

У.М. Султангазин, А.Г. Терехов, Н.Р. Муратова

Дистанционная диагностика состояния и функционирования зерновых агроценозов в Северном Казахстане

Институт космических исследований МОН РК, Алматы

Поступила в редакцию 5.10.2005 г.

Описывается опыт проведения космического мониторинга основных зерносеющих регионов Республики Казахстан на основе спутниковых систем NOAA/AVHRR и TERRA/MODIS в интересах Министерства сельского хозяйства. Список прикладных задач контроля зернового производства, решаемых с помощью спутниковых данных, включает следующие: оценка весеннего почвенного запаса влаги; подсчет площадей ярового сева; контроль севооборота и состояния посевов; прогноз валового сбора; слежение за динамикой посевных, уборочных и осенних работ. Принципы тематической обработки спутниковых данных основываются на совместном анализе разновременных снимков и наземной информации. Космический мониторинг пахотных земель, дистанционная диагностика состояния и функционирования зерновых агроценозов в Северном Казахстане проводятся регулярно с 2002 г. Приводятся некоторые результаты спутникового мониторинга, и кратко изложены основные методы, используемые при обработке данных дистанционного зондирования.

Введение

Сельское хозяйство является важной отраслью национальной экономики Республики Казахстан. Развитие эффективной системы производства зерна — основы экспортной сельскохозяйственной продукции Казахстана, в условиях рыночной экономики предъявляет особые требования к оперативности и объективности информации, необходимой государственным управляющим органам и, в частности, Министерству сельского хозяйства (МСХ). Наличие государственных программ поддержки сельскохозяйственных производителей также стимулирует развитие методов объективного контроля над параметрами зернового производства. Широкие возможности использования спутниковых данных могут сыграть при этом важную роль. Опыт мировой практики показывает, что сельское хозяйство — одно из основных направлений, где наиболее эффективно используется спутниковая информация. Наиболее актуальны задачи прогноза урожайности зерновых культур и оценки валового сбора зерна.

На сегодняшний день реально доступными для Казахстана являются данные спутников серии NOAA и TERRA. Американские спутниковые данные NOAA/AVHRR низкого разрешения (1 км) и TERRA/MODIS среднего разрешения (250 м) имеют широкий захват сканирования поверхности Земли (свыше 2000 км), что позволяет обеспечить высокую частоту посещения спутником одной точки и практически осуществлять ежедневный мониторинг всей территории Казахстана. Система дистанционной оценки параметров сельскохозяйственного производства на базе спутниковой информа-

ции низкого и среднего разрешения наиболее эффективна для территории Северного Казахстана, в которой зона неполивного земледелия простирается на 2000 км с востока на запад и на 700 км с юга на север. Эффективность этих спутниковых данных обусловлена крупными размерами сельскохозяйственных полей (200—400 га), обычно располагающихся компактными массивами. Подобная практика монокультурного выращивания яровых зерновых культур создает исключительно благоприятные условия использования спутниковых данных низкого и среднего разрешения для задач мониторинга.

1. Развитие национальной системы космического мониторинга сельского хозяйства Республики Казахстан

Сегодня многие страны мира занимаются развитием систем космического мониторинга в интересах различных отраслей экономики. В Казахстане в настоящий момент начато развертывание национальной системы космического мониторинга (НСКМ), одной из задач которой является дистанционный контроль зернового производства Северного Казахстана. Основное назначение и цель создаваемой системы — слежение за использованием земельных ресурсов и информирование Министерства сельского хозяйства и других заинтересованных государственных и коммерческих структур оперативными и объективными данными о параметрах сельскохозяйственного производства. На рис. 1 приведена общая схема космического и подспутникового мониторинга сельскохозяйственного назначения.

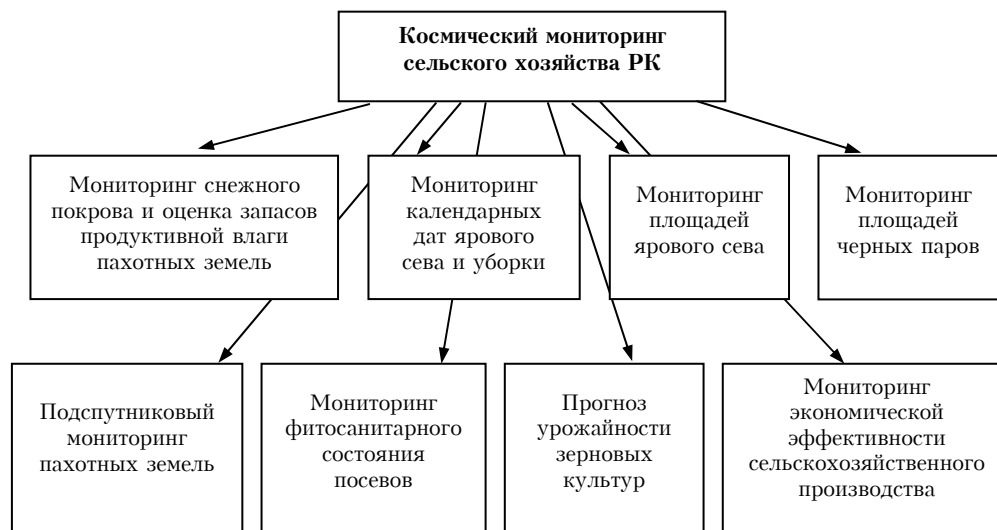


Рис. 1

В основе государственной программы НСКМ лежат многолетние усилия и достижения коллектива Института космических исследований Министерства образования и науки РК (ИКИ). Начиная с 1994 г. в Институте введен в эксплуатацию Центр приема и обработки космической информации в г. Алматы. В настоящее время в этом Центре ежедневно осуществляется прием информации со спутников NOAA, TERRA и МЕТЕОР-3М, которая позволяет получать данные о территории Казахстана до 5–6 раз в сутки. С начала 2004 г. работает новый центр ИКИ в г. Астане, в котором осуществляется прием информации с индийского спутника IRS и канадского RADARSAT. В ИКИ разработаны технологии и имеется определенный опыт использования данных космического мониторинга для оценки состояния сельскохозяйственных угодий Казахстана [1–5].

2. Опыт решения сельскохозяйственных задач с помощью спутниковых данных в Казахстане

Практическое использование спутниковых данных для определения размеров посевных площадей яровых зерновых культур в Северном Казахстане в ИКИ было инициировано заказом Правительства РК в 1997 г. Первоначально использовалась спутниковая информация низкого пространственного NOAA (разрешение 1 км). При выполнении заказа МСХ РК в 1998 г. анализировались многозональные снимки среднего разрешения (160 м) российского спутника РЕСУРС, сканер МСУ-СК. В 2000–2001 гг. при помощи специальной программы технической помощи Европейского сообщества – ТАСИС-проект ISEAM к условиям Казахстана была адаптирована европейская технология анализа сельскохозяйственного производства. С 2002 г. мониторинг основывается в основном на данных

TERRA/MODIS (разрешение 250 м). Соответствие между наземными обследованиями Акмолинской области в 2000–2002 гг. и данными дешифровки космической информации среднего разрешения РЕСУРС/МСУ-СК и TERRA/MODIS составляет более 96%. Из 1729 полей зерновых культур и паров по спутниковым данным к этому типу было отнесено 1679. Разница составила 50 полей, или около 3%. Анализ несоответствий показал, что они были связаны в основном с недостатком безоблачной информации или сильными отклонениями в календарных датах проведения основных сельскохозяйственных работ. На рис. 2 приведены спектральные характеристики типичного пшеничного поля с хорошей агротехникой возделывания в течение вегетационного периода 2003 г.

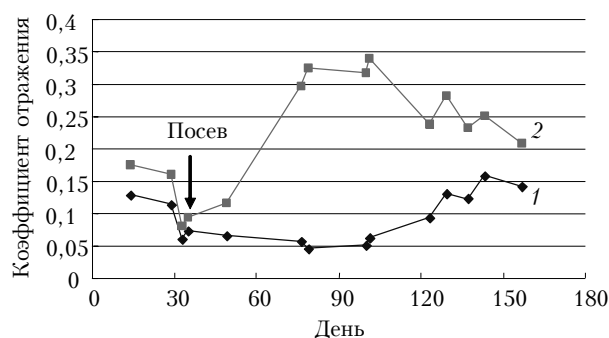


Рис. 2. Динамика изменения коэффициентов отражения пшеничного поля Северного Казахстана в течение вегетационного периода 2003 г. в 1-м канале (620–670 нм) и 2-м канале (841–876 нм) TERRA/MODIS (пространственное разрешение 250 м). За точку отсчета принято 1 мая

В настоящее время постоянный космический мониторинг охватывает около 10 млн га зерновых посевов Акмолинской, Северо-Казахстанской и Костанайской областей. Некоторые проблемы решаются также относительно сельскохозяйственных земель Карагандинской, Павлодарской, Западно-Казахстанской, Кызылординской и Восточно-Казахстанской

областей. Основным заказчиком работ в 2002–2005 гг. являлся МСХ РК. Область интересов Министерства включала контроль выполнения агротехнических работ, оценку посевных площадей и прогноз валового сбора зерна.

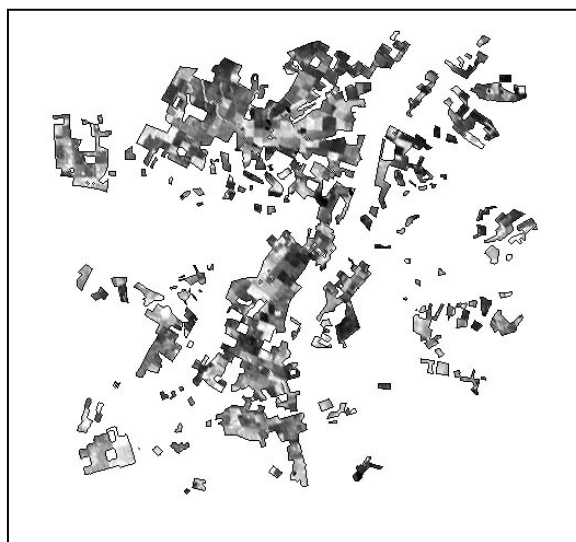
3. Динамика ярового сева 2003 г. по спутниковым данным

Оценка календарных дат ярового сева на сельскохозяйственных полях Северного Казахстана по данным дистанционного зондирования основывается на ежедневном мониторинге всей территории в период проведения весенних агротехнических работ (1 мая – 15 июня) с помощью спутниковой системы TERRA/MODIS. Принцип оценки даты посева основан на фиксации резких изменений спектральных характеристик сельскохозяйственных полей после их механической обработки (см. рис. 2). Согласно рекомендуемым агротехническим нормам весенняя обработка земли проводится несколько раз (закрытие влаги, сев). Дата последней

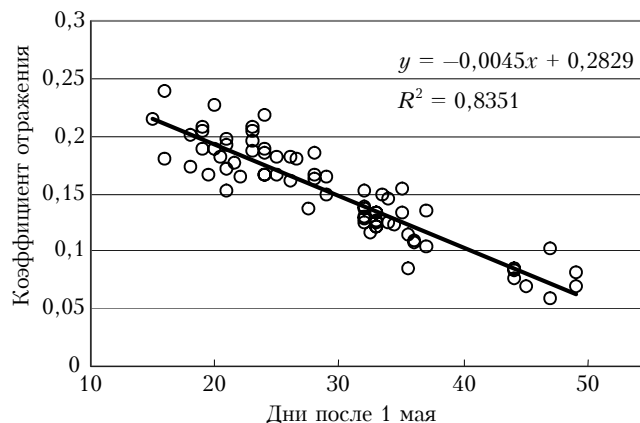
обработки, зафиксированной в течение периода наблюдения, принималась за дату сева.

Наиболее эффективный метод оценки дат сева основывается на одном опорном безоблачном снимке TERRA/MODIS (2-канал) в период с 1 по 30 июня, т.е. в течение 3–4 нед после окончания сева [7, 8]. В это время ранние посевы (конец апреля и первая половина мая) уже вступили в стадию кушения, а поздние, посеянные во второй декаде июня, еще не взошли, поэтому спектральные различия между ними максимальны. Фрагмент безоблачного снимка TERRA/MODIS (канал 2) за 3 июня 2002 г. для части посевов Карагандинской области приведен на рис. 3,а.

На базе фактических данных о датах сева тестовых полей и соответствующих средних по полю коэффициентов отражения во 2-канале из опорного снимка TERRA/MODIS строится калибровочная кривая (рис. 3,б). Полученная зависимость позволяет оценивать даты сева всех посевных площадей и контролировать динамику посевной кампании в целом (рис. 4).



а



б

Рис. 3. Фрагмент космоснимка TERRA/MODIS (2-й канал) на 3 июня 2002 г. Темные участки – недавно обработанные поля, светлые – более ранние посевы Карагандинской области (а); калибровочная кривая средних коэффициентов отражения 2-го канала TERRA/MODIS тестовых полей и фактических дат сева (б)

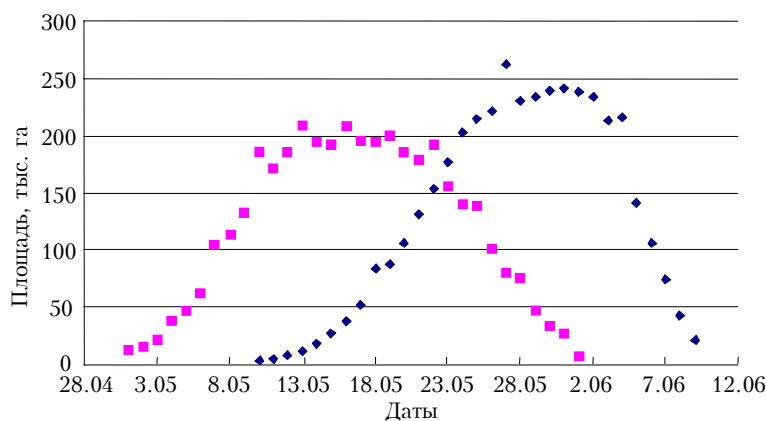


Рис. 4. Динамика проведения посевной кампании 2004 г.: ♦ Акмолинская область, ■ Костанайская область

4. Оценка размеров посевных площадей

В качестве базовой методики расчета посевных площадей по материалам космической съемки для северных областей Казахстана используется прямая оценка размера площади спутниковой маски (пиксельный счет в равноплощадной проекции Ламберта). Маска ярового сева содержит не только зерновые культуры, но и обработанные в период сева паровые поля и другие незерновые яровые сельскохозяйственные культуры, перечень которых зависит от особенностей землепользования конкретной области. Для оценки площадей только зерновых культур применяется определенная коррекция. Она учитывает вклад незерновых культур и площадей чистых паров области. При этом доля черных паров оценивается по данным космического мониторинга, а информация об остальных культурах берется из официальных источников МСХ. Суммарная доля объектов этого класса для областей Северного Казахстана обычно находится в пределах 10–20% от общей площади ярового сева.

Другим важным моментом является учет влияния граничных пикселей маски. При анализе спутниковых данных среднего разрешения TERRA/MODIS (площадь пикселя 6,25 га) доля граничных пикселей относительно велика. Поскольку в состав

граничных пикселей входят не только зерновые поля, но и прилегающие территории, в маске зерновых культур появляется некоторая неопределенность. С другой стороны, определенная часть зерновых площадей не попадает в маску, оставаясь в составе прилегающих к маске пикселей. Баланс между этими факторами зависит от размеров и геометрической формы зерновых полей и во многом определяет точность оценки площадей посевов зерновых культур.

Система учета различий между площадью, определяемой маской зерновых культур, и реальной ситуацией строится на использовании ряда локальных ГИС-систем. ГИС охватывает отдельные тестовые районы с объемом яровых посевов в пределах 200–500 тыс. га. В основе ГИС лежит схема землепользования района масштаба 1:100000 с информацией о площадях всех отдельных полей (1–2 тыс. полей). Маска ярового сева для тестового района сопоставляется со схемой землепользования. Осуществляется дешифрирование всех засеянных полей с подсчетом их суммарной площади через соответствующую базу данных. Полученный результат сравнивается с площадью, полученной пиксельным счетом, по маске посевов, и определяются поправочные коэффициенты. В настоящий момент используются ГИС-системы для 6 районов с суммарной площадью пахотных земель свыше 2 млн га.

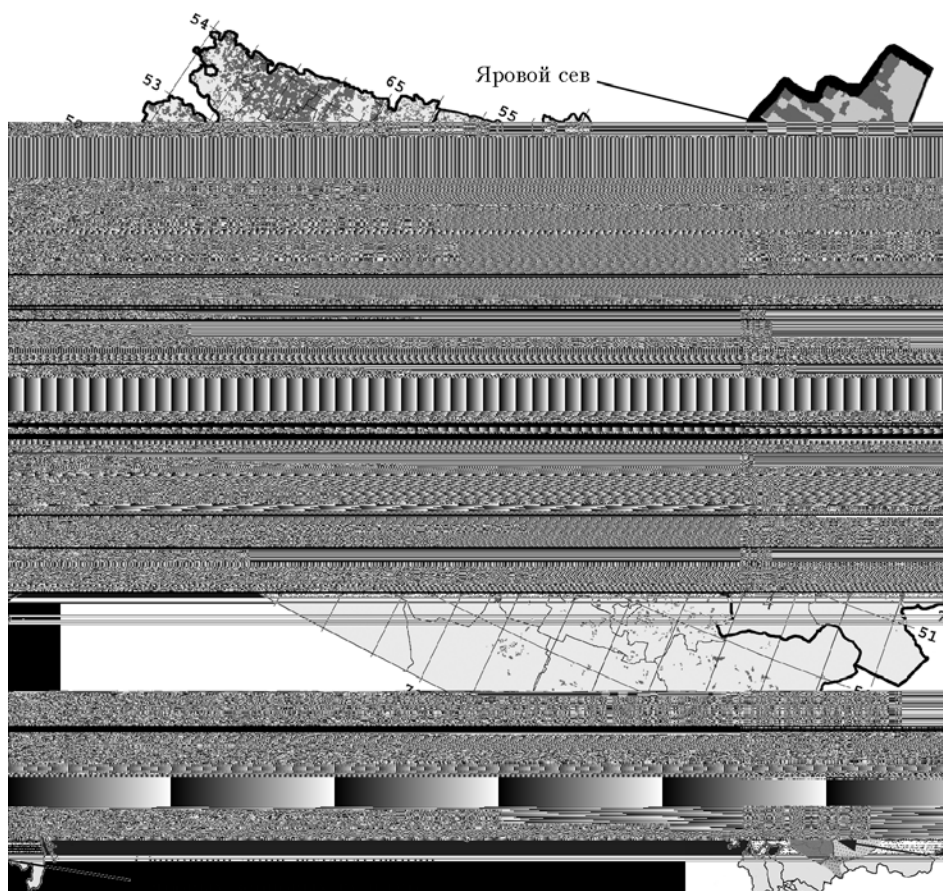


Рис. 5. Маска ярового сева 2002 г. в Северном Казахстане по данным TERRA/MODIS: 1 – Акмолинская область; 2 – Костанайская область; 3 – Северо-Казakhstanская область; 4 – Павлодарская область; 5 – фрагмент Карагандинской области

Суммарная ошибка метода определения размера посевных площадей яровых зерновых культур, по данным TARRA/MODIS, для отдельной области (около 3 млн га посевов) оценивается нами в пределах 5%. На рис. 5 показана карта-схема расположения маски ярового сева 2002 г. в пяти северных областях Казахстана.

5. Оценка площадей черных паров

Система оценки площадей чистых паров базируется на спутниковых данных в красной и ближней инфракрасной частях спектра, которые особенно чувствительны к состоянию растительности (рис. 6).

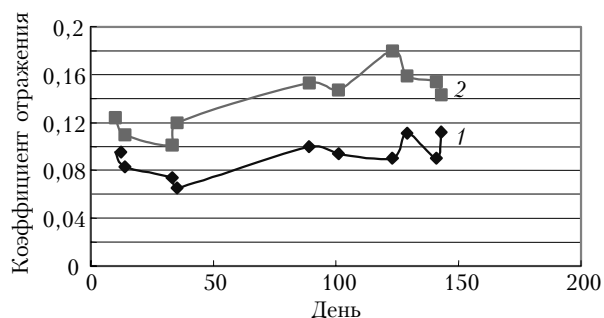


Рис. 6. Пример изменения коэффициентов отражения парующегося поля (Северный Казахстан) в зоне темно-каштановых почв в течение вегетационного сезона 2003 г. по данным EOS MODIS: канал 1 (620–670 нм), 2 (841–876 нм). За начало отсчета взято 1 мая

При подсчете паровых полей помимо спутниковых данных текущего года также используется прошлогодняя информация. Основная цель дешифрирования — распознать яровые посевы прошлого и текущего годов, посевы многолетних трав и залежи. Развиваются две оценки объема паров.



Рис. 7. Схема землепользования Шортандинского района Акмолинской области в 2002 г. по данным EOS MODIS. Серые квадраты — яровой посев (215 тыс. га); темные — пары (43,1 тыс. га)

Первая оценка — через спутниковую маску оцениваются площади полей, парование которых осуществляется согласно принятым агротехническим рекомендациям. Механическая обработка проводится несколько раз в вегетационный период по мере роста сорной растительности. Такие поля легко выделяются из всех других типов землепользования по низким значениям коэффициентов отражения в ближней инфракрасной области во все периоды вегетационного сезона. Подобная оценка дается один раз в год для всех основных зерносеющих областей Северного Казахстана.

Вторая оценка подразумевает дешифрирование отдельных паровых полей с помощью спутниковых масок и плана землепользования в рамках специализированных ГИС. При этом определяется расположение всех паровых полей (рис. 7), а с помощью соответствующей базы данных рассчитывается их площадь. Оценка дается на ограниченное число сельскохозяйственных районов (100–400 тыс. га посевов).

В результате анализа сезонов 2002–2003 гг. в Северном Казахстане был зафиксирован рост доли паров, обрабатываемых согласно рекомендуемым нормам, от 6 до 12%. Это связано с улучшением финансового положения сельскохозяйственных производителей в течение четырех последних урожайных лет, с ростом государственной поддержки до уровня 30% от валовой стоимости сельскохозяйственной продукции и значительным развитием сорной растительности во влажные годы.

6. Контроль севооборота пахотных земель

Свыше 12 млн га яровых посевов Северного Казахстана включают в основном зерновые культуры, среди которых доминирует пшеница. Основными

типами севооборотов в Северном Казахстане являются парозерновые схемы. Севооборот варьируется от двухпольного (один год пар, другой – зерновые культуры) до десятипольного и более. Финансово устойчивые хозяйства используют короткие севообороты, которые обеспечивают большую урожайность, но требуют значительных оборотных средств. Мелкие крестьянские и фермерские хозяйства не имеют возможности поддерживать рекомендуемые севообороты. Нередко пшеница выращивается как бессменная культура.

Система севооборота во многом определяет запас питательных веществ в почве и фитосанитарное состояние полей. Первая культура после пара имеет наилучшие показатели по запасу усвояемого азота и степени засорения. В последующие годы засоренность полей возрастает, а запас питательных веществ падает. Таким образом, контроль севооборота важен не только для понимания механизмов формирования высокой урожайности, но и для обеспечения лучшего качества зерна.

Система дистанционного контроля парозернового севооборота основывается на ежегодном построении масок зерновых культур и парующихся полей. Многолетний контроль системы парозернового севооборота позволяет иметь не только текущую маску ярового сева, но и ее составляющие по культурам после пара. Так, по результатам 4-летнего мониторинга яровых посевов определены четыре основных класса севооборота для сезона 2004 г. и построены маски полей с первой культурой после пара, второй, третьей и четвертой и более (рис. 8).

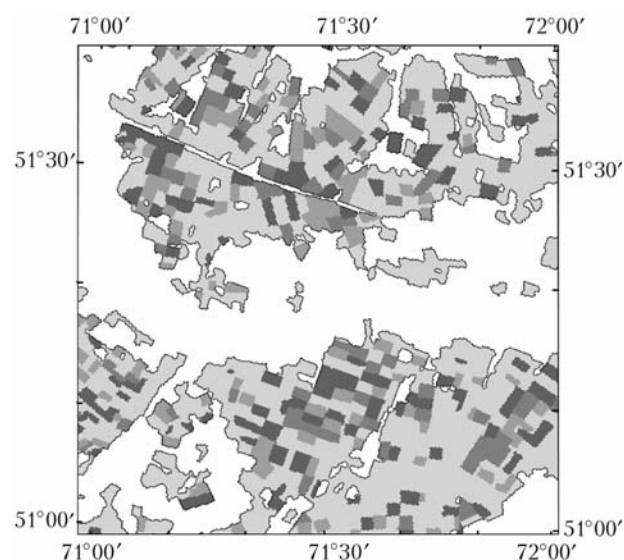


Рис. 8. Фрагмент карты парозернового севооборота 2004 г. для Акмолинской области. Культура после пара: ■ – 1, ■ – 2, ■ – 3, ■ – 4 и более раз

Разработанный метод [9] позволил на основе данных дистанционного зондирования провести по заказу Министерства сельского хозяйства Респуб-

лики Казахстан оценку состояния яровых зерновых культур по отдельным составляющим севооборота.

7. Оценка продуктивности яровых зерновых культур

В ИКИ развиваются два подхода к прогнозу урожайности яровых зерновых культур. Первый – модель роста яровой пшеницы при сложившихся погодных условиях. Физиологическая модель роста сельскохозяйственных культур WOFOST имитирует рост пшеницы в заданных почвенных и метеорологических условиях с временным шагом в один день. Накопление биомассы вычисляется как функция метеопараметров, таких как радиация, температура, осадки и др. Показателями продуктивности являются полная биомасса, листовой индекс, фенологическая стадия роста, урожайность. Как и все математические модели, WOFOST дает упрощенное представление о реальности. Предполагаются идеальное состояние пшеницы, отсутствие засорения и болезней.

Второй – прогноз месячной заблаговременности, основанный на спектральных характеристиках посевов зерновых культур в фазе колошения/цветения и синхронном спутниковом обследовании полей. Общая идея подхода – оценить спектральные характеристики обследованных полей и, используя полученную шкалу, взвесить через спутниковые данные все зерновые посевы. Были опробованы различные вегетационные индексы (NIR, NIR/RED, NDVI, WdVI, SAVI, GEMI). Наиболее эффективными оказались либо просто значения ближнего инфракрасного канала (NIR) (в рамках одного безоблачного снимка), либо индекс SAVI (soil adjusted vegetation index) [6] в более сложных случаях.

Выводы

Опыт космического мониторинга основных зерносеющих регионов Казахстана показал перспективность данного направления как одного из источников объективной информации о параметрах сельскохозяйственного производства. В будущем планируется внедрить в оперативную работу дистанционную оценку весенних предпосевных запасов продуктивной влаги в почве, контроль сроков проведения уборки и вести мониторинг распространения и развития особо опасных болезней зерновых культур. Очевидно, что внедрение национальной системы космического мониторинга сельского хозяйства позволит увеличить эффективность работы аграрного сектора республики. Технологии космического мониторинга с использованием возможностей сети Интернет сделает более открытой информацию о зерновом производстве Казахстана, что очень важно для интегрирования Казахстана в ВТО и мировой рынок сельскохозяйственной продукции.

1. *Космические* исследования в Казахстане / Под ред. академика У.М. Султангазина. Алматы: РОНД, 2002. 490 с.
2. *Султангазин У.М.* Развитие космических технологий и методов дистанционного зондирования в Казахстане // Докл. АН Респ. Казахстан. 1999. № 2. С. 9–16.
3. *Закарин Э.А., Стивак Л.Ф., Архипкин О.П., Муратова Н.Р., Терехов А.Г.* Методы дистанционного зондирования в сельском хозяйстве Казахстана. Алматы: Галым, 1999. 175 с.
4. *Terekhov A., Muratova N.* Soils Spring Productive Moisture Reserve Evaluation Model for Northern Kazakhstan on the Basis of NOAA/AVHRR Information // Int. Conf. Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology III, Manfred Owe, Guido D'Urso, Ed.: Proc. SPIE. 2002. V. 4542. P. 47–52. Toulouse, 17–21 September 2001.
5. *Doraiswamy P., Muratova N., Sinclair T., Stern A., Akhmedov B.* Evaluation of Modis Data for Assessment of Regional Spring Wheat Yield in Kazakhstan // Proc. of IGARSS 2002 Symposium. Toronto, Canada, 24–28 June 2002. V. I. P. 487–490.
6. *Huete A.R.* A soil adjusted vegetation index (SAVI) // Remote Sens. Environ. 1988. V. 25. P. 295–309.
7. *Муратова Н.Р., Терехов А.Г.* Оценка дат ярового сева в Северном Казахстане по данным TERRA/MODIS // Тр. Второй открытой Всерос. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса». Москва, 16–18 ноября 2004 г. (в печати).
8. *Muratova N., Terekhov A.* Estimation of Spring Crops Sowing Calendar Dates using MODIS in Northern Kazakhstan // Int. Conf. IGARSS'2004. P. VI. 4019–4020.
9. *Султангазин У.М., Муратова Н.Р., Терехов А.Г.* Космический контроль системы севооборота пахотных земель Северного Казахстана // Тр. Второй открытой Всерос. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса». Москва, 16–18 ноября 2004 г. (в печати).

У.М. Султангазин, A.G. Terekhov, N.R. Muratova. Remote diagnosis of state and functioning of grain agrocenosis in North Kazakhstan.

Space monitoring of main grain-planting regions in Kazakhstan, conducted on the base of NOAA/AVHRR and TERRA/MODIS satellite systems beginning from 2002, is described. The problems, which can be solved using the space data, include an estimate of soil water amount in spring, area of spring sowing, control for rotation and state of cropping, prognosis of croppage, control for dynamics of seasonal works. Principles of the data topical processing are based on comparative analysis of space different-time images and ground-based information. Some results of the space monitoring and a concise description of the used processing methods are presented.