

---

УДК 504.062; 502.57; 502.45; 528.944

Д.М. Сатиев<sup>1</sup>  
Е.М. Каракулов<sup>1</sup>  
Ж.Е. Мусағалиева<sup>1</sup>  
А.Д. Нажбиев<sup>1</sup>  
Ж.Б. Алтыбаева<sup>1</sup>  
М.С. Ғаббасова<sup>1</sup>

**ОЦЕНКА СРЕДНИХ МНОГОЛЕТНИХ И СЕЗОННЫХ  
ИЗМЕНЕНИЙ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЩУЧИНСКО-  
БОРОВСКОЙ КУРОРТНОЙ ЗОНЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ  
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

**Ключевые слова:** вегетационный индекс, данные дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), фитомасса, MODIS, Щучинско-Боровская курортная зона

*В статье изложены результаты пространственно-временных изменений биомассы растительности Щучинско-Боровской курортной зоны (ЩБКЗ) на основе расчета и анализа вегетационного индекса. Изучение распределения средних многолетних и сезонных значений индекса NDVI за вегетационный период с 2000 по 2018 годы выполнено на основе космических изображений MODIS. На основе анализа значений NDVI оценены тенденции изменений фитомассы и выявлены корреляционные связи с основными климатическими характеристиками территории ЩБКЗ за исследованный период.*

Исследована территория Щучинско-Боровской курортной зоны (ЩБКЗ), расположенной в Бурабайском районе Акмолинской области и входящей в составе Государственного Национального природного парка «Бурабай» [9].

Ландшафты исследуемой территории резко отличаются от типичных ландшафтов данных широт и представляют собой лесные сообщества, в основном, сосновые леса на интрузивных гранитах. Из представителей хвойных растений здесь произрастают редко ель и

---

<sup>1</sup>Международный научный комплекс «Астана», г. Нур-Султан, Казахстан

лиственница. Лиственные леса представлены березой, осиной и в меньшей степени тополем, вязом, ивой [8].

На исследуемой территории активный вегетационный период составляет 5...6 месяцев и длится с апреля по сентябрь [9]. По данным Комитета лесного хозяйства на 27.04.18 г. территория ГНПП «Бурабай» на 61 % покрыта лесом, основу которого составляют сосна и береза. Леса имеют высокую степень пожарной опасности, как от природных источников, так и от антропогенных [8].

Определение фитомассы является одним из важных показателей для геоэкологической оценки ландшафтов, поскольку значения показателей фитомассы являются индикатором эффективности взаимодействия всех природных компонентов ландшафта и в целом экосистемы. В традиционных ландшафтных исследованиях в первую очередь определяются показатели фитомассы, полученные путём частоты мониторинга изменчивости обстановки [13].

Состояние растительности во многом зависит от содержания в клетках растений фотосинтетических пигментов (хлорофилл, каротиноиды) и влаги [6]. На сегодняшний день, достаточно затруднительно определить абсолютные значения этих показателей с помощью методов ДЗЗ, но можно использовать относительные показатели состояния растительности на основе спектральных вегетационных индексов. Данный метод позволяет проводить не только крупномасштабный мониторинг и оценку ландшафтов через спектральные характеристики поверхности, но и проводить ретроспективный анализ изменения состояния растительности. С его помощью также можно оценить динамику изменений растительного покрова, оценить урожайность и сократить расходы полевых работ [4].

Возможность получения снимков ежедневной периодичности, увеличение количества спектральных каналов и совершенствование программного обеспечения для дешифрирования снимков способствуют повышению точности и качества данных о состоянии ландшафтов, в частности биомассы растительности.

**Методы исследования.** В настоящее время существует свыше 160 вариантов вегетационных индексов [11]. Применение того или иного вегетационного индекса зависит от задач исследований. Многие из них основаны на двух наиболее устойчивых зонах кривой спектральной отражательной способности растительности и почв. Максимальные

значения поглощения хлорофиллом солнечной радиации приходится на красный канал (Red – 0,62...0,75 мкм), а максимальные значения отражения приходится на ближний инфракрасный канал (NIR – 0,75...1,3 мкм) [10]. Следовательно, чем больше биомасса растительности, тем выше будет фотосинтетическая активность. Отношение именно этих спектральных зон выделяет растительность от других объектов природной среды на космических изображениях [1]. Наиболее популярным и универсальным индексом является NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и определяется по формуле (1).

$$NDVI = (NIR-Red)/(NIR+Red), \quad (1)$$

где NIR, Red – спектральные значения яркости поверхности соответственно в ближнем инфракрасном, красном диапазонах [14].

Как и другие вегетационные индексы, основанные на отношении значений отражения в красной и ближней инфракрасной спектральных зонах – природные и антропогенные объекты, (такие как вода, почва, облака, бетон) принимают отрицательные значения NDVI. В тоже время, в зависимости от значения фитомассы растительность будет иметь положительные значения от 0,2 до 1. Данная особенность позволяет использовать этот параметр для их идентификации. В целом значения NDVI варьируют в пределах от -1 до 1. Из таблицы 1 мы видим, что в зависимости от типа покрытия меняется значение NDVI [5].

Таблица 1

Соответствие значений индекса NDVI типу отражающей поверхности

Тип покрытия	Значения NDVI
Очень густая растительность	0,8...1
Густая растительность	0,67...0,8
Скудная и разреженная древесная и кустарниковая растительность	0,4...0,5
Кустарниковая растительность и травянистая растительность пастбищ	0,2...0,4
Открытая почва без растительности	0,09...0,2
Горные породы, песок, снег	-0,1...0,1
Водные объекты	-0,42...0,33
Антропогенное покрытие (бетон, асфальт)	-0,55...0,5
Облако на снимке	0

Показатели данного индекса хорошо коррелируется с различными параметрами растительности [13]. Однако, бывают такие ситуации, когда невозможно покрыть качественными снимками необходимую территорию

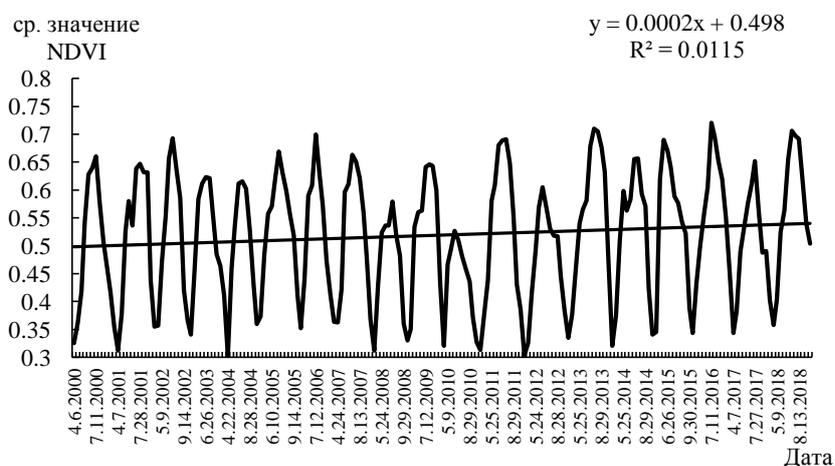
вследствие того, что на снимках присутствуют облака, тени от облаков или дымка, что искажает результаты исследований [12].

Для анализа многолетней и сезонной динамики вегетационных индексов естественного растительного покрова использовались архивные мультиспектральные космические изображения, полученные с космического аппарата MODIS Terra за период с 2000 по 2018 годы. Выбор именно этих космических данных обусловлен тем, что снимки общедоступны, имеют необходимый спектр каналов для расчёта вегетационных индексов и архив данных с 2000 года с высокой частотой съемки.

Таким образом, временной ряд исследованных снимков составляет 18 лет. Для анализа выбирались безоблачные композитные космические изображения, полученные за активный вегетационный период с 2000 по 2018 г. Для расчета вегетационных индексов и дальнейшей визуализации результатов обработки космических изображений использовались программы ENVI 5,3 и ArcGIS 10,6.

Также, для определения связи между состоянием растительного покрова и климата были проанализированы данные с 2000 по 2016 годы с метеостанций «СФМ Боровое» и «Щучинск», расположенных непосредственно на территории ЩБКЗ. Использовались такие показатели, как средняя многолетняя месячная температура и количество выпавших осадков. Данные были получены с сайта с открытым доступом [14].

**Результаты и обсуждение.** Анализируя графики, приведённые на рисунке 1, можно сделать вывод о том, что приведенные значения NDVI по классификации, указанной в таблице 1, относятся к территориям с густой растительностью. Процент лесопокрытой территории в пределах ЩБКЗ достаточно высокий. В целом из рисунка 1 (а) видно, что есть положительная динамика роста значения NDVI. На исследуемой территории среднее значение NDVI варьирует от 0,30 до 0,72. Максимум средних значений приходится на 2016 год, минимум на 2010 год. Пространственно-временные изменения можно наглядно увидеть на июльских космических снимках, приведенных на рисунке 2.



*Рис. 1. Динамика средних многолетних сезонных значений NDVI за вегетационный период с 2000 по 2018 годы на основе снимков MODIS.*

На динамику полученных значений NDVI могли повлиять естественные факторы. Так, под влиянием метеорологических условий, в разные годы меняются фазы вегетации и биомасса растительности. На формирование биомассы растительности существенное влияние оказывает распределение осадков по сезонам и месяцам, а также их интенсивность и продолжительность. К числу самых продуктивных вегетационных периодов относятся 2013, 2016, 2018 годы, характеризующиеся обильными осадками во второй половине лета. И наоборот, самые низкие значения NDVI отмечаются в 2008, 2010, 2012 годах, которые характеризуются в основном засушливостью весеннего периода и высокими июльскими температурами при количестве осадков ниже нормы. Минимальное и максимальное значения NDVI были выявлены в 2010 и 2016 гг. соответственно (рис. 2).

Наряду с естественными факторами, изменения вегетационных индексов обусловлены и антропогенным вмешательством (пожар, вырубка лесов и др.). Так, одной из причин низкого значения NDVI в 2010 году, могли быть пожары, произошедшие 02.05.2009 г. и 07...08.07.2009 г. [7].

Результаты корреляционного анализа между средними значениями NDVI и основными метеорологическими данными, такими как средняя многолетняя месячная температура и количество выпавших осадков приведены на рисунке 3.

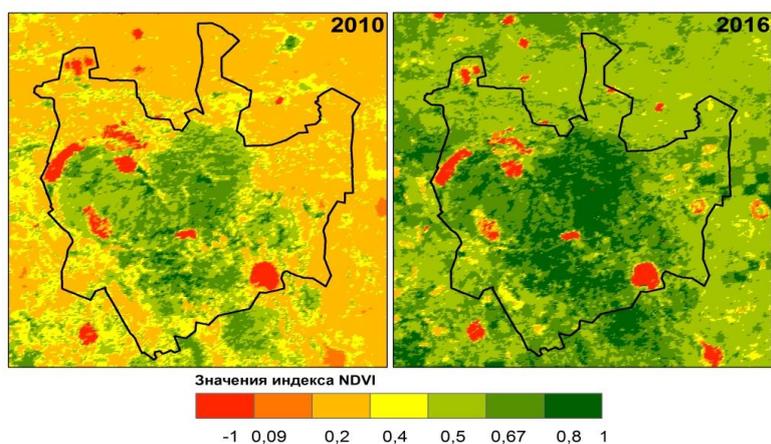


Рис. 2. Пространственная изменчивость значений фитомассы на основе вегетационного индекса NDVI по территории Щучинско-Боровской курортной зоны за июль 2010 и 2016 годов.

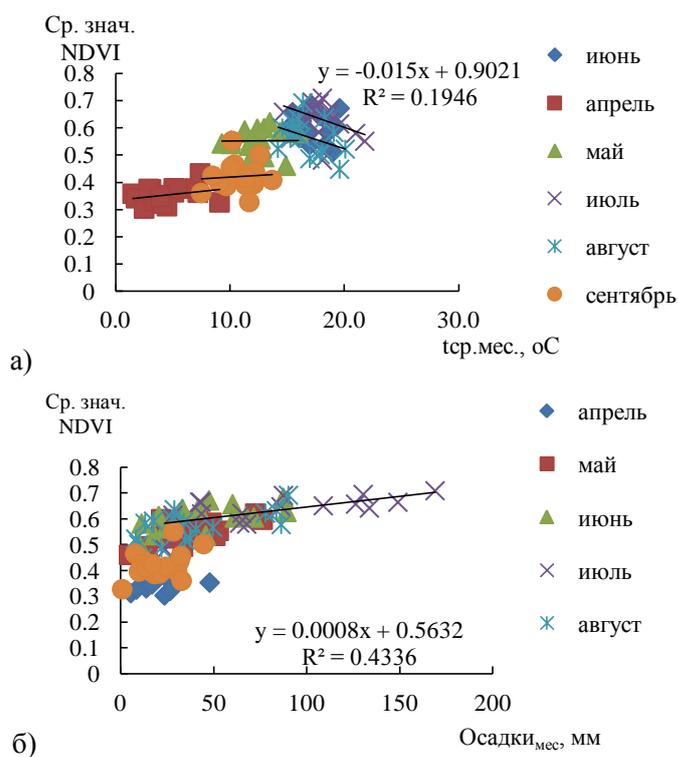


Рис. 3. Связь между средними значениями NDVI и а) среднемесячной температурой, б) количеством выпавших осадков.

В результате проведённого корреляционного анализа выявлена умеренная прямая связь между средними значениями NDVI и

среднемесячным количеством осадков. Исходя из особенностей данного вегетационного индекса такая же корреляционная связь должна была быть выявлена и по отношению к среднемесячной температуре, но была выявлена очень слабая обратная связь. Исключение составили показатели апреля, где наблюдается умеренная прямая связь. Из этого следует, что осадки в большей степени влияют на формирование фитомассы, показатели температуры влияют на среднее значение NDVI в меньшей степени.

**Заключение.** Проанализирована многолетняя и сезонная динамика средних значений вегетационного индекса NDVI для растительного покрова территории Щучинско-Боровской курортной зоны за период 2000...2018 гг. За 18-летний временной ряд среднее значение NDVI изменялось от 0,30 до 0,72. Выявлена положительная динамика роста значений NDVI. К числу самых продуктивных вегетационных периодов относятся 2013, 2016, 2018 годы, характеризующиеся обильными осадками во второй половине лета. И наоборот, самые низкие значения NDVI отмечаются в 2008, 2010, 2012 годы, характеризующиеся в основном засушливостью весеннего периода и высокими июльскими температурами при количестве осадков ниже нормы.

Проведен корреляционный анализ между средними значениями NDVI и значениями среднемесячной температуры воздуха и количеством выпавших осадков. Выявлена умеренная прямая связь между средними значениями NDVI и среднемесячными количествами осадков. Очень слабая обратная связь выявлена между средними значениями NDVI и среднемесячной температурой. Из этого следует, что фитомассу в большей степени определяет количество выпавших осадков, нежели показатели температуры.

Исследования проведены в рамках государственного заказа ГУ «Комитет науки» МОН РК по теме «Комплексная оценка экосистем Щучинско-Боровской курортной зоны с определением экологической нагрузки в целях устойчивого использования рекреационного потенциала», № ИРН BR05236529.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Братков В.В., Кравченко И.В., Туаев Г.А., Атаев З.В., Абдулжалимов А.А. Применение вегетационных индексов для картографирования ландшафтов Большого Кавказа // Известия

- Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки – 2016. – Т. 10. – № 4. – С. 97-111.
2. Данчева А.В. Влияние рекреационной нагрузки на естественное возобновление сосновых насаждений Казахского мелкосопочника // Аграрный вестник Урала. – 2011. – №11. – С. 22-23.
  3. Данчева А.В., Залесов С.В., Муканов Б.М., Портянко А.В. Определение стадий рекреационной дигрессии в сосновых насаждениях Казахского мелкосопочника (на примере ГНПП «Бурабай») // Аграрная Россия – 2014. – №10. – С 9-15.
  4. Евтюшкин А.В., Юшаков В.Н., Рычкова Н.В. Использование данных дистанционного зондирования для распознавания зерновых культур и коррекции моделей биопродуктивности // Известия Алтайского государственного университета. – 2002. – № 1(23). – С. 63-67.
  5. Использование Дистанционного Зондирования Земли для задач изучения, сохранения и восстановления Природы. [Электронный ресурс]. – 2014. [http://wiki.gislab.ru/w/ДЗЗ\\_для\\_экологических\\_задач\\_Часть\\_2:\\_Леса](http://wiki.gislab.ru/w/ДЗЗ_для_экологических_задач_Часть_2:_Леса).
  6. Медведов С.С. «Физиология растений». – Санкт-Петербург: С-ПГУ, 2004. – С. 336.
  7. Пожар в курортной зоне "Бурабай". [Электронный ресурс]. – 2009. <http://nomad.su/?a=20-200907100204>
  8. Султангазина Г.Ж. Флора национального природного парка «Бурабай». – Новосибирск: СО РАН, 2014. – С. 242.
  9. Спивак Л.Ф., Витковская И.С., Муратова Н.Р., Батырбаева М.Ж. Спутниковые вегетационные индексы для территории Казахстана. – Алматы, 2017. – С. 121.
  10. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Вегетационные индексы // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 98-102.
  11. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 98-102.
  12. Черепанова Е.С., Девятков С.Ю. Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. – Пермь, 2008. – С. 155-166.
  13. Шовенгарт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – Москва: Техносфера, 2010. – С. 560.
  14. [Электронный ресурс] [http:// rp5.kz](http://rp5.kz).
  15. Myneni R.B., Hall F.G., Sellers P.J., Marshak A.L. The interpretation of spectral vegetation indexes // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 1995. – V. 33. – P. 481-486.

Сатиев Д.М., Каракулов Е.М., Мусағалиева Ж.Е., Нажбиев А.Д.,  
Алтыбаева Ж.Б., Ғаббасова М.С.

**ЖЕРДІ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ДЕРЕКТЕРІ  
НЕГІЗІНДЕ ЩУЧЬЕ-БУРАБАЙ КУРОРТТЫҚ АЙМАҒЫНЫҢ  
ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ОРТАША КӨПЖЫЛДЫҚ  
ЖӘНЕ МАУСЫМДЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРІН БАҒАЛАУ**

**Түйін сөздер:** вегетация индексі, қашықтықтан зондтау мәліметтері (ЖҚЗ), өсімдік массасы, MODIS, Щучинск-Бурабай курорттық аймағы.

*Мақалада вегетациялық индексті есептеу және талдау негізінде Щучье-Бурабай курорттық аймағының өсімдіктер биомассасының кеңістіктік-уақыттық өзгерістерінің нәтижелері баяндалған. 2000 жылдан бастап 2018 жылға дейін вегетациялық кезеңде NDVI индексінің орташа көпжылдық және маусымдық мәндерінің таралуын зерттеу MODIS ғарыштық бейнелері негізінде орындалды. NDVI мәндерін талдау негізінде фитомассаның өзгеру үрдістері бағаланған және зерттелген кезеңдегі ШБКА аумағының негізгі климаттық сипаттамаларымен корреляциялық байланысты анықтау.*

D.M. Satyiv, E.M. Karakulov, Zh.E. Musagalieva,  
A.D. Nazhbiev, Zh.B. Altybaeva, M.S. Gabbasov

**ASSESSMENT OF AVERAGE LONG-TERM AND SEASONAL  
CHANGES OF VEGETATION COVER IN SHCHUCHINSK-BOROVSK  
RESORT AREA ON THE BASIS OF DATA OF REMOTE SENSING OF  
THE EARTH**

**Key words:** vegetation index, remote sensing data (ERS), phytomass, MODIS, Schuchinsk-Borovsk resort area.

*The article presents the results of spatio-temporal changes in the biomass of vegetation of the Shchuchinsk-Borovsk resort area (SBRA) on the basis of calculation and analysis of the vegetation index. The distribution of long-term and seasonal mean values of NDVI index for the vegetation period from 2000 to 2018 was studied on the basis of MODIS space images. Based on the analysis of NDVI values, the trends of phytomass changes are estimated and correlations with the main climatic characteristics of the SBRA territory for the studied period are revealed.*