

Опыт пятилетнего оперативного мониторинга сельскохозяйственных угодий Северного Казахстана с помощью спутниковых данных

Н.Р. Муратова, А.Г. Терехов

*Институт космических исследований МОН РК
ул. Шевченко 15, 050010, Алматы, Казахстан
E-mail: nmuratova@mail.ru*

Рассмотрен пятилетний опыт применения спутниковой съемки при оперативном мониторинге зернового производства в Северном Казахстане, выполняемом в интересах Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан. 10 млн. гектар посевов яровых зерновых культур, являющихся монокультурой этого региона, анализируются с помощью данных EOS/MODIS (1,2 канал) и наземных обследований. В список контролируемых параметров входят: предпосевная влажность почв, даты сева, засоренность, состояние на фазу колошения-цветения и прогноз объема производства зерна по трем основным зернопроизводящим областям Северного Казахстана. Практика использования оперативного анализа спутниковых данных показала их высокую эффективность в задачах информационного обеспечения государственных органов, контролирующего сельскохозяйственное производство РК.

1. Введение

Республика Казахстан является одним из крупных экспортеров твердых сортов пшеницы в Центральной Азии. Ожидаемое вступление Казахстана в ВТО предъявляет дополнительные потребности в развитии объективных методов контроля над параметрами сельскохозяйственного производства, ориентированного на экспорт. Для республики это в основном зерно. Поэтому развитие методов контроля над зерновым производством с помощью спутниковой информации представляет большой интерес для Казахстана.

Северная часть Казахстана является одним из уникальных мест, на котором располагаются крупные компактные массивы зерновых посевов, что делает космический мониторинг землепользования наиболее эффективным. Здесь в производстве доминируют в основном яровые зерновые культуры, занимающие свыше 90 % всех посевных площадей. Крупный размер сельскохозяйственных полей (400 га) позволяет использовать спутниковые данные TERRA/MODIS с разрешением 250 м для фиксации спектральных характеристик отдельных полей в течение всего вегетационного периода. В Европейских условиях, где поля имеют типичный размер в несколько десятков гектаров с различными соседствующими сельскохозяйственными культурами требуется спутниковая информация высокого разрешения. Низкая периодичность покрытия и высокая цена космических снимков высокого разрешения делает невозможным получение ежедневной информации о состоянии каждого поля. Таким образом, Казахстан стал, в определенном смысле, международным полигоном по развитию спутниковых технологий в сельском хозяйстве. Кроме того, значительный объем экспорта зерна привлекает различные международные организации к содействию в развитии систем спутникового контроля в области сельского хозяйства (USDA, TACIS).

На сегодняшний день в Институте космических исследований МОН РК разработаны методы тематической обработки спутниковых данных, с помощью которых, начиная с 2002 года, Министерству сельского хозяйства РК оперативно поставляется информация о весенних запасах влаги в почве, размерах посевных площадей, датах и темпах проведения ярового сева, фитосанитарном состоянии посевов и прогнозом объеме валового сбора зерновых культур месячной заблаговременности. Многолетний опыт проведения космического мониторинга основных зерносеющих регионов Северного Казахстана открыл возможность контроля над зерновым производством на уровне отдельных районов и областей. Эти разработки

способствовали развитию отраслевого направления Национальной системы космического мониторинга Республики Казахстан.

2. Базовые данные космического мониторинга

В настоящее время в Казахстане ежедневно осуществляется прием информации со спутников серии NOAA, EOS (TERRA и AQUA), IRS и RADARSAT-1, что позволяет получать космическую съемку территории Казахстана до 5-6 раз в сутки. Для территории Северного Казахстана, где зона неполивного земледелия простирается на 2000 км с востока на запад и свыше 700 км с юга на север, сегодня наиболее эффективной и экономически оправданной является система дистанционной оценки параметров сельскохозяйственного производства на базе спутниковой информации среднего разрешения EOS/MODIS. Спутниковые данные EOS/MODIS имеют широкую полосу обзора, что обеспечивает режим ежедневного дистанционного слежения за состоянием всех яровых посевов Северного Казахстана. Для проведения классификации и построения необходимых масок из имеющегося архива привлекаются наиболее безоблачные, надирные снимки.

В течение вегетационного сезона имеется три периода, когда спектральные различия между естественной растительностью и яровыми посевами максимальны. Это май - первая половина июня, когда идет сев, и фиксируются минимальные коэффициенты отражения на вспаханных полях; конец июля - начало августа, когда наблюдаются повсеместно колошение – цветение и высокие коэффициенты отражения во 2 канале у зерновых посевов (максимум зеленой биомассы); и в конце августа – сентябре, когда наступает полная восковая спелость и начинается уборка. В этот период поля с пожелтевшей и высохшей соломой имеют высокие коэффициенты отражения в 1-м и 2-м каналах.

Следует отметить, что существуют определенные проблемы при использовании спутниковых данных среднего разрешения EOS/MODIS в задаче оценки размеров посевных площадей. При пространственном разрешении EOS /MODIS в 250 м типичное поле представлено матрицей 8x8 пикселей, что достаточно для оценки его средних спектральных характеристик, однако недостаточно для оценки площади с требуемой точностью. Поэтому для анализа дополнительно привлекаются мозаичные изображения IRS LISS (band 2,3) с разрешением 23 м в равновеликой проекции Ламберта. Летние космические снимки RADARSAT-1 (Scansar Wide) служат также дополнительным источником информации для уточнения маски зерновых полей, особенно в сухостепных зонах, где низкое листовое покрытие в изреженных посевах пшеницы затрудняет их разделение от природных трав с помощью оптических спутниковых данных.

Круг задач, решаемых с помощью спутниковых данных, включает ежегодный мониторинг снежного покрова и весеннего запаса продуктивной влаги пахотных земель, детектирование календарных дат ярового сева, определение площадей ярового сева и парующихся полей, оценку состояния, засоренности и прогноз продуктивности зерновых культур. Решение задач основывается на регрессионных моделях и стандартных методах классификации (Maximum Likelihood и ISODATA). Калибровка спутниковых данных проводится по наземным маршрутным и стационарным биометрическим и спектрометрическим измерениям на подспутниковых полигонах сельскохозяйственного назначения.

3. Основные результаты космического мониторинга

3.1 Оценка весеннего запаса продуктивной влаги пахотных земель

Начинается космический мониторинг с ежегодного наблюдения за состоянием снежного покрова и оценки запасов продуктивной влаги пахотных земель. Это важно, поскольку весенний запас влаги в почве после схода снежного покрова является ключевым фактором, определяющим

урожайность выращиваемых зерновых культур в случае дефицита летних осадков, как, например, отмечалось в 2006 году.

Ежегодные карты весенних запасов продуктивной влаги метрового слоя почвы для территории Северного Казахстана составляются на основе спутниковой карты календарных дат разрушения устойчивого снежного покрова, спектральных характеристиках снега, регистрируемых спутником EOS/MODIS в течение февраля – апреля, наземных измерениях глубин промачивания до начала сева и информации о механическом составе почв [1, 2]. На рис. 1 представлены результаты космического мониторинга снежного покрова на примере одной из крупных зерносеющих областей – Костанайской. В 2005 году еще 12 апреля отмечается мощный снежный покров, а в 2006 году уже 19 марта небольшое количество снега, что соответственно отразилось на весенних запасах влаги (рис. 2) и последующем состоянии зерновых культур.

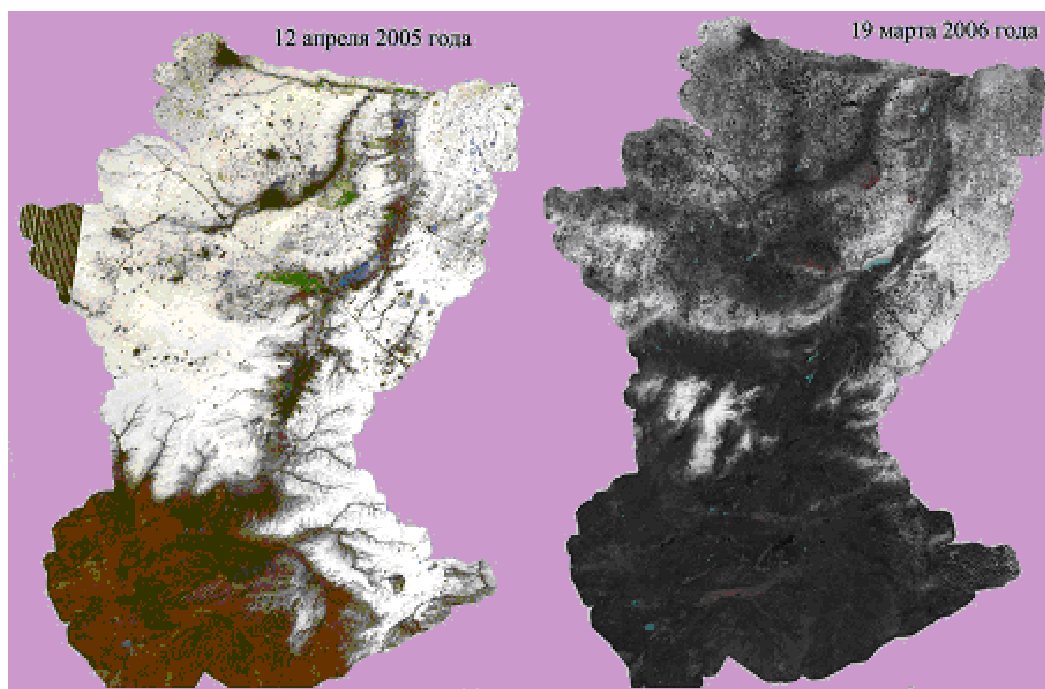


Рис.1. Космический мониторинг снежного покрова Костанайской области

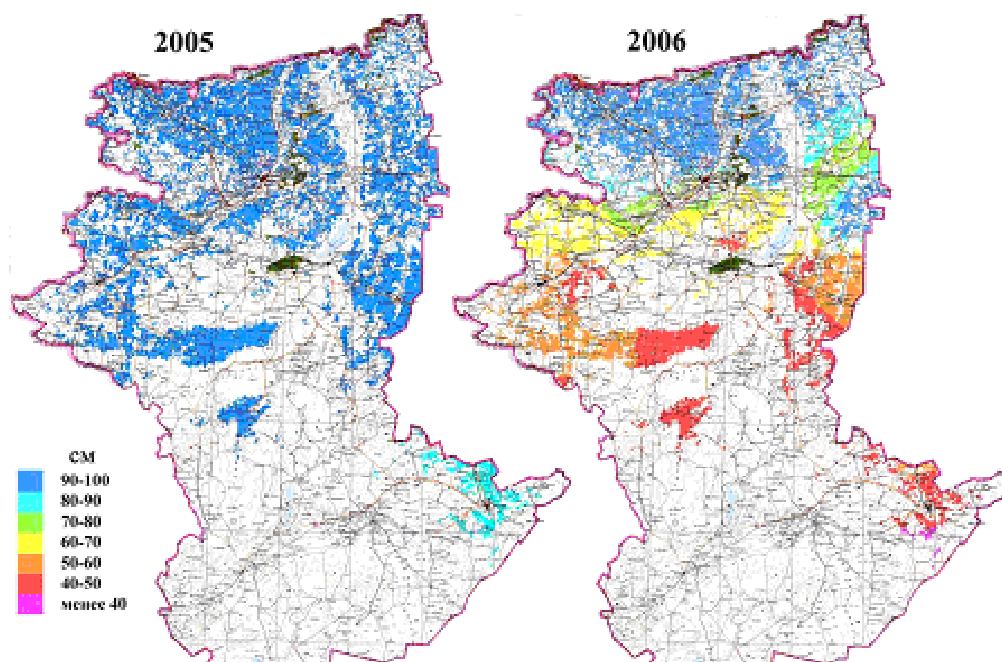


Рис. 2. Глубина весеннего промачивания полей Костанайской области в 2005 и 2006 гг.

3.2. Определение площадей ярового сева

Практическое использование спутниковых данных для определения размеров яровых посевных площадей в Северном Казахстане основывается на космической съемке среднего разрешения TERRA/MODIS (250 м) [3, 4]. Соответствие между данными наземного обследования полей в Акмолинской области в 2000-2002 гг. и результатами дешифровки космической информации составляет более 96%. Из 1729 полей зерновых культур по спутниковым данным к этому типу отнесено 1679. Анализ несоответствий (3%) показал, что они были связаны в основном с дефицитом безоблачной информации или сильными отклонениями в календарных датах проведения основных сельскохозяйственных работ.

Базовой методикой расчета посевных площадей по материалам космической съемки является прямая оценка размера площади спутниковой маски (пиксельный счет в равновеликой проекции Ламберта). При этом важна количественная оценка влияния граничных пикселей маски. При анализе данных TERRA/MODIS (площадь пикселя 6,25 га) доля граничных пикселей относительно велика. Учет различий между площадью маски зерновых культур и реальной ситуацией проводится по данным геоинформационных систем (ГИС). В настоящий момент используются ГИС для районов с суммарной площадью пахотных земель свыше 5 млн. гектар. Ошибка метода определения размера посевных площадей яровых зерновых культур по данным TERRA/MODIS для отдельной области (3 млн. гектар посевов) не превышает 5,0 %.

3.3. Детектирование календарных дат ярового сева

Сроки проведения посевной кампании в Северном Казахстане являются одним из ключевых факторов, определяющих урожайность яровых зерновых культур. Дефицит посевной техники и ГСМ, слабая энерговооруженность некоторых хозяйств, неблагоприятные погодные условия являются основными причинами удлинения посевных работ. Диапазон дат сева составляет 30-40 дней. Из-за большого разброса в сроках сева яровые зерновые культуры произрастают в различных влажностных условиях, связанных с частым дефицитом летних осадков. Поэтому для корректного анализа спектральных особенностей зерновых культур необходима информация о

сроках сева, поскольку в один и тот же момент времени посевы могут различаться не только по состоянию, но и фенологическими фазами развития.

Дистанционная оценка календарных дат ярового сева базируется на спутниковых данных TERRA/MODIS в период с 1 по 30 июня, т.е. в течение 3-4 недель после окончания сева. В это время спектральные различия между ранними и поздними посевами максимальны. На базе фактических данных о датах сева тестовых полей и соответствующих средних по полю коэффициентов отражения во 2-ом канале из опорного снимка TERRA/MODIS строится калибровочная кривая [5]. Полученная зависимость позволяет оценивать даты сева всех посевных площадей и контролировать динамику посевной кампании в целом [6].

3.4 Мониторинг севооборота

Зернопаровые севообороты – основная схема землепользования в Северном Казахстане. Дистанционный контроль севооборота базируется на ежегодно обновляющихся масках парующихся полей, которые строятся внутри маски ярового сева [7]. Метод построения спутниковой маски ярового сева основан на регистрации весеннего минимума коэффициента отражения в ближней инфракрасной области (TERRA/MODIS канал 2), фиксируемого на сельскохозяйственных полях и связанного с механической обработкой почв в период сева, и летнего максимума в период колошения, подтверждающего, что обработанное весной поле было засеяно зерновой культурой. Парующиеся поля имеют низкие коэффициенты отражения, как в весенний так и в летний периоды. На основе данных спутникового мониторинга пахотных земель Северного Казахстана в период с 2001 по 2006 года выделено шесть классов полей внутри зернопарового севооборота (рис. 3).

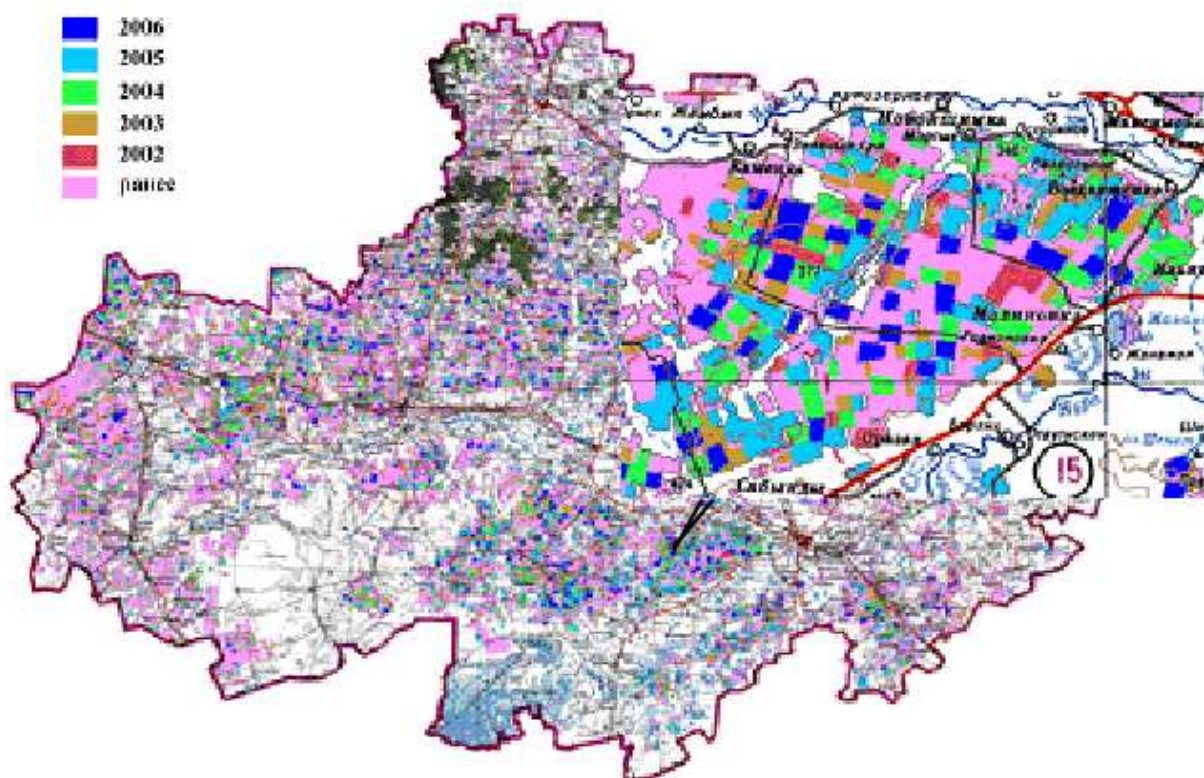


Рис. 3. Зернопаровой севооборот Акмолинской области по данным TERRA/MODIS

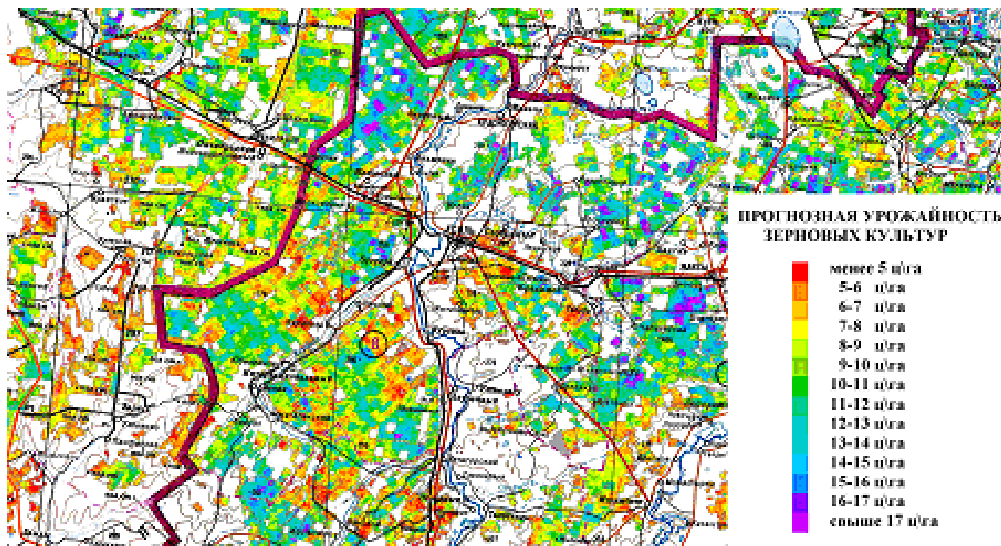


Рис. 4. Фрагмент карты прогнозной урожайности 2005 года

3.3 . Оценка состояния и прогноз урожайности зерновых культур

Состояние пшеницы Северного Казахстана в период колошения-цветения определяется тремя основными факторами: увлажнением вегетационного периода, степенью засорения культуры и содержанием питательных веществ в почве. Величина спутниковых вегетационных индексов (NDVI, SAVI, DVI и др.) тесно взаимосвязана с объемом зеленой биомассы, что позволяет разбивать посевы зерновых культур по этому признаку на требуемое число классов. При этом наземная информация используется для калибровки значений спутникового вегетационного индекса на реальное состояние пшеницы на обследованных полях. Анализ состояния пшеницы проводится отдельно по маскам различных культур после пара, поскольку первая культура после пара имеет наилучшие условия: наименьшее засорение, наиболее высокие запасы почвенного азота. 2-ая, 3-я, 4-ая и т.д. культуры после пара в среднем имеют закономерно возрастающую засоренность. Таким образом, для оценки состояния пшеницы анализируется распределение величин вегетационного индекса внутри посевов различных культур после пара.

Для прогноза урожайности, тесно связанного с фитосанитарным состоянием пшеницы, проводится дополнительная калибровка спутниковой информации [8-10]. Для этого из данных наземного обследования выделяются параметры, связанные с ожидаемой продуктивностью (плотность продуктивных стеблей, размер колоса, число колосков, их озерненность и др.), и проводится корреляционный анализ основных типов вегетационных индексов (NIR, DVI, RVI, PVI, WDVI, IPVI, NDVI, SAVI, GEMI). Вегетационный индекс, оптимальный для условий текущего года, используется для прогноза урожайности. При этом в учет берется оценка степени засоренности и ее влияния на продуктивность зерновых культур. Пример прогнозной карты урожайности 2005 года приведен на рис. 4.

4. Заключение

Опыт космического мониторинга северных областей Казахстана показал перспективность данного направления, как одного из источников объективной информации о параметрах

зернового производства. Развиваемая Национальная система космического мониторинга сельского хозяйства РК будет способствовать повышению эффективности работы аграрного сектора республики. Технологии космического мониторинга с использованием возможностей сети INTERNET сделают более открытой информацию о зерновом производстве Казахстана, что важно для интегрирования Казахстана в ВТО и мировой рынок сельскохозяйственной продукции.

Литература

1. *Terekhov A., Muratova N.*, 2002. "Soils Spring Productive Moisture Reserve Evaluation Model for Northern Kazakhstan on the Basis of NOAA/AVHRR Information». International conference "Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology" III, Manfred Owe, Guido D'Urso, Editors, Proceedings of SPIE Vol. 4542 (2002), Toulouse, 17 - 21 September 2001, pp. 47-52.
2. *Муратова Н.Р., Терехов А.Г.* Опыт оценки весенних запасов почвенной влаги на основе спутниковой информации и наземных обследований / Труды Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса», Москва, 10-12 ноября 2003 г., Сборник научных статей, с.191-196.
3. *Terekhov A., Muratova N.* Agriculture Land Use Recognition by Multi-temporary Middle Resolution Satellite Data in Northern Kazakhstan // Proceedings of IGARSS'2002. Toronto. Canada. June 24-28, 2002. v. I. p. 2787-2789.
4. *Султангазин У.М., Муратова Н.Р., Терехов А.Г.* Распознавание типов землепользования в северных областях Казахстана на базе данных спутникового мониторинга среднего разрешения и ГИС // В сб. Космические исследования в Казахстане. Алматы. ROND. 2002. с. 240 – 247.
5. *Muratova N., Terekhov A.* Estimation of Spring Crops Sowing Calendar Dates using MODIS in Northern Kazakhstan // Proceeding of 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 20-24 September 2004, Anchorage, Alaska, pp. VI: 4019-4020.
6. *Муратова Н.Р., Терехов А.Г.* Оценка дат ярового сева в Северном Казахстане по данным TERRA/MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сборник научных статей. Том II.– М.: «GRANP polygraph», 2005. –с.312-317.
7. *Султангазин У.М., Муратова Н.Р., Терехов А.Г.* Контроль севооборота пахотных земель Северного Казахстана по данным TERRA/MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сборник научных статей. Том II.– М.: «GRANP polygraph», 2005. – с.302-307.
8. *Doraiswamy P., Muratova N., Sinclair T., Stern A., Akhmedov B.* "Evaluation of Modis Data for Assessment of Regional Spring Wheat Yield in Kazakhstan," Proceedings of IGARSS 2002 Symposium, Toronto, Canada, 24-28 June 2002, vol. I, pp 487-490.
9. *Sultangazin U., Muratova N., Doraiswamy P., Terekhov A.* Estimation of Weed Infestation in Spring Crops using MODIS Data // International Conference IGARSS'2003, pp. I: 392-394.
10. *Султангазин У.М., Муратова Н.Р., Дорайсвами Р., Терехов А.Г.* Оценка санитарного состояния сельскохозяйственных угодий с помощью данных дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сборник научных статей. – М.: Полиграф сервис, 2004. –с. 286-290.