

# **Использование метода спутниковой фитоиндикации для исследования межгодовой динамики трансгрессии водоемов Западной Сибири**

**Е.Н. Финиченко, В.В. Дмитриев**

*Омский государственный педагогический университет  
644099, Омск, Тухачевского 14, E-mail: efinichenko@mail.ru,  
тел.: 8-3812-235138, 8-913-9710800*

На основе метода спутниковой фитоиндикации изучена трансгрессия заболоченных озер Омской области и прилегающих частей их водосборных бассейнов за период с 2001 по 2008 гг. Работа велась на основе данных полученных с радиометров LISS-III, ASTER, данных по рельефу исследуемой местности (миссия SRTM) и наземных геоботанических данных. В ходе исследования проведен анализ спектрально-яркостных, вегетативных и высотных (зависящих от рельефа) характеристик проценозов, определены их отличия от стабильных растительных сообществ. При исследовании межгодовой динамики были определены и отследлены основные этапы трансгрессии водоемов, сделана численная оценка степени увлажненности исследуемой территории, изменения площади озер и изменения видового состава растительности. Выявлены циклические закономерности рассматриваемого процесса.

**Ключевые слова:** метод спутниковой фитоиндикации, динамика трансгрессии территории, болотная растительность, цикличность процесса

## **Введение**

Согласно данным, представленных в специализированной геоботанической литературе, для южной части Западносибирской равнины характерны циклические колебания увлажненности, вызванные различными причинами, среди которых наиболее существенными являются долгопериодические изменения климатических и геомагнитных параметров. Такие изменения оказывают разностороннее влияние на природную среду и хозяйственную деятельность [1, 2] региона. При этом в большинстве случаев подобные изменения увлажненности территории связывают с 11 летним циклом активности Солнца, либо, что наиболее вероятно, с изменением геомагнитных параметров [3]. Однако в рассматриваемой литературе представлены данные по исследованию обводнения Западносибирской равнины, полученные на основе только полевых исследований. В современных условиях развития космических технологий оптимальным решением для задач мониторинга является совместное использование многолетних данных, полученных со спутниковых платформ, и наземных геоботанических данных (маркеров). Это позволяет оперативно оценивать изменения площади и некоторые важные экологические параметры гидроморфных экосистем [4, 5]. В ранее опубликованной работе [5] уже говорилось о том, что в 2005-2007 годах в отдельных районах Западной Сибири наблюдался значительный рост увлажненности. При этом, в Называевском р-не Омской области трансгрессия была такова, что акватории озер распространились как на пограничные луговые экосистемы, так и на часть лесных био- и агроценозов. Как следствие вокруг заболоченных днищ депрессий возникли периферические акватории, на которых сформировалась водная растительность из несбалансированных группировок – проценозов, имеющих значительную пространственную протяженность и четко ограниченных от стабильных фитоценозов.

Поэтому проценозы хорошо выявляются на спутниковых снимках и могут служить индикаторами (маркерами) трансгрессивной фазы циклов увлажненности территории. В статье так же [5] представлено подробное описание и результаты использования уже разработанного метода спутниковой фитоиндикации пространственного распределения водно-болотной растительности в применении к задаче контроля трансгрессии водоемов (для тестовых участков и для всей территории Называевского р-на) на период 2005г. Основа метода – алгоритма автоматической классификации и разделения земных покрытий, построенный на основе совместного анализа наземных геоботанических данных и данных, полученных радиометром LISS-3 (платформа IRS) (<http://scanex.ru/ru/data/index.html>) 08.08.2005г. Цель данной работы – показать возможность использования метода спутниковой фитоиндикации для исследования межгодовой динамики трансгрессии водоемов Западной Сибири на длительном (8 лет) временном интервале. Выявить, возможно имеющиеся, циклические закономерности рассматриваемого процесса.

### **Исследование вегетативных и высотно-ярусных характеристик растительности изучаемого региона за 2000-2008 годы**

Для данного исследования были использованы спутниковые изображения за 2000, 2003, 2005, 2006 и 2008 гг., полученные радиометрами LISS (платформа IRS) и ASTER (платформа TERRA). Методика предварительной подготовки и последующей обработки данных полностью аналогична методике, описанной в [5]. Все данные были приведены к одинаковому пространственному разрешению – 15 м, перепроектированы в проекцию UTM N43, геоид WGS-84. Далее были сделаны маски облачности, т.к. не все кадры были безоблачными. Для всех кадров были созданы слой NDVI и слой сглаженного рельефа по данным STRM [5]. Последний этап подготовки – со-вмещение изображений и создание маски пересечения, для выделения области, которая присутствуют на всех 5 кадрах. Затем, используя ранее разработанный алгоритм классификации спутниковых изображений и разделения земных покрытий [4,5], было получено 5 классификационных изображений исследуемой территории. На рис. 1 приведены фрагменты исходных спутниковых изображений за 2000, 2003, 2005, 2006 и 2008 гг и результаты работы «обучаемой» автоматической классификации. По полученным изображениям на примере двух изображенных озерных котловин можно отследить многолетние изменения ареалов различных типов растительности. Итак, в норме эти котловины должны быть безводны и в восточной котловине на кадре 2000 г. еще хорошо видны фрагменты лиственных лесов. Однако, в 2005 и 2008 гг. в обеих котловинах заметно преобладание озерно-болотной растительности в место суходольно-травяной. В 2006 г. заметны незначительные очаги открытой воды. Отмеченная на кадре 2000 г. лиственная растительность к 2006 г. ослабла, а к 2008 – исчезла полностью. Таким образом, видно, что в период с 2000-2008 гг. происходят существенные и детектируемые на снимках изменения площади, занимаемой различными видами растительного покрова и открытой водной поверхностью озер. Данные изменения происходят и в озерных котловинах, и в депрессиях рельефа.

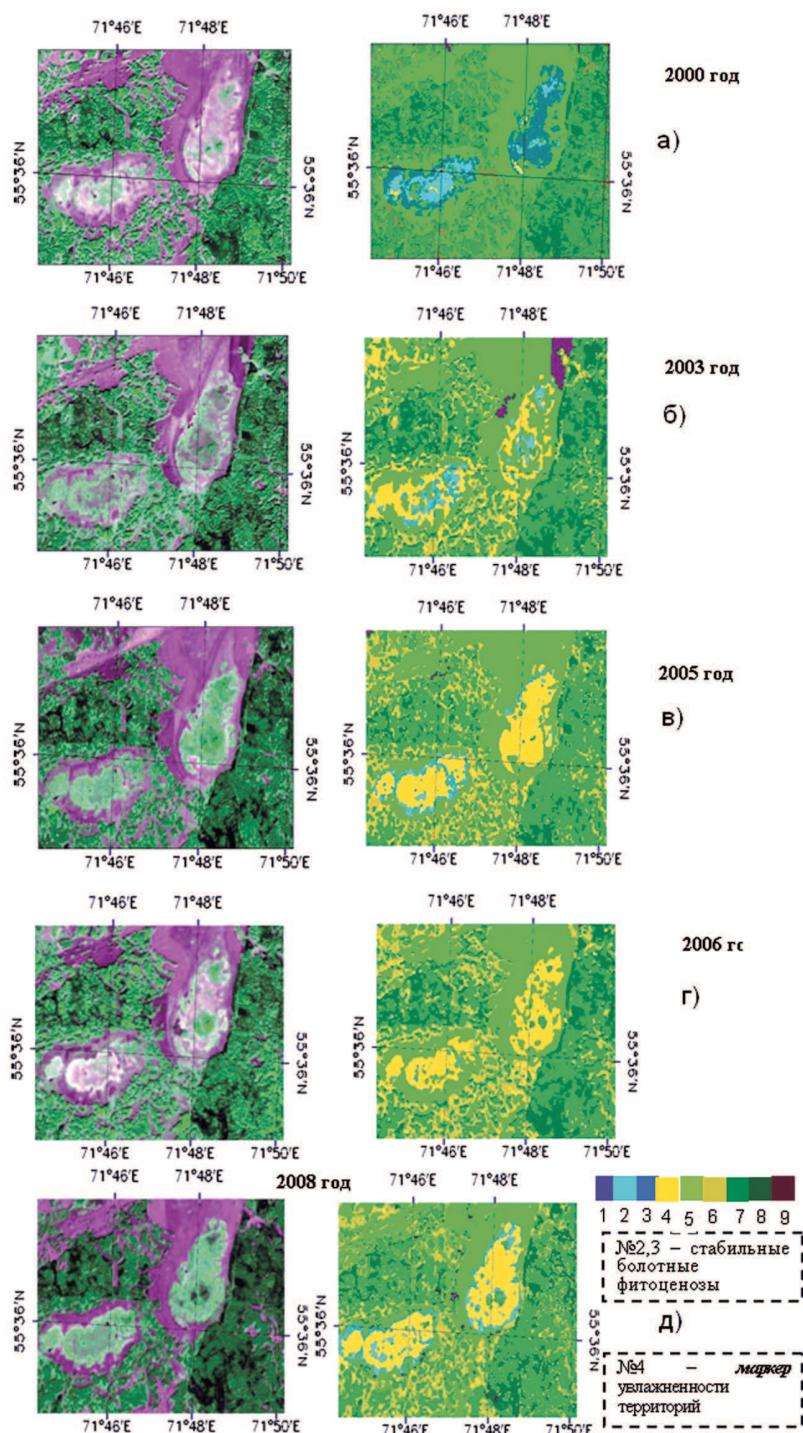


Рис. 1 а, б, в, г, д. Фрагмент исходного спутникового изображения (слева) и результаты «обучаемой» автоматической классификации (справа). Фрагменты цветосинтезированные RGB изображения, полученными с использованием каналов NIR и Red радиометров. Сетка из пунктирных линий проведена через  $2^{\circ}$ . Центр фрагмента имеет координаты  $55^{\circ} 36' 15''$  N и  $71^{\circ} 47' 09''$  E. Типы классов:

№ 1 – открытая водная поверхность в центре депрессий;

№ 2 – болотные (тростниковые и ивовые) формации;

№ 3 – водная тростниковая формация;

№ 4 – водные осоковые (осока береговая), рогозовые, тростняковые формации на обводненной периферии депрессий;

№ 5 – луговые (вейниковые, полынно-разнотравные, кострецовые, пырейные) формации;

№ 6 – молодые, восстанавливающиеся после рубки, лесные (березовые, осиново-березовые) формации;

№ 7 – зрелые лесные (березовые, осиново-березовые) формации;

№ 8 – лесные сосновые искусственные насаждения;

№ 9 – пашни без растительного покрова

Для исследования межгодовой динамики по каждому из девяти типов покрытия был проведен статистический анализ спектрально-яркостных, вегетативных и высотных характеристик. Наиболее интересными оказались рассмотренные далее результаты высотного распределения растительности различных типов и их NDVI. Следует, оговорить, что поскольку количество пикселей, отнесенных к различным типам покрытий, отличается на порядки, прямое сравнение статистических данных неудобно. Поэтому все результаты нормированы на 1 по величине максимума и все относительные частоты встречаемости пикселей меняются в промежутке от 0 до 1, имея максимальное значение 1. На рис. 2 приведены распределения для NDVI водной растительности, поскольку именно этот тип нас больше всего интересует в дальнейших исследованиях. Анализ зависимостей, приведенных на рис. 3, позволяет сделать вывод о различии вегетативной активности стабильной и новообразованной озерно-болотной растительности. Наиболее вероятные значения за указанные годы – 0,41 и 0,49 соответственно. Т.е. растительность, осваивающая новые территории ведет себя более активно, чем стабильная озерно-болотная растительность, занимающая старую территорию с частично выработанными минерально-почвенными ресурсами.

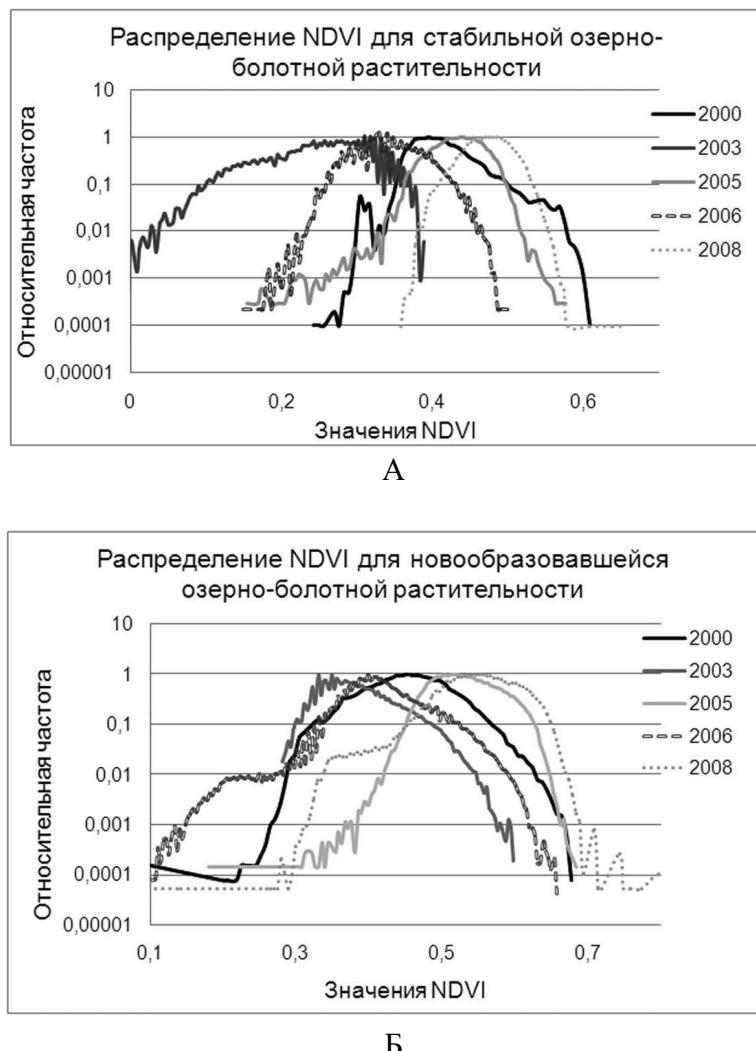


Рис. 2а,б. Распределение NDVI для водной растительности в разные годы

Перейдем к анализу высотно-ярусного распределения различных типов растительности (рис. 3 и 4, где использована не абсолютная (от уровня моря), а сглаженная высота рельефа). Из рис.4 видно, что лиственные леса занимают стабильный высотный ареал, выше нулевой отметки. Наиболее вероятная высота – от +2 до +4 м. Луговая растительность расположена ниже, там, где возможен контакт с озерно-болотной растительностью. Занимаемый высотно-ярусный ареал менее стабилен, отмечается тренд в сторону увеличения высоты. Наиболее вероятная высота за период наблюдения увеличилась с -1,5 м до 0 м. Причина этого – обводнение территории и вытеснение сухопутной луговой растительности озерно-болотными формациями. Сильнее всего это происходит в низинных, подвергающихся обводнению, участках. Анализ зависимостей, приведенных на рис. 5, позволяет сделать вывод, о том, что и новообразованная и стабильная водная флора «поднялась» по высоте на 2 – 3 м, и практически «подперли» луговую растительность, с соответствующим ее вытеснением с ранее занимаемых площадей.

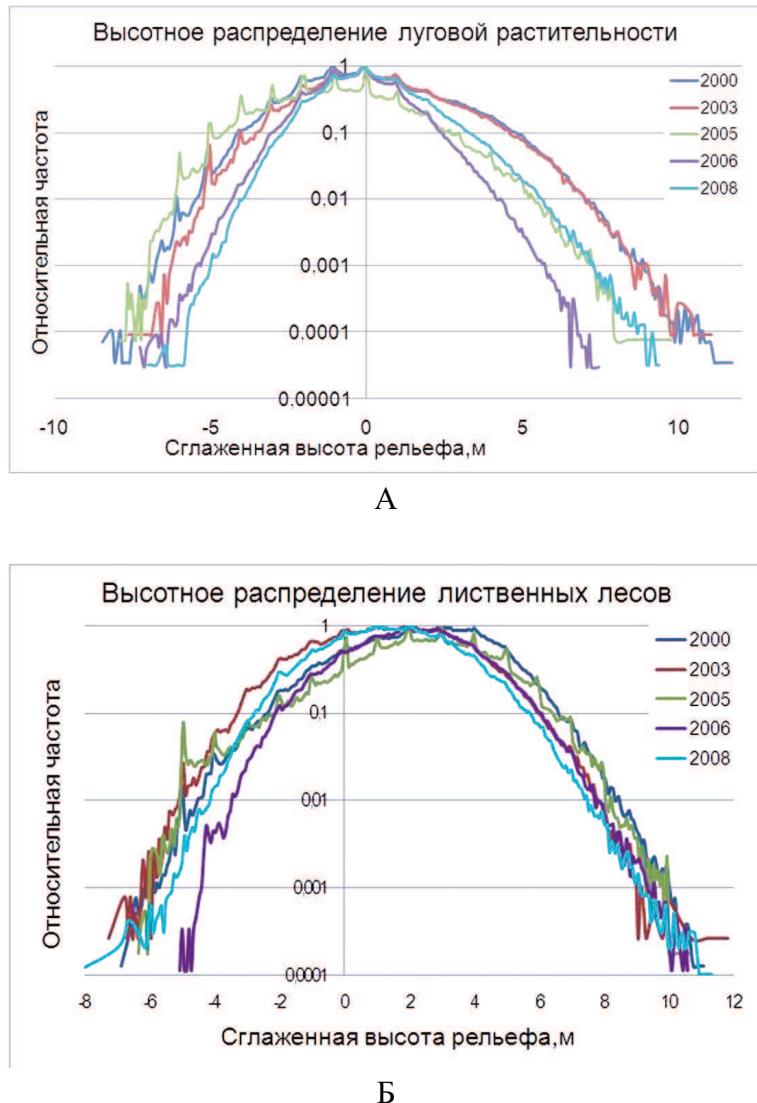
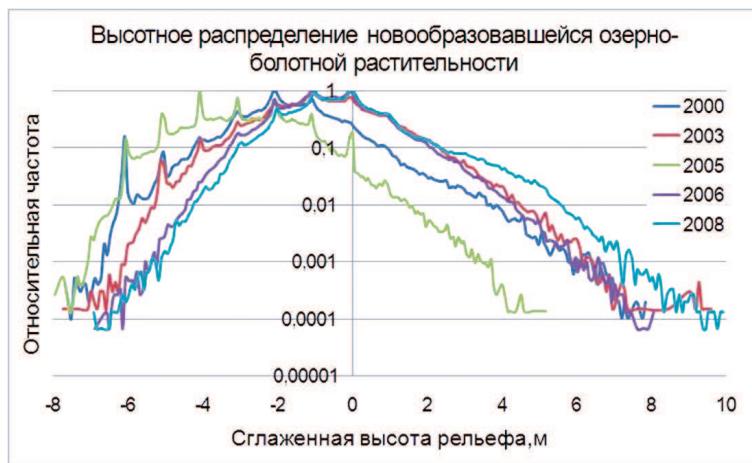
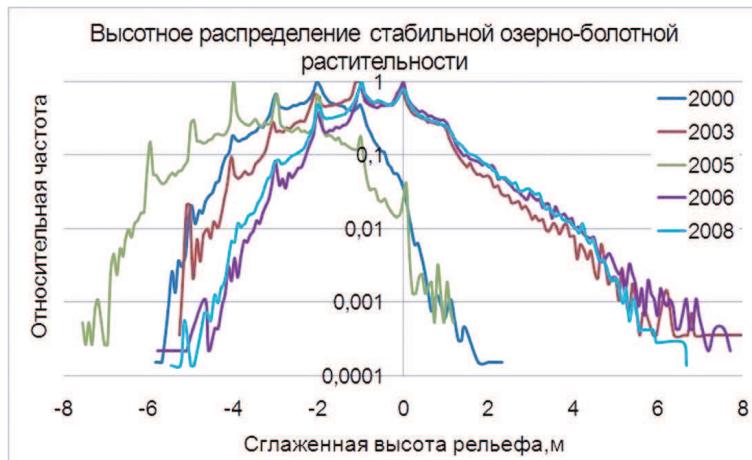


Рис. 3а, б. Высотно-ярусное распределение для сухопутной растительности в разные годы



А



Б

*Рис. 4а,б. Высотно-ярусное распределение для сухопутной растительности в разные годы*

#### **Исследования межгодовых изменений в распространенности растительности с использованием спутниковых изображений за 2000-2008 годы**

Как уже отмечалось, в качестве маркеров, изменения режима увлажненности могут быть использованы различные растительные сообщества. Поэтому для выявления межгодовых изменений увлажненности были определены площади, занимаемые каждым видом растительности в разные годы. При этом, оказалось удобным сравнивать не абсолютные значения площадей ( $\text{в км}^2$ ), а относительные – выраженные в процентах от общей площади изученного региона. Для данного исследования наиболее интересными являются вариации следующих покрытий: открытая водная поверхность, стабильная озерно-болотная, тростниковая, новообразованная озерно-болотная и луговая растительности (рис.5). Анализируя приведенные результаты, можно сделать следующие выводы. 1. Площадь открытой водной поверхности не вносит существенного вклада в полный баланс в силу своей незначительности. Однако она является управляющим параметром, который определяет поведением всех остальных видов водной растительности. 2. При увеличении увлажненности возрастает доля площади, занимаемой новообразованной и стабильной озерно-

болотной растительностью за счет площади тростниковой и луговой растительности (при поднятии уровня воды заливаются ранее «сухие» территории и идет смена доминирующих растительных видов).

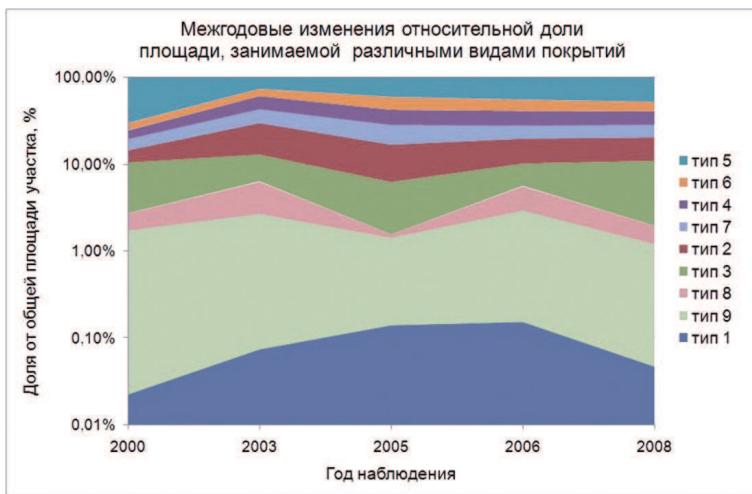
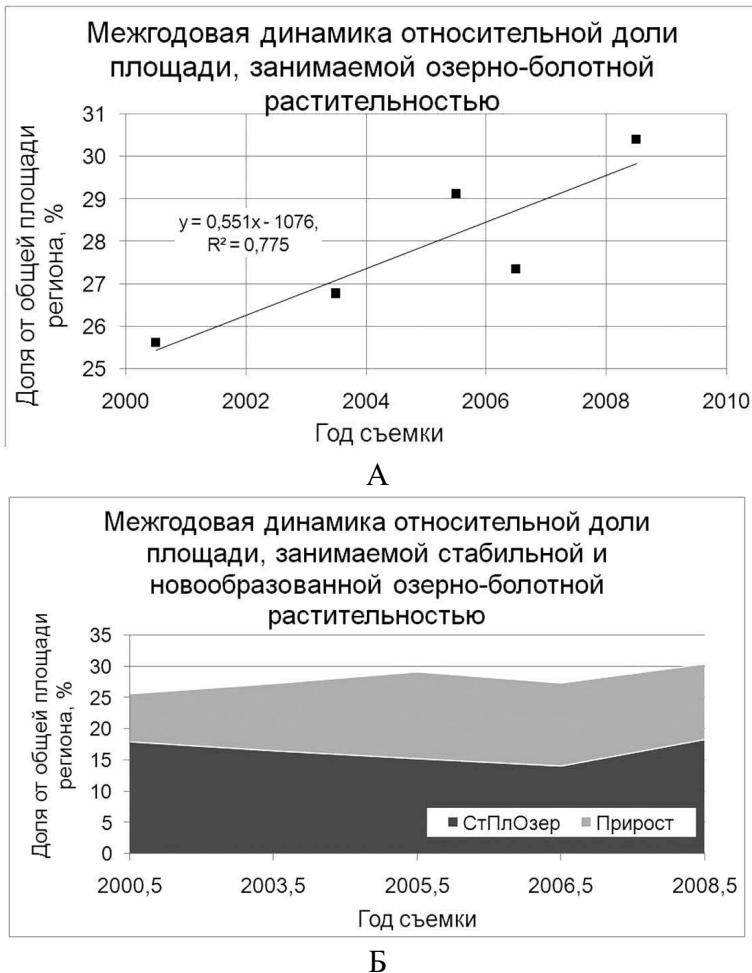


Рис. 5. Межгодовые изменения относительной доли площади занимаемой покрытиями

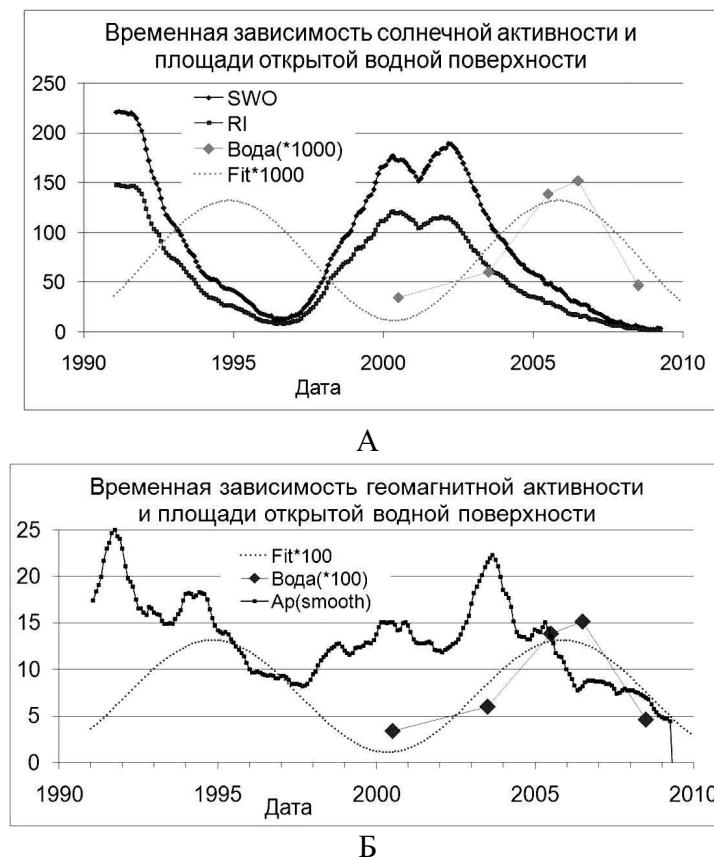
Основная цель работы – исследовать межгодовые изменения влажностного режима территории. Изначально можно предположить, что рост обводненности приведет к увеличению площади, занимаемой озерами и водной растительностью.

На рис. 6, слева приведена временная динамика для площади, занимаемой озерами и озерно-болотной растительностью (в относительных долях от общей площади исследуемого региона). На рисунке заметен линейный тренд с коэффициентом корреляции 0,775. Прирост площади озер  $\sim 5\%$  ( $111 \text{ км}^2$  от общей площади региона) за 8 лет, т.е.  $13,9 \text{ км}^2/\text{год}$ . В правой части рис. 6 приведены аналогичные данные, но с разбивкой на 2 класса. Черным цветом показана доля площади для новообразованной озерно-болотной растительности, серым – доля площади, занимаемой открытой водной поверхностью, стабильной озерно-болотной и тростниковых формациями. Данные, приведенные на диаграмме, говорят о том, что максимальный рост уровня обводненности отмечен в 2005 г. (подтверждается данными наземных исследований [4]), затем прирост идет практически линейно.

И в заключении, укажем возможный внешний фактор, который «управляет» площадью открытой воды, а, через нее, и остальной гидрофильной флорой. В работах [2,3] уже обосновывалась взаимосвязь уровня увлажненности и солнечной активности. Однако, имеет смысл ожидать влияния не непосредственно солнечной активности, а, скорее всего, изменений геомагнитных характеристик. Для анализа были выбраны число Вольфа [8,9] и индекс геомагнитной активности Ap [10,7]. На рис. 7 приведены совмещенные временные зависимости для чисел Вольфа, индекса Ap и масштабированной площади открытой водной поверхности. Все данные по солнечной и геомагнитной активности сглаженные, с использованием традиционного 13-ти суточного окна. Для данных по воде была выполнена аппроксимация синусоидой (точечная линия). Из рис. 8, видна связь с солнечной активностью: площадь открытой водной поверхности меняется в противофазе с числами Вольфа. Однако, исходная временная зависимость для воды лучше согласуется с индексом Ap, с учетом сдвига примерно на 2,3 года.



*Рис. 6а,б. Межгодовая динамика относительной доли площади некоторых типов покрытий*



*Рис. 7а,б. Взаимосвязь солнечной и геомагнитной активности с площадью открытой водной поверхности*

Далее приведены характеристики аппроксимации для временной зависимости площади открытой водной поверхности:

$Y = A * \sin(B * x + C) + D$ , где  $A = 0.0602$ ;  $B = 0.570$ ;  $C = 0.867$ ;  $D = 0.0717$ . Коэффициент  $B$  соответствует циклической частоте, коэффициент  $C$  сдвигу фаз, тогда период:  $T = 2\pi / \omega = 2\pi / B \approx 11,01$  года. Коэффициент  $B$  соответствует циклической частоте, коэффициент  $C$  сдвигу фаз, тогда период:  $T = 2\pi / \omega = 2\pi / B \approx 11,01$  года. Результат почти совпадает с одним из циклов солнечной и геомагнитной активности.

## Выводы

1. В начале трансгрессивной фазы увлажненности территории в периферических частях заболоченных озер формируются проценозы гелофитов, которые хорошо выявляются на спутниковых снимках и могут служить качественными и количественными индикаторами границ и величины трансгрессии водоемов.
2. Новообразованные формации имеют повышенную вегетативную активность.
3. И новообразованная и стабильная водная флора «поднялись» по высоте на 2 – 3 м с соответствующим вытеснением луговой растительности с ранее занимаемых ареалов.
4. Использование метода спутниковой фитоиндикации позволило оценить годовой прирост территории для озерных акваторий в некоторых районах Омской области, оценка составляет  $13,9 \text{ км}^2/\text{год}$ .
5. Величина площади открытой водной поверхности – управляющий параметр, определяющий поведение временных зависимостей остальных видов гидрофильной флоры. Площадь новообразованной водной растительности коррелирует с площадью открытой воды с коэффициентом 0,944, что позволяет использовать ее в качестве индикатора увлажненности. Этот факт отмечался при наземных геоботанических исследованиях, теперь же получил обоснование и по спутниковым измерениям.
6. Поведение гидрофильной флоры и изменение площади открытой водной поверхности показывает хорошую корреляцию с индексами геомагнитной активности.

## Литература

1. Максимов А.А., Абашкин С.А. Климатические циклы Барабы // За науку в Сибири. Новосибирск. 1976. № 10. 7 с.
2. Максимов А.А., Понько В.А., Сытин А.Г. Смена фаз увлажненности Барабы (характеристика и прогноз). Новосибирск. 1979. 65 с.
3. Максимов А.А. Природные циклы. – Л.: Наука. 1989. – 235 с.: ил.
4. Свириденко Б.Ф., Дмитриев В.В. Изучение трансгрессии заболоченных водоемов Называевского района Омской области (Западная Сибирь) по материалам фитоиндикации и спутниковой съемки // Омская биологическая школа. МежВУЗовский сборник науч. трудов, Ежегодник, Вып.5, Омск, 2007, изд-во ОмГПУ, С.14-23.
5. Финиченко Е.Н., Дмитриев В.В., Свириденко Б.Ф. Метод спутниковой фитоиндикации для исследования трансгрессии водоемов Западной Сибири // Сборник статей «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Вып.6, Т.2, Москва, «Азбука-2000», С.466-473.
6. Сухих В.В. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве. – Йошкар-Ола. МарГТУ. 2005. – 412с.: ил.

7. H.A. Заболотная. Индексы геомагнитной активности: Справочное пособие. Изд-е 2-е, перераб. М.: Изд-во ЛКИ, 2007 – 88 с.
8. <http://www.spaceweather.com/>
9. <http://sidc.oma.be/>
10. [http:// www.sec.noaa.gov/indices/old \\_indices/](http://www.sec.noaa.gov/indices/old_indices/)

## **Use of the method of satellite phytoindication for research of interannual dynamics трангрессии of reservoirs of western siberia**

**E. N. Finichenko, V.V. Dmitriev**

*Omsk state pedagogical university*

*6440099, Omsk, Tukhachevsky 14, E-mail efinichenko@mail.ru ,bodies.: 8-3812-235138, 8-913-9710800*

On the basis of satellite phytoindication studied transgression wetland lakes Omsk region and adjacent parts of their catchment areas for the period from 2001 to 2008. The work was conducted on the basis of data obtained from radiometers LISS-III, ASTER, data on the relief of the studied area (mission SRTM) and ground-based geo-botanical data. The study analyzed the spectral brightness, vegetative and tall (depending on terrain) characteristics protsenozov, defined by their differences from the stable plant communities. In the study of inter-annual dynamics were identified and traced the main stages of transgression reservoirs, made a numerical evaluation of the hydration study area, changes in area lakes and changes in species composition of vegetation. Revealed cyclical patterns of the process.

**Keywords:** method of satellite phytoindication, the dynamics of transgression territory, marsh vegetation, cyclical process.