Моделирование экологической ниши септориоза пшеницы с применением данных дистанционного зондирования Земли

Д.В. Малахов, Н.Ю. Цычуева, И.С. Витковская

*Национальный центр космических исследований и технологий
Алматы, 050010, Республика Казахстан
E-mail: d_malakhov_73@mail.ru*

Работа посвящена моделированию благоприятных условий развития грибковых заболеваний пшеницы (септориоз) в основных зерносеющих регионах Республики Казахстан. Разработка модели включает два этапа: разработку базовой модели на основе климатических переменных и разработку прогностической модели на основе данных ДЗЗ. Базовая модель представляет собой совокупность оптимальных климатических параметров (среднемесячные температуры, осадки, эвапотранспирация и т.п.) для развития септориоза и является основой для разработки алгоритмов прогноза вспышек заболевания в основных зерносеющих регионах Казахстана. Показательно, что для жизненного цикла возбудителя заболевания критичным является холодный период года. Предварительный алгоритм прогноза вспышек септориоза подразумевает применение динамической переменной – индекса VCI, рассчитываемой для каждого конкретного сезона вместе с базовой моделью, которая описывает вероятность возникновения заболевания. Показано наличие корреляции между традиционно применяемым коэффициентом ГТК (гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова) и индексом VCI. ГТК, имеющий важное значение для развития септориоза, в условиях северных областей Казахстана имеет достаточно приближенный характер вследствие того, что его расчет производится интерполяцией показателей небольшого количества метеостанций. Индекс VCI, вычисляемый на основе спутниковых данных, является объективным показателем развития растительного покрова, имеющим высокое, по сравнению с ГТК, пространственное разрешение. Пригодность и достоверность индекса VCI в сочетании с базовой моделью экологической ниши развития септориоза для прогноза вспышек заболевания являются предметом обсуждения в данной работе и заслуживают дальнейшего изучения.

Ключевые слова: септориоз, экологическая ниша, VCI, ГТК

*Одобрена к печати: 07.02.2017
DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-113-124*

Введение

В мировой практике средства ДЗЗ успешно применяются в целях мониторинга и контроля различных по своей природе явлений, относимых к биологическим опасностям (Kitron, Kazmierczak, 1997; Thomson et al., 1996; Rahman et al., 2011; Hielkama et al., 1986; Addink et al., 2009; и др.)

Моделирование экологической ниши живых организмов – очень перспективное направление современных исследований (Franklin, 2012; Khafagi et al., 2012; Graham, Hijmans, 2006; Raxworthy et al., 2007). Суть моделирования экологической ниши заключается в подборе тем или иным алгоритмом совокупности отдельных абиотических параметров (температура, осадки, особенности рельефа и т.д.) и их диапазонов, наилучшим образом описывающих известное распространение вида в природе. Экологическая ниша – совокупность всех факторов среды, в пределах которых возможно существование вида в природе. Это понятие применяется обычно при исследовании взаимоотношений экологически близких видов, связанных пищевой цепью. Занимая свою нишу в составе биогеоценоза, вид вступает в конкурентные взаимоотношения с другими видами природного сообщества, борясь за пищу и другие жизненные условия. Различают: 1) пространственную нишу – ее определение связано с изучением типа распределения особей в пределах его местонахождения; 2) функциональную (трофическую) нишу – ее сложнее всего определить,

потому что для этого необходимо знать источники питания вида, скорости метаболизма и роста, влияние, осуществляемое данным видом на другие виды, и среду; 3) многомерную нишу – некоторое гиперпространство в системе с n координат, где n – количество факторов и все возможные комбинации их взаимодействия, охватывающее полный диапазон условий, при котором организм может успешно воспроизвести себя. Все эти типы ниш могут быть с разной степенью точности описаны и оценены количественно (Hutchinson, 1957).

Септориоз – грибковое заболевание, возбудителями которого являются несовершенные грибы *Septoria tritici*, *Septoria graminum*; заболевание развивается преимущественно на листьях (Койшибаев, 2002). При септориозе уменьшается ассимиляционная поверхность листьев, отмечаются недоразвитость колоса и преждевременное дозревание хлебов. Недобор зерна иногда достигает 30%.

Целью создания модели экологической ниши септориоза было выявление основных факторов окружающей среды, определяющих развитие заболевания на посевах пшеницы без учета влияния человека, т.е. комплекс агротехнических мероприятий, направленных на снижение риска заболевания пшеницы септориозом не учитывался, равно как и его нарушения, приводящие к вспышкам. Иными словами, комплекс использованных данных рассматривается в качестве естественных условий существования *Septoria tritici* и *Septoria graminum* в окружающей среде.

Методика моделирования экологической ниши септориоза

Для моделирования применялись свободно распространяемые данные WorldClim (<http://www.worldclim.org/>) – среднемесячное количество осадков и среднемесячные температуры, BioClim (<http://climate.calcommons.org/dataset/worldclim-global-climate-data>) – поквартальное количество осадков, квартальные температуры и ряд других показателей, а также Global-PET (<http://www.cgiar-csi.org/data/global-aridity-and-pet-database>) – глобальный помесечный индекс эвапотранспирации. Все данные представлены в виде растров с разрешением 1 км, где каждой ячейке соответствует уникальное значение параметра. Данные для всех трех наборов были получены усреднением показаний метеостанций за период 50 и более лет (см. подробнее на сайтах).

На основании полевых данных о распространении септориоза на территории Акмолинской, Кустанайской и Североказахстанской областей за 2009, 2011, 2013, 2014 и 2015 годы были получены сведения о значениях каждого из более чем 60 анализируемых параметров для точек, где отмечено проявление септориоза из трех указанных наборов климатических данных. Наземные точки делятся на две группы – опытную (75% общего числа точек) и контрольную (25% общего числа точек). Методика выявления оптимальных диапазонов каждой климатической переменной достаточно проста и осуществляется в среде ArcGIS в несколько этапов.

Сначала растры климатических данных загружаются в ArcGIS вместе с полевыми точками. Затем для каждой точки с растров снимаются значения пикселей, соответствующие географическому расположению точек. Статистически показано, что набор значений, полученных для наземных точек, является нормальным распределением. После этого с помощью Statistica 10.1 (или Microsoft Excel) для всего диапазона данных по каждому отдельному параметру производится вычисление перцентилей (12,5 и 87,5), что позволяет выделить оптимальный диапазон (75% совокупности значений нормального распределения) каждого параметра.

Следующим этапом построения модели является перекодирование исходных климатических растров в новые, при этом значениям ячеек внутри оптимального диапазона присваивается новое значение «1», значениям ячеек вне диапазона присваивается новое значение «0» (рис. 1а, б).

Рис. 1. а) исходный растр климатической переменной; б) реклассифицированный растр климатической переменной

Для определения значимых параметров (т.е. тех климатических переменных, которые каким-то образом оказывают влияние на жизненный цикл возбудителя септориоза) применяются контрольные точки. Определяется количество совпадений контрольных точек с выделенными оптимальными диапазонами каждой климатической переменной. Те переменные, для которых количество совпадений составляет 75% и выше, считаются значимыми для развития септориоза.

Результаты моделирования экологической ниши

В табл. 1 перечислены значимые климатические параметры и приведены значения для оптимальных диапазонов каждого параметра.

К интерпретации полученных «ключевых» параметров следует относиться осторожно, поскольку живой объект обладает известной пластичностью (норма реакции), границы которой являются предметом отдельного изучения для каждого вида. Тем не менее любо-

пытно, что в наборе значимых параметров ведущую роль играют не осадки, как можно было ожидать, а температурные показатели. При этом среди важнейших параметров оказались температуры холодных сезонов года. Видимо, основным лимитирующим фактором распространения септориозов являются в естественной среде условия зимовки, в которых происходит вызревание спор и их сохранение до вегетативного периода. М. Койшибаев (Койшибаев, 2002) отмечает, что в засушливых условиях Казахстана пикнидиальное спороношение не всегда образуется на пораженных органах растений. Часто его формирование происходит на пожнивных остатках в осенне-весенний период. Следует также отметить, что наличие высокой влажности (до капельного состояния) необходимо только для прорастания спор, в то время как избыточная влажность в осенний период приводит к гибели спор в открытой пашне. Видимо, с этим обстоятельством связана лимитирующая роль осадков (при условии соблюдении агротехнологий) сентября.

Таблица 1. Перечень ключевых климатических параметров и их оптимальных значений для разработки модели экологической ниши септориозов

<i>Климатическая переменная</i>	<i>Диапазон оптимальных значений</i>
Максимальная температура самого теплого месяца	25,8–27,2°C
Минимальная температура самого холодного месяца	-22,0–20,8°C
Средняя температура наиболее влажного квартала	17,1–19,0°C
Средняя температура наиболее сухого квартала	14,8–13,6°C
Средняя температура наиболее теплого квартала	18,1–19,0°C
Средняя температура наиболее холодного квартала	-16,1 – -15,1°C
Количество осадков наиболее холодного квартала	44–53 мм
Эвапотранспирация в январе	0–1 мм/мес
Эвапотранспирация в феврале	0–2 мм/мес
Эвапотранспирация в июне	149–157 мм/мес
Эвапотранспирация в июле	150–162 мм/мес
Эвапотранспирация в августе	116–129 мм/мес
Количество осадков в марте	1,1–1,4 мм
Количество осадков в мае	2,8–3,5 мм
Количество осадков в сентябре	2,2–2,7 мм
Максимальная температура июня	25,8–27,2°C
Максимальная температура августа	22,7–24,7°C
Максимальная температура сентября	17,4–19,1°C
Средняя температура мая	11,9–13,2°C
Средняя температура июня	17,6–18,6°C
Средняя температура июля	19,7–20,7°C
Средняя температура октября	-7,6–6,6°C
Минимальная температура февраля	-22,0–20,7°C
Минимальная температура марта	-14,9–13,5°C
Минимальная температура августа	10,3–11,6°C
Минимальная температура сентября	4,8–6,1°C
Минимальная температура октября	-2,6–1,3°C
Минимальная температура декабря	-18,0–17,0°C

После выделения основных факторов развития септориоза была построена карта, которую можно считать картой «природной очаговости заболевания» (рис. 2).

Рис. 2. Экологическая ниша септориоза на примере Акмолинской области

Возможности применения модели для прогноза вспышек септориоза

Изучение взаимосвязи степени развития септориоза в 2015 году с данными модели показало, что прямая корреляция степени развития заболевания и сочетания благоприятных климатических факторов отсутствует. Это неудивительно, поскольку модель описывает лишь вероятность появления септориоза в том или ином регионе, исходя из абиотических факторов. Легко вообразить, к примеру, ситуацию, когда в идеальном, с точки зрения климатических факторов, месте нет злаков, на которых паразитирует септория. Понятно, что в такой местности вспышки септориоза не будет. Отсутствие прямой зависимости между степенью развития болезни и данными пространственного моделирования экологической ниши говорит, на наш взгляд, о том, что вспышки заболевания обусловлены, прежде всего, наличием монокультуры на обширных площадях и несоблюдением комплекса агротехнических мероприятий, направленных на предотвращение вспышек грибковых заболеваний пшеницы. Такой вывод подтверждается наблюдениями М. Койшибаева (Койшибаев, 2002), отмечающего особо сильное развитие септориоза на повторных посевах пшеницы, т.е. в условиях, когда возбудитель сохраняется на растительных остатках предшествующе-

го года. Септориоз пшеницы проявляется в течение всего вегетационного периода, начиная с фазы двух–трех листьев, и в период вегетации обнаруживается на всех надземных частях растений пшеницы. Пикноспоры распространяются с каплями дождя и потоками воздуха иногда на расстояние 90–100 м. Прорастают в капельках влаги при температуре от 9°C до 28°C (оптимум 20–22°C). Инкубационный период болезни 6–9 дней. За время вегетации растений возбудители дают несколько поколений. Особенно интенсивно развивается болезнь при частом выпадении дождей.

Зимуют пикниды грибов главным образом на остатках пораженных растений, находящихся на поверхности почвы, а также на всходах озимых зерновых культур. Иногда источником инфекции могут быть зараженные семена (особенно озимых культур). При повышенной температуре и большой сухости воздуха жизнеспособность пикноспор может сохраняться более трех месяцев. Та часть жизненного цикла гриба, которая проходит на пшенице, лишь постольку зависит от внешних условий, поскольку от них зависит жизнеспособность пшеницы. Условия спорообразования, проходящего уже на отмерших частях растений, связаны именно с климатическими параметрами, но остаются невидимыми с точки зрения влияния их на посевы. Для споры септории, находящейся на живом растении, необходима определенная совокупность внешних, динамических, факторов, которая «включает» прорастание споры. При отсутствии этой совокупности спора не прорастет. Такими факторами являются влажность и температура, которые определенным образом связаны посредством так называемого гидротермического коэффициента (ГТК). Коэффициент ГТК рассчитывается по формуле:

$$ГТК = \frac{\sum r}{0,1 \sum t},$$

где $\sum r$ – сумма осадков за вегетационный период (мм); $\sum t$ – сумма температур за тот же период (°C). Этот коэффициент не используется для оценки условий увлажнения зимы, весны и осени, когда средняя суточная температура воздуха ниже 10°C (Селянинов, 1937).

ГТК, не имея непосредственного влияния на степень развития септориоза, тем не менее должен выдерживаться в определенном оптимальном диапазоне для начала активной фазы жизненного цикла возбудителя. Оптимальными считаются средние температуры летних месяцев на уровне 16–18 градусов при высокой эвапотранспирации (120–160 мм) и наличии капельной влаги для прорастания спор. Оптимум значений ГТК – 0,7–1,2. Совокупность таких условий приводит к вспышке септориоза (Борзионова, Васецкая, 1991; Васецкая, 1989; Уровни и тенденции..., 2000; Ишкова и др., 2001; Койшибаев, Исмаилова, 1991; Койшибаев, 2002; Санина, Анциферова, 1991). Однако ГТК рассчитывается на основании показаний наземных метеостанций, вследствие чего интерполяция показаний отдельных метеостанций на большие территории приводит к существенным неточностям. В то же время существует ряд вегетационных индексов (интегральный вегетационный индекс, индекс здоровья растительного покрова и т.п.), которые, подобно ГТК, отражают состояние растительного покрова в связи с температурными и термальными условиями сезона вегетации.

Кроме того, использование спутниковой информации делает процесс мониторинга условий развития болезней зерновых культур более динамичным и точным, нежели использование опосредованных данных, примером которых является ГТК. В данной работе была предпринята попытка изучения корреляции индекса VCI с коэффициентом ГТК и степенью развития септориоза по данным полевых наблюдений 2015 года в Акмолинской области. Индекс VCI (индекс состояния растительности) разработан для устранения недостатков индекса NDVI, значения которого существенно колеблются в зависимости от климата, почвы, растительности и рельефа исследуемой территории и не связаны с влиянием погодных условий. Индекс VCI позволяет дать описание почвенно-растительного покрова и пространственно-временных изменений растительности и в то же время позволяет оценить влияние погодных условий конкретного сезона на растительный покров.

Индекс вычисляется по формуле (Unganai, Kogan, 1998; Seilier et al., 2000; Kogan, 2001):

$$VCI = (NDVI_i - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min}),$$

где $NDVI_i$ – наблюдаемое значение, $NDVI_{\min}$ – минимальное значение за период наблюдения, $NDVI_{\max}$ – максимальное значение за период наблюдения.

Значения $NDVI_{\max}$ и $NDVI_{\min}$ рассчитаны на территорию Акмолинской области за период 2000–2015 гг.

Были изучены корреляции индекса VCI и ГТК, а также ГТК и степени поражения посевов септориозом для наземных данных по Акмолинской области за 2015 год. Степень поражения пшеницы септориозом определяется в процентах согласно *табл. 2*.

Таблица 2. Определение степени поражения посевов зерновых культур септориозом

<i>Степень поражения болезнями (ярус листьев или органы повреждения у растений)</i>	<i>Массовость распространения среди растений</i>	<i>Процент повреждения</i>	<i>Код для загрузки в систему ГИС при построении карт</i>
Слабая (нижний ярус листьев у посевов)	Единичные или немногие растения	1–10	1
	Многие или все растения	11–20	2
Средняя (средний ярус листьев у посевов)	Единичные или немногие растения	21–30	3
	Большинство или все растения	31–40	4
Сильная (верхний ярус листьев, колосьев у растений)	Единичные или немногие растения	41–60	5
	Большинство растений	61–80	6
	Все растения	81–100	7

Статистическая обработка полевых данных и значений VCI, рассчитанных подекадно и ежемесячно на весь период вегетации пшеницы (май–август 2015 г.) по данным TERRA/

MODIS, показала наличие определенной корреляции между степенью поражения посевов септориозом и ГТК мая с одной стороны (рис. 3а) и ГТК мая и VCI мая – с другой (рис. 3б).

Рис. 3. а) корреляция степени поражения посевов септориозом и ГТК; б) корреляция ГТК и VCI

Как явствует из *табл. 2*, оценка степени поражения, будучи более детальной, чем общепринятые в описаниях категории «малая, средняя, сильная степень поражения», сохраняет известную аппроксимацию данных, поскольку, по сути, 100% шкалы поражения делятся всего на семь фактических классов. Такая ситуация оставляет большой простор для субъективизма при составлении полевых описаний различными наблюдателями. Применимость полученного уравнения для расчета степени поражения пшеницы септориозом, таким образом, остается объектом дальнейших исследований.

Для прогноза возможных вспышек септориоза представляется целесообразным применять непосредственно индекс VCI в сочетании с базовой моделью экологической ниши септориоза (*рис. 4*).

Рис. 4. Совмещение базовой модели экологической ниши септориоза с оптимальным диапазоном индекса VCI. Выделены территории наиболее вероятных вспышек септориоза

Для разработки данной карты по указанной выше методике с применением опытной и контрольной групп точек был рассчитан оптимальный для септориоза диапазон значений индекса VCI (0,102–0,307), который после совмещения с базовой моделью позволяет выделить территории, теоретически наиболее благоприятные для развития септориоза по состоянию текущего года. Полевые наблюдения 2016 года показали, что 87,5% зарегистрированных полей, пораженных септориозом, соответствуют «приемлемым» и «хорошим» условиям базовой модели экологической ниши. 75% зарегистрированных проявлений септориоза на пшенице в 2016 году соответствовали оптимальному диапазону индекса VCI.

Заключительные замечания

К недостаткам описанного подхода следует отнести невысокую степень корреляции между пораженностью посевов септориозом, ГТК и VCI. Такая ситуация может быть объяснима несколькими причинами, среди которых: достаточно субъективная трактовка степени поражения посевов наблюдателем, несомненная неточность значений ГТК, которые для территории трех административных областей выводятся путем интерполяции данных ограниченного числа метеостанций и т.п. С другой стороны, применение вегетационных индексов в качестве альтернативы ГТК подразумевает большую гибкость и оперативность мониторинговых мероприятий, высокую детализацию получаемых результатов (250 метров в случае использования данных MODIS). Универсальный характер базовой модели экологической ниши, определяющей территории наиболее вероятного развития септориоза, в сочетании с данными ДЗЗ, оценивающими динамические характеристики, влияющие на жизненный цикл паразита, делают подобный подход весьма перспективным инструментом мониторинга и борьбы с одним из серьезнейших заболеваний зерновых культур. Исследования будут продолжены в направлении оценки корреляции других вегетационных индексов (например, индекса здоровья растительности) со степенью поражения посевов грибковыми заболеваниями, а также изучением возможностей средств ДЗЗ для выявления других параметров, влияющих на развитие болезней, например, таких как сохранение в почве пожнивных остатков, являющихся отличным субстратом для перезимовки пикноспор.

Работа выполнена в рамках Республиканской бюджетной программы 076 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности, транспорта и коммуникации» Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан на 2016–2018 годы. Авторы выражают признательность сотрудникам Департамента сельскохозяйственного мониторинга АО «НЦКИТ» Н.Э. Бекмухамедову, Н.Н. Карабкиной, Р.Т. Исакову, О.В. Дегтяревой, А.С. Айсаровой, К. Аюпову за ценные консультации, содействие при проведении полевых наблюдений и помощь в обработке полевых данных.

Литература

1. Борзионова Т.И., Васецкая М.Н. Особенности развития септориоза в условиях лесостепных и предгорных районов Алтайского края // Сибирский вестник с.-х. науки. 1991. № 1. С. 43–46.
2. Васецкая М.Н. Состояние и перспективы исследований септориоза пшеницы в СССР // Повышение продуктивности и устойчивости производства зерна озимой пшеницы в СССР. Сборник научных трудов. М.: Миронивка. 1989. С. 115–129.
3. Ишкова Т.И., Берестецкая Л.И., Гасич Е.Л., Власов Д.Ю. Учебно-методическое пособие по диагностике основных грибных болезней хлебных злаков. Санкт-Петербург: ВИЗР, 2001. 76 с.
4. Койшибаев М. Болезни зерновых культур. Алматы: Бастау, 2002. 367 с.
5. Койшибаев М., Исмаилова Э.Т. Особенности развития и вредоносность септориоза пшеницы в Казахстане // Вестник с.-х. науки Казахстана. 1991. № 11. С. 31–36.
6. Санина А.А., Анциферова Л.В. Видовой состав грибов рода *Septoria* Sacc. на пшенице в Европейской части СССР // Микология и фитопатология. 1991. Т. 25. Вып. 3. С. 250–252.
7. Селянинов Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата // Мировой агроклиматический справочник. Л.: Гидрометеиздат, 1937. С. 5–27.
8. Уровни и тенденции изменения видового состава и внутривидовой структуры, ареалы комплексов вредных и полезных организмов и прогноз опасных фитосанитарных ситуаций по зонам страны. Ред. Новожилов К.В., Захаренко В.А. Санкт-Петербург: РАСХН, 2000. 100 с.

9. Addink E.A., de Jong S.M., Davis S.A., Dubyanskiy V., Leirs H. Using very high spatial resolution remote sensing to monitor and combat outbreaks of bubonic plague in Kazakhstan // *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal, Brasil, 25–30 April 2009. INPE. P. 7529–7536.
10. Franklin J. Mapping species: Distributions. Spatial inference and prediction. Department of Geography and the Environment, University of Texas, Austin, Texas, USA. 2012. 320 p.
11. Graham C.H., Hijmans R.J. A comparison of methods for mapping species ranges and species richness // *Global Ecology and Biogeography*. 2006. Vol. 15. P. 578–587.
12. Hielkama J.U., Roffey J., Tucker C.J. Assessment of ecological conditions associated with the 1980/81 desert locust plague upsurge in West Africa using environmental satellite data // *International Journal of Remote Sensing*. 1986. Vol. 7. No. 11. P. 1609–1622.
13. Hutchinson G.E. Concluding remarks // *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*. 1957. No. 22. P. 415–427. Reprinted in 1991: *Classics in Theoretical Biology*. Bull. of Math. Biol. Vol. 53. P. 193–213.
14. Kitron U., Kazmierczak J.J. Spatial analysis of the distribution of Lyme disease in Wisconsin // *Am. J. Epidemiol.* 1997. Vol. 145. P. 558–66.
15. Khafagi O., Hatab E.E., Omar K. Ecological Niche Modeling as a Tool for Conservation Planning: Suitable Habitat for *Hypericum sinaicum* in South Sinai, Egypt // *Universal Journal of Environmental Research and Technology*. 2012. Vol. 2. Issue 6. P. 515–524.
16. Kogan F.N. Operational Space Technology for Global Vegetation Assessment // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2001. Vol. 82. Issue 9. P. 1949–1964.
17. Rahman A., Kogan F., Roytman L., Goldberg M., Guo W. Modelling and prediction of malaria vector distribution in Bangladesh from remote-sensing data // *International Journal of Remote Sensing*. 2011. Vol. 32. Issue 5. P. 1233–1251.
18. Raxworthy C.J., Ingram C.M., Rabibisoa N., Pearson R.G. Applications of Ecological Niche Modeling for Species Delimitation: A Review and Empirical Evaluation Using Day Geckos (*Phelsuma*) from Madagascar // *Syst. Biol.* 2007. Vol. 56. Issue 6. P. 907–923.
19. Thomson M.C., Connor S.J., Milligan P.J.M., Flasse S.P. The ecology of malaria-as seen from Earth-observation satellites // *Ann. Trop. Med. Parasitol.* 1996. Vol. 90. P. 243–64.
20. Unganai L.S., Kogan F.N. Drought Monitoring and Corn Yield Estimation in Southern Africa from AVHRR Data // *Remote Sens. Environ.* 1998. Vol. 63. P. 219–232.
21. Seiler R.A., Kogan F., Guo W. Monitoring weather impact and crop yield from NOAA AVHRR data in Argentina // *Adv. Space Res.* 2000. Vol. 26. No. 7. P. 1177–1185.

Modelling the ecological niche of wheat septoriosiis using remote sensing data

D.V. Malakhov, N.Yu. Tsyhuyeva, I.S. Vitkovskaya

*National Center for Space Research and Technology
Almaty 050010, Republic of Kazakhstan
E-mail: d_malakhov_73@mail.ru*

The papers describes the modelling of suitable conditions for septoriosiis outbreaks in main grain-producing regions of Kazakhstan. Model development consists of two major stages: the development of basic model by climatic variables and the updating of basic model with predictive factors obtained from remotely sensed data. The base model represents a set of climatic variables that is optimal for septoriosiis manifestation (mean, maximal and minimal monthly temperatures, monthly precipitation, evapotranspiration etc.). This model is a starting point to develop prediction algorithms for disease outbreaks in major grain-producing regions of Kazakhstan. The model key parameters indicate that the cold season is crucially important within the life cycle of disease pathogen. Preliminary algorithm of septoriosiis outbreaks forecast involves the use of dynamic variable – VCI (Vegetation Condition Index). VCI, calculated for a given year, is further used to outline the most probable areas of septoriosiis outbreak if applied along with basic model. The presence of certain correlations between traditionally used HTC (Hydrothermal coefficient by Selyaninov) and VCI confirmed the usage of VCI. HTC, which is important factor for septoriosiis development, has, however, high approximation level because its calculation assumes the interpolation of small number of meteorological stations data within a large area. VCI calculated from satellite data is an objective indicator of vegetation condition having high spatial resolution. The suitability and reliability of VCI in conjunction with the base model of the ecological niche of *Septoria* for predicting disease outbreaks are discussed in this paper and represent the subject of further study.

Keywords: septoriosiis, ecological niche, VCI, hydrothermal coefficient

*Accepted: 07.02.2017
DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-113-124*

References

1. Borzionova T.I., Vasetskaya M.N., Osobennosti razvitiya septorioza v usloviyakh lesostepnykh i predgornykh raionov Altaiskogo kraya (Peculiarities of septoriosi development in forest-steppe and foothill regions of Altay), *Sibirskiy vestnik sel'skhozaystvennoy nauki*, 1991, No. 1, pp. 43–46.
2. Vasetskaya M.N., Sostoyanie i perspektivy issledovaniya septorioza pshenitsy v SSSR (The state and perspectives of septoriosi study in USSR), In: *Povyshenie produktivnosti i ustoichivosti proizvodstva zerna ozimoi pshenitsy v SSSR*, Mironovka, 1989, pp. 115–129.
3. Ishkova T.I., Berestetskaya L.I., Gasich E.L., Vlasov D.Yu., *Uchebno-metodicheskoe posobie po diagnostike osnovnykh gribnykh boleznei khlebnnykh zlakov* (Training manual on major fungal disease of crop plants diagnostics), Saint-Petersburg: VIZR, 2001, 76 p.
4. Koyshibayev M., *Bolezni zernovykh kul'tur* (Infections of crop plants), Almaty: Bastau, 2002, 376 p.
5. Koyshibayev M., Ismailova E.T., Osobennosti razvitiya i vredonosnost' septorioza pshenitsy v Kazakhstane (Development peculiarities and harmfulness of septoriosi in Kazakhstan), *Vestnik sel'skhozaystvennoy nauki Kazakhstana*, 1991, No. 11, pp. 31–36.
6. Sanina A.A., Antsiferova L.V., Vidovoi sostav gribov roda Septoria Sacc. na pshenitse v Evropeiskoi chasti SSSR (Specific composition of fungi Septoria Sacc. on the wheat of European part of USSR), *Mikologiya i fitopatologiya*, 1991, Vol. 25, No. 3, pp. 250–252.
7. Seljaninov G.T., Metodika sel'skhozaystvennoy harakteristiki klimata (Method of agricultural characterization of climate), In: *Mirovoi agroklimaticheskii spravochnik*, Leningrad: Godrometeoizdat, 1937, pp. 5–27.
8. Urovni i tendentsii izmeneniya vidovogo sostava i vnutripopulyatsionnoi struktury, arealy kompleksov vrednykh i poleznykh organizmov i prognoz opasnykh fitosanitarnykh situatsii po zonam strany (Levels and trends in species and intrapopulation structural changes, areas of harmful and beneficial organisms along with harmful phytosanitary situations by country zones), Novozhilov K.V., Zakharenko V.A. (eds.), Saint-Petersburg: RAAS, 2000, 100 p.
9. Addink E.A., de Jong S.M., Davis S.A., Dubyanskiy V., Leirs H., Using very high spatial resolution remote sensing to monitor and combat outbreaks of bubonic plague in Kazakhstan, *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25–30 April 2009, INPE, pp. 7529–7536.
10. Franklin J., *Mapping species: Distributions. Spatial inference and prediction*. Department of Geography and the Environment, University of Texas, Austin, Texas, USA, 2012, 320 p.
11. Graham C.H., Hijmans R.J., A comparison of methods for mapping species ranges and species richness, *Global Ecology and Biogeography*, 2006, Vol. 15, pp. 578–587.
12. Hielkama J.U., Roffey J., Tucker C.J., Assessment of ecological conditions associated with the 1980/81 desert locust plague upsurge in West Africa using environmental satellite data, *International Journal of Remote Sensing*, 1986, Vol. 7, No. 11, pp. 1609–1622.
13. Hutchinson G.E., Concluding remarks, *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 1957. No. 22, pp. 415–427. Reprinted in 1991: Classics in Theoretical Biology. *Bull. of Math. Biol.*, Vol. 53, pp. 193–213.
14. Kitron U., Kazmierczak J.J., Spatial analysis of the distribution of Lyme disease in Wisconsin, *Am. J. Epidemiol.*, 1997, Vol. 145, pp. 558–66.
15. Khafagi O., Hatab E.E., Omar K., Ecological Niche Modeling as a Tool for Conservation Planning: Suitable Habitat for *Hypericum sinaicum* in South Sinai, Egypt, *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 2012, Vol. 2, Issue 6, pp. 515–524.
16. Kogan F.N., Operational Space Technology for Global Vegetation Assessment, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2001, Vol. 82, Issue 9, pp. 1949–1964.
17. Rahman A., Kogan F., Roytman L., Goldberg M., Guo W., Modelling and prediction of malaria vector distribution in Bangladesh from remote-sensing data, *International Journal of Remote Sensing*, 2011, Vol. 32, Issue 5, pp. 1233–1251.
18. Raxworthy C.J., Ingram C.M., Rabibisoa N., Pearson R.G., Applications of Ecological Niche Modeling for Species Delimitation: A Review and Empirical Evaluation Using Day Geckos (*Phelsuma*) from Madagascar, *Syst. Biol.*, 2007, Vol. 56, Issue 6, pp. 907–923.
19. Thomson M.C., Connor S.J., Milligan P.J.M., Flasse S.P., The ecology of malaria-as seen from Earth-observation satellites, *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 1996, Vol. 90, pp. 243–64.
20. Unganai L.S., Kogan F.N., Drought Monitoring and Corn Yield Estimation in Southern Africa from AVHRR Data, *Remote Sens. Environ.*, 1998, Vol. 63, pp. 219–232.
21. Seiler R.A., Kogan F., Guo W., Monitoring weather impact and crop yield from NOAA AVHRR data in Argentina, *Adv. Space Res.*, 2000, Vol. 26, No. 7, pp. 1177–1185.