, высокий — N_{120}) и три способа проведения гербицидных обработок (без обработки, сплошное и дифференцированное). Формирование определённого уровня засорённости достигается удалением лишних сорняков из междурядий вручную. Для формирования делянок с выровненной густотой стеблестоя культурных растений осуществляется ручной посев. Площадь делянки составляет 2 м^2, общее количество делянок — 81, повторность — трёхкратная.

Влияние азотного питания на оптические свойства сорной растительности в посевах зерновых культур изучается в опытах с внесением повышающих доз азотных удобрений. Аммиачная селитра вносится либо перед посевом (яровые зерновые), либо в весеннюю подкормку (озимые зерновые) в дозах 0, 30, 60, 90, 120, 150 кг д. в./га. При этом одна часть делянок не обрабатывается гербицидами, а вторая — обрабатывается, что позволяет выявить те изменения в спектральных характеристиках, которые связаны с присутствием сорных растений в посевах. На всех делянках проводятся фоновые фунгицидные обработки, чтобы избежать влияния на результаты спектрометрирования заболеваний растений. Площадь делянки составляет 25 м^2.

Влияние нормы высева и крупности семенного материала на состояние посева и оптические свойства сорных растений изучается в соответствующем микрополевом опыте с яровой пшеницей на фоне разного уровня азотного питания. Схема опыта включает две нормы высева (5 и 6 млн всхода семян/га), две фракции посевного материала (масса 1000 зёрен — 28,3 и 43,6 г), три фона азотных удобрений (0; 60 и 120 кг д. в./га) и использование средств защиты растений от сорной растительности (без обработки гербицидом и с её проведением). Опыт высевается вручную, площадь делянки составляет 0,25 м^2.

В микрополевых опытах с обработкой семян фунгицидами изучаются спектральные характеристики поражения озимых зерновых культур снежной плесенью и яровых зерновых культур корневыми гнилями. Опыты закладываются на одних и тех же участках, что обеспечивает накопление инфекции корневых гнилей, приближенных к лесному массиву, за счёт чего дольше сохраняется снежный покров, благоприятный для развития снежной плесени. Разный уровень поражения снежной плесенью достигается протравливанием семенного материала разными по эффективности препаратами, корневыми гнилями — высевом семян

с разной степенью заражения возбудителем гельминтоспориоза (менее 10 % развития, 10–25 %, более 25 %). Делянки высеваются вручную, площадь каждой из них составляет 2 м^2.

В мелкоделяночных опытах с обработкой вегетирующих растений фунгицидами изучаются спектральные характеристики поражения зерновых культур и ярового рапса листостеблевыми болезнями. Опыты размещаются на посевах с выровненным стеблестоем культурных растений. Для усиления развития болезней вносятся средние дозы азотных удобрений из расчёта не менее 60 кг д. в./га. Для устранения затушёвывающего эффекта, связанного с сорными растениями, проводится гербицидная обработка. Разный уровень поражения культурных растений листостеблевыми болезнями достигается наличием необрабатываемого контроля и обработкой фунгицидами с разными по эффективности нормами применения. Площадь делянки составляет 10 м^2.

Концентрация опытов на ограниченной территории упрощает проведение дистанционного мониторинга фитосанитарного состояния агроэкосистем с помощью БПЛА. Аэрофотосъёмка ведётся с помощью БПЛА самолётного (разработка АФИ) и вертолётного («Геоскан-401») типов на разной высоте (80 и 200 м) с периодичностью 8–10 дней на протяжении всего вегетационного периода (3-я декада апреля – 3-я декада сентября). В соответствии с разработанными в АФИ методическими рекомендациями дистанционная съёмка фитосанитарной информации сопровождается одновременными наземными измерениями оптических характеристик и визуальным учётом распространения и развития вредных организмов. Для этого используются портативные приборы, такие как GreenSeeker, обладающие активным источником излучения и позволяющие проводить оценку спектральных характеристик независимо от условий освещённости и атмосферных помех, в том числе на небольших по размеру делянках. При этом дистанционный мониторинг базируется на использовании тестовых площадок (они же делянки опыта), наземный — постоянных учётных площадок, которые выступают в качестве эталонов с известными параметрами фитосанитарного состояния посевов и на основе которых проводится последующая дешифровка аэрофотоснимков. Дешифрирование аэрофотоизображений осуществляется в программах QGIS, Erdas, АФИ ГИС, где имеется возможность расчёта вегетационных индексов. Одним из наиболее используемых является вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), который служит относительным показателем количества фотосинтетически активной биомассы и чётко реагирует на изменения в состоянии посева. Однако, как показал наш опыт, он не настолько чувствителен, чтобы реагировать на незначительные изменения в фитосанитарной обстановке, которые обычно соответствуют пороговым значениям распространения и развития вредных организмов.

Основные перспективы в развитии дистанционного определения фитосанитарного состояния агроэкосистем связаны с применением космической съёмки высокого разрешения. На полях МФ АФИ она может найти применение в больших стационарных опытах, где площадь делянок составляет 200–300 м^2. Кроме того, площадь пашни филиала позволяет закладывать новые производственные опыты, специально нацеленные на космический съём фитосанитарной информации. Однако есть целый ряд ограничивающих факторов. К таковым принято относить недоступность для рядовых пользователей и нерегулярность получаемой информации из-за помех, вызванных облачностью, что особенно характерно для Северо-Западного региона, где большое количество пасмурных дней считается нормой.

Анализ фитосанитарного состояния агроэкосистем МФ АФИ

Результаты многолетнего изучения фитосанитарного состояния агроэкосистем МФ АФИ свидетельствуют о типичности видового и численного состава вредных организмов, характерного для Ленинградской и соседних областей Северо-Западного региона.

Экономически значимыми фитосанитарными объектами, по отношению к которым актуальны разработки в области дистанционного зондирования, являются сорные растения. Особого внимания заслуживают массовые виды, к числу которых относятся пастушья сумка

обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), фиалка полевая (*Viola arvensis* Murr.), ромашка непахучая (*Matricaria inodora* L.), марь белая (*Chenopodium album* L.), из многолетников — пырей ползучий (*Elitrigia repens* (L.) Nevski) и осот полевой (*Sonchus arvensis* L.). Для посевов зерновых культур, за исключением озимой ржи, в большинстве случаев характерна средняя степень засорённости, для посевов ярового рапса и посадок картофеля — сильная. При возделывании этих культур практически ежегодно требуется проведение гербицидных обработок.

Среди болезней зерновых культур наиболее вредоносными являются снежная плесень (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & I. C. Hallett), от которой гибель растений при перезимовке может достигать в отдельные годы 70–80 %, а также септориоз листьев (*Septoria tritici* Roberge ex Desm) и колоса (*Septoria nodorum* Berk.) — для озимой и яровой пшеницы, гельминтоспориоз (*Pyrenophora teres* Drechsler, *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur) — для ярового ячменя. Для картофеля наибольшую опасность представляет фитофтороз (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary.), регулярные случаи эпифитотийного развития которого отмечаются в последние годы, а для ярового рапса — альтернариоз (*Alternaria brassicae* Sacc.), в сильной степени поражающий стручки. В защите посевов и посадок сельскохозяйственных культур проводят протравливание семенного материала и обработки вегетирующих растений.

Фитосанитарной особенностью Северо-Западного региона является низкая вредоносность насекомых-фитофагов на зерновых культурах. Внимания заслуживает только черёмухово-злаковая тля (*Rhopalosiphum padi* L.) в годы массового её размножения. Основные вредители картофеля — колорадский жук (*Leptinotarsa decemlineata* Say) и жуки щелкуны (*Agriotes* spp.) — имеют неравномерное распространение по полям и годам. В тоже время хозяйственно значимыми являются вредители ярового рапса. В первую очередь это крестоцветные блошки (*Phyllotreta* spp.), капустная моль (*Plutella xylostella* L.) и рапсовый цветоед (*Meligethes aeneus* F.), для которых характерна стабильно высокая численность и сильная повреждённость растений. На этой культуре проводится несколько обработок инсектицидами, тогда как на посевах зерновых и посадках картофеля это случается довольно редко.

Таким образом, МФ АФИ как по составу вредных организмов, так и по числу закладываемых ежегодно опытов представляет собой мощную экспериментальную базу для разработки научных основ и апробации полученных результатов в области дистанционного зондирования фитосанитарного состояния агроэкосистем применительно к условиям Северо-Запада России.

Литература

1. *Исмаилов Э. Я.*, *Ризванов А. А.*, *Пластинин Ю. А.*, *Захаров Е. П.*, *Исмаилов В. Я.*, *Надыкта В. Д.*, *Костенко И. А.*, *Швец А. А.*, *Волкова Г. В.*, *Савва А. П.* Перспективы дистанционного зондирования земли в целях фитосанитарного мониторинга и экотоксикологической оценки агроэкосистем // Биологическая защита растений — основа стабилизации агроэкосистем: материалы Международной научно-практич. конф. «Современные мировые тенденции в производстве и применении биологических и экологических малоопасных средств защиты растений», Краснодар, 25–27 сент. 2012. М.: Изд-во «ООО РА «Гранат», 2012. С. 406–413.
2. Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture): учебно-практ. пособие / под ред. Д. Шпаара, А. В. Захаренко, В. П. Якушева. СПб., Пушкин, 2009. 397 с.
3. *Фесенко М. А.*, *Шпанев А. М.*, *Смук В. В.* Оценка оптических характеристик посевов с помощью прибора GREENSEEKER // Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от теоретической модели к практике прецизионного управления: материалы Всерос. науч. конф. с международным участием. Санкт-Петербург, 21–23 сент. 2016. СПб.: Агрофизич. научно-исслед. ин-т, 2016. С. 390–394.
4. *Чабан Л. Н.*, *Капитонова К. Н.*, *Митрофанов Е. М.*, *Николенко А. А.*, *Штейнберг О. М.* Определение засоренности сельскохозяйственных культур по самолетным гиперспектральным изображениям // Биологическая защита растений — основа стабилизации агроэкосистем: материалы Международной научно-практич. конф. «Современные мировые тенденции в производстве и применении

биологических и экологических малоопасных средств защиты растений», Краснодар, 25–27 сент. 2012. М.: Изд-во «ООО РА «Гранат», 2012. С. 436–439.
5. *Шпанев А. М.* Перспективы определения засоренности посевов с помощью беспилотного летательного аппарата // Применение средств дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве: материалы 2-й Всерос. науч. конф. с международным участием. Санкт-Петербург, 16–17 сент. 2015. СПб.: АФИ, 2015. С. 85–88.
6. *Шпанев А. М.*, *Лекомцев П. В.* Новые подходы к методике учета сорных растений // Защита и карантин растений. 2012. № 8. С. 38–41.
7. *Шпанев А. М.*, *Петрушин А. Ф.* Методологические основы изучения оптических характеристик фитосанитарного состояния посевов // Агрофизика. 2017. № 4. С. 48–57.
8. *Шпанев А. М.*, *Лекомцев П. В.*, *Петрушин А. Ф.*, *Смук В. В.* Методика фитосанитарного мониторинга агроландшафтов с использованием физико-технической базы точного земледелия. СПб., 2017. 32 с.

Experimental basis for remote sensing of phytosanitary condition of agroecosystems in the North-West of the Russian Federation

A. M. Shpanev

Agrophysical Research Institute, Saint Petersburg 195220, Russia
E-mail: ashpanev@mail.ru

Phytosanitary monitoring as a key element of integrated plant protection system requires modernization of available approaches and methods for better match with the current level of the high technologies and its application in agriculture. The development of remote sensing assessment of phytosanitary condition of agroecosystems has promising prospects to identify within-field spatial distribution pattern of harmful objects and carry out the protective measures. Long-term field and short-term detailed experiments on plant protection have being conducted since 2012 at the Menkovo experimental station of Agrophysical Research Institute (Leningrad region, Gatchina district). The detailed description of the experiments is considered including the tools used: unmanned aerial vehicles and hand-portable sensors for spectral characteristic and vegetation indexes estimation of different phytosanitary conditions. The analysis of the phytosanitary situation formed in the crop canopies under harmful objects infestation is presented. At the same time, the list of harmful organisms economically significant for the region is distinguished for effective remote sensing application. Weed plants, particularly dominant types — Capsella bursa-pastoris, Viola arvensis, Matricaria inodora, Chenopodium album are specific for the most crops in agrocenoses. Among cereal diseases are distinguished Microdochium nivale, Septoria spp., Helminthosporium spp., potato diseases — Phytophthora infestans, spring rapeseed diseases — Alternaria brassicae. Among cereal pests are distinguished Rhopalosiphum padi, potato — Leptinotarsa decemlineata, Agriotes spp., spring rape — Phyllotreta spp., Plutella xylostella, Meligethes aeneus.

Keywords: experimental basis, phytosanitary condition, remote sensing, unmanned aerial vehicles, spectral characteristics, vegetation index

Accepted: 20.03.2019
DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-61-68

References

1. Ismailov E. Ya., Rizvanov A. A., Plastinin Ya. A., Zakharov E. P., Ismailov V. Ya., Nadikta V. D., Kostenko I. A., Shvets A. A., Volkova G. V., Savva A. P., Perspektivy distantsionnogo zondirovaniya Zemli v tselyakh fitosanitarnogo monitoringa i ekotoksikologicheskoi otsenki agroekosistem (Prospects for remote sensing of the earth for phytosanitary monitoring and ecotoxicological assessment of agroecosystems), *Biologicheskaya zashchita rastenii — osnova stabilizatsii agroekosistem* (Biological plant protection — the basis for the stabilization of agroecosystems), Proc. Intern. Scientific-Practical Conf. “Sovremennye mirovye

tendentsii v proizvodstve i primenenii biologicheskikh i ekologicheskikh maloopasnykh sredstv zashchity rastenii" (Current global trends in the production and application of biological and environmental low-hazard plant protection products), Krasnodar, 25–27 Sept., 2012, Moscow: Izd. "OOO RA "Granat", pp. 406–413.

2. *Tochnoe sel'skoe khozyaistvo* (*Precision Agriculture*), D. Shpaar, A. V. Zakharenko, V. P. Yakushev (eds.), Saint Petersburg, Pushkin, 2009, 397 p.
3. Fesenko M. A., Shpanev A. M., Smuk V. V., Otsenka opticheskikh kharakteristik posevov s pomoshchyu pribora GREENSEEKER (Evaluation of optical characteristics of crops using the device GREENSEEKER), *Agroekosistemy v estestvennykh i reguliruemykh usloviyakh: ot teoreticheskoi modeli k praktike pretsizionnogo upravleniya* (Agroecosystems in natural and regulated conditions: from a theoretical model to the practice of precision control), Proc. All-Russia Scientific Conf., Saint Petersburg, 21–23 Sept., 2016, Saint Petersburg: Agrofizicheskii nauchno-issledovatel'skii institut, 2016, pp. 390–394.
4. Chaban L. N., Kapitonova K. N., Mitrofanov E. M., Nikolenko A. A., Shteynberg O. M., Opredelenie zasorennosti selskokhozyastvennykh kultur po samoletnym giperspektralnym izobrazheniyam (Determination of infestation of agricultural crops by airborne hyperspectral images), *Biologicheskaya zashchita rastenii — osnova stabilizatsii agroekosistem* (Biological plant protection — the basis for the stabilization of agroecosystems), Proc. Intern. Scientific-Practical Conf. "Sovremennye mirovye tendentsii v proizvodstve i primenenii biologicheskikh i ekologicheskikh maloopasnykh sredstv zashchity rastenii" (Current global trends in the production and application of biological and environmental low-hazard plant protection products), Krasnodar, 25–27 Sept., 2012, Moscow: Izd. "OOO RA "Granat", pp. 436–439.
5. Shpanev A. M., Perspektivy opredeleniya zasorennosti posevov s pomoshchyu bespilotnogo letatelnogo apparata (Prospects of infestation of crops with unmanned aerial vehicle), *Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v selskom khozyaistve* (Application of remote sensing measures in agriculture), Proc. 2nd All-Russia Scientific Conf., Saint Petersburg, 16–17 Sept., 2015, Saint Petersburg: AFI, 2015, pp. 85–88.
6. Shpanev A. M., Lekomtsev P. V., Novye podkhody k metodike ucheta sornykh rastenii (New approaches to the treatment of weeds), *Zashchita i karantin rastenii*, 2012, No. 8, pp. 38–41.
7. Shpanev A. M., Petrushin A. F., Metodologicheskie osnovy izucheniya opticheskikh kharakteristik fitosanitarnogo sostoyaniya posevov (Methodological basis for studying spectral characteristics of the phytosanitary crops state), *Agrophysika*, 2017, No. 4, pp. 48–57.
8. Shpanev A. M., Lekomtsev P. V., Petrushin A. F., Smuk V. V., *Metodika fitosanitarnogo monitoringa agrolandshaftov s ispolzovaniem fiziko-tekhnicheskoi bazy tochnogo zemledeliya* (Methods of phytosanitary monitoring of agricultural landscapes using physico-technical base of precision agriculture), Saint Petersburg, 2017, 32 p.