

УДК 551.501.8, 631.1

ПРИМЕНЕНИЕ ДЗЗ И ГИС ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ

В.И. Колесник, К.В. Колесник, В.П. Петренкова, В.В. Попов, Д.В. Смазлюк, В.Ю. Чех

ВВЕДЕНИЕ

В условиях рыночной экономики задача прогнозирования урожая зерновых является весьма актуальной. В общем, играют роль такие факторы, как экономическая целесообразность, сохранение окружающей среды и социальная приемлемость. В любом случае получение немедленного дохода для фермера является насущной необходимостью даже и с точки зрения сохранения фермером контроля над природными ресурсами.

Таким образом, перспектива повышения доходности предприятия является наиболее сильной мотивацией для внесения фермерами изменений в применяемые ими технологии.

Информация об ожидаемом урожае, о причинах возможных потерь и об уровне потерь интересует как самих производителей сельскохозяйственной продукции, так и страховые компании, закупочные компании, наконец, государственные структуры. Для последних эта информация является не только глубоко экономической, но и политической не в меньшей степени.

Потери урожая и снижение качества продукции от вредных организмов достигают 30% и более. Поэтому имеет большое значение долгосрочное и оперативное прогнозирование появления вредных организмов на уровне допустимых порогов вредоносности и организации оперативной защиты производственного процесса доступными технологическими средствами. Особую значимость прогноз имеет для оптимизации затрат на приобретения нужных ядохимикатов, их транспортировки и хранения и т.д.

Обладая достоверным прогнозом, можно как снизить физические потери за счет, например, своевременной борьбы с вредителями, так и снизить финансовые потери, например, производя своевременные закупки по оптимальным ценам. Можно привести множество примеров, когда экологически щадящие технологии одновременно являются и экономически более выгодными.

Практически, прогноз сводится, во-первых, к составлению достоверной модели, учитывающей практически измеряемые параметры среды, во-вторых, к мониторингу и скринингу этих параметров, в третьих, к интеграции измерений, модельных расчетов и прогноза, и, наконец, в четвертых, к практической статистической и точностной проверке результатов.

В настоящей статье описана система прогнозирования урожая зерновых на основе данных мониторинга и скрининга метеорологических параметров и данных ДЗЗ.

ВЫБРАННЫЕ МОДЕЛИ

В настоящее время круг доступных для моделирования параметров факторов экологической среды очерчен параметрами, регистрируемыми средствами метеонаблюдений (температура, влажность воздуха, осадки и производные от них Σ , ГТК и т.д.), данными ДЗЗ (космические снимки в различных диапазонах длин волн), а также инструментальными наблюдениями за влажностью почвы и другими физическими параметрами её.

Динамика макрокосмических составляющих в настоящее время может быть представлена для моделирования в параметрах количественной оценки солнечной активности (числа Вольфа). Эти параметры отображают в целом трансформацию магнитного поля Земли и других параметров составляющих информационно-энергетических составляющих биосферы.

Для модели, дающей возможность прогнозировать ход производственного процесса и управлять им, необходимо знать характер трансформации условий места производства. Оценка характера трансформации в модели отображается многолетними (33 года) наблюдениями отдельного сорта яровой пшеницы Харьковской 46 и фактическими данными физической среды.

Предложенные модели представляют собой многофакторные регрессионные уравнения, учитывающие все перечисленные выше факторы. Уравнения составлены на основании многолетних (33 года) наблюдений в опытном хозяйстве "Элитное" Института растениеводства им. В.Я. Юрьева. Уравнения включают в себя значения наблюдений за состоянием внешней среды на разных этапах развития растений.

Модель прогнозирования урожая и параметров его качества

Урожай, а также показатели его качества в зависимости от условий внешней среды описывается следующим уравнением:

$$Y = a + \sum_{i=1}^{N_{\text{params}}} (b_i \cdot x_i), \quad (1)$$

где a – свободный член уравнения; b_i – коэффициенты при независимых переменных.

Параметры модели включают в себя: эффективные температуры в пригрунтовых слоях воздуха, количество осадков, гидротермический коэффициент, запасы продуктивной влаги в слое почвы и числа Вольфа. Все эти параметры учитываются в различные вегетационные периоды. По результатам дешифрирования данных ДЗЗ предлагается определять даты всходов, колошения, созревания, т.е. вегетационные периоды.

Выбранная модель отображает многолетнюю динамику физической среды для места производства яровых зерновых культур в полевых севооборотах для Северной

Лесостепи Украины (50° северной широты). Для других регионов, как и для других культур, такая модель должна быть уточнена.

Принцип разработки модели применим и для других культур, только решающее значение имеет биологическая специфичность последних, в частности, характер отклика на изменение физической среды процессов роста, развития, формообразования, продукционного процесса, формирования качества продукции и генетической защиты урожая от вредных организмов [1].

Значения средних многолетних независимых переменных рассматриваются как наиболее вероятное состояние физической среды, и они рекомендуются использовать для прогноза урожая, качества продукции, вредоносности вредителей и болезней по результатам скрининга и мониторинга в течение вегетационного периода. До начала полевых работ и скрининга физической среды места выращивания ожидается урожай, качество и появление вредителей и болезней среднемноголетнее, т.е. наиболее вероятное значение.

По мере получения результатов скрининга и мониторинга прогноз по модели просчитывается с учетом фактически полученных параметров физической среды. Результат дает возможность судить о наиболее вероятном характере и интенсивности формирования урожая, качества и появления вредителей и болезней.

Такие результаты динамического прогноза дают возможность оперативно использовать возможные технологические приемы для коррекции неблагоприятного влияния на продукционный процесс лимитов факторов физической и биотической среды или наоборот его усиления.

Модель составлена для сортов, признанных национальным стандартом для конкретной культуры. Сортоспецифичность по реакции на условия среды и выраженность реакции в зависимости от применяемого уровня технологии в конкретной модели не рассматривается.

Модель приложима к наиболее вероятному состоянию физической среды, районированному сорту и принятой технологии возделывания, и поэтому необходимо при интерпретации результатов это учитывать. Корректировать результаты возможно на основании сравнительного изучения сортов и технологий, т.е. через эффект нового сорта и технологии.

Модель распространения и вредоносности вредителей и болезней

Рассмотрены возможности оперативного прогноза появления и распространения вредных организмов на посевах в конкретном регионе на конкретной культуре.

В качестве примера приводится модель для вредителей вредной черепашки и хлебного жука, а также для пыльной головни – одной из распространенных болезней зерновых культур. Результаты анализа моделей показывают, как и для рассмотренных выше зависимых переменных (урожая, клейковины и содержания белка) высокую степень зависимости от состояния физической среды. Коэффициент множественной корреляции для вредителей равен 0,9 и выше, а для болезни – на уровне 0,8.

Заселённость площадей посевов хлебным жуком (% заселённой площади от обследованной), плотность клопа черепашки (особей/м²), поражённость пыльной головнёй (% поражённости) описывается тем же уравнением (1), что и урожай (поскольку оба являются многофакторными регрессионными уравнениями), но, разумеется, с другими значениями коэффициентов.

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ

Скриннинг

Непосредственно на выбранном поле будут измеряться следующие параметры:

- эффективная температура в пригрунтовых слоях воздуха;
- сумма количества осадков на поверхности;
- запас продуктивной влаги в верхних слоях почвы;
- солнечная активность.

Все остальные параметры, необходимые для модели, являются либо производными от этих (гидротермический коэффициент), либо поставляются гидрометцентром (числа Вольфа), либо измеряются по данным ДЗЗ (даты вегетационных периодов).

Таким образом, задача сводится к установке на поле соответствующих датчиков, а также АЦП, контроллера, передатчика и их автономных источников питания.

По проведенным оценкам, для требуемой ежечасной передачи оцифрованных данных с 7-30 датчиков, установленных на одном экспериментальном поле, по критерию стоимость-эффективность лучше всего подходит GSM – модем. В тех, с каждым днем все более труднодоступных, областях, куда еще поселить не добралась мобильная связь, можно использовать спутниковую аппаратуру передачи данных, но это будет на порядки дороже. Полученные данные по сети Internet будут передаваться на сервер (рис. 1).

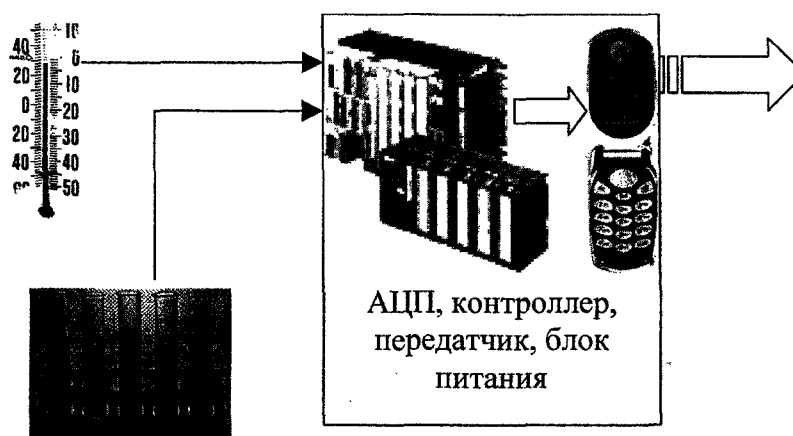


Рис. 1. Функциональная схема скрининга на экспериментальном поле

Выбор типа данных ДЗЗ

Для определения состояния вегетации по данным ДЗЗ традиционно используется параметр, называемый индексом вегетации. Известно, что каждый физический объект лучше поглощает электромагнитное излучение в определенном спектре, а в другом спектре лучше отражает. Так, пигмент хлорофилл, непременно присутствующий в зеленых листьях растений, сильно поглощает видимый диапазон волн (от 0.4 до 0.7 μm) для фотосинтеза. С другой стороны, клеточная структура листьев сильно отражает электромагнитное излучение в ближнем инфракрасном (БИК, NIR) диапазоне (от 0.7 до 1.1 μm). Таким образом, в видимом диапазоне места с сильной вегетацией выглядят темными, а, скажем, пески – очень светлыми. В БИК зеленые леса и поля выглядят гораздо светлее. Сравнивая изображения в различных диапазонах, можно определить наличие и плотность растительности.

В программе Centaurus, выбранной в качестве базовой для доработки данных и системной интеграции, реализованы два стандартных индекса вегетации [2]. NDVI (normal difference vegetation index) имеет вид:

$$NDVI = \frac{r_{NIR} - r_{red}}{r_{NIR} + r_{red}} \quad (2)$$

NDVI особенно успешен при измерениях вегетации, позволяющих производить сезонные и погодные сравнения вегетационного роста и активности. Этот параметр устраняет многие составляющие мультипликативных помех (неравномерная освещенность, тени от облаков, атмосферное поглощение и др.), присутствующие во спектральных изображениях. Основной недостаток NDVI: врожденная нелинейность индекса, базирующегося на отношении, и чувствительность к аддитивным шумам, например, к вызванным атмосферным излучением.

The enhanced vegetation index (EVI) был предложен для оптимизации вегетационного сигнала с целью повысить чувствительность в регионах с большим запасом биомассы (леса) и улучшить мониторинг вегетации путем уменьшения влияния атмосферы. Уравнение имеет следующий вид:

$$EVI = \frac{r_{NIR} - r_{red}}{r_{NIR} + C_{red} r_{red} - C_{blue} r_{blue} + I} \quad (3)$$

Таким образом, для мониторинга биомассы, содержащей хлорофилл, подходят спектральные спутниковые изображения, содержащие БИК и видимые диапазоны. Обращаем внимание на то, что методика может применяться вплоть до конкретного выбранного поля, стало быть, и пространственное разрешение должно быть соответствующим. Кроме того, следует учитывать оперативность доступа к информации.

Исходя из вышеприведенных критериев и по критерию стоимости базовыми выбраны данные индийских спутников IRS 1C / 1D, канал LISS, с разрешением 24 м в надире.

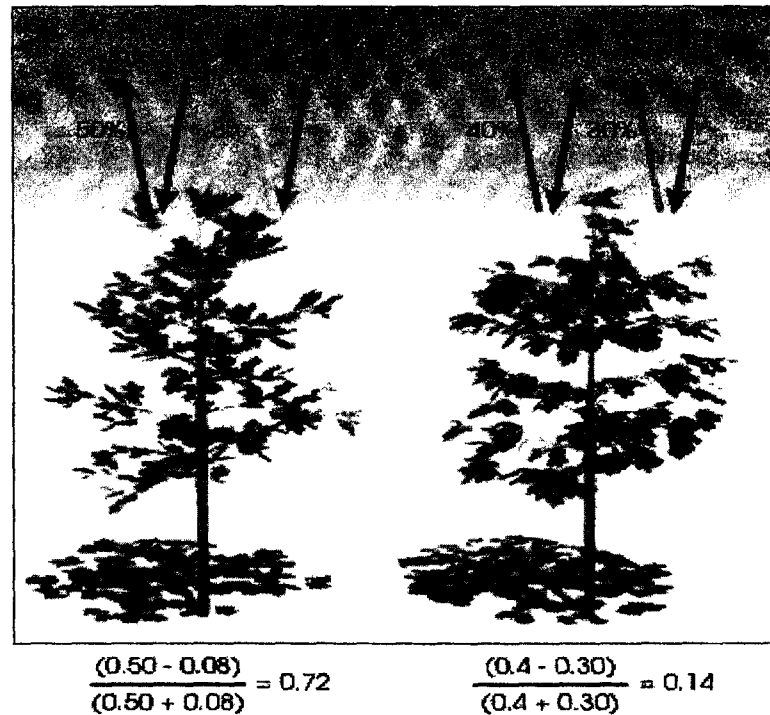


Рис. 2. Измерение вегетационного индекса

Тем не менее, следует отметить, что проблема оперативности получения информации ДЗЗ не снята полностью. Периодичность получения изображений с таким разрешением и диапазоном составляет в среднем 14 дней (без учета возможной облачности), что недостаточно для точного определения сроков вегетации. Возможно, что если требуется проводить мониторинг лишь отдельных полей, то это проще делать с помощью БПЛА или даже без привлечения средств ДЗЗ, в то время как спутниковые изображения использовать для мониторинга больших районов.

Следует особо отметить, что по данным ДЗЗ может проводиться актуализация картографической информации, необходимость которой была наглядно доказана при опытной эксплуатации системы (рис. 3).

Видно, насколько селекция, сделанная по картографическим данным, не совпадает с контурами поля, определенными по данным ДЗЗ.

Обработка данных ДЗЗ

Перед тем, как приступить к расчету индекса вегетации, Centaurus экспортирует картографические данные, в том числе слои сельскохозяйственных полей. Оператор производит геопривязку и геометрическую коррекцию спутникового изображения и выбирает поле – область интереса. Заметим, что это единственные действия, которые проводятся вручную – все остальное Centaurus

выполняет автоматически вплоть до выдачи отчета, содержащего собственно индекс вегетации и статистический анализ достоверности полученного результата.

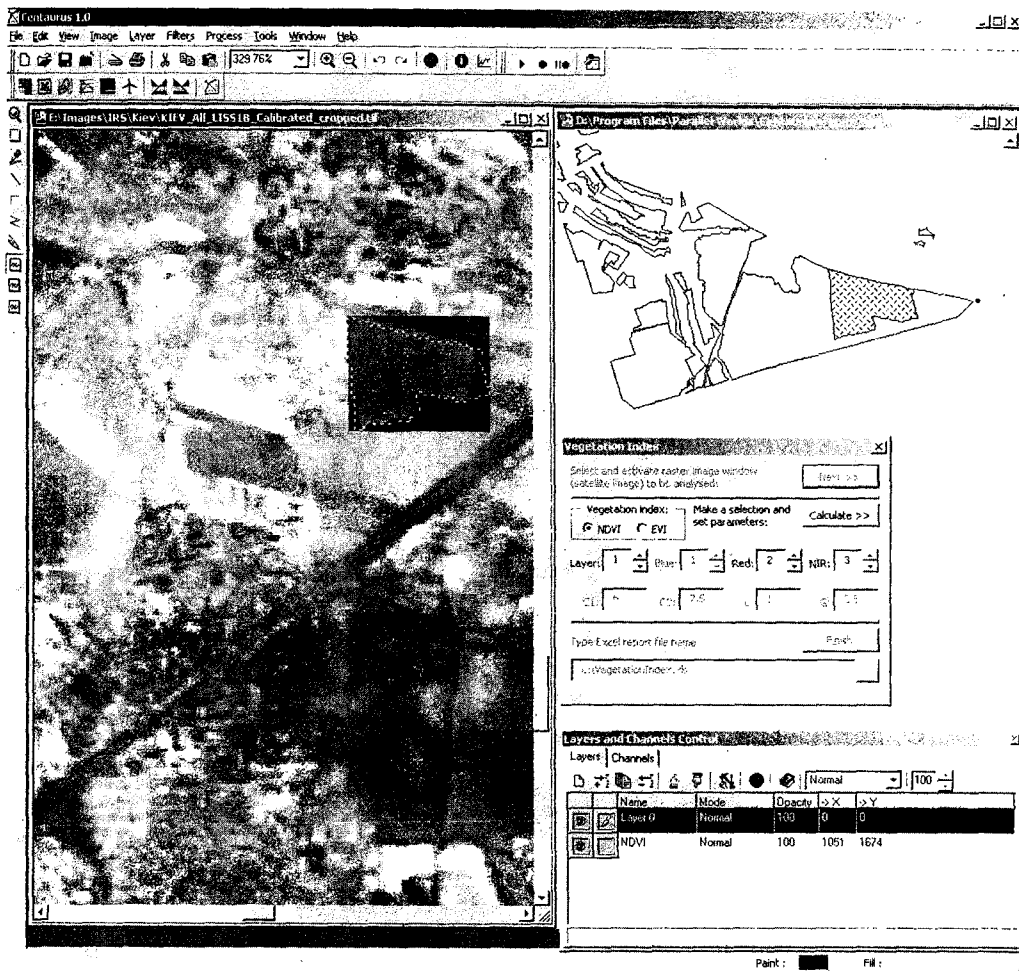


Рис. 3. Расчет вегетационного индекса выбранного поля

Архив данных скрининга заполняется по мере измерений автоматически. Архив доступен по сети и данные измерений автоматически подставляются в модель. Результаты обработки ДЗЗ выполняются здесь же и тоже подставляются в модель. Числа Вольфа получают от метеостанций. Расчет производится 4 раза – до посева, после всходов, после колошения и после созревания. Каждый раз получаем прогноз по минимальным значениям (пессимистический прогноз), по максимальным значениям (оптимистический прогноз) и по данным скрининга.

Отчеты, содержащие соответствующие прогнозы, Centaurus генерирует автоматически.

Системная интеграция

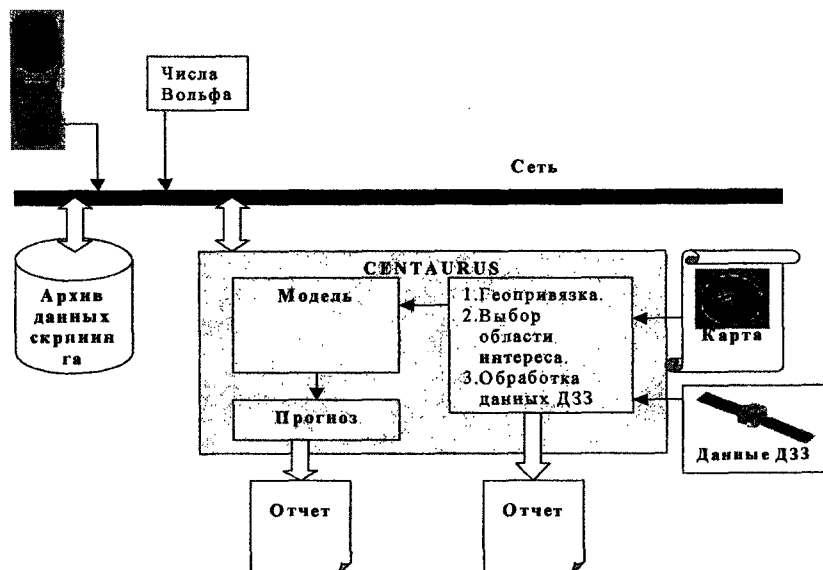


Рис. 4. Системная интеграция. Функциональная схема

Таким образом, уточнение прогноза по данным скрининга происходит на каждом периоде вегетации с учетом всех описанных факторов. Помимо этого, есть также оптимистический и пессимистический прогноз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика проверена на тестовых данных. В настоящий момент испытывается система скрининга. После проверки результатов можно предлагать такую систему для широкого внедрения.

Область применения модельных, технических и системных решений не ограничиваются только зерновыми культурами. Основной вопрос – наличие статистически достоверных данных и проверенных моделей. При наличии того и другого, можно существенно расширить диапазон применимости системы, как и географический, так и по спектру сельскохозяйственных культур.

Литература

1. Раунер Ю.Л. Климат и урожайность зерновых культур. М.: Наука, 1981. 162 с.
2. A. Huete, K. Didan, T. Miura, E. P. Rodriguez, X. Gao and L. G. Ferreira. "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices", Remote Sensing of Environment, Volume 83, Issues 1-2, November, 2002. Pages 195-213.

Статья поступила в редакцию 6 мая 2003 г.