

Моделирование вегетационных параметров водно-болотной растительности западносибирского региона на основе базы метеоданных и данных радиометра MODIS

Е.Н. Финиченко, В.В. Дмитриев

*Омский государственный педагогический университет
644099, Омск, Тухачевского 14,
E-mail: efinchenko@mail.ru*

На примере изучения различных типов болот Западносибирского региона рассмотрены возможности совместного использования спутниковых данных, полученных радиометром MODIS (платформы Terra и Aqua) и метеоданных построена математическая модель параметра вегетации водно-болотной растительности. По результатам моделирования для каждого типа исследованных болот выделены метеопараметры, в наибольшей степени, влияющие на вегетативные характеристики растительности в течение периода вегетации.

Ключевые слова: параметры вегетации, метеопараметры, болотная растительность, математическая модель.

Введение

Болота – один из основных типов природных объектов на земной поверхности. Они играют заметную роль в природе, имеют научное и хозяйственное значение. В настоящее время болота принято учитывать в существующих фондах месторождений торфа, лесных ресурсов, земельных угодий и др. Значительно их участие в биогенном аккумулировании углерода. Болотные местообитания, благодаря специфическим экологическим условиям, которые ограничивают жизнедеятельность многих организмов, являются хранителями оригинальной флоры и фауны, в том числе и редких хозяйственно-ценных видов растений и птиц. По результатам исследований водно-болотной растительности можно судить об их водно-минеральном питании, о тепловом режиме данной местности, о количестве осадков, что одновременно является характеристикой гидрологического режима данного болотного микроландшафта. Еще одним, значимым, свойством болот является образование торфа. Торф представляет собой не только сырье для различных отраслей промышленности и сельского хозяйства, но и хранит в себе ценные научные сведения о прошлом того или иного географического региона в виде пыльцы, остатков растений, животных и др. Особенно важен такой разносторонний подход в исследовании болот для высокозаболоченных регионов, каким является таежная зона Западносибирского р-на.

В целом на территории России и сопредельных с ней государств болотные экосистемы занимают достаточно обширные территории (~245 млн.га.) и большинство из них труднодоступны для непосредственного исследования (Денисенко, 2000). Поэтому в их исследовании перспективным является использование одного из методов дистанционного зондирования основанного на использовании спутниковых технологий, которые получили большое развитие в последнее время. К тому же спутниковые изображения стали более доступны для исследователей природных объектов с целью их картирования. При построении карт растительности с использованием спутниковых данных, как правило, в качестве классификационных параметров используются спектрально-яркостные характеристики растительно-

сти. Эти спектральные характеристики даже у одного и того же типа растительности могут меняться от года к году, в зависимости от метеоусловий.

Целью данной работы является построение математической модели связывающей климатические параметры с параметрами вегетативной активности растительных сообществ болотных экосистем Западносибирского региона в течение периода вегетации. Не учет метеоусловий может привести к ошибочным результатам в классификации растительных сообществ. В тех случаях, когда исследуется процесс замещения одного класса растительности другим, необходимо четко понимать, с чем связан этот процесс: либо это обусловлено фенологией растительности, либо вызвано отклонением определенных метеопараметров от нормы для данного региона. Поэтому, созданная нами модель может быть использована для уточнения карт растительности и более корректного отслеживания фенологических изменений растительных сообществ в изменяющихся природно-климатических условиях.

Процесс распознавания любых природных объектов по спутниковым изображениям предполагает использование их спектрально-яркостных характеристик (СЯХ). Эти СЯХ определяют ряд вегетативных параметров растительности, одним из которых, является NDVI. В данной работе будут представлены результаты исследования взаимосвязи с метеоданными параметра вегетации NDVI.

Моделирование параметра вегетации NDVI

Для построения модели параметров вегетации водно-болотной растительности ранее были исследованы СЯХ следующих типов болот: 1. Багульниково-кассандрово-сфагновые с сосной и кедром на грядах, с озерными и сфагновыми мочажинами; 2. Сосново-кустарничково-сфагновые (олиготрофные) болота; 3. Сосново-сфагновые, кустарничково-сфагновые с сосной на грядах и осоково-сфагновые в мочажинах в сочетании с вторичными озерами и осоково-гипновыми топиями (мезотрофные) болота; 4. Березовые, сосново-березовые осоково-сфагновые и вейниково-осоковые (лесные мезотрофные) болота; 5. Осоково-гипновые, ерниково-осоково-гипновые с березой и сосной на грядах (травяные евтрофные) болота. Все перечисленные выше типы болот в зависимости от характера питания и условий их расположения в рельефе местности разделяют на 3 типа: низинные (евтрофные), переходные (мезотрофные) и верховые (олиготрофные). Коротко охарактеризовать эти типы болот можно следующим образом. Низинные болота – это болота, поверхность которых увлажнена водами богатыми минеральными веществами за счет достаточно близкого к поверхности расположения грунтовых вод. В дополнении к грунтовым водам в питании низинных болот принимают участие и атмосферные осадки. Верховые болота – это болота, поверхность которых увлажняется водами, бедными элементами минерального питания. В основном питание этих болот обеспечивается атмосферными осадками. Что касается болот переходного типа, то здесь в той или иной степени участвуют в питании, как атмосферные осадки, так и грунтовые воды (Денисенко, 2000).

Для определения СЯХ водно-болотной растительности был использован архив снимков Омской области полученных радиометром MODIS спутников Terra и Aqua за 2000-2006 года. По полученным данным для каждого типа изучаемых болот были построены кривые сезонной зависимости NDVI за несколько лет. На рис.1 приведены типичные кривые сезонной зависимости NDVI для первого типа болот за 2002-2005 гг. На представленных графиках можно выделить три области:

1. Период роста NDVI со временем (125 – 165(170) день).
2. Период стабильного состояния (165 – 230(240) день).
3. Период спада NDVI (от 230(240) дня).

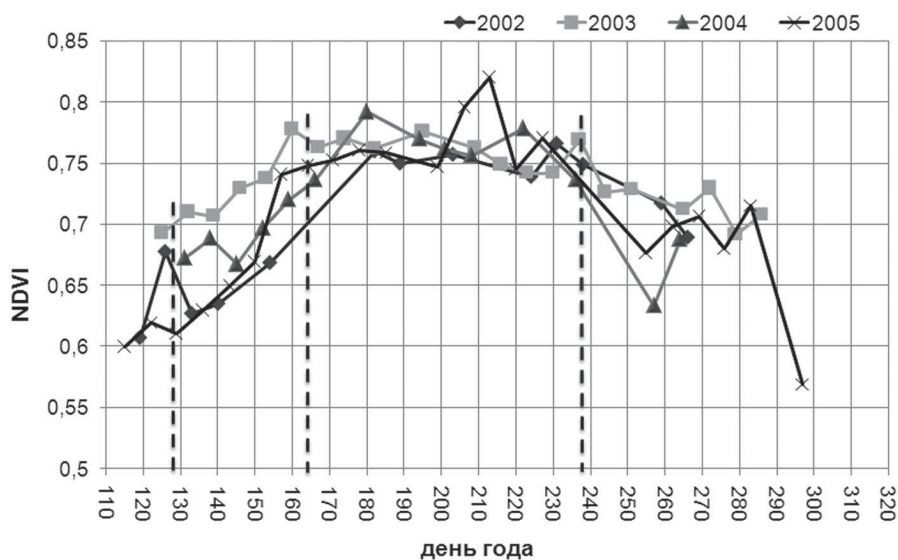


Рис. 1. Сезонная зависимость NDVI для первого типа болота за 2002-2005 года. По оси абсцисс отложены дни года исследования, по оси ординат – NDVI

Данный ход NDVI можно объяснить фенологическими особенностями развития растительности на болоте (багульник болотный и кассандра начинают цвести в мае – июле, плоды созревают в августе (212 – 243 день)) (Веретенников, 2002). Данные представленные на рис. 1 позволяют сделать вывод о том, что у одного и того же типа болот сезонная зависимость NDVI от года к году меняется. Подобные изменения наблюдаются в силу различия метеоусловий в разные годы исследования. Для того, что бы установить взаимосвязь сезонного хода параметра вегетации водно-болотной растительности NDVI с изменением погодных условий данной территории, необходимо было проанализировать метеоданные по региону исследования. С этой целью для исследуемых заболоченных участков территории Западной Сибири была составлена база следующих метеопараметров: температура (Т), количество атмосферных осадков (RRR), потенциальная эвапотранспирация над растительным покровом (ЕТО), приходящая суммарная радиация (RAD) (<http://marsimg.jrc.it/datadownload/index.php>). В более ранних работах был отмечен тот факт, что существенное влияние на рост и развитие растений оказывает не столько текущие значения метеопараметров, сколько параметры, накопленные за определенный промежуток времени либо производные от них (Финиченко, Дмитриев, 2008). Почему так происходит? Дело в том, что процесс развития растительности начинается только тогда, когда было накоплено определенное количество положительных температур (выше 5°C), осадков и т.д. (Веретенников, 2002, Шеин, 2006). Исходя из этого, логично предположить, что в начале вегетации будут играть существенную роль суммарные «годовые» метеопараметры (параметры, накопленные в период с наступления температур выше 5°C ко дню года исследования), по мере дальнейшего роста и развития растительности более значимую роль начинают играть параметры просуммированные за 10 дней до дня расчета и их «производные» за тот же промежуток времени. Под «производными» метеопараметрами понимаются параметры двух типов: интегральные и дифференциальные. Так в качестве интегральных

метеопараметров в работе были введены такие параметры (предикторы), как: годовые параметры, накопленные за вегетативный сезон ко дню исследования (ежедневные данные суммировались начиная с температур выше 5°C – $\Sigma T_{\text{год}}$, $\Sigma RRR_{\text{год}}$, $\Sigma ETO_{\text{год}}$, $\Sigma RAD_{\text{год}}$), декадные параметры (сумма данных за 10 дней до дня расчета – $\Sigma T_{\text{дек}}$, $\Sigma RRR_{\text{дек}}$, $\Sigma ETO_{\text{дек}}$, $\Sigma RAD_{\text{дек}}$). К дифференциальным метеопараметрам были отнесены те параметры, которые определяли скорость изменения соответствующих метеопараметров за 10 дней до дня исследования – dT , $dRRR$, $dETO$, $dRAD$. Для сезона вегетации каждого типа болот была получена ежедневная сводная таблица со всеми перечисленными выше метеопараметрами. Помимо, перечисленных выше метеопараметров, в работе были использованы комбинированные параметры, учитывающие взаимное парное влияние метеопараметров. Данные предикторы получены путем парного умножения «производных» метеопараметров. Конечный вариант таблицы построенной на основе четырех базовых метеопараметрах (температура (T), количество атмосферных осадков (RRR), потенциальная эвапотранспирация над растительным покровом (ETO), приходящая суммарная радиация (RAD)) содержал 78 предикторов. Построение математической модели учитывающей столь большое количество предикторов достаточно проблематично, да и нецелесообразно. Поэтому следующим этапом работы было выделение предикторов в наибольшей степени оказывающих влияние на изменение параметра вегетации NDVI. Однако, прежде чем описывать дальнейшие этапы построения модели, следует отметить, что изначально, предполагалось построение линейной математической модели. Для проведения процедуры отбора предикторов был использован корреляционный анализ, позволяющий оценить силу линейной взаимосвязи введенных «производных» и комбинированных метеопараметров с NDVI. Для всех исследованных в работе типов болот корреляционный анализ был проведен с использованием пакета программ STATISTICA6. Данный пакет программ позволил рассчитать как коэффициенты корреляции, так и уровень значимости (p-уровень), показывающий надежность полученной корреляции. В математической статистике считается, что корреляция достоверно отражает существующую связь при уровне значимости меньше 0,05, по этому, в работе для построения математической модели были использованы предикторы, у которых уровень $p < 0,05$. Использование данного подхода позволило сократить число предикторов с 78 до 26(29) для низинных болот, до 36(35) – переходных болот и, наконец, до 29(27) – верховых болот. Среди оставшихся параметров была обнаружена интересная закономерность (таблица 1). Если выделить для каждого типа болот предикторы в наибольшей степени коррелирующие с сезонным ходом NDVI, то окажется что:

1. Сезонный ход NDVI более всего зависим от «декадных» параметров (параметр, который был получен путем суммирования соответствующих данных за 10 дней до дня расчета) и их комбинаций.

2. Для верховых и переходных типов болот наиболее существенной оказывается зависимость изменения NDVI от таких параметров, как декадная температура ($T_{\text{дек}}$) и декадное количество атмосферных осадков ($PPP_{\text{дека}}$).

3. Для низинных типов исследованных болот параметр, отвечающий за декадное количество атмосферных осадков, стоит на четвертом месте по уровню корреляции, на первом же месте находится параметр, учитывающий декадное количество приходящей солнечной радиации.

4. Анализ распределения по уровню корреляции комбинированных декадных параметров, свидетельствует о той же тенденции: у верховых и переходных типов болот на первых местах находятся параметры, включающие декадное количество атмосферных осадков, для

низинных болот ситуация противоположна. Все полученные закономерности вполне логичны и обоснованы особенностями характера водного питания и условий их расположения в рельефе местности коротко описанными выше.

Следующим шагом работы было применение регрессионного анализа для расчета искомой зависимости типа $y(x_1, x_2, x_3, \dots)$, где y – это NDVI, x_1, x_2, x_3, \dots – «производные» и комбинированных метеопараметры. Как уже отмечалось выше зависимость $y(x_1, x_2, x_3, \dots)$ имеет линейный характер:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots,$$

где b_0 – свободный член, b_1, b_2, \dots – числовые параметры математической модели, которые необходимо определить. Для поиска неизвестных коэффициентов b в работе был использован один из наиболее разработанных алгоритмов регрессионного анализа: метод наименьших квадратов. В рамках этого подхода параметры математической модели вычисляются исходя из требования минимальности суммы квадратов отклонений (невязок) экспериментально определенного и рассчитанного по математической модели значения функции $y(x_1, x_2, x_3, \dots)$. Реальные вычисления при поиске коэффициентов b проводились в матричной форме в среде Excel (Горянов, Павлов, 2001). На рисунке 2а, б, в, г, д, ж приведены результаты моделирования сезонного хода NDVI в соответствии с рассчитанными коэффициентами b . Все представленные на рис. 2а, б, в, г, д, ж модельные кривые NDVI, были получены на базе достаточно большого количества предикторов (26 для низинных болот, до 35 – переходных болот и 27 – верховых болот). Данное количество независимых переменных оказалось оптимальным, поскольку величина невязки для всех типов болот составляет порядка 2 – 3%. При уменьшении числа предикторов наблюдалось увеличение невязки, и как следствие наблюдалось расхождение экспериментальной и модельной кривой сезонного хода NDVI. Пробные эксперименты увеличению числа параметров в модели не привели к существенному улучшению результата моделирования.

Таблица 1. Корреляционная таблица NDVI с преобразованными метеопараметрами

Верховые болота			Переходные болота			Низинные болота		
	корреляционные параметры			корреляционные параметры			корреляционные параметры	
Декадные метеопараметры	R	p	Декадные метеопараметры	R	p	Декадные метеопараметры	R	p
Т	0,7085	0,0	Т	0,7061	0,0	РАД	0,8618	0,0
PPP	0,5986	0,4*10 ⁻⁶	PPP	0,6130	0,0	ЕТО	0,8492	0,0
ЕТО	0,5250	0,3*10 ⁻⁵	ЕТО	0,5519	0,5*10 ⁻⁷	Т	0,8371	0,0
РАД	0,4128	0,3*10 ⁻³	РАД	0,4309	0,4*10 ⁻⁴	PPP	0,6862	0,0
комбинированные метеопараметры			комбинированные метеопараметры			комбинированные метеопараметры		
ЕТОд+PPPд	0,707	0,0	Тд+PPPд	0,716	0,0	Т+РАД	0,8238	0,0
РАДд+PPPд	0,6931	0,0	РАДд+PPPд	0,6989	0,0	Т+ЕТО	0,8137	0,0
Тд+PPPд	0,6911	0,0	ЕТОд+PPPд	0,6964	0,0	ЕТО+РАД	0,8045	0,0
Тд+ЕТОд	0,6196	0,8*10 ⁻⁸	Тд+ЕТОд	0,6308	0,0	ЕТО+PPP	0,7471	0,0
Тд+РАДд	0,6139	0,1*10 ⁻⁷	Тд+РАДд	0,6154	0,0	РАД+PPP	0,7452	0,0
ЕТОд+РАДд	0,4591	0,6*10 ⁻⁴	ЕТОд+РАДд	0,4858	0,3*10 ⁻⁵	Т+PPP	0,6684	0,0

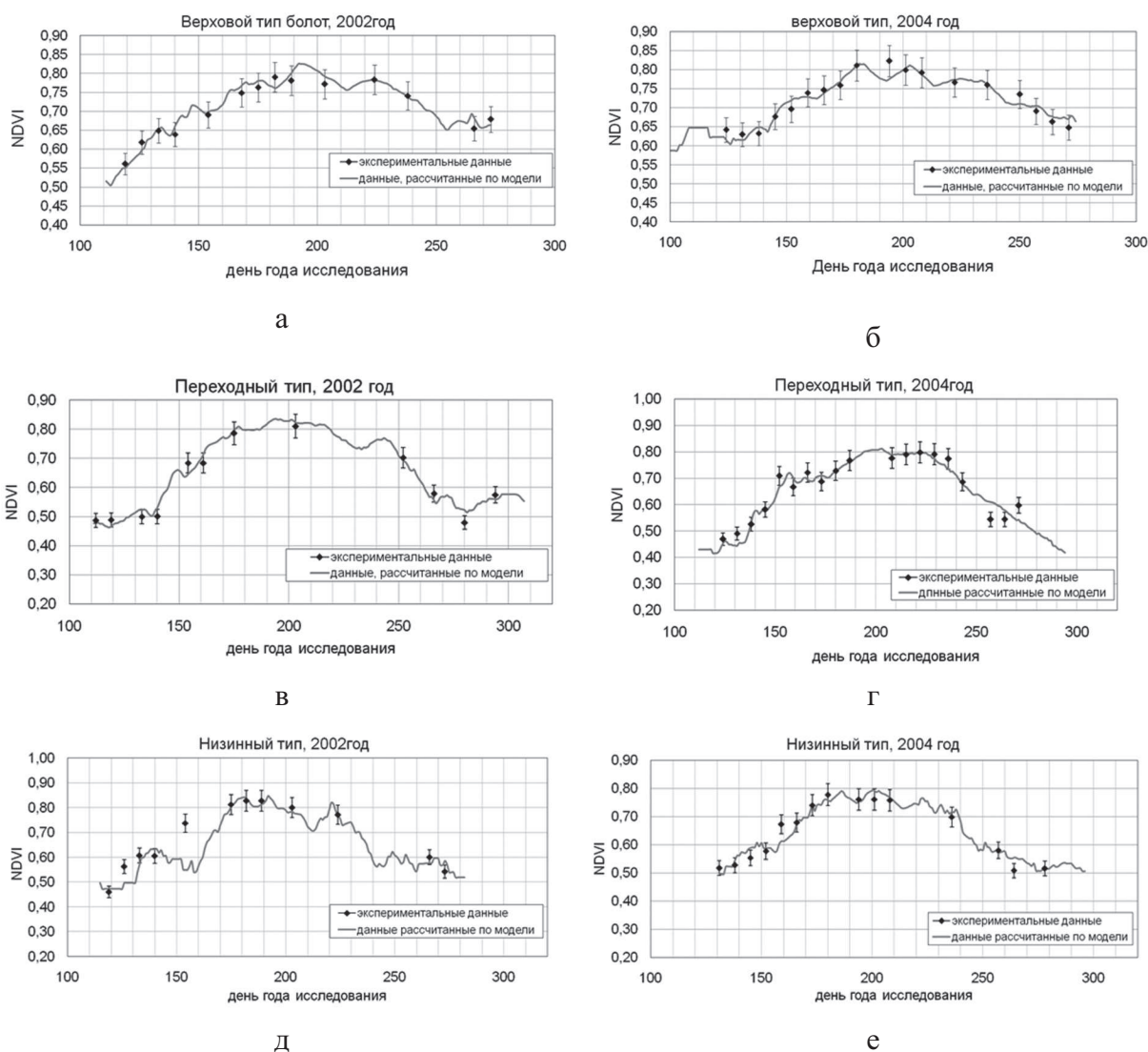


Рис. 2 а,б,в,г,д,ж. Сезонный ход NDVI для трех типов болот. Точками нанесены экспериментальные значения NDVI, полученные по данным MODIS за 2002 и 2004 гг. Сплошная линия представляет результат математического моделирования хода NDVI

Выводы

1. Приведенная модель позволяет описать общий сезонный ход NDVI (рис. 2а,б,в,г,д,ж). Немаловажное достоинство этой модели является ее хорошая алгоритмируемость и как следствие, представление в программном варианте, что позволяет автоматизировать вычисление. К тому же, эта модель является математически обоснованной и для нее существуют строгие критерии достоверности, оценки для доверительных интервалов и т.д.
2. Использование модельных представлений позволяет выделить метеопараметры в наибольшей степени, влияющие на развитие растительности болот.
3. При построении карт растительности с использованием спутниковых данных, как правило, в качестве классификационных параметров используются спектрально-яркостные характеристики или их сезонные зависимости от метеопараметров. Как показали наши исследования, эти параметры в свою очередь зависят от метеоусловий конкретного года. Поэтому не учет метеоусловий может привести к ошибочным результатам в классификации раститель-

ных сообществ. В тех случаях, когда исследуется процесс замещения одного класса растительности другим, необходимо четко понимать, с чем связан этот процесс: либо это фенологически обусловлено, либо вызвано отклонением определенных метеопараметров от нормы для данного региона. Поэтому созданные нами модели могут, использованы для уточнения карт растительности и более корректного отслеживания фенологических изменений.

4. К текущему моменту методика построения моделей апробирована на одном классе растительных сообществ. В дальнейшем эта же методика может быть распространена и на другие виды, в том числе и на искусственно культивируемые. Последнее особенно важно для сельского хозяйства, лесоведения и т.д.

Литература

1. *Веретенников А.В.* Физиология растений: Учебник. 2-е изд., перераб. Воронеж: Воронеж. гос. Лесотехн. Акад., 2002. 272с.
2. *Горянов В.Б., Павлов И.В., Цветкова Г.М.* Математическая статистика: Учеб. для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. 424с.
3. *Денисенко В.П.* Основы болотоведения: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та. 2000. 224 с.
4. *Финиченко Е.Н., Дмитриев В.В.* Исследование спектрально-яркостных характеристик водно-болотной растительности Западносибирского региона // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2008. Выпуск 5. Том II. С382-386.
5. *Шеин Е.В., Гончаров В.М.* Агрофизика. Ростов-на-Дону: «Феникс», 2006. 400с.

Modeling vegetation parameters of wetlands vegetation West Siberian region on the basis meteodata base and data MODIS radiometer

E.N. Finichenko, V. V. Dmitriev

*Omsk state pedagogical university
6440099, Omsk, Tukhachevsky 14,
E-mail efinichenko@mail.ru*

On the example of studying different types of wetlands of West Siberian region we explored the possibility of sharing data received a radiometer MODIS Terra and Aqua platforms and meteorological data, in order to construct a mathematical model of the parameter of wetland vegetation. Due to the results of modeling, the meteorological parameters greatly influencing autonomic characteristics of vegetation during the graving season were identified for each type of the explored wetlands.

Keywords: parameters of vegetation, meteorological parameters, swamp vegetation, the mathematical model.