

Метод спутниковой фитоиндикации для исследования трансгрессии водоемов Западной Сибири

Е.Н. Финиченко, В.В. Дмитриев, Б.Ф. Свириденко

Омский государственный педагогический университет

6440099 Омск, Тухачевского, 14

E-mail: efinichenko@mail.ru

На примере изучения заболоченных озер Омской области и прилегающих частей их водосборных бассейнов рассмотрены возможности использования спутниковых данных для дистанционной оценки масштабов трансгрессии водоемов и роста увлажненности территории. В основу положен метод спутниковой фитоиндикации указанных процессов по данным радиометра LISS-III спутниковой платформы IRS-1D. Проведено исследование спектрально-яркостных и вегетативных характеристик различных типов растительности, а также пространственное и высотное (зависящее от рельефа) распределение растительных сообществ. С использованием наземных геоботанических данных проведена оценка точности предложенного метода.

Ключевые слова: спутниковая фитоиндикация, трансгрессия, болотная растительность.

Введение

Для южной части Западно-Сибирской равнины характерны циклические колебания увлажненности территории, связанные с циклами солнечной активности. Такие смены климатических фаз оказывают огромное и разностороннее влияние на различные отрасли хозяйства региона.

В 2005-2007 гг. в отдельных районах Западной Сибири отмечен значительный рост увлажненности. В Называевском р-не Омской области современная трансгрессия имела столь значительную амплитуду, что акватории озер распространились не только на пограничные луговые экосистемы, но также заняли часть площади лесных биоценозов и агроценозов. Вокруг заболоченных днищ депрессий, занятых в регрессивную фазу длительно формирующейся болотной растительностью, возникли периферические акватории, на которых начала формироваться водная растительность из несбалансированных группировок - проценозов. Они имеют значительную пространственную протяженность, четко отграничены как от стабильных болотных фитоценозов, с которыми контактируют со стороны водоемов, так и от наземных луговых или лесных фитоценозов, с которыми граничат со стороны прилегающей суши. Поэтому проценозы хорошо выявляются на спутниковых снимках и могут служить индикаторами (маркерами) трансгрессивной фазы циклов увлажненности исследуемых территорий.

Цель работы – обоснование применимости и оценка точности метода спутниковой фитоиндикации для дистанционной оценки масштабов трансгрессии водоемов и роста увлажненности территории.

Результаты для тестовых участков

Для отработки метода спутниковой фитоиндикации и оценки его точности были выбраны два тестовых участка, включающие заболоченные озера: «северное» – с координатами центра 55° 31' 16" с.ш. и 71° 33' 48" в.д., и «южное» – с координатами центра 55° 29' 03" с.ш. и 71° 30' 33" в.д., а также прилегающие части их водосборов.

Наземными геоботаническими методами было установлено, что в этих озерах растительные группировки сложены преимущественно гелофитами – гидрофильными видами, ассимиляционная поверхность которых возвышается над водой на высоту от 0,5 до 1,5 (2,5)м (подробное описание растительности исследуемого региона дано в статье [1]). Гелофитные ценозы образуют сомкнутый надводный ярус и влияют на спектрально-яркостные характеристики изучаемой поверхности. Эти группировки принадлежат к двум типам растительности: континентально-водной макрофитной растительности и болотной растительности. Вопрос дистанционного разделения растительных контуров, относящихся к двум данным типам, продолжает привлекать внимание исследователей в связи со спецификой гидрофильной растительности и ее слабой изученностью во многих регионах. Значительный интерес представляют также группировки, которые формируются на разных стадиях заболачивания водоемов.

Для дистанционного изучения тестовых участков в работе было использовано изображение земной поверхности, полученное радиометром LISS-3 спутниковой платформы IRS-1D 08.08.2005г. в 06 часов 06 минут мирового времени (<http://www.nrса.gov.in/satellites/irs-1d.html>). Дата и время съемки были выбраны исходя из задачи исследования растительного покрова. Пространственное разрешение на земной поверхности после проведения геометрической коррекции – 23м., облачное покрытие – 0%. Географическая привязка выполнена в проекции UTM, зона N43, геоид WGS84 [2]. На рис.1 слева приведен фрагмент спутникового изображения для одного из тестовых участков (исследованного наземными методами озеро). Приведенный фрагмент является черно-белой копией цветосинтезированного RGB изображения, полученного с использованием 2-х каналов радиометра LISS-3 в комбинации 1-2-1. Для численной оценки площадей разработан алгоритм автоматической классификации и разделения земных покрытий. За основу взят метод обучаемой классификации с использованием критерия максимального правдоподобия [3]. На основе информации, полученной при наземных исследованиях, были выделены 7 типов покрытий:

№1 – открытая водная поверхность в центре депрессий;

№2 – болотные (травяные и кустарниковые) формации – на низких уровнях поверхности (в сочетании с открытой водной поверхностью и водными осоковыми, рогозовыми, тростянковыми и тростниковыми формациями в депрессиях), или луга закустаренные разнотравно-злаковые и проценозы наземные травяные (залежи) – на высоких уровнях поверхности (в сочетании с луговыми и лесными формациями на водоразделах);

№3 – водные осоковые (осока береговая), рогозовые, тростянковые и тростниковые формации на обводненной периферии депрессий;

№4 – пашни без растительного покрова;

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

№6 – лесные (березовые, осиново-березовые) формации;

№7 – лесные сосновые искусственные насаждения.

Поскольку разделяемые поверхности имеют близкие спектрально-яркостные характеристики, а количество используемых каналов невелико, для более уверенной классификации были созданы еще 2 дополнительных слоя: слой цифровой модели рельефа (ЦМР) и слой NDVI [3]. Слой ЦМР был построен по данным миссии SRTM, оригинальные данные были приведены к разрешению 23м и конвертированы в избранную картографическую проекцию. Относительно слоя ЦМР следует сделать следующее уточнение. В исходном виде этот слой отражает общий ход рельефа местности и локальные высотные особенности рельефа, следовательно, на нем одни и те же природные объекты могут находиться на разных высотах. Поэтому, для дальнейшего использования этого слоя при классификации, необходимо было искусственно «выровнять» ЦМР, убрав крупномасштабные особенности рельефа. Для этого был использован фильтр низких частот, основанный на преобразовании Фурье и позволяющий выделить крупномасштабные объекты на изображении. Частота среза фильтра была настроена так, что бы исключить объекты, размеры которых превышают 15км (размеры озер в исследуемом районе не превышают 15км).

Далее, вычтя из исходной ЦМР получившийся слой с крупномасштабным рельефом, получаем слой, содержащий выровненный рельеф. Именно этот слой и был использован в дальнейшей работе. В окончательном варианте классификация происходила по 4 слоям. Для «обучения» алгоритма на исходном изображении были выделены образцовые участки (до 7 на каждый тип покрытия), которые по наземным данным однозначно можно было отнести к какому-либо из выделяемых типов покрытий. Разработанный алгоритм классификации был применен к спутниковому изображению тестовых участков. Полученное классифицированное изображение затем было подвергнуто процедуре генерализации в квадрате 3x3 пикселя (69x69м.) по правилу максимума. Окончательный результат автоматической классификации приведен в правой части рис.1. Одна из целей работы – количественная оценка прироста акваторий исследованных озер. Она может быть выполнена по классифицированным изображениям, для чего необходимо сравнить площади покрытий №2 и №3. Результаты определения площадей покрытий №2 и №3 приведены в табл.1. Для оценки погрешности определения прироста площадей озер (тип №3), выделенные в автоматической классификации контуры были дополнительно проверены наземными методами. Оказалось, что относительная погрешность определения площади при автоматической классификации по типу №3 составила для «северного» озера – 14,7%, а для «южного» озера – 19,2%. Средняя величина относительной погрешности – 17%.

Таблица 1 Результаты оценки трансгрессии акваторий заболоченных озер.

№ типа покрытия	«Северное» озеро			«Южное» озеро		
	Количество пикселей	Площадь, км ²	З, %	Количество пикселей	Площадь, км ²	З, %
2	1713	0,91	100	4646	2,46	100
3	1398	0,74	81,6	2042	1,08	44,0
Всего	3111	1,65	181,6	6688	3,54	144,0

Прим. 3 - Доля акватории от площади покрытия типа № 2, выраженная в процентах.

Данные, приведенные в табл.1 позволяют утверждать, что площади исследованных озер увеличились. Для «северного» озера трансгрессия акватории – 81,6% (с учетом относительной погрешности классификации от 69,6% до 93,6% (0,74±0,11 км² к исходной акватории 0,91 км²)). Для «южного» озера увеличение составило 44% (с учетом относительной погрешности классификации от 35,5% до 52,4% (1,08±0,21 км² к исходной площади 2,46 км²)).

Результаты для всего региона в целом

Следующим шагом работы было применение данного классификационного алгоритма ко всему спутниковому изображению. Полный кадр характеризовался размерами 2066 пикселей (47,5 км) по широте и 2014 пикселей (46,3) км по долготе. Центр кадра имел координаты 55° 29' 43" с.ш. и 71° 30' 49" в.д., в пределах кадра географические координаты менялись от 55° 17' до 55° 42' с.ш. и от 71° 08' до 71° 53' в.д.

Поскольку биологическое разнообразие на полном кадре выше, чем на тестовых участках, то, основываясь на дополнительных наземных данных, к исходным 7 типам покрытий были добавлены еще 2 дополнительных. В конечном виде классификация включала 9 типов покрытий:

№ 1 – открытая водная поверхность в центре депрессий;

№ 2 – болотные (тростниковые и ивовые) формации;

№ 3 – водная тростниковая формация;

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

№ 5 – луговые (вейниковые, полынно-разнотравные, кострцовые, 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.

Тем не менее, и в этом варианте оказалось сложным разделять некоторые типы покрытий, например типы №1 и №9, т. к. они имеют близкие по значению спектрально-яркостные характеристики. Поэтому было принято решение провести детальную классификацию отдельно в котловинах озер и на суходолах. Для этого были созданы 2 маски: маска №1 включающая только котловины озер и маска №2 – суходолы. При классификации с использованием маски №1 учитывались типы покрытий с 1-5 (покрытия с №№6-9 в котловинах озер встречаться не должны (по наземным исследованиям озер на тестовых участках)). При использовании в процессе классификации маски №2 учитываются типы покрытий №№ 4-9, не учитывались типы с №1 по №3 (их отсутствие на суходолах подтверждается наземными исследованиями). Затем, после совмещения было получено единое классифицированное изображение по всему исследуемому району.

Для анализа полученной классификации по каждому из типов покрытия был проведен статистический анализ спектрально-яркостных, вегетативных и высотных характеристик. Наиболее показательными были результаты для NDVI и высотного распределения растительности различных типов, которые и будут рассмотрены далее. Однако, поскольку количество пикселей, отнесенных к различным типам покрытий, отличается

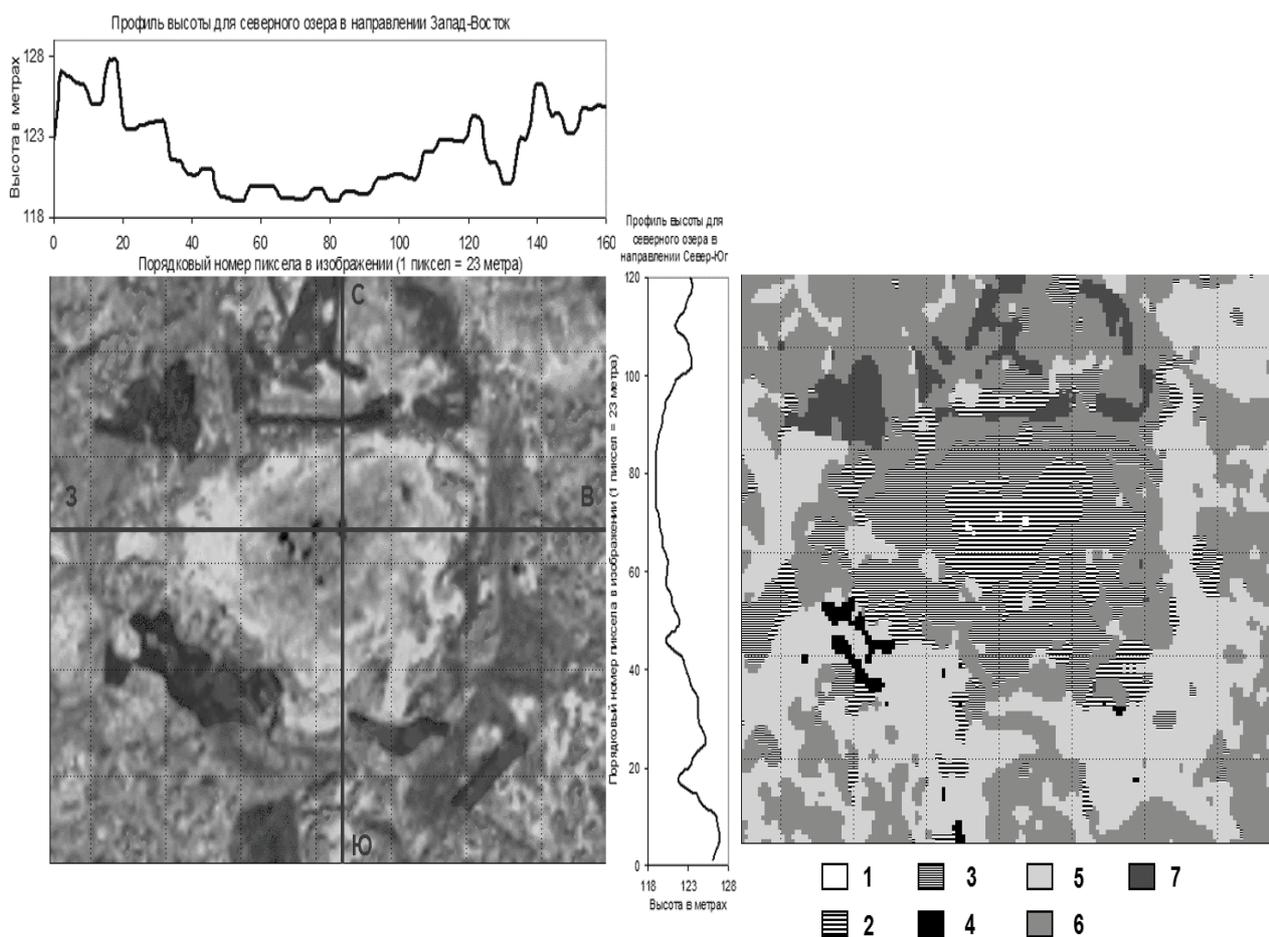


Рис. 1. Исходное спутниковое изображение (слева) и результаты «обучаемой» автоматической классификации (справа) для тестового участка «северного» озера и прилегающих к нему участков водосборного бассейна. Сетка из пунктирных линий на изображениях проведена через 500 м. Расшифровка типов покрытий дана в тексте статьи. Выше и между изображениями показаны профили высот над уровнем моря, проведенные с запада на восток (вдоль линии З-В) и с севера на юг (вдоль линии С-Ю)

на порядки, прямое сравнение статистических данных неудобно. Поэтому все результаты были нормированы на 1 по величине максимума и все приводимые далее относительные частоты встречаемости пикселей меняются в промежутке от 0 до 1 и имеют максимальные значения равное 1. Как уже указывалось выше, индикатором роста увлажненности являются растительные сообщества, образующиеся на недавно обводненной периферии котловин озер (тип покрытия №4 в новом варианте классификации). Растительность стабильных (центральных) частей озер – покрытие №2. В этом случае можно ожидать более активной вегетации для новообразованных растительных сообществ (тип №4). Данное соображение подтверждается рис.2, на котором приведено распределение NDVI для покрытий №2, 3 и 4. Из рисунка видно, что общий ход распределения для покрытий №2 и 4 идентичен, но наиболее вероятные значения NDVI для них составляют 0,44 и 0,52 соответственно. Интересно также отметить, что распределение для покрытия №3 частично соответствует аналогичному распределению для покрытия №2. Для более точной идентификации растительности, соответствующей типу №3 было проведено сравнение с аналогичными зависимостями, для типов покрытий, выделенных в работе [4]. Результаты сравнения приведены на рис.3. Из рисунка можно сделать вывод, что выделенный в данной работе тип №3 является промежуточным между чисто водной растительностью (тип «камыш») и растительностью на сплавинах (тип «сплавина»). Не менее показательными оказались результаты для распределения различных типов растительности по высоте (по рельефу). Фактически различные типы покрытий можно разделить по 3-м высотным ярусам (рис.4 – заметно разделение по высотам для растительности типов №2, 4 и 5). Полученный результат полностью соответствует ожиданиям. Растительность типа №2 формируется в центральных, наиболее низких частях озерных котловин. Новообразовавшаяся (при повышении уровня озера) растительность типа №4 – на краях котловин (выше растительности типа №2), растительность типа №5 располагаются там, куда вода не поднялась – на самом верхнем ярусе. На рис. 5 приведены аналогичные данные для покрытий типа №1 – 4. Анализ данного графика позволяет подтвердить уже высказанное ранее предположение о наличии высотных ярусов в распределении растительности. В частности, стабильная озерная растительность (тип №2) занимает высотный ареал, практически совпадающий с высотным ареалом, занятым открытой водной поверхностью (тип №1). На следующем высотном ярусе расположены типы растительности №3 и 4 (соответствует наземным данным). Особо следует отметить заметное разделение 1-го и 2-го ярусов друг от друга и хорошее совпадение распределения высот для разных типов покрытий внутри каждого яруса.

Полное классификационное изображение, построенное с учетом выделенных выше 9 типов покрытий, для исследуемого региона представлено на рис.6. Даже визуальный анализ позволяет сделать вывод о том, что в 2005-2007гг. в исследуемом районе Западной Сибири произошло значительное повышение увлажненности. Это следует из того, что на изображении, вокруг днищ депрессий, занятых стабильной болотной растительностью (тип №2), отмечаются в виде каймы множественные ареалы, на которых начала формироваться водная растительность из несбалансированных группировок – проценозов (тип №4).

Средняя величина относительной погрешности – 1,185%. Таким образом, второй вариант классификации оказывается более точным по сравнению с первым.

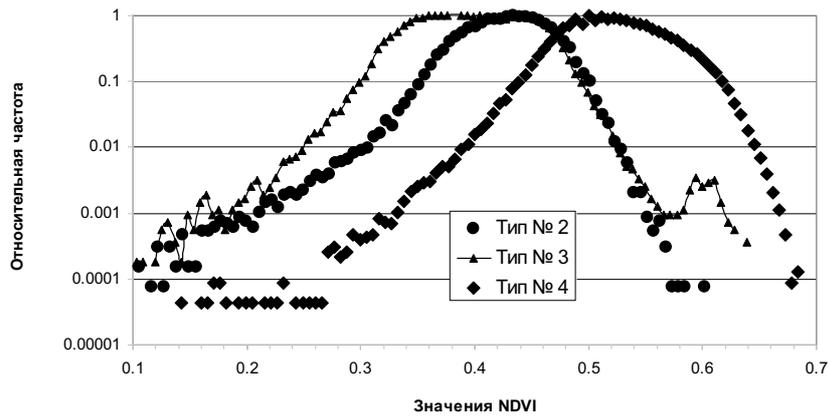


Рис. 2. Распределение количества пикселей от значения NDVI для типов покрытий №№2 - 4. По оси абсцисс отложены значения NDVI, по оси ординат – относительная частота встречаемости пикселей, соответствующих данному значению NDVI

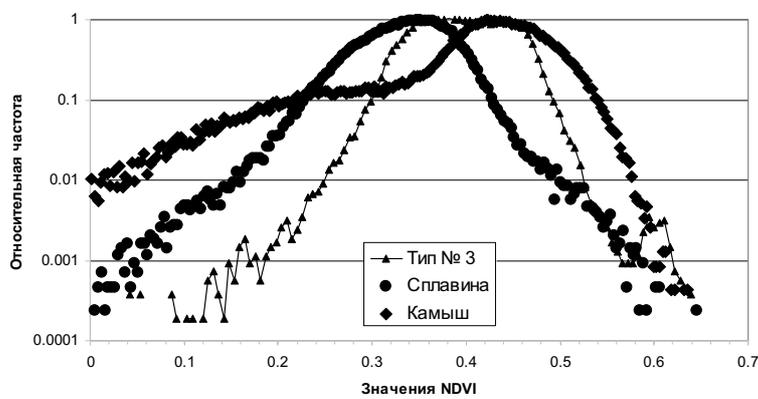


Рис. 3. Распределение количества пикселей от значения NDVI для типов покрытия №3 данной работы, а также «сплавина» и «камыш» из [4]. По оси абсцисс отложены значения NDVI, по оси ординат – относительная частота встречаемости пикселей, соответствующих данному значению NDVI

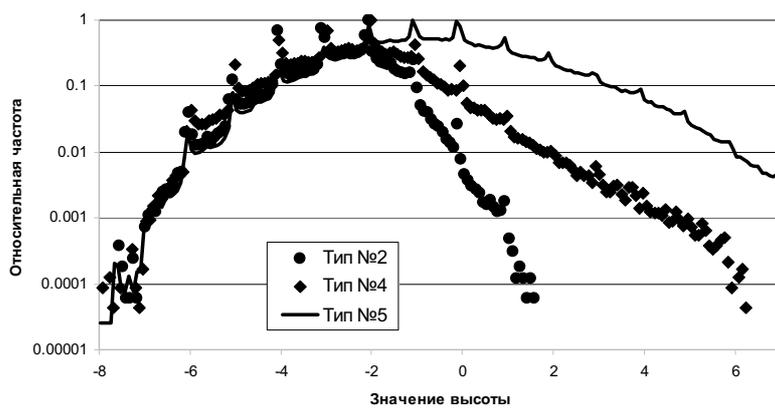


Рис. 4. Распределение количества пикселей от высоты поверхности для типов покрытий №№ 2, 4 и 5. По оси абсцисс отложены значения высоты, полученные по сглаженному слою ЦМР, по оси ординат – относительная частота встречаемости пикселей, соответствующих данному значению высоты

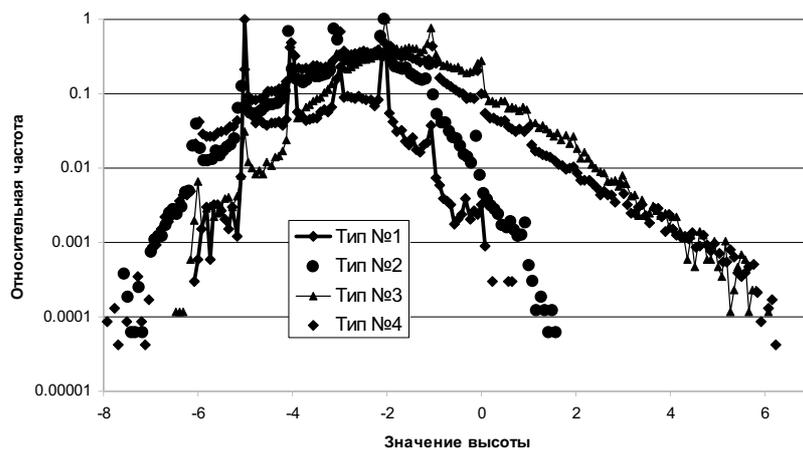


Рис. 5. Распределение количества пикселей от высоты поверхности для типов покрытий №№ 1 – 5. По оси абсцисс отложены значения высоты, полученные по сглаженному слою ЦМР, по оси ординат – относительная частота встречаемости пикселей, соответствующих данному значению высоты

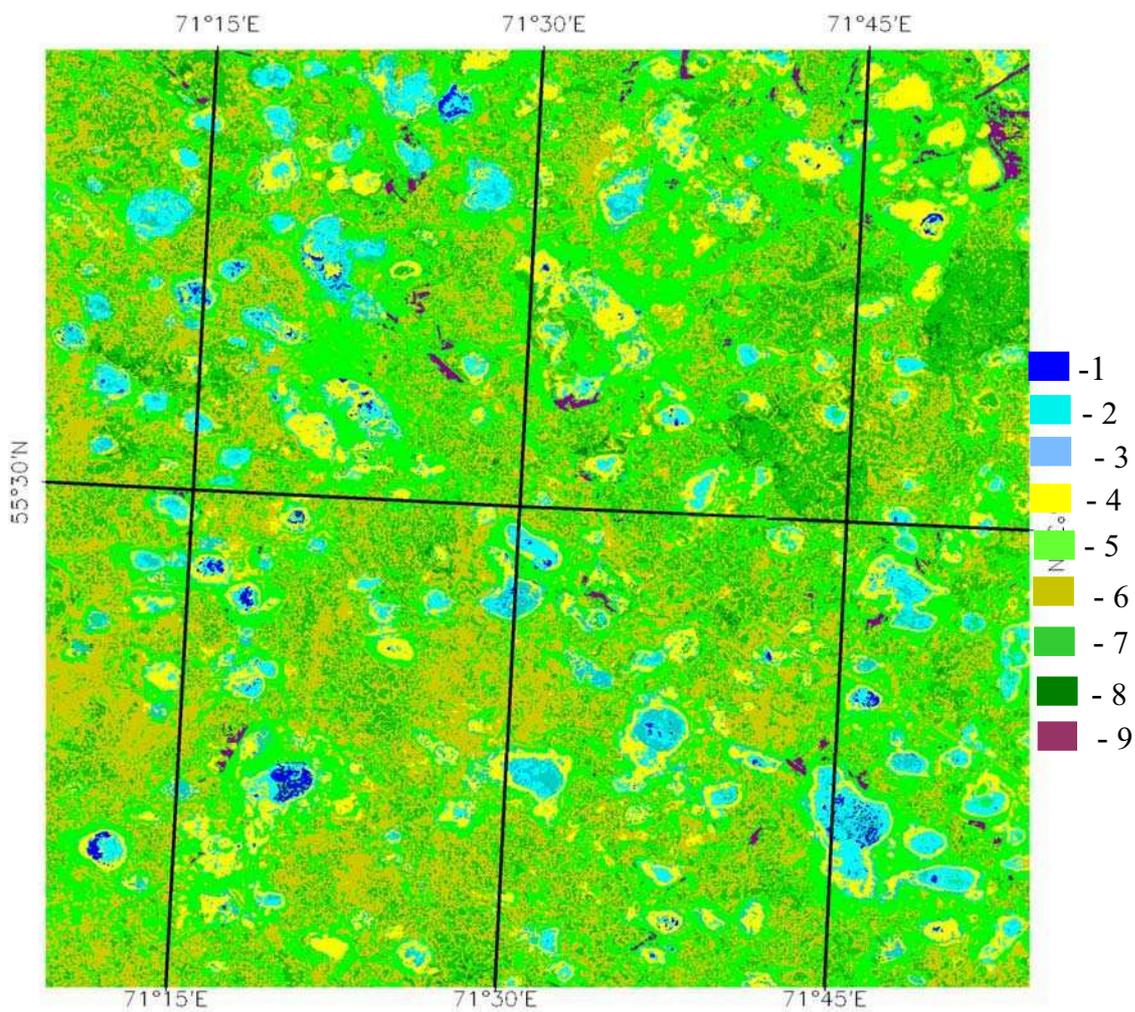


Рис. 6. Полное классификационное изображение для всего кадра. Расшифровка типов поверхностей приведена в тексте

Выводы

1. В начале трансгрессивной фазы увлажненности территории в периферических частях заболоченных озер формируются проценозы гелофитов, которые за 1-2 вегетационных сезона достигают высокой сомкнутости. Они хорошо выявляются на спутниковых снимках и могут служить качественными и количественными индикаторами границ и величины трансгрессии водоемов.

2. Среднее значение относительной погрешности определения площади трансгрессии методом спутниковой фитоиндикации по типу покрытия №4 (маркерные гелофитные растительные сообщества) составляет 1,185% с учетом наземных геоботанических исследований. При отсутствии наземных данных точность – 16,9%. 3. Увеличение акватории изученных озер Называевского р-на достигало в 2006г. 44 - 81,6 % от исходной поверхности озер и 14,6 - 15,6 % от полной площади поверхности модельных участков.

4. Оценки увеличения площади обводненных территорий, отнесенных к полной площади модельных участков Называевского р-на, совпадают в пределах погрешности. Это позволяет говорить о надежности произведенных численных оценок.

Литература

1. Свириденко Б.Ф., Дмитриев В.В. Изучение трансгрессии заболоченных водоемов Называевского р-на Омской области (Западная Сибирь) по материалам фитоиндикации и спутниковой съемки // Омская биологическая школа. МежВУЗовский сборн. науч. трудов. Ежегодник. Вып. 5. Омск, изд-во ОмГПУ, 2007. С.14-23.

2. Берлянт А.М. Картография: Учебник для ВУЗов. – М.: Аспект Пресс. 2001. – 336с.: ил.

3. Сухих В.В. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве. – Йошкар-Ола, МарГТУ, 2005. – 412 с.: ил.

4. Свириденко Б.Ф., Дмитриев В.В., Дмитриев А.В., Габки Т.Л., Вурдова О.В. Оценка экологического состояния водоемов Ик-Салтаим-Тенисской озерно-речной системы (Омская область) на основе флористико-геоботанических и геоинформационных методов // Омская биологическая школа. Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 2. Омск, ОмГПУ, 2005. С. 13-28.

Method of satellite phytoindication for research of transgression of reservoirs in Western Siberia

E.N. Finichenko, V.V. Dmitriev, B.F. Sviridenko

Omsk State Pedagogical University

E-mail: efinichenko@mail.ru

On an example of Omsk region boggy lakes and adjoining parts of their gathering basins study are considered possibilities of using satellite data for a remote estimation of water reservoir transgression scales and growth of territorial humidity. The method of satellite phytoindication of the specified processes is based on images from radiometre LISS-III of satellite platform IRS-1D. Research of brightness-spectral and vegetative characteristics of various types of vegetation, and also spatial and high-rise (depending on a relief) distribution of vegetative communities is conducted. With use of the land geobotanical data the estimation of accuracy of the offered method is spent.

Keywords: satellite phytoindication, transgression, marsh vegetation.