

Мониторинг долговременных изменений растительного покрова аридных и полуаридных зон Казахстана с использованием данных дистанционного зондирования

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

*Институт космических исследований АО «Национальный центр космических исследований и технологий» НКА РК,
050010, Казахстан, ул. Шевченко 15, Алматы,
E-mail: ivs-iki@rambler.ru*

Показаны результаты анализа многолетних изменений состояния вегетационного покрова территории Казахстана, полученные на основе спутниковых данных NOAA/ AVHRR для оценки межгодовых особенностей в реакции растительного покрова на вариации погодных условий. Методика обработки предусматривала анализ многолетних распределений спутниковых интегральных и дифференциальных индексов вегетации, показывающих динамику изменения состояний растительного покрова.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, вегетационные индексы, растительный покров, многолетние изменения

Введение

Экосистемы аридных и полуаридных территорий Казахстана характеризуются малой устойчивостью к климатическим и антропогенным воздействиям, которые приводят к деградации растительного покрова, выражаящейся в уменьшении общего объема биомассы и изменении видового состава, развивающиеся на протяжении длительного периода. При исследовании обширных, малонаселенных и труднодоступных полупустынных и степных территорий Казахстана эффективно использовать спутниковую информацию, предоставляющую объективную информацию о спектральных характеристиках подстилающей поверхности с различной периодичностью и пространственным разрешением.

Исходные данные и методика исследования

Для изучения многолетних изменений состояния растительного покрова на территории Казахстана использовался набор различных вегетационных индексов, построенных по данным 1 (0,580-00,68 мкм) и 2 (0,7250-01,1 мкм) каналов радиометра AVHRR/NOAA, в период вегетационных сезонов (апрель-сентябрь) 2000-2010 годов:

- 1) вариации состояния растительности внутри вегетационного сезона исследовались по распределениям декадных значений нормализованного дифференциального вегетационного индекса (NDVI) [1]. Существует устойчивая корреляция между показателем NDVI и продуктивностью растительности для различных типов экосистем. Распределения NDVI использовались в качестве базы для построения других вегетационных индексов;
- 2) анализ долговременных изменений продуктивности растительного покрова эффективнее проводить на основе распределений интегрального вегетационного индекса (IVI)

[2], характеризующего накопление общего объема зеленой биомассы за вегетационный сезон и вычисляющийся суммированием NDVI-композитов за период апрель-сентябрь конкретного года в каждом пикселе;

3) аппроксимация влияния сезонных погодных условий на продуктивность растительных сообществ традиционно обеспечивается распределениями индекса условий вегетации (VCI) [3]. Карты VCI могут применяться для локализации и мониторинга очагов засухи, а также количественной оценки воздействия погодных условий на продуктивность пастбищ и посевов. В [4] определено соответствие значений VCI состоянию растительности:

VCI ∈ [0 – 30%] – стрессовое состояние растительности, характерное для очагов засухи; VCI ∈ [30 – 70%] – удовлетворительное состояние растительности, близкое к среднему многолетнему значению; VCI > 70% – хорошее состояние растительности, характерное для благоприятных погодных условий;

4) для определения межгодовых вариаций погоды и погодной характеристики вегетационного периода в целом используется интегральный индекс условий вегетации (IVCI) [2], построенный по аналогии с индексом условий вегетации. В таблице приведены расчетные формулы используемых индексов вегетации.

Таблица. Спутниковые вегетационные индексы

Типы данных	Расчетные формулы
NDVI (ежедневные)	$NDVI = \frac{ch2 - ch1}{ch1 + ch2}$
NDVI (декадные композиты)	$NDVI(t) = \max_{i=1}^{10} (NDVI_{jk})_i$
IVI	$IVI = \sum_{i=1}^n NDVI(t)_i$
VCI	$VCI(t) = \frac{NDVI_i - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}$
IVCI	$IVCI = \frac{IVI_i - IVI_{\min}}{IVI_{\max} - IVI_{\min}}$

Анализ пространственных и временных изменений растительного покрова Казахстана с использованием базы данных индексов вегетации

Использование многолетних карт индексов вегетации, построенных по данным дистанционного зондирования низкого разрешения, охватывающих большие территории, позволяет выделить погодные тренды изменений за исследуемый период. В связи с этим, анализ влияния погодных воздействий на условия вегетации проводился по временным рядам

различных вегетационных индексов, построенных по спутниковым данным NOAA (разрешение 1000 м).

Многолетние изменения интегрального индекса условий вегетации, осредненные по территории Казахстана, представлены на рис. 1. Данные, полученные авторами статьи (1999-2010 гг.), дополнены результатами расчетов Ф.Когана [5] (1982-2002 гг.).

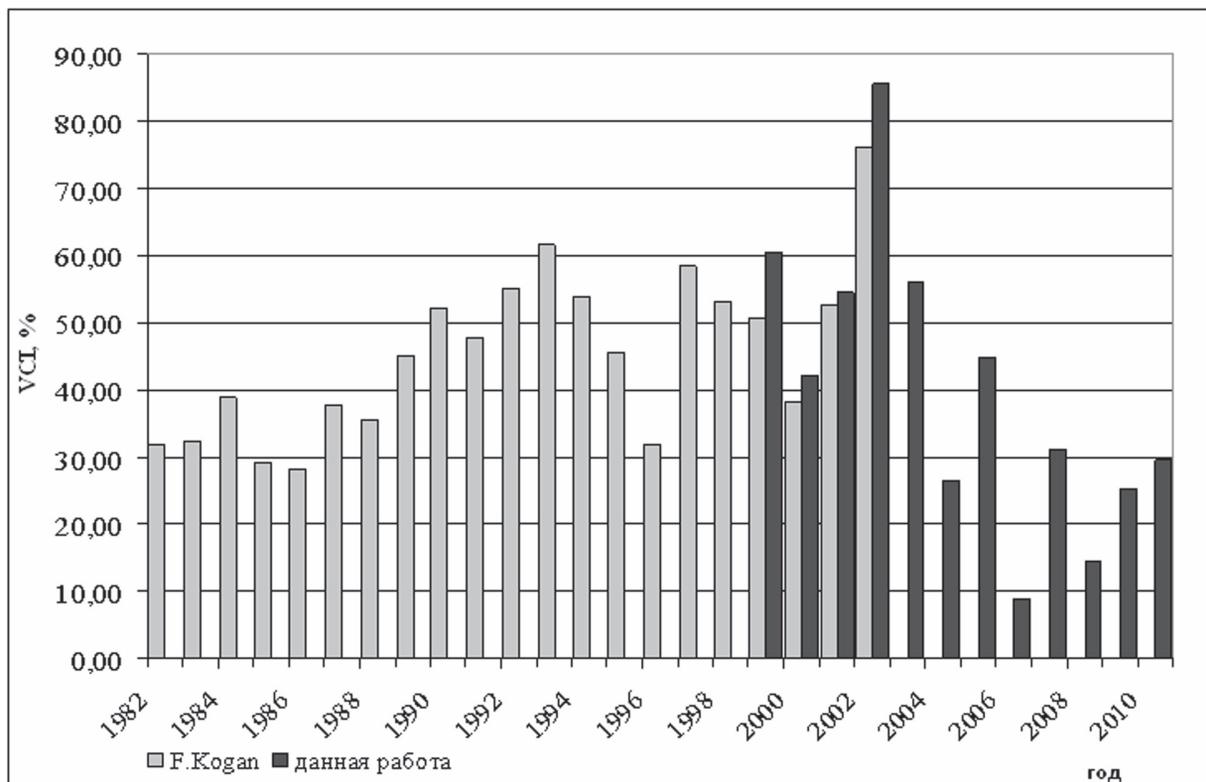


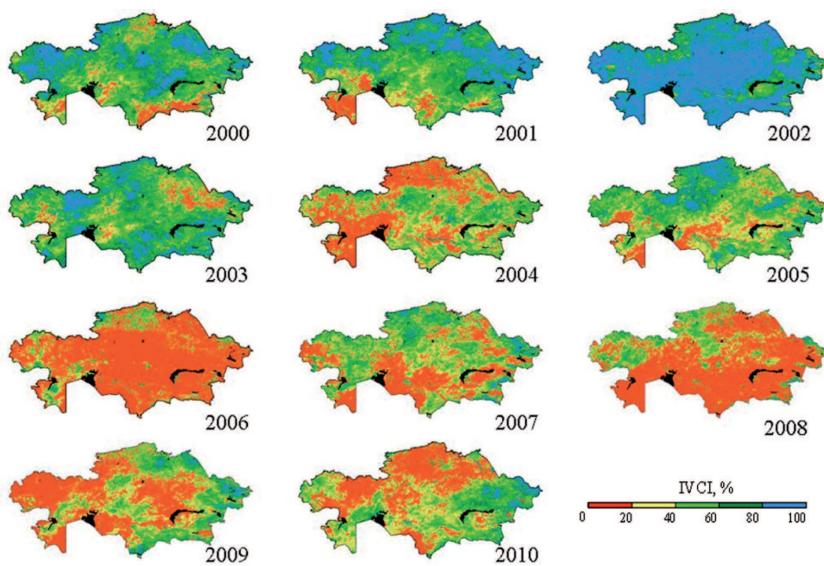
Рис. 1. Многолетние изменения интегрального индекса условий вегетации VCI по территории Казахстана

Совмещение этих данных позволяет оценить практически тридцатилетние изменения воздействия погоды на состояние растительного покрова. Начиная со второй половины 80-х годов XX века, наблюдается рост значений интегрального индекса условий вегетации для территории Казахстана в целом, что характеризует благоприятные условия для развития растительности, вплоть до 2002 года (с минимумами в годы засух). Последние годы характеризуются тенденцией увеличения доли засушливых лет.

Так, с 2004 года в различных регионах Казахстана практически ежегодно наблюдаются засухи той или иной степени интенсивности, что приводит к резкому падению значений этого индекса. Практически для всех последних лет значения IVCI не превышают 30%-ый порог. При этом для территории республики абсолютным многолетним максимумом по благоприятности условий развития вегетации является 2002 год, наиболее неблагоприятным – 2006 год.

Как видно из спутниковых данных, в 2006 г. в условиях стрессового воздействия находилась практически вся территория Казахстана за исключением северных областей; в 2008 – центральные и восточные регионы; в 2009 – западные и северные области республики.

По наземным данным засуха 2010 года для запада Казахстана признана чрезвычайно сильной. Однако, анализ многолетних карт интегрального индекса условий вегетации IVCI (рис. 2), не показывает для западных областей республики подобной стрессовой ситуации.



*Рис. 2. Динамика распределения интегрального индекса условий вегетации IVCI в 2000-2010 гг.
(на основе данных NOAA/VI, разрешение 1000 м)*

Для объяснения этого факта были привлечены распределения декадных значений VCI, рис. 3. Вплоть до середины июня состояние растительности характеризовалось высокими значениями дифференциального вегетационного индекса. Затем, в результате установления устойчивого антициклона, пришедшего со стороны России, практически в течение двух месяцев прекратилось выпадение осадков, среднемесячная температура оказалась существенно выше нормы. Эти жесткие условия привели к иссушению и выгоранию растительности. Безусловно, для запада Казахстана 2010 год является наиболее экстремальным по степени стрессового воздействия погодного фактора из всего ряда наблюдений, начиная с 2000 года. Установление высоких температур и отсутствие осадков привели к сдвигу в цикле развития естественной растительности и сильному угнетению культурной растительности с фиксированными датами развития.

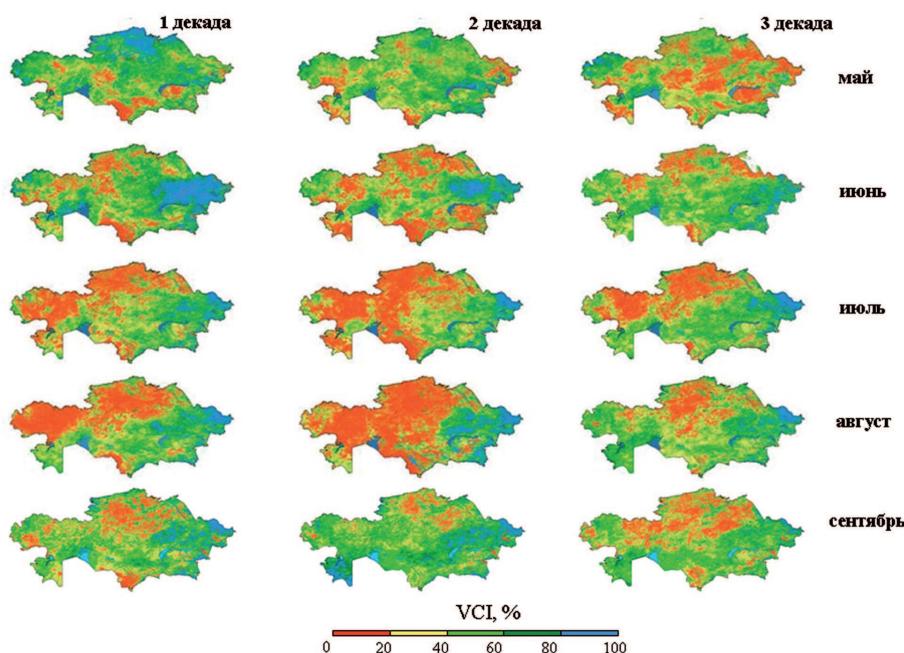


Рис. 3. Распределение значений декадных VCI в вегетационном сезоне 2010 года

На основании распределений нормированного интегрального вегетационного индекса IVI проводилось районирование территории Казахстана [3] для оценки многолетних пространственных изменений вегетационного покрова по пороговым значениям:

зона 1 – очень низкая продуктивность пустыни (значения $IVI_{norm} < 0,1$); зона 2 – низкая продуктивность (0,1 – 0,2); зона 3 – средняя продуктивность (0,2 – 0,3); зона 4 – умеренная продуктивность (0,3 – 0,4); зона 5 – высокая продуктивность (более 0,4). Расположение выделенных зон различной продуктивности растительности представлено на рис. 4 (а).

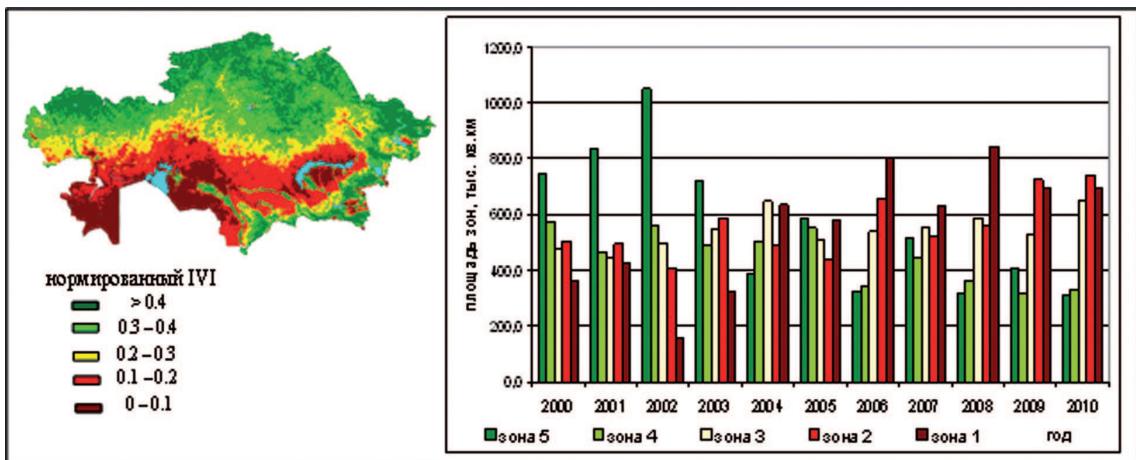


Рис. 4. Районирование территории Казахстана по данным дистанционного зондирования (а) и динамика площадей зон различной продуктивности растительности (в)

Для вегетационного покрова республики характерна явно выраженная широтная последовательность расположения зон различной продуктивности, аналогичная распределению природных зон. По распределениям IVI четко определены контуры различных природных зон – пустыня и полупустыня, степная и лесо-степная зоны. Количественные размеры зон с относительно высокой и низкой продуктивностью существенно зависят от сезонных погодных условий, рис. 4(в).

Анализ многолетней динамики площадных характеристик показал наличие тенденции последних лет к увеличению зон с низкими значениями IVI и их продвижению на север, рисунок 5. По данным дистанционного зондирования наблюдается ухудшение состояния растительного покрова практически для всей центральной части Казахстана в период 2004-2010 годы.

Для зон с крайне низкой и высокой продуктивностью наблюдается своего рода принцип дополнительности: с 2002 года увеличение пустынных и полупустынных территорий (рис. 5) сопровождается уменьшением зоны высокой продуктивности, в то время как площади зоны с умеренными значениями IVI, остаются практически неизменными при наличии межсезонных вариаций.

Проведенное районирование позволило идентифицировать зоны с низким уровнем вегетации на территории степной зоны Казахстана. Динамика площадей участков с низкими значениями IVI в сухостепной зоне в рассматриваемый период не имеет однозначной тенденции, постепенно возрастая и, тем самым, обусловливая уменьшение общего объема биомассы в аридных землях Казахстана. Подобная картина, по-видимому, связана с наличием долговременных циклов в состоянии растительности и попадании части такого цикла в анализируемый период (2000-2010).

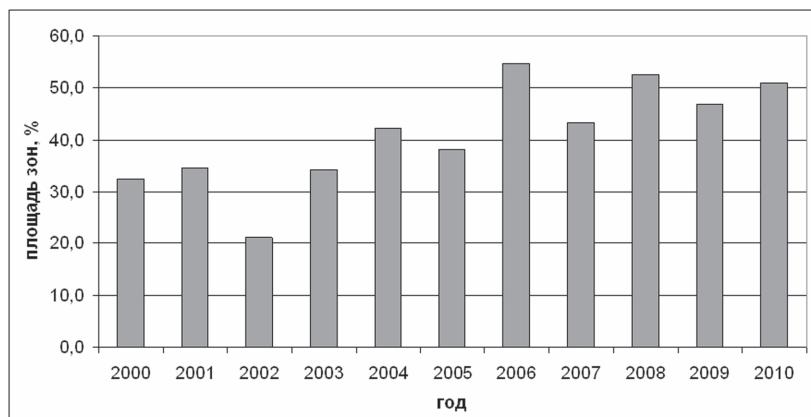


Рис. 5. Динамика изменения площадей зон с различными значениями NDVI на территории Казахстана (2000-2010)

Четко прослеживается тренд, предположительно вызванный погодными условиями, на состояние вегетации, продвижение зон с малой продуктивностью на север. Для определения участков стабильного изменения (ухудшения или улучшения состояния) растительного покрова проведен анализ временных рядов вегетационных индексов продуктивности по всей территории Казахстана в периоды 2000-2004 и 2005-2009 гг.

На рисунке 6 показан результат гистограммной обработки матрицы значений разности IVI₍₂₀₀₀₋₂₀₀₄₎-IVI₍₂₀₀₅₋₂₀₀₉₎ с выделением участков различной степени изменений продуктивности растительности. При построении разности IVI не учитывались 2002 и 2006 годы, как внесшие максимальный вклад в улучшение/ ухудшение, соответственно, в состояние растительности в результате экстремального погодного воздействия.

Следует отметить, что наибольшему ухудшению под действием погодных условий подверглись участки в Западно-Казахстанской области, юг Костанайской и Акмолинская области. Практически весь центральный Казахстан находится в условиях относительного ухудшения состояния растительности по сравнению с началом периода наблюдений. В то же время, юг Республики (Атырауская, Мангистауская, Актюбинская области) находится в зоне относительно благоприятного воздействия погодного фактора.

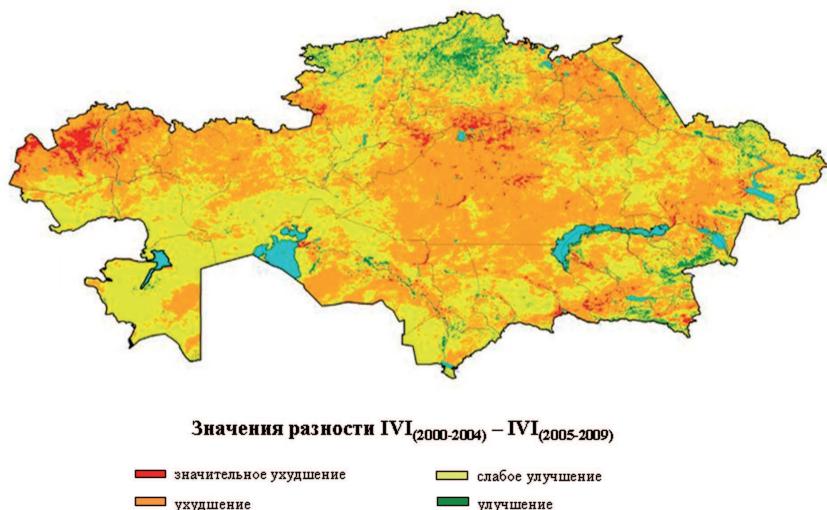


Рис. 6. Изменение продуктивности растительности по территории Казахстана в периоды 2000-2004 и 2005-2009 гг.

Таким образом, по воздействию погодных условий на развитие растительности для республики в целом период 2000-2010 гг. может быть разбит на два временных интервала: до 2003 года включительно отмечается положительный тренд, в то время как, начиная с 2004 года по текущий момент, наблюдается отрицательный тренд.

Работа выполнена в рамках республиканской бюджетной программы «Прикладные научные исследования в области космической деятельности» на 2009-2010 годы Республики Казахстан.

Литература

1. *Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A., Deering D. W.* Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS // Third ERTS Symposium NASA SP-351 1973. Vol. 1. P. 309-317
2. *Spivak L., Vitkovskaya I., Batyrbayeva M., Terekhov A.* Detection of Desertification Zones Using Multi-year Remote Sensing Data. NATO Science for Peace and Security Series – C: Environmental Security Use of Satellite and In-Situ Data to Improve Sustainability, Springer, 2010, p. 235-241
3. *Спивак Л.Ф., Витковская И.С., Батырбаева М.Ж.* Анализ межсезонных вариаций продуктивности растительного покрова Казахстана с использованием временных рядов ДЗЗ// Известия НАН РК Серия физмат. 2008. № 4, с. 29-32
4. *Kogan F., Gitelson A., Zakarin E., Spivak L.* Using AVHRR data for Quantitative Estimation of Vegetation Conditions: Calibration and Validation // Adv. Space Research. 1998. V.22, N 5, P. 673-676
5. *Закарин Э., Спивак Л., Архипкин О., Муратова Н., Терехов А.* Методы дистанционного зондирования в сельском хозяйстве Казахстана. Алматы. «ФЫЛЫМ». 1999. 175 с.

Monitoring of long-term Changes of Vegetation Cover of Arid and Semi-arid Zones of Kazakhstan with the Use of Remote Sensing Data

*L. Spivak, I. Vitkovskaya, A. Terekhov, M. Batyrbayeva
Space Research Institute of Republic of Kazakhstan
Shevchenko 28, Almaty 050010 Kazakhstan ivs-iki@rambler.ru*

The article shows the results of the analysis of long-term changes in the state of vegetation cover of Kazakhstan territory based on NOAA / AVHRR satellite data for assessing interannual features in response of vegetation to variations in weather conditions. Processing methodology included an assessment of multi-satellite distributions of integral and differential vegetation index, showing the dynamics of vegetation.

Keywords: remote sensing data, vegetation index, vegetation, long-term changes.