

УДК 504.3.05

Доктор техн. наук	Л.Ф. Спивак ¹
Канд. техн. наук	М.Ж. Батырбаева ²
Канд. физ.-мат. наук	И.С. Витковская ²
Канд. техн. наук	Н.Р. Муратова ²
	Н.И. Бердыгулов ²
	Д.К. Момбекова ²
Доктор физ.-мат. наук	К.А. Жаксыбекова ³
	Ж.Т. Капатай ³

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ПРИ ОЦЕНКЕ ЗАСУШЛИВОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

Ключевые слова: дистанционное зондирование, вегетационные индексы, многолетние ряды, гидротермический коэффициент, индекс засушливости

Исследована возможность использования спутниковой информации при анализе погодных условий и оценке засушливости на территории Казахстана по аналогии с наземными индексами засушливости (гидротермический коэффициент ГТК). Разработана схема расчета вегетационных индексов (ВИ) в окрестности метеостанций для определения корреляции наземных и спутниковых индексов засушливости.

Проведены расчеты корреляционных коэффициентов между индексами ГТК и ВИ для 37 районов северных областей РК. Показано, что интегральные ВИ, обладая достаточно высокой теснотой связи с ГТК, могут являться спутниковыми аналогами этого индекса, что позволяет уверенно использовать их при анализе воздействия погодных условий на состояние растительности в отсутствие наземных данных.

При установлении степени засушливости по данным наземных наблюдений в качестве исходной информации используются различные индексы, построенные на основе рядов среднемесячных и суточных тем-

¹ Государственный университет «Дубна», Россия

² АО «НЦКИТ» РК, г. Алматы, Казахстан

³ КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

ператур воздуха и месячных сумм осадков: гидротермический коэффициент Селянинова, SPI, индекс Педа и др. Возможность установления зависимостей между спутниковыми вегетационными индексами и параметрами контактных измерений объясняется общностью причин:

1) при контактных измерениях определяются значения температур и осадков, далее производится расчет индексов, основанных на комплексировании этих величин и определяющих степень засушливости;

2) при использовании методов дистанционного зондирования (ДЗЗ) рассчитываются индексы вегетации, построенные на значениях красного и ближнего инфракрасного участков спектра отражения, а также значений теплового диапазона. По спутниковым индексам определяется состояние растительного покрова, зависящее от температурно-влажностных условий сезона.

Анализ условий засушливости на основе спутниковой информации базируется на связях состояния растительности с ее спектральными отражательными способностями. Воздействие засушливых условий сказывается на состоянии растительности, приводя к уменьшению хлорофилла в листьях и стеблях. Это сопровождается изменением характеристик отраженного сигнала и фиксируется в результате съемки спутниковым радиометром.

Распознавание засушливых погодных условий на территории Казахстана и мониторинг их последующего развития по состоянию растительного покрова проводится с использованием дифференциальных и интегральных вегетационных индексов [2, 3, 4, 5]:

- нормализованный дифференциальный вегетационный индекс $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ (NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED – отражение в красной области спектра) – индекс эффективен при оценке сезонной динамики состояния растительности;

- интегральный вегетационный индекс $IVI = \sum_t NDVI_t$ (t – номер декады в сезоне) – характеризует общий объем зеленой биомассы за вегетационный сезон; используется при анализе межсезонных вариаций состояния растительности;

- интегральный индекс условий вегетации $IVCI = ((IVI_i - IVI_{\min}) / (IVI_{\max} - IVI_{\min})) \cdot 100\%$ – (IVI_{\max} , IVI_{\min} – максимальное и минимальное значения индекса в каждом пикселе за весь

период наблюдения) – используется при анализе межсезонных вариаций влияния погодных условий на состояние растительного покрова.

Установление корреляционных связей между спутниковыми индексами вегетации и параметрами, рассчитываемыми по наземной информации, является важной задачей для подтверждения достоверности описания спутниковыми индексами процессов, происходящих с растительным покровом. Зачастую нет возможности прямого сопоставления данных, полученных различными способами (контактные и дистанционные), что обусловлено специфическими пространственно-временными особенностями. В связи с этим, большое значение приобретает выявление косвенных факторов и возможность определения связей между ними.

Специфика получения данных из разных систем наблюдений заключается в следующем:

1) наземные измерения получены с разреженной сети метеостанций (М), являются точечными и неравномерно распределенными, проводятся несколько раз в сутки с высокой периодичностью (включая ночное время суток); для определения их территориального распределения реализуется процедура интерполяции, что понижает точность определения заданной величины между узлами сети измерений;

2) эффективность использования космической информации общеизвестна: регулярные, территориально непрерывные данные, наличие многолетней архивной информации, свободный доступ к данным низкого разрешения, экономичность.

Для сравнения точечной наземной информации и пространственных спутниковых данных необходимо построить репрезентативные окна, в пределах которых будут рассчитываться значения вегетационных индексов. На спутниковых снимках вокруг выбранных метеостанций выделены прямоугольные участки различных размеров (5×5 км, 10×10 км, 20×20 км, 30×30 км, 50×50 км), центрами которых являются метеостанции. Увеличение размера окна приводит к возрастанию неоднородности подстилающей поверхности. При определении значений вегетационных индексов наряду с растительным покровом различной плотности включаются участки с открытой почвой, мелкие водные объекты, населенные пункты, дороги. Для повышения информативности о типах подстилающей поверхности, входящих в выбранное окно, использованы данные среднего и высокого разрешения (снимки спутника Landsat, Google Earth), представленные на рис. 1. В качестве оптимального размера окна принят прямоугольник размером 5×5 км.

Согласно представленным фрагментам, в выделенное окно помимо растительности попадают элементы инфраструктуры. При условии, что их доля невелика, значения спутниковых вегетационных индексов, рассчитанных для выделенных тестовых участков, в основном характеризуют состояние растительного покрова. При попадании в выделенное окно водных, урбанистических, инфраструктурных объектов окно сдвигалось.

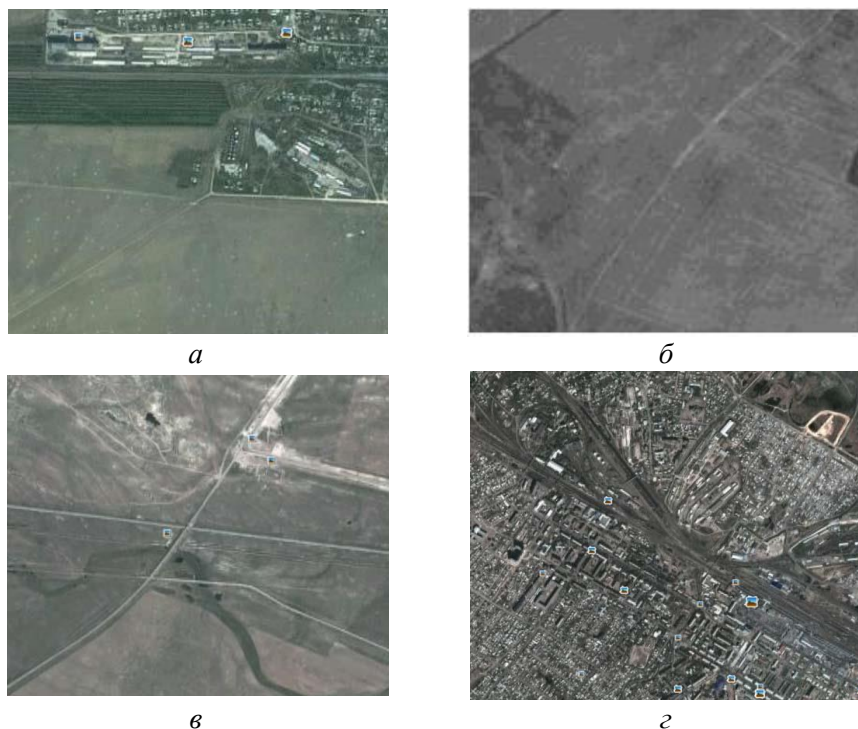


Рис. 1. Фрагменты подстилающей поверхности в «окнах» размерами 5×5 км (источник Google Earth) а – М Жаксы, б – М Жалтыр, в – М Амбасар, г – М Астана.

Первоначально проведен корреляционный анализ между индексами ГТК и IVCI, рассчитанных осреднением по границам выбранных окон, для определения тесноты связи между индексами. Наиболее высокий коэффициент корреляции между индексами ГТК и IVCI отмечен для Костанайской области. Здесь для более 75 % метеостанций теснота связи между исследуемыми индексами определена как сильная и очень сильная; в Северо-Казахстанской области – для 50 % М отмечена умеренная теснота связи и для 40 % исследуемых станций теснота связи является сильной; в Акмолинской области – примерно для 60 % М теснота связи умеренная и для 20 % – сильная.

При оценке коэффициентов корреляции оценивается только степень тесноты связи между параметрами, но не исследуются их причинно-следственные связи. Интерпретация значений коэффициента корреляции по шкале Чеддока [1] представлена в табл. 1.

Таблица 1

Теснота связи и величина коэффициента корреляции

Коэффициент корреляции	0,91...1,00	0,81...0,90	0,65...0,80	0,45...0,64	0,25...0,44	> 0,25	«+» прямая зависимость
Теснота связи	очень сильная	весьма сильная	сильная	умеренная	слабая	очень слабая	«-» обратная зависимость

Сравнение многолетних распределений этих индексов на примере М Жаксы и М Жалтыр показывает хорошее согласие, рис. 2.

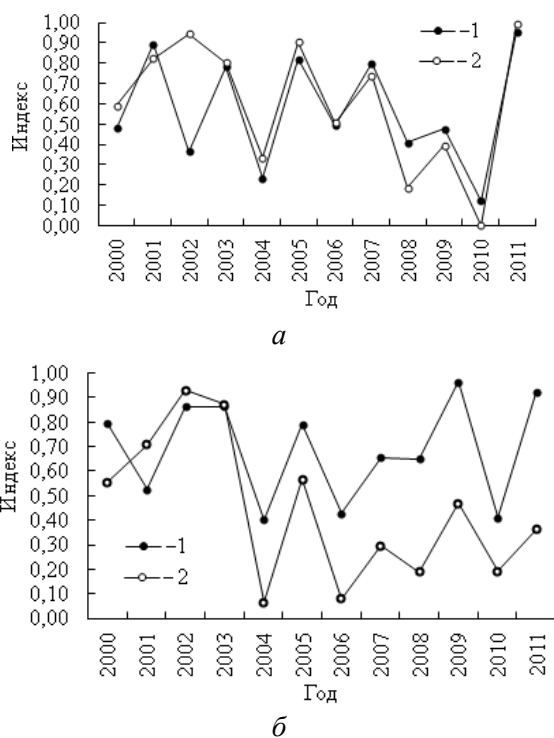


Рис. 2. Динамика индексов ГТК (1) и IVCI (2) для М Жаксы (а) и М Жалтыр (б).

Следует оценить возможность использования спутниковых вегетационных индексов вместо индекса *ГТК* для установления в последующих расчетах корреляционной связи со значениями урожайности. Переход к *ВИ*, осредненным по административным границам районов незначительно изменяет значения коэффициентов корреляции, не более 1...2%. В табл. 2 приведены рассчитанные значения коэффициентов корреляции для переменных *ГТК* и спутниковых индексов – $NDVI_{max}$, *IVI*, *IVCI* для 10 районов Акмолинской, 17 районов Костанайской и 10 районов Северо-Казахстанской областей. Практически все они лежат в диапазоне 0,60...0,78, что свидетельствует о сильной тесноте связи.

Таблица 2

Значения коэффициентов корреляции взаимосвязи *ГТК* и *ВИ*

Район	Коэффициент корреляции		
	<i>ГТК</i> ~ <i>IVCI</i>	<i>ГТК</i> ~ <i>IVI</i>	<i>ГТК</i> ~ $NDVI_{max}$
Акмолинская область			
Акколь	0,66	0,67	0,57
Астана	0,63	0,63	0,61
Атбасар	0,71	0,73	0,71
Аршалы	0,67	0,67	0,62
Балкашино	0,72	0,73	0,62
Ерейментау	0,64	0,64	0,59
Есиль	0,7	0,7	0,72
Жаксы	0,68	0,67	0,63
Коргалжин	0,38	0,41	0,13
Костанайская область			
Амангельды	0,29	0,29	0,59
Аркалык	0,48	0,48	0,31
Денисовский	0,65	0,65	0,77
Камыстинский	0,45	0,44	0,46
Ауеликольский	0,58	0,58	0,6
Наурзумский	0,78	0,77	0,75
Аркалык (Екидин)	0,69	0,7	0,5
Карасуский (Жел. дор.)	0,77	0,77	0,55
Житигаринский	0,66	0,65	0,56
Карабалыкский	0,68	0,68	0,75
Карасуский (Карасу)	0,78	0,78	0,53
Ауеликольский	0,73	0,73	0,65
Мендикаринский	0,62	0,63	0,34
Узункольский	0,74	0,74	0,53

Район	Коэффициент корреляции		
	$ГТК \sim IVCI$	$ГТК \sim IVI$	$ГТК \sim NDVI_{max}$
Тарановский	0,68	0,67	0,73
Жангельдинский	0,26	0,27	0,34
Сарыкольский	0,25	0,24	0,21
Северо-Казахстанская область			
Благовещенка	0,73	0,71	0,74
Булаево	0,70	0,69	0,68
Чкалово	0,51	0,53	0,59
Кишкенеколь	0,60	0,65	0,66
Петропавловск	0,40	0,49	0,47
Сергеевка	0,59	0,6	0,62
Тайынша	0,64	0,66	0,69
Тимирязево	0,54	0,52	0,5
Возвышенка	0,66	0,66	0,71
Явленка	0,51	0,52	0,58

Наиболее высокий коэффициент корреляции отмечен для Костанайской области. Здесь, для более, чем 59 % метеостанций теснота связи между исследуемыми индексами определена как сильная, 18 % – умеренная, 23 % – слабая; в Северо-Казахстанской области – для 50 % М отмечена сильная теснота связи и для 50 % исследуемых станций теснота связи является умеренной; в Акмолинской области – для 70 % М теснота связи сильная, для 20 % – умеренная, для 1 М – слабая. Кроме того, значения $NDVI_{max}$ также дают достаточно высокие значения коэффициентов корреляции.

Как правило, в каждом административном районе располагается метеостанция. По тесноте связи между $ГТК$ и спутниковыми интегральными индексами вегетации IVI , $IVCI$ проведено районирование территории северных областей Казахстана в разрезе районов (рис. 3). Подобный подход дает возможность сравнительной оценки территориального использования данных ДЗЗ при описании реакции растительного покрова на изменение метеопараметров. Так, для Костанайской области наиболее низкие значения корреляции между наземными и спутниковыми индексами отмечаются в южных районах; в Акмолинской области – Аршалынский, Буландынский, Целиноградский районы; в Северо-Казахстанской области – Кызылжарский район.

На примере трех районов Акмолинской и трех районов Костанайской областей выполнена оценка корреляционных связей между спутниковыми

характеристиками вегетационного покрова $NDVI_{max}$ и IVI , с одной стороны, и значениями температуры и осадков, с другой стороны, для установления значимости влияния этих параметров на развитие растительности. Значения IVI рассчитаны за май – август (период активной вегетации); суммы температур и суммы осадков определены за этот же временной интервал. Значения коэффициентов корреляции приведены в табл. 3.

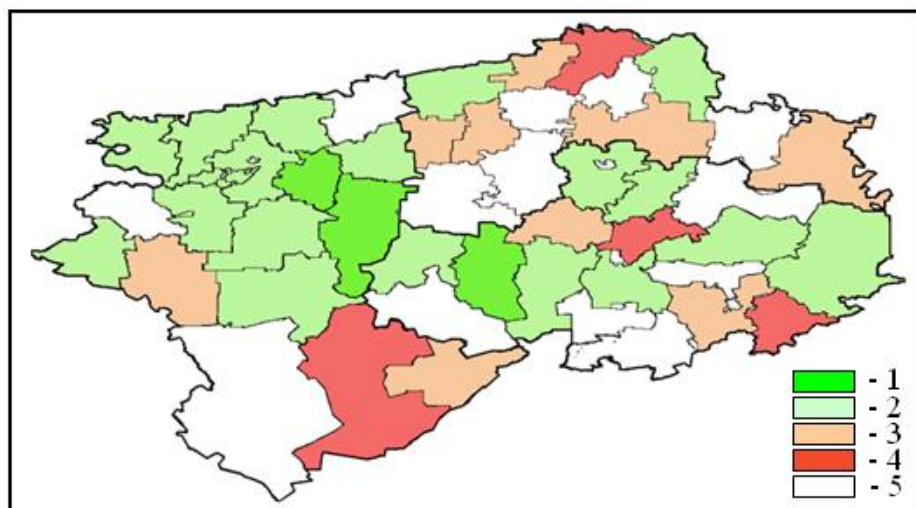


Рис. 3. Районирование территории северных областей Казахстана в разрезе районов по тесноте связи между ГТК и спутниковыми интегральными индексами вегетации. 1 – 0,81...0,90 (весьма сильная связь); 2 – 0,65...0,80 (сильная связь); 3 – 0,45...0,64 (умеренная связь); 4 – 0,25...0,44 (слабая связь); 5 – нет данных.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции спутниковых индексов с метеопараметрами

Район	Коэффициент корреляции индекса			
	с суммарной температурой		с осадками	
	IVI	$NDVI_{max}$	IVI	$NDVI_{max}$
Акмолинская область				
Аршалы	0,75	0,68	0,63	0,59
Жаксы	0,68	0,69	0,64	0,59
Коргалжын	0,6	0,38	0,38	0,13
Костанайская область				
Амангельды	0,65	0,78	0,25	0,54
Житигара	0,88	0,83	0,57	0,47
Тобол	0,73	0,69	0,59	0,67

При этом теснота связи параметров состояния вегетации от температуры определена в диапазоне 0,60...0,88, что свидетельствует об очень сильной зависимости развития растительного покрова от накопленной за сезон температуры. Теснота связи между вегетационными индексами и суммой осадков существенно ниже – максимум до 0,67.

Резюмируя выше сказанное, можно считать, что интегральные индексы вегетации IVI , $IVCI$ обладая достаточно высокой теснотой связи с гидротермическим коэффициентом, могут являться спутниковыми аналогами индекса $ГТК$, что позволяет уверенно использовать их при анализе воздействия погодных условий на состояние растительности в отсутствие наземных данных.

В этом случае предлагается следующая схема использования спутниковых индексов:

1) месячные значения индексов вегетации соответствуют месячным значениям $ГТК$;

2) при достижении максимума пика вегетации (определяется по $NDVI$ - кривой) значения $NDVI_{max}$ могут аналогично $ГТК$, рассчитанного за определенный интервал времени, характеризовать степень засушливости сезона;

3) значения интегральных индексов также могут характеризовать степень засушливости сезона. $ГТК$ учитывает воздействие на растительный покров одновременно температуры и осадков.

Высокие значения корреляции между гидротермическим коэффициентом и вегетационными индексами позволяют уверенно использовать последние при анализе воздействия погодных условий на состояние растительности при отсутствии наземных данных.

Работа выполнена в рамках гранта МОН РК «Разработать информационную технологию мониторинга и прогноза засух на основе многолетних рядов данных дистанционного зондирования территории Казахстана» по приоритету «Информационные и телекоммуникационные технологии» бюджетной программы 217 «Развитие науки».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов А.И. Прикладная статистика: Учебник. – М.: Издательство «Экзамен», 2004. – 656 с.
2. Спивак Л., Витковская И., Батырбаева М. Муратова Н., Кауазов А. Космический мониторинг засух в Казахстане: анализ многолетних данных

дистанционного зондирования // Земля из космоса: наиболее эффективные решения. – 2012. – Вып. 14. – С. 15-23.

3. Kogan F.N. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. // Int. Journal of Remote Sens. – 1990. – Vol. 11. – P. 1405-1419.
4. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A. and Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS // Third ERTS Symposium, NASA SP-351. – 1973. – Vol. 1. – P. 309-317.
5. Spivak L., Vitkovskaya I., Bатырбаева M., Terekhov A. The experience of land cover change detection by satellite data // Front. Earth Sci., DOI 10.1007 / s11707-012-0317-z Higher Education Press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2012. – Vol. 6. – N 2. – P. 140-146.

Поступила 6.09.2016

Техн. ғылымд. докторы

Техн. ғылымд. канд.

Физ-мат. ғылымд. канд.

Техн. ғылымд. канд.

Физ-мат. ғылымд. докторы

Л.Ф. Спивак

М.Ж. Батырбаева

И.С. Витковская

Н.Р. Муратова

Н.И. Бердыгулов

Д.К. Момбекова

К.А. Жаксыбекова

Ж.Т. Капатай

ҚАЗАҚСТАН ТЕРРИТОРИЯСЫНДАҒЫ ҚҰРҒАҚШЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУЫНА ҒАРЫШТЫҚ МӘЛІМЕТТЕРДІ ҚОЛДАНУДАҒЫ МҮМКІНШІЛІКТЕРІ

Түйін сөздер: қашықтан барлау, вегетациялық индекс, көпжылдық қатар, гидротермикалық коэффициент, құрғақшылық индексы

Қазақстан территориясында құрғақшылықтың жергілікті индекстерінің аналогиясымен (гидротермикалық коэффициент ГТК) құрғақшылығын бағалау, ауа-райы жағдайының анализі кезінде ғарыштықты ақпараттарды пайдалану мүмкіндігі зерттелінді. Құрғақшылықтың серіктік индексі мен жергілікті корреляциясын анықтау үшін аймақтық метеостанцияларда вегетациялық индекстің есебімен схемасы өнделінді.

ҚР солтүстік облыстарының 37 районында ГТК мен ВИ индекстер арасында корреляциялық коэффициенттердің есебі жүргізілді. Интегралдық ВИ жоғарғы деңгейде ГТК байланысты екендігі көрсетілген. Осы индекстердің серіктік аналогиясы болып табылады. Жергілікті мәліметтердің жоқшылығы өсімдік

жамылғысының жағдайына ауа-райы әсерінің анализдеріне толықтай пайдалануына мүмкіндік береді.

Spivak L., Bатырбайева М., Виковская I., Муратова N., Бердигулов N., Момбекова D., Жаксібекова K., Капатай Ж.

THE POSSIBILITY OF USE OF SATELLITE DATA BY THE ASSESSMENT OF DROUGHT CONDITIONS IN KAZAKHSTAN

Keywords: remote sensing, vegetation indices, multi-year series, hydrothermal coefficient, aridity index

The possibility of using satellite data for analysis of weather conditions, assessment of dryness in Kazakhstan by analogy with terrestrial aridity index (hydrothermal coefficient HTC) were studied. The scheme of calculating vegetation indices (VI) in the vicinity of weather stations to determine a correlations of terrestrial and satellite indices of aridity was developed.

The calculations of the correlation coefficients between the HTC and the VI indices for 37 regions of the northern regions of Kazakhstan was made. It is shown that the integral vegetation indexes, having a sufficiently high closeness of the connection due to HTC may be used as the satellite analogues of this index. This fact allows you to confidently use vegetation indexes in the analysis of the impact of weather conditions on the condition of vegetation in the absence of ground data.