

# **Принципы агроландшафтного районирования пахотных земель Северного Казахстана по данным LANDSAT и MODIS**

**А.Г. Терехов, И.С. Витковская, М.Ж. Батырбаева, Л.Ф. Спивак**

*Институт космических исследований,  
Национальное космическое агентство, Республика Казахстан  
050010, КАЗАХСТАН, Алматы, ул. Шевченко, 15  
E-mail: aterekhov1@yandex.ru*

На основе многолетнего спутникового мониторинга LANDSAT и MODIS развиты принципы анализа и районирования брошенных земель (залежей) Северного Казахстана для территорий с не стабильной структурой сельскохозяйственного землепользования. Оптимизация процесса повторного вовлечения залежей в севооборот базируется на анализе земель, изменившихся в период наблюдений тип землепользования. Основой ранжирования залежей является классификация земель по параметру, связанному с оптимальным типом землепользования, и продукцирующей способности земель, оцениваемой по данным MODIS. Для тестовой территории, сцена Landsat [path 160, row 24], расположенной в Костанайской области ключевым параметром, является определенный диапазон минимальных расстояний до открытой воды. На основе этого агроландшафтного параметра и вегетационного индекса MODIS/WDVI в период максимума зеленой биомассы проведено пилотное районирование залежных земель тестовой территории и даны рекомендации по их оптимальному землепользованию.

Работа выполнена при поддержке LCLUC NASA (грант NNG06GF 54G).

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, агроландшафтное районирование, вегетационный индекс, ранжирование залежных земель.

## **Введение**

Основной сельскохозяйственной культурой в Северном Казахстане является неполивная яровая пшеница, возделываемая на очень крупных полях (400 га) и выступающая в качестве региональной монокультуры [1]. Повышение цен на зерно последних лет и низкие издержки производства зерна в Казахстане формируют тенденцию расширения посевных площадей за счет повторного вовлечения в оборот залежей.

После распада СССР была проведена приватизация государственных сельскохозяйственных предприятий с формированием частной собственности на землю. Однако, до настоящего времени в связи с высокими затратами неразвита система мониторинга качества земель. Информация советского периода, датированная 1982-1985 гг., сильно устарела. Процессы ветровой и водной почвенной эрозии, особенно в случае применения не оптимальной сельскохозяйственной практики, могли существенно понизить плодородие земли, что не отражено в существующей устаревшей базе бонификации земель сельскохозяйственных полей.

Отсутствие современной информации о качестве брошенных земель затрудняет оптимизацию процесса повторного вовлечения залежных земель в сельскохозяйственный оборот. Поэтому, методики направленные на ранжирование залежей в целях выделения относительно продуктивных земель наиболее пригодных для растениеводства, являются для Северного Казахстана весьма актуальными. Использование спутниковой информации для решения этих задач экономически оправданно, поскольку позволяет не только суще-

ственно снизить издержки инвентаризации и ранжирования земель, но и давать дополнительную информацию о степени пригодности земель к выращиванию зерновых.

### Территория исследования

В качестве объекта исследований была выбрана сцена LANDSAT (path/row 160\24) размером 180x180 км с координатами центра 51°42'14.29"N, 63°46'15.46"E; для которой в архиве данных LANDSAT имелась безоблачная историческая съемка в ключевые моменты вегетационного периода.

Тестовая территория расположена в центральной, относительно засушливой, части Костанайской области с общей площадью пахотных и залежных земель более 1 млн. гектар, рис. 1. Недостаточно благоприятные условия для выращивания зерновых культур на этой территории приводили к значительным вариациям размеров посевных площадей в течение последних двадцати лет.

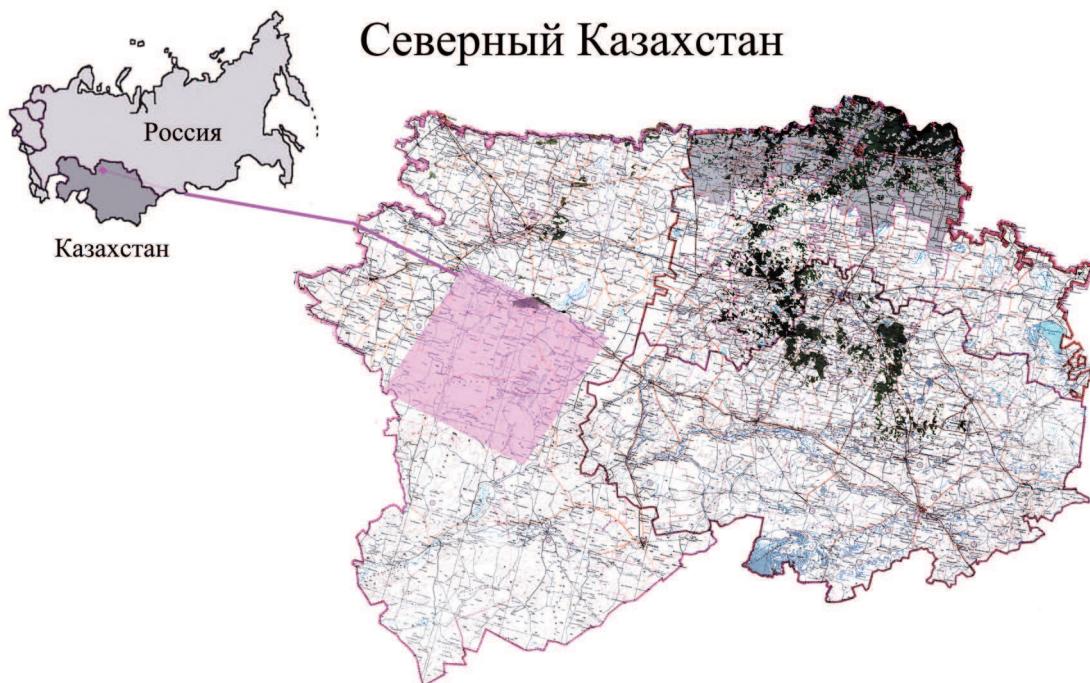


Рис. 1. Расположение тестового полигона на территории Северного Казахстана

### Ландшафт тестовой территории

Территория полигона относится к Западно-Сибирской климатической области умеренного пояса с резко континентальным климатом. Природно-климатическая зона: Северо-Тургайская физико-географическая провинция, степная и сухостепная подзоны степной зоны [2]. Рельеф равнинный, столово-ступенчатый, состоящий из нескольких геоморфологических уровней от поверхности плато с отметками 250-320 м до плоских равнин широкого (30-50 км) днища Тургайской ложбины, с минимальными отметками 120-125 м над уровнем моря. Почвы, в основном, темно-каштановые и каштановые. Для них харак-

терно значительное разнообразие, выражющееся в различии механического состава, степени увлажнения и засоленности.

Сельскохозяйственное землепользование представлено растениеводством. Яровая пшеница и ячмень являются фактической монокультурой, занимая свыше 95% посевых территорий под однолетними культурами. Общая площадь посевов в 2009 году составила около 400 тысяч гектар.

## **Методология**

Высокая лабильность земель под пропашными культурами в Северном Казахстане позволяет проводить анализ агроландшафтных особенностей вводимых и выводимых из оборота полей для поиска признаков различающих эти категории. Дистанционное зондирование может играть при этом ключевую роль.

Оценка качества заброшенных земель основывалась на двух компонентах.

Первый компонент – оценка способности земель продуцировать зеленую биомассу. Спутниковые данные предоставляют широкие возможности для оценки объема зеленой существующей на сельскохозяйственных полях через различные вегетационные индексы [3].

Второй компонент, это параметры, тесно связанные с оптимальным типом землепользования, которые можно было бы использовать в качестве критериев для классификации и ранжирования земель по степени пригодности к возделыванию яровых зерновых культур. Теоретически эти параметры могут иметь любой смысл: расстояние до дорог, расстояние до открытой воды, спектральные характеристики открытой почвы, условия весеннего снеготаяния и пр. Поиск значимых параметров базируется на сравнительном анализе земель изменивших тип землепользования.

Ранжирование залежей базировалось на комплексном подходе. Использование одной продуктивности не может давать хорошие оценки, поскольку наибольшие объемы зеленой биомассы на тестовой территории наблюдаются на переувлажненных землях, где возделывание яровых зерновых культур затруднено. Использование только косвенных факторов, связанных с оптимальным типом землепользования, также не может считаться достаточным для практически значимого ранжирования. Почвенная эрозия способна быстро ухудшить качество земель и сделать использование их для выращивания яровых зерновых культур нерентабельным.

## **Методика оценки продуктивности земель**

Одиночные безоблачные спутниковые снимки в период максимального объема зеленой биомассы трав могут являться основой для оценки продуцирующей способности земель [4]. Оптимальным временем залета спутника для оценки продуктивности земель степной зоны Северного Казахстана является время массового цветения злаков (10-30 июня), когда наблюдается сезонный максимум проективного листового покрытия.

Историческая глубина анализа играет важную роль для получения объективных оценок. Климат засушливой степи характеризуются существенными вариациями уровня увлажнения вегетационного сезона в разные годы. По объемам продуцируемой зеленой

биомассы сухой год значительно уступает влажному году. Объективные оценки должны базироваться на средних характеристиках продукцииющей способности, которые могут быть получены по данным наблюдений ряда лет.

Оценка зеленой биомассы подстилающей поверхности с помощью дистанционного зондирования осуществляется через вегетационные индексы. Спутниковые вегетационные индексы рассчитываются путем простых математических преобразований коэффициентов отражения подстилающей поверхности в красной и ближней инфракрасной частях спектра. Для количественного описания яровой пшеницы Северного Казахстана хорошие результаты имеет индекс WDVI (Weighted Difference Vegetation Index) [5] рассчитываемый по формуле [6], который использовался в этой работе:

$$WDVI = \frac{NIR - K * RED}{NIR + K * RED}$$

где, NIR – коэффициент отражения в ближнем инфракрасном канале;

RED – коэффициент отражения в красном канале;

K – коэффициент, определяемый отношением NIR/RED для открытой почвы.

### **Методика оценки степени пригодности земель для выращивания зерновых культур**

Базовым критерием для ранжирования земель было выбрано наименьшее расстояние до открытой воды. Этот фактор значим для анализируемой территории изобилующей небольшими солеными озерами. Соленая вода подавляет развитие зерновых культур [1], поэтому оптимальные условия формируются на некотором отдалении от озер. Слишком большие расстояния свидетельствуют о недостатке почвенного увлажнения, что также не-благоприятно для развития зерновой культуры. Т.е. существует определенный оптимум расстояния до открытой воды, связанный с благоприятностью условий для выращивания яровых зерновых культур на этой территории.

### **Спутниковые данные**

#### *Снимки LANDSAT*

Спутниковые данные LANDSAT в семи спектральных каналах (0.45-0.52 мкм; 0.52-0.60 мкм; 0.63-0.69 мкм; 0.76-0.9 мкм; 1.55-1.75 мкм; 2.08-2.35 мкм; 10.4-12.5 мкм) с разрешением 30 м в оптическом диапазоне являются классическим инструментом дистанционного зондирования, применяемого при решении различных прикладных задач. Спутниковая система LANDSAT функционирует с 1972 года, что позволяет решать задачи, связанные не только с текущим состоянием, но и с долговременными изменениями подстилающей поверхности.

Изображения LANDSAT TM и ETM+ были взяты из открытого архива USGS [<http://gloves.usgs.gov/ImgViewer/>]. Набор данных включал четыре снимка для сцены (path/row 160/24), датированные периодом 1986-2007 года, см. таблицу 1.

Таблица 1. Основные характеристики использованных снимков LANDSAT

Тип	Дата	Облачность	Качество
TM	07/24/1986	4%	9
ETM+	11/11/2000	0%	9
ETM+	06/07/2001	3%	9
TM	06/16/2007	8%	9

Снимки LANDSAT TM и ETM+ доводились до уровня обработки 1G с разрешением 28.5 м, проекция UTM (зона 41N, WGS84).

#### *Данные MODIS*

Спутниковая система EOS MODIS ежедневно сканируют всю поверхность Земли в 36 спектральных каналах. Оценка состояния растительного покрова базируется на обработке 1 и 2 канала с разрешением 250 м (канал 1: 620-670 нм; канал 2: 841-876 нм). Ежедневный мониторинг по снимкам, получаемым на приемной станции института космических исследований Республики Казахстан, являлся основой для накопления безоблачных сцен, необходимых для тематической обработки. Одиночные безоблачные покрытия в формате MOD 02 [коэффициент отражения], в ключевые периоды времени служили основой для оценки объемов зеленой растительной биомассы и тематического дешифрирования типов землепользования.

Условия облачности варьируются год от года. Это приводит к различному объему безоблачных сцен в течение вегетационного периода. В 2007 году пригодными для обработки были сцены следующих дат: 22, 29 мая; 21,25,30 июня; 30 июля; 20,23,25,26,27,28,31 августа; 4 сентября.

### **Предварительная обработка спутниковой информации**

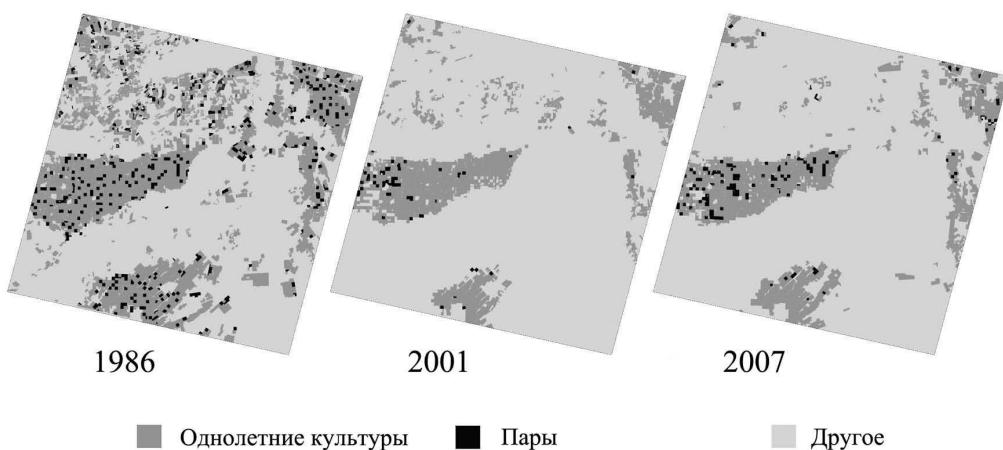
#### *Сельскохозяйственные маски*

Первой задачей являлась классификация сельскохозяйственных земель по основным типам землепользования: посевы, пары, залежи и пастбища (природные травы). Система сельскохозяйственного землепользования на тестовой территории весьма проста, это монокультурное выращивание яровых зерновых культур в рамках зернопарового севооборота на крупных полях с типичным размером 400 га. В степном ландшафте Северного Казахстана сельскохозяйственные поля обычно организованы в виде квадратной сетки с размером ячейки 2 км, что позволяет использовать для построения сельскохозяйственных масок спутниковые данные высокого и среднего разрешения [7], например LANDSAT (30 м разрешение) и MODIS (250 м разрешение).

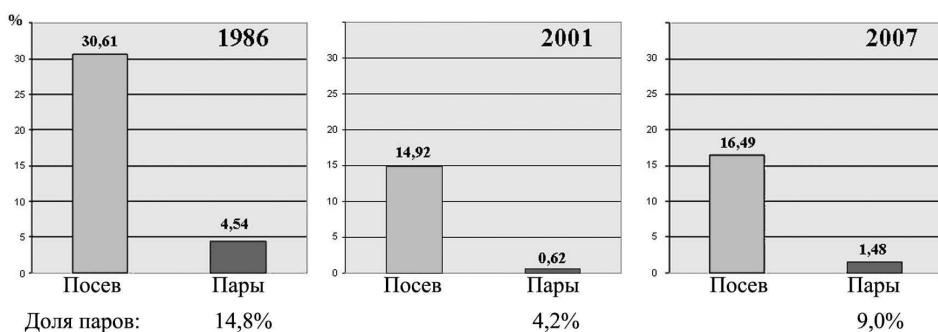
Тип землепользования может быть дешифрован по одиночным сценам LANDSAT в критические периоды развития зерновых культур, когда спектральные градиенты и тек-

структурные особенности позволяют разделить все основные классы земель. В случае отсутствия безоблачного снимка в нужный период, другим путем является сочетание данных LANDSAT и MODIS. Пространственное разрешение 250 м представляет типичное поле (400 га) в виде пиксельной матрицы размером 8x8. Такой размер дает возможность регистрировать средние спектральные характеристики отдельных полей в течение вегетационного сезона. Соответственно, появляется возможность дешифрирования основных стадий обработки пахотных земель (сев, уборка, парование и пр.) и на этой основе определения типа землепользования полей. При этом, пространственные характеристики поля могут быть взяты по снимку LANDSAT, что в сумме позволяет строить сельскохозяйственные маски с высокой точностью [7].

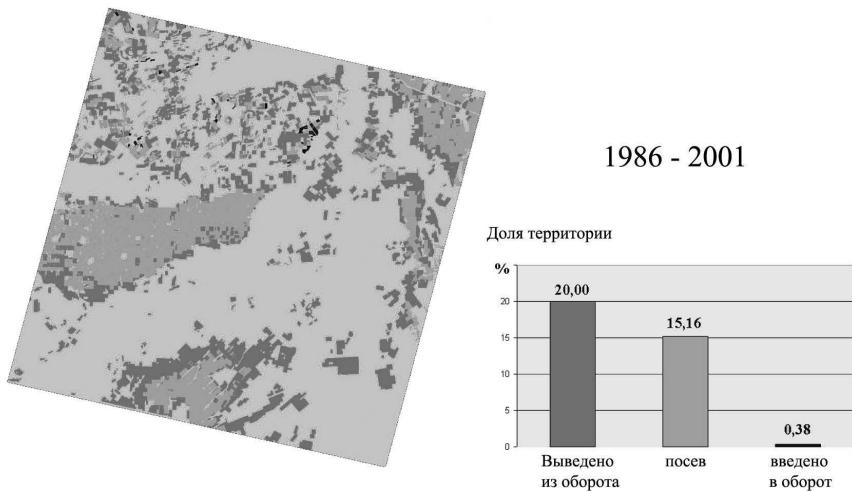
Карттирование полей, и создание сельскохозяйственных масок осуществлялось через экспертную фотоинтерпретацию на базе снимков LANDSAT и MODIS. Рассматривалось три временных периода: советский период (1986 год, снимок LANDSAT-TM на 24 июля 1986 года); период постсоветского кризиса 2000-2001 (LANDSAT-ETM+ на 11 ноября 2000 и 7 июня 2001); и текущее время – 2007 год (LANDSAT-TM на 6 июля 2007 и MODIS за 2007 год). Система сельскохозяйственного растениеводства на этой территории остается неизменной в течение последних 50 лет. Все изменения связаны только с параметрами зернопаровой системы севооборота - доли парующихся полей, и общим размером посевных площадей, рис. 2-4.



*Рис. 2. Сельскохозяйственные маски тестовой в различные годы, построено по спутниковым данным LANDSAT и MODIS*



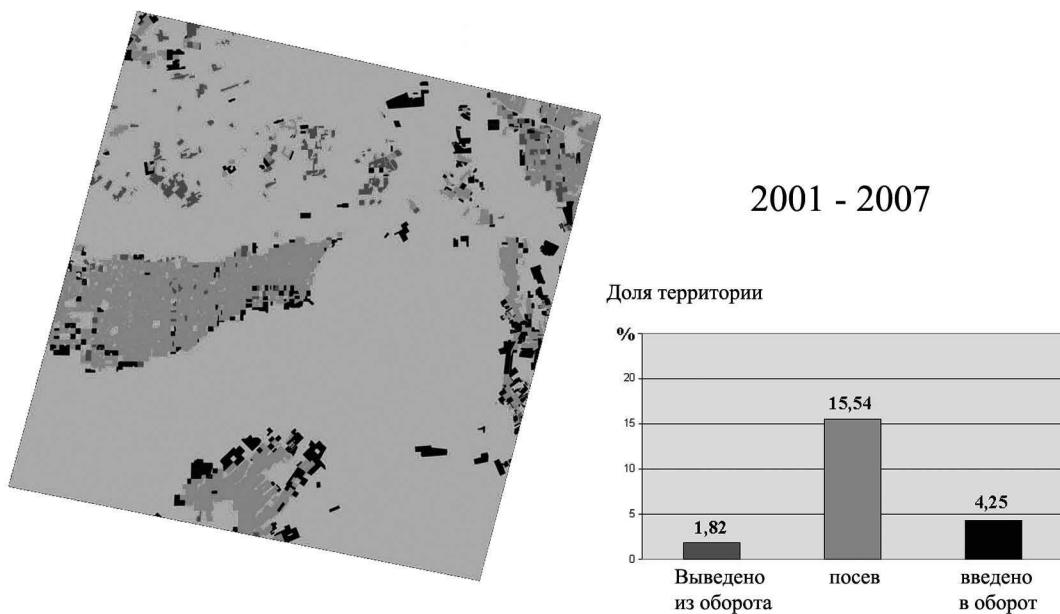
*Рис. 3. Параметры системы зернопарового севооборота в различные годы по спутниковым данным LANDSAT и MODIS*



*Рис. 4. Сельскохозяйственные маски и их изменения в период 1986-2001 гг. по спутниковым данным LANDSAT*

#### *Маска воды*

Маска водных объектов строилась с помощью фотоинтерпретации весеннего и осеннего снимка LANDSAT ETM+ (11 ноября 2000 и 7 июня 2001). На анализируемой территории расположено множество мелких, иногда нестабильных озер. Их размер меняется в течение сезона, а некоторые существуют только в весенний период. Весной, после снеготаяния в озерах накапливается талая вода, что формирует сезонный максимум их размеров. При создании маски воды картировались только стабильные водные объекты, представленные на обоих снимках, т.е. существующие в течение всего вегетационного сезона, рис. 6.



*Рис. 5. Сельскохозяйственные маски и их изменения в период 2001 -2007 гг. по спутниковым данным LANDSAT и MODIS*

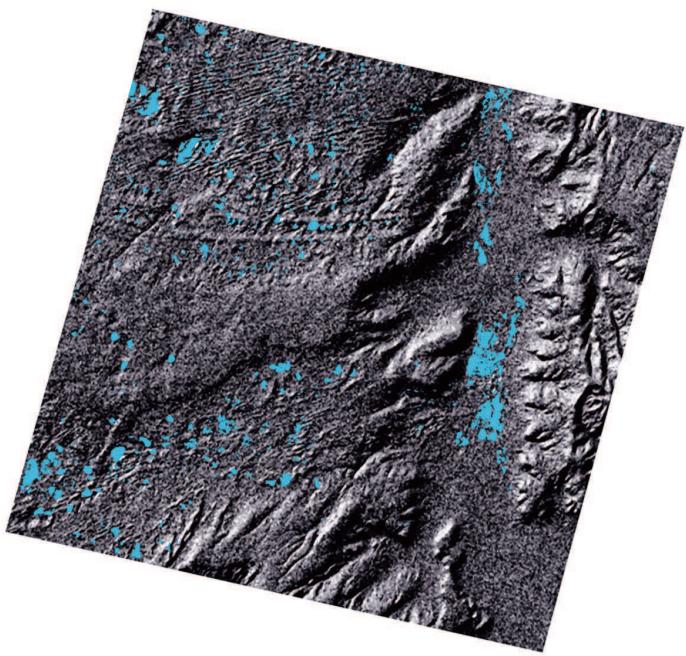


Рис. 6. Мaska воды на тестовой территории, дешифрованная по снимкам LANDSAT, на 3D рельефе

## Результаты

Предварительный анализ системы сельскохозяйственного землепользования периода 1986-2007 годов, проведенный на базе спутниковой информации LANDSAT и MODIS позволил сформировать маску брошенных земель, а также маски посевов и пашни. Изменения этих основных типов землепользования, произошедшие в периоды 1986-2001 и 2001-2007 гг., также были сведены к соответствующим маскам, рис. 2-5. Территории сельскохозяйственных масок служили основой для анализа распределения величин значений ключевого агроландшафтного параметра, под которым понималось минимальное расстояние до открытой воды.

Целью анализа был поиск диапазона значений ключевого параметра необходимого для ранжирования брошенных земель по фактору пригодности к возделыванию зерновых культур. По значениям ключевого параметра земли, выведенные из оборота, существенно отличались от земель, введенных в оборот, что давало возможность использовать его в качестве критерия при ранжировании брошенных земель на два класса по степени благоприятности их использования для возделывания яровых зерновых культур, благоприятный и неблагоприятный агроландшафт.

Классификация всей тестовой территории по величине минимального расстояния до открытой воды представлена на рис. 7. Распределение минимальных величин расстояний до ближайшей воды для всей сцены имело максимум, который приходился на расстояние в 2-3 км, рис. 7. Земли сельскохозяйственного назначения, имели заметно отличающиеся характеристики. Поля под яровыми культурами – максимум в распределении около 9-12 км; залежи 3-7 км, рис. 8.

Таким образом, «параметр расстояние до ближайшей открытой воды» являлся значимым в задаче ранжирования земель сельскохозяйственного назначения тестовой территории. Был определен диапазон минимальных расстояний до воды, который типичен для посевов.

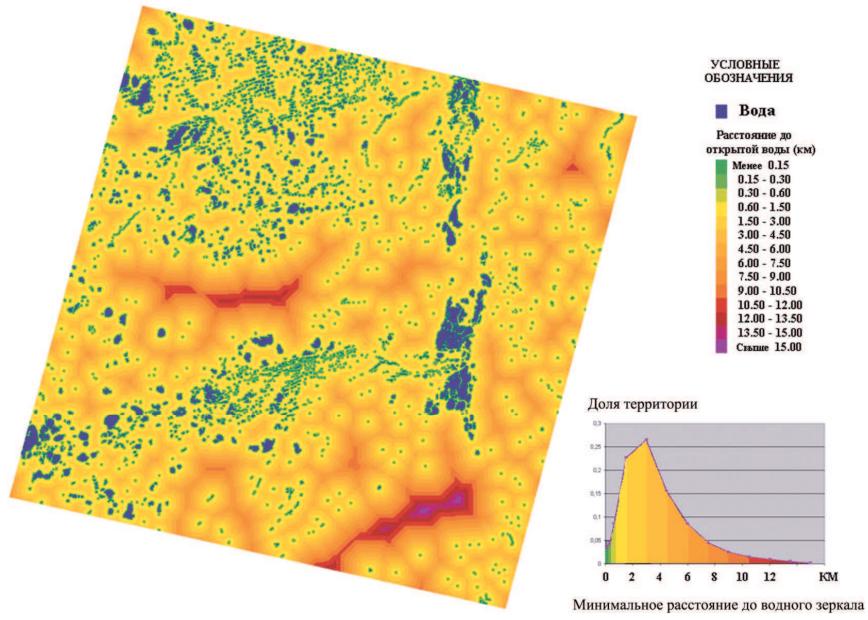


Рис. 7. Районирование тестовой территории по минимальному расстоянию до открытой воды

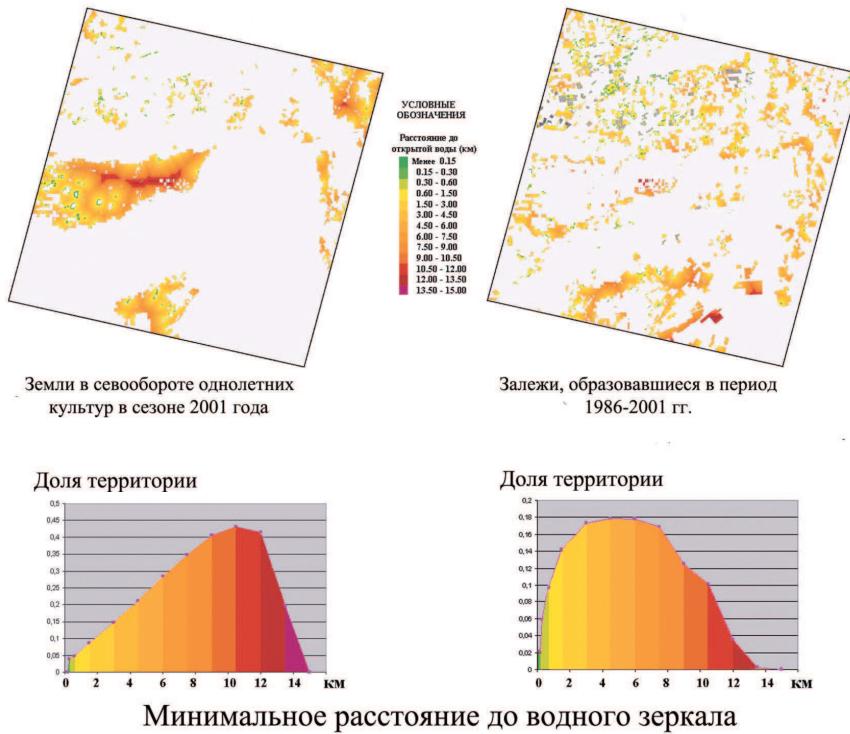


Рис. 8. Классификация сельскохозяйственных земель различного назначения по фактору минимального расстояния до открытой воды

Для определения критических значений минимальных расстояний до открытой воды, необходимых для ранжирования залежей, были использованы эталоны, в качестве которых, выступали сельскохозяйственные земли, изменившие тип землепользования в период 2001-2007 гг. На территории сцены в период 2001-2007 около 500 кв. км пашни было выведено из оборота, и около 1200 кв. км введено в оборот. Анализ этих земель показал, что у них значительным образом различаются характеристики распределения минимальных

расстояний до открытой воды, рис. 9. Земли, выведенные из оборота, имели бимодальное распределение расстояний до воды с минимумом в диапазоне 6-9 км. Вновь введенные земли имели, наоборот, распределение по расстоянию до воды с максимумом в 6-8 км.

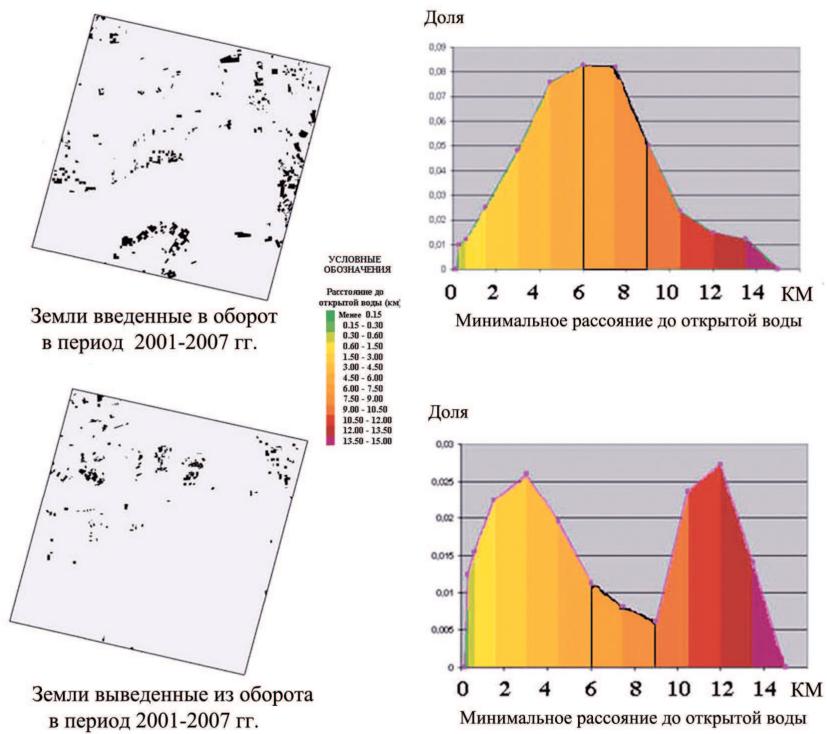
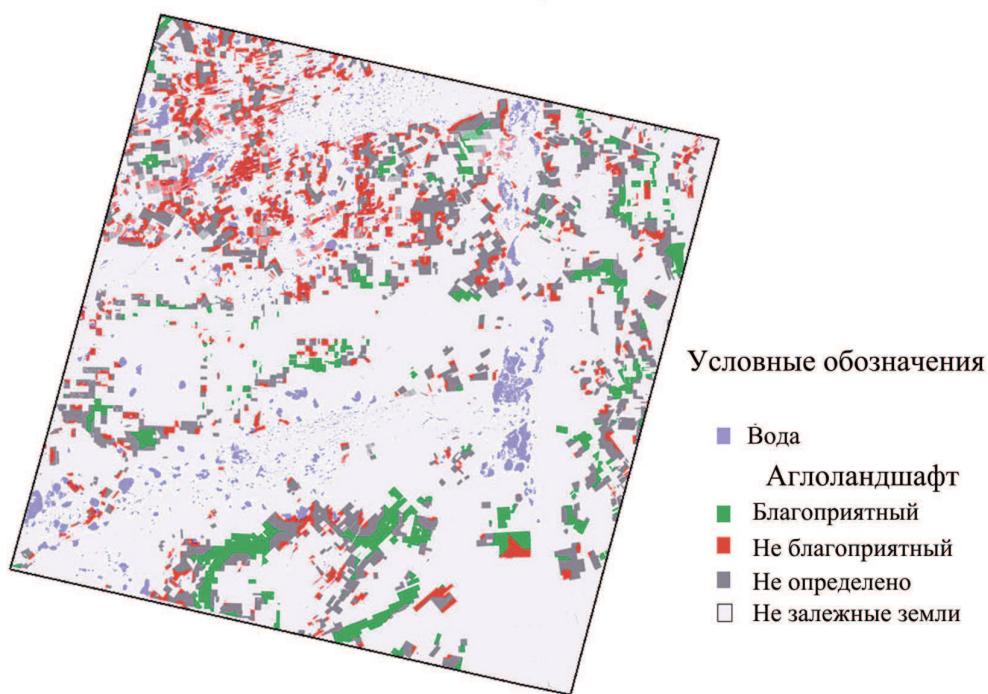


Рис. 9. Распределение территории по минимальному расстоянию до открытой воды внутри сельскохозяйственных земель, изменивших свое землепользование в период 2001-2007 гг.

Таблица 2. Структура введенных и выведенных из оборота земель в период 2001-2007 гг. по критерию удаленности от водного зеркала и их сопоставительный анализ

Наименьшее расстояние до воды	Доля во вновь введенной в оборот пашне ( $K_1$ )	Доля в землях, выведенных из оборота ( $K_2$ )	$K_1 / K_2$	Доля земель в залежах, %
Менее 300 м	0.0094	0.0271	0.3466	2.03
300-600 м	0.0235	0.0695	0.3381	4.92
600-1500 м	0.1281	0.2668	0.4803	20.50
1500-3000 м	0.2881	0.3614	0.7973	31.22
3000-4500 м	0.2639	0.1590	1.6602	19.75
4500-6000 м	0.1595	0.0509	3.1335	10.82
6000-7500 м	0.0831	0.0190	4.3624	5.63
7500-9000 м	0.0277	0.0079	3.5130	2.53
9000-10500 м	0.0082	0.0194	0.4258	0.43
10500-12000 м	0.0035	0.0151	0.2309	0.23
12000-13500 м	0.0049	0.0040	1.2233	1.22
13500-15000 м	0	0	-	-

Наибольшие различия в величинах расстояний до открытой воды между землями, введенными в оборот и выведенными из оборота (2001-2007 г.), наблюдались в диапазонах 0-600 м и 4500-9000 м, см. таблицу 2. Использование этих диапазонов в качестве критериев районирования залежей на два класса - благоприятный и неблагоприятный агроландшафт для выращивания яровых зерновых культур; позволило провести двух классовое ранжирование залежей, рис. 10.



*Рис. 10. Двухклассовое ранжирование залежных земель по фактору благоприятности агроклиматических условий для выращивания яровых зерновых культур для тестовой территории*

### **Районирование продуктивности залежных земель**

Во второй половине июля в Северном Казахстане формируется сезонный максимум зеленой травяной растительности, что позволяет проводить сравнительные оценки продуктивности однородных объектов, например сельскохозяйственных масок (посевы однолетних культур, многолетние травы, залежи). Диагностика продуктивности залежных земель проводилась по спутниковым оценкам объемов сезонных максимумов зеленой растительной биомассы. При оценке продуктивности земель использовалась простая порядковая шкала величин спутникового растительного индекса WDVI, формируемая набором пороговых значений.

Маска залежей тестовой территории, предварительно построенная по спутниковым данным, уточнялась по официальным планам землепользования с масштабом 1:100000. При этом территория анализа сводится к административным единицам и в частности к Аулиекольскому району Костанайской области, который практически полностью расположен на тестовой сцене LANDSAT.

Районирование территорий сельскохозяйственных масок по уровню продуктивности растительности для района проводилось снимку MODIS (разрешение 250 м) на 30 июля 2007 года. Пример районирования продуктивности земель залежей и пастбищ коренного улучшения по состоянию одного 2007 года представлен на рис. 11.

### **Заключение**

Спутниковые снимки различного пространственного разрешения, полученные в течение ряда лет, способны обеспечить комплексный анализ пахотных земель Северного

Казахстана, необходимый для оптимизации землепользования, особенно при повторном введении в сельскохозяйственный оборот залежных земель. В процессе анализа создаются маски землепользования и их изменения в период наблюдений. Маски включают: посевы, пары, залежи, природные травы. В рамках отдельных масок по величинам спутниковых вегетационных индексов проводится оценка продуктивности земель в относительных шкалах. Наличие в период спутниковых наблюдений полей изменивших тип землепользования, создает условия для анализа и поиска критериев, характеризующих оптимальный тип использования земель. Для залежей эти параметры могут служить основой для ранжирования, например по фактору степени благоприятности их использования для возделывания яровых зерновых культур.

Для территории тестового полигона (сцена LANDSAT path/row 160/24) и Аулиекольского района Костанайской области, расположенного на ней, построены основные сельскохозяйственные маски и проведено пилотное двухклассовое ранжирование залежей по степени благоприятности возделывания яровых зерновых культур на базе минимального расстояния до открытой воды.

Работа выполнена при поддержке программы LCLUC NASA (грант NNG06GF 54G).

## Литература

1. Бараев А.И. Яровая пшеница в Северном Казахстане // Алма-Ата: Кайнар, 1975. 232 с.
2. Исаченко Т. И., Рачковская Е. И. Основные зональные типы степей Северного Казахстана // Тр. Ботан. ин-та АН СССР. Сер. геоботаника. Л. 1961. - Вып. 13. С. 133-397.
3. Aase J.K., Siddoway F.H. Spring wheat yield estimates from spectral reflectance measurements// Agron.J. 1980.- Vol.72.- P.149-154.
4. Терехов А.Г. Основные элементы продуктивности яровой пшеницы Северного Казахстана сезона 2007 года в представлении EOS MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Москва: ООО «Азбука-2000». 2007, Вып.4, Т. II, С.364 – 370.
  - a. Терехов А.Г., Каузов А.М. Подспутниковый MODIS-ориентированный анализ информативности вегетационных индексов в задаче описания состояния яровой пшеницы Северного Казахстана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Москва: ООО «Азбука-2000». 2007, Вып.4, Т. II, С.352 – 357.
  - b. Clevers J.G.P.W. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index// Remote Sens. Environ.1988. Vol.25. P.53-69.
5. Терехов А.Г. Оценка точности спутниковой технологии определения площади сельскохозяйственных масок в схеме с использованием снимков различного разрешения// Сборник научных статей «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ООО «Азбука-2000», 2009, Вып.6, том II, С.358 – 363.

# **Principles of agrolandscape zoning of arable land of the Northern Kazakhstan with using of LANDSAT and MODIS**

**A. Terekhov, I. Vitkovskaya, M. Batirbayeva, L. Spivak**

*Space Research Institute*

*Join-stock company National Centre of the Space Research and Technology  
050010 Kazakhstan, Almaty, 15 Shevchenko*

The principles of analysis and zoning of abandoned lands of Northern Kazakhstan for areas with unstable structure of agricultural land use be considered with using of many years satellite LANDSAT/MODIS data. Optimization of the re-involve of abandoned lands in a crop rotation is based on the analysis of lands which have changed the type of land use in the observation period. The basis for ranking of abandoned lands is the classification of land through the parameter associated with the optimal type of land use by MODIS data. For the test area (the Landsat scene [path 160, row 24]), located in Kostanay region key parameters is a range of minimum distances to open water. Zoning of abandoned lands of test territory was conducted and recommendations for the optimal land use were formulated with using this agrolandscape parameter and vegetation index MODIS / WDVI for period of green biomass peak. Research has been done with support of LCLUC NASA (grant NNG06GF 54G).

**Keywords:** remote sensing, agrolandscape zoning, vegetation index, ranking of abandoned lands