

ТИПЫ БОЛОТНЫХ МИКРОЛАНДШАФТОВ ОЗЕРНО-БОЛОТНЫХ СИСТЕМ СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ

Филиппов И.В., Лапшина Е.Д.

filip83pov@yandex.ru; e_lapshina@ugrasu.ru

Болотные экосистемы играют важную роль в глобальном цикле углерода и воды, обмениваясь CO_2 и CH_4 с атмосферой посредством процессов фотосинтеза фитоценозов и разложения растительного материала. Запасы углерода в болотах Западной Сибири оцениваются разными авторами в пределах от 12 до 70 Пг [Sheng *et al.*, 2004] (Пг – петаграмм = 10^{15} г). Большой разброс в оценках углеродного пула болот обусловлен как различными методами измерения потоков углерода, так и недостатком фактической информации, касающейся площади болот, их глубины и объемной плотности торфа [Вомперский *с соавт.*, 1999]. При этом до сих пор при расчетах запасов углерода и углеродного баланса не принимается во внимание высокое разнообразие ландшафтно-экологических типов болот, которые существенно отличаются между собой по этим показателям в силу высокой экологической гетерогенности болотных ландшафтов [Lapshina and Pologova, 2001].

Для более точного определения запасов углерода накопленного в торфяных болотах Западной Сибири, оценки их влияния на климат и поверхностный сток необходимо комплексное изучение и установление площади основных типов болот.

Развитие новейших ГИС технологий и доступность космических снимков высокого разрешения делают возможным получение достоверной информации о распространении болот. В то же время для идентификации различных типов болотных ландшафтов, разработки их классификации и построения тематических карт требуемого масштаба необходимо проведение детальных наземных исследований.

Среднее Приобье простирается на 400 км с севера на юг и на 600 км с запада на восток, географически совпадая с подзоной средней тайги Западной Сибири в пределах широтного отрезка Оби. Болотообразовательный процесс начался здесь около 10 000 лет тому назад с заболачивания неглубоких водоемов, и вскоре начал распространяться на суходолы [Лисс *с соавт.*, 2001; Львов, 1991]. В настоящее время более 50% территории Среднего Приобья покрыто торфяными болотами. Наиболее распространены среди них обширные олиготрофные верховые болота и озерно-болотные системы комплексного строения. На долю всех прочих разнообразных типов переходных и низинных болот приходится менее 5 % общей площади болот.

В качестве одного из опорных пунктов для изучения болот Среднего Приобья и их влияния на климат был избран ключевой участок

«Кукушкино болото», располагающийся в 60 км к востоку от г. Ханты-Мансийска в северной части междуречья Оби и Иртыша.

В течение трех лет здесь проводились комплексные исследования эмиссии болотных газов, продуктивности болотных экосистем, их гидрологии, флоры и растительности в рамках проекта ИНТАС-03-51-6294.

Задачей данного исследования явилось всестороннее изучение растительного покрова и ландшафтной структуры ключевого участка для разработки легенды и построения карты на основе дешифрирования снимков высокого пространственного разрешения.

Район исследования

Климат

Близость двух крупных рек значительно тепляет местный климат: среднегодовая температура составляет $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (т.е. на $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше характерной для этой широты). Среднемесячная температура января составляет $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$, июля – $17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сумма годовых осадков 569 мм, из которых 60% приходится на зимний период. Почва зимой промерзает в среднем на 0,5 м. Во время короткого, но теплого лета с продолжительным световым периодом, растения ускоренно развиваются и отлагают торф. Зима здесь холодная и длинная, что препятствует разложению торфа и способствует активному накоплению торфяной залежи.

Рельеф и гидрография

Болото «Кукушкино» является одним из северо-западных отрогов обширной Салымо-Юганской озерно-болотной системы и почти полностью покрывает локальный водораздел рек Шапшинской и Елыково (левых притоков Оби).

Ключевой участок располагается на Обь-Иртышской аллювиально-аккумулятивной равнине сложенной озерно-аллювиальными песками и глинами максимального оледенения. Вторая надпойменная терраса приподнята над поймой на 20-30 м. Высота местности колеблется в пределах 40-60 м над уровнем моря.

В настоящее время основная площадь плоских водораздельных пространств покрыта олиготрофными болотными комплексами. В рельефе, который вторично выровнен болотами, бросаются в глаза отдельные островки темнохвойного леса 30-100 м в диаметре, сложенные супесями и глинами.

В центральной части болотного массива сосредоточены крупные озера разнообразной формы от 100 м до 2 км в диаметре. Это первичные озера глубиной до 4-5 м, имеющие частично или полностью минеральное дно. Широко распространены также многочисленные мелкие вторичные озера с торфяным дном, глубина которых редко превышает 1,5 м. Площадь

озер составляет около 6% от общей площади олиготрофных озерно-болотных комплексов.

Антропогенная деятельность

В средней и северной части таежной зоны Западной Сибири главное отрицательное антропогенное влияние на торфяники связано главным образом с разведкой нефти и газа, их добычей и транспортировкой.

В районе «Кукушкиного болота» площадь, непосредственно приходящаяся на дороги, кустовые площадки, трубопроводы, и другие элементы инфраструктуры составляет около 2,5%. Однако влияние хозяйственной деятельности человека на природные экосистемы (в частности на болота) значительно выше, что связано в первую очередь с нарушением гидрологии болот и трансформацией болотных ландшафтов. Негативное влияние на лесные и болотные экосистемы оказывают факелы, сжигающие попутный газ.

Методы исследования

Геоботанические описания с полным выявлением списков видов сосудистых растений и мохообразных выполнялись в пределах крупных и визуально хорошо выраженных контурах растительности на площадках 10×10 м, 5×5 м или меньшей в зависимости от выраженности древесного яруса и площади описываемого фитоценоза. Координаты описаний фиксировались с использованием спутникового навигатора (GPS) с точностью не менее 10 м. Всего было выполнено более 300 описаний.

Для изучения ландшафтной структуры и картирования болотных ландшафтов использовались космические снимки Landsat ETM+ с 30-ти метровым разрешением и панхроматическим каналом с разрешением 15 м.

Данные с координатами описаний и предварительно выделенными ландшафтными типами были нанесены на космический снимок с помощью программного ГИС-пакета Erdas Imagine 8.4. Для дешифрирования использовался заложенный в него Supervised classification алгоритм [Дурье и Косиков, 2003]. В программу были введены эталонные участки снимка соответствующие выделенным типам болотных ландшафтов, каждому из которых на снимке соответствовал определенный набор спектральных характеристик, отличающий его от других типов. С помощью программы эти данные были экстраполированы на весь ключевой участок и получена заготовка карты, где каждый пиксель снимка был отнесен к одному из заданных типов.

В случаях, когда разные типы болотных микроландшафтов имеют сходные спектральные характеристики, возникают ошибки дешифрирования, которые устранялись путем ручной корректировки. Дешифрованные таким образом снимки могут использоваться в различных площадных расчетах.

Пространственная организация болотных ландшафтов

Большинство отечественных исследователей болот различают три основных уровня пространственной организации болотных ландшафтов: болотные микро-, мезо- и макроландшафты (см. [Галкина, 1946, 1959; Боч и Мазинг, 1979] и др.).

Болотный микроландшафт или болотная фация [Лопатин, 1954; Львов, 1974, 1977; Глебов, 1969] представляет собой элементарную единицу болотного ландшафта (поверхности болота) и сопоставима с «болотными участками» (wetland sites) или «местообитаниями» (habitats) в понимании западных авторов. Каждый тип микроландшафта характеризуется специфическими особенностями гидрологического режима, водно-минерального питания, микрорельефа поверхности и растительности, которая отлагает определенный вид торфа. Микроландшафты могут быть гомогенного или комплексного строения в зависимости от характера гидрологических условий в пределах болотного массива или болотной системы.

Болотный мезоландшафт представляет собой отдельный болотный массив простого или более сложного строения, развивающийся из одного генетического центра (центра торфонакопления). На ранних стадиях развития болотного массива (болотного мезоландшафта) может наблюдаться слияние нескольких генетических центров в пределах одной геоморфологической поверхности, но в дальнейшем их развитие происходит в виде одного торфяного тела с единой гидрологией. Как правило, болотные массивы ограничены одной болотной впадиной и более или менее отчетливо выделяются на фоне незаболоченных территорий.

Болотный макроландшафт представляет собой крупную болотную систему комплексного строения, которая формируется в результате слияния первоначально изолированных, нередко заметно различающихся по гидрологическим условиям и типу водно-минерального питания болотных массивов, которые возникли в отдельных генетических центрах и долгое время развивались независимо друг от друга. Слияние их происходит на поздних стадиях развития.

Типы болот (болотных микроландшафтов)

Ландшафтная классификация болот лесной зоны Западной Сибири основывается на особенностях их пространственной структуры, растительности и различиях положения болот в рельефе. Ключевую роль играет тип водно-минерального питания болот, который и определяет их ландшафтный облик и особенности растительного покрова [Латишина, 2003а, 2003б].

Для олиготрофных верховых болот и озерно-болотных систем лесной зоны Западной Сибири характерны следующие основные типы болотных ландшафтов:

1. сосново-кустарничково-сфагновые болота (рямы)
2. рямово-мелкомочажинные комплексы,
3. открытые кустарничково-пушицево-сфагновые болота,
4. олиготрофные грядово-мочажинные комплексы,
5. олиготрофные шейхцерицево-сфагновые топи и сплавины,
6. мезоолиготрофные осоково(*Carex rostrata*)-сфагновые транзитные топи.

Перечисленные выше типы успешно дешифрируются на снимках высокого пространственного разрешения и являются основой для создания цифровых карт верховых олиготрофных типов болот, которые могут быть использованы для количественных расчетов и экстраполяции различного рода атрибутивных данных, полученных в ходе экспериментальных полевых исследований.

Ниже приводится краткая характеристика основных типов болотных ландшафтов наиболее широко распространенных на верховых олиготрофных болотах Среднего Приобья.

Сосново-кустарничково-сфагновое болото (рям)

Поверхность данного типа болотного ландшафта образуют плотные сфагновые кочки, пронизанные кустарничками на которых произрастает болотная форма сосны. Такие болота получили в Западной Сибири название «рям». Моховые кочки, сложенные сфагновыми мхами, покрыты хорошо выраженным ярусом кустарничков: багульником болотным (*Ledum palustre*) и кассандрой (*Chamaedaphne calyculata*). По высоте и плотности древесного яруса выделяют различные типы рямов.

Рослый рям встречается на хорошо дренированных склонах и по периферии верховых болот или полосой по кромке крупных озер, расположенных в центре обширных олиготрофных болотных комплексов, занимая сравнительно небольшие площади.

Микрорельеф в рослых рямах волнисто-кочковатый, уровень болотных вод стоит относительно глубоко, на глубине 30-50 см ниже поверхности межкочий.

Средняя высота деревьев в этом типе болота 8-10 м. Древостой формирует рослая форма болотной сосны (*Pinus sylvestris f. uliginosa*), в виде незначительной, но постоянной примеси встречаются береза (*Betula pubescens*) и кедр (*Pinus sibirica*). В травяном ярусе с высоким постоянством встречается осока шаровидная (*Carex globularis*), проективное покрытие которой может достигать 20-40%. Из кустарничков доминируют багульник болотный (*Ledum palustre*), кассандра (*Chamaedaphne calyculata*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*). Основной доминант мохового яруса – сфагнум узколистный (*Sphagnum angustifolium*), в качестве содоминантов выступают *Sphagnum magellanicum*, *S. capillifolium* и лесной мох *Pleurozium schreberi*.

Рям наиболее характерный и широко распространенный тип сосново-кустарничково-сфагновых болот, занимающий значительные

площади на крупных верховых болотных системах комплексного строения.

Микрорельеф в ряме округло-кочковатый, с перепадом высот между кочками и межкочьями от 20 до 40(50) см. Уровень болотных вод стоит обычно на глубине 20-35 см ниже поверхности сфагновых межкочий.

Древесный ярус образован болотными формами сосны *Pinus sylvestris* f. *litwinowii* и f. *willkommii*. Высота сосен не превышает 3-4 м, нередко составляя 0.5-1.5(2) м. В кустарничковом ярусе доминируют багульник болотный (*Ledum palustre*), кассандра (*Chamaedaphne calyculata*) и подбел (*Andromeda polifolia*). Из травянистых растений наиболее часто встречаются морошка (*Rubus chamaemorus*), клюква мелкоплодная и болотная (*Oxycoccus microcarpa*, *O. palustris*), росянка круглолистная (*Drosera rotundifolia*). Абсолютным доминантом мохового яруса является сфагнум бурый (*Sphagnum fuscum*). В виде постоянной примеси встречаются *Sphagnum angustifolium*, *S. magellanicum* и печеночник – *Mylia anomala*, реже *Pleurozium schreberi*, *Dicranum polysetum* и др. По деградированным участкам между сфагнами с высоким постоянством встречаются синузии кустистых лишайников *Cladonia stellaris*, *C. rangiferina*, *C. cornuta*, *C. crispata*, *C. arbuscula*, *C. cenotea*, *C. botrytes* и др. В общей сложности лишайники могут занимать до 5-10% поверхности мохово-лишайникового покрова.

Рямово-мелкомочажинный комплекс отличается от типичного ряма наличием небольших пушицево-сфагновых мочажин.

По мере накопления торфа и роста торфяной залежи на верховых олиготрофных болотах наблюдается увеличение увлажненности и повышение уровня болотных вод. В результате на месте однородного сосново-кустарничково-сфагнового сообщества – ряма появляются небольшие увлажненные мочажины, где роль эдификатора играет уже типичный топяной сфагновый мох – *Sphagnum balticum*.

Пушицево-сфагновые мочажины могут занимать от 5 до 15% площади комплекса. Размер их колеблется от 0.5 до 5 м. Уровень болотной воды стоит на глубине 8-10 см от поверхности. Травяной ярус представлен кочечками пушицы влагалищной (*Eriophorum vaginatum*) и клюквой болотной. Изредка им сопутствуют шейхцерия (*Scheuchzeria palustris*), осока топяная (*Carex limosa*), редкие кустики кассандры, подбела. В моховом ярусе абсолютно доминирует *Sphagnum balticum*, лишь на мелких повышениях в виде незначительной примеси встречаются *S. angustifolium*, *S. magellanicum* и даже *S. fuscum*.

Кустарничково-пушицево-сфагновые болота

Кустарничково-пушицево-сфагновые микроландшафты широко распространены на верховых болотах Западной Сибири. Они представляют собой, как правило, начальную стадию в генетическом ряду

олиготрофных болотных ландшафтов. Вторичные открытые кустарничково-пушицево-сфагновые сообщества нередко формируются на месте вымокающих ямов, на участках где сосна гибнет и выпадает вследствие изменившегося гидрологического режима болота.

Характерной особенностью кустарничково-сфагновых болот является угнетенный (или отсутствующий) древесный ярус и доминирование кассандры (*Chamaedaphne calyculata*). Проективное покрытие кассандры может достигать 40–80%. В травяном ярусе иногда со значительным проективным покрытием присутствует пушица *Eriophorum vaginatum*, клюква болотная, морошка, реже *Carex rostrata*. В моховом покрове доминируют *Sphagnum angustifolium*, *S. magellanicum* и лишь в наиболее увлажненных участках – *S. balticum*.

Грядово-мочажинный комплекс

Для данного типа болотных ландшафтов характерно регулярное чередование возвышенных гряд и обводненных мочажин. На грядах развита типичная «рямовая» сосново-кустарничково-сфагновая растительность, но высота сосен обычно меньше, чем в типичном яме – 0.5 - 1.5 (2.0) м.

В мочажинах представлены различные сообщества, сложенные из мочажинных сфагновых мхов (*Sphagnum balticum*, *S. jensenii*, *S. majus*, *S. papillosum*), топяной осоки (*Carex limosa*), шейхцерии (*Scheuchzeria palustris*), видов пушиц (*Eriophorum vaginatum*, *E. russeolum*), очеретника (*Rhynchospora alba*).

Грядово-мочажинные комплексы образуются на участках болот с незначительным уклоном поверхности (градиент 0.003 - 0.008 м/км). Соотношение гряд и мочажин в комплексе варьирует в широких пределах и зависит главным образом от уклона поверхности. Однако в среднем для массива, эти элементы занимают, как правило, одинаковую площадь.

В своем развитии, грядово-мочажинные комплексы претерпевают несколько стадий, но следует отметить, что развитие болот может иметь не прямолинейный характер. Первая стадия заключается в образовании небольших пушицево-сфагновых мочажин среди сосново-кустарничково-сфагновых сообществ – ямов. Затем мочажины растут и вытягиваются перпендикулярно направлению стока. Площадь гряд сокращается в пользу обводненных мочажин и топей. На заключительной стадии, в центральной части мочажин появляются небольшие зеркала открытой воды – образуется грядово-мочажинно-озерковый комплекс. В случае более выраженного уклона поверхности формируются обширные олиготрофные шейхцериево-сфагновые топи и сплавины, по которым осуществляется внутриволотный сброс поверхностных вод.

Олиготрофные шейхцериево-сфагновые топи

Это наиболее обводненный тип верховых болот, для которого характерно наличие множества обширных топких мочажин и озерков. Гряды с рямовой растительностью занимают здесь незначительную площадь (5-15%). Сквозь многочисленные параллельно ориентированные мочажинны и озера происходит поверхностный сток болотной воды из обводненной центральной части болотного массива к его периферии. Подобные переувлажненные топи часто имеют вытянутую или древовидную форму, образуя своеобразную дренажную сеть. В таких топях берут начало многие мелкие ручьи и местные речушки, чем объясняется темный цвет их вод.

Растительные сообщества топей слагаются из нескольких видов топяных сфагновых мхов (*Sphagnum papillosum*, *S. balticum*, *S. jensenii*, *S. majus*, *S. lindbergii*) и сосудистых растений: пушицы влагалищной (*Eriophorum vaginatum*), пушицы рыжеватой (*E. russeolum*), топяной осоки (*Carex limosa*), шейхцерии (*Scheuchzeria palustris*), очеретника (*Rhynchospora alba*), росянки английской (*Drosera anglica*) и клюквы болотной (*Oxycoccus palustris*).

В вымочках и местах выхода болотных газов, где развитию растений препятствует высокое содержание метана, развиваются особые сообщества «римпи» из очеретника (*Rhynchospora alba*), печеночных мхов (*Cladopodiella fluitans*, *Gymnocolea inflata*), сфагнума (*S. compactum*, *S. jensenii*) и встречающегося только здесь лишайника *Cetraria delesii*.

В открытой воде и по берегам озерков произрастают более требовательные к содержанию минеральных веществ растения – осока носатая (*Carex rostrata*), вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata*), пузырчатка малая (*Utricularia minor*), кубышка малая (*Nuphar pumila*).

Мезоолиготрофные осоково-сфагновые топи

Мезоолиготрофные осоково-сфагновые топи широко распространены на территории Западной Сибири, но на территории ключевого участка «Кукушкиного болота» занимают сравнительно небольшие площади. Такие болота обычно приурочены к транзитным топям и местам сброса болотных вод, где поток воды становится едва заметным, и формируются истоки речек. Мезоолиготрофными болотами также могут быть заняты обширные переходные площади между верховыми и низинными участками болот.

Слабопроточная вода при том же беднейшем ее химическом составе создает более благоприятные условия для произрастания растений, что приводит к возрастанию продуктивности растительных сообществ.

Основными доминантами выступают осока носатая (*Carex rostrata*) и вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata*), к которым примешиваются осока топяная (*C. limosa*), пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum*) и клюква болотная (*Oxycoccus palustris*). В моховом ярусе доминируют

олиготрофные и мезоолиготрофные сфагновые мхи (*Sphagnum fallax*, *S. angustifolium*, *S. riparium*). На кочках сфагнума поселяются кустарнички, такие как карликовая березка (*Betula nana*) и кассандра (*Chamaedaphne calyculata*).

Заключение

Описанные типы болотных микроландшафтов хорошо выявляются и идентифицируются на космических снимках высокого разрешения, что дает возможность использовать предложенную ландшафтно-экологическую классификацию болотных ландшафтов для дешифрирования космических снимков верховых болот на всю территорию Среднего Приобья. Цифровые тематические карты, полученные на их основе, с высокой степенью достоверности позволят оценивать площади разных типов микроландшафтов в пространственной структуре болотного покрова, что позволит корректно экстраполировать на большую территорию результаты точечных инструментальных измерений важнейших характеристик, связанных с современным состоянием и функционированием болотных экосистем.

Список литературы

- Боч М.С., Мазинг В.В. 1979. Экосистемы болот СССР. – Л.: Наука. – 189 с.
- Вомперский С.Э. и др. 1999 // *Почвоведение*, **12**, 17-25.
- Галкина Е.А. 1946 // Сборник работ БИН АН СССР, выполненных в Ленинграде за три года Великой Отечественной войны (1941-1943). – М.; Л. – С. 139-156.
- Галкина Е.А. 1959 // Торфяные болота Карелии. – Петрозаводск. – С. 3-48.
- Глебов Ф.З. 1969. Болота и заболоченные леса лесной зоны Енисейского левобережья. – М.: Наука. – 132 с.
- Lapshina E.D., Pologova N.N. 2001 // Carbon storage and atmospheric exchange by West Siberian Peatlands. – Utrecht, Tomsk. – P. 50-72.
- Лапшина Е.Д. 2003а. Флора болот юго-востока Западной Сибири. – Томск: Изд-во Том. ун-та. – 296 с.
- Лапшина Е.Д. 2003б // *Вестник ТГУ*, **7**, 161-170.
- Лисс О.Л. и др. 2001. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. – Тула: Гриф и К°. - 584 с.
- Лопатин В.Д. 1954 // *Уч. зап. Лен. ун-та*. Сер. геогр. наук, **9**, 95-181.
- Лурье И.К., Косиков А.Г. 2003. Теория и практика цифровой обработки изображений. – М.: Научный мир. – 163 с.
- Львов Ю.А. 1974 // Типы болот СССР и принципы их классификации. – Л.: Наука. – С. 188-194.
- Львов Ю.А. 1977 // *Докл. высш. школы. Биол. науки*, **9**, 97-102.
- Львов Ю.А. 1991 // Природные ресурсы Томской области. – Новосибирск: Наука. – С. 67-83.

Sheng Y., Smith L.C., MacDonald G.M., Kremenetski K.V., Frey K.E., Velichko A.A., Lee M., Beilman D.W., Dubinin P. 2004. A High-Resolution GIS Based Inventory of the West Siberian Peat Carbon Pool // Global Biogeochemical Cycles, **18**, GB3004, p. 1-14, doi:10.1029/2003GB002190.

PEATLAND UNIT TYPES OF LAKE-BOG SYSTEMS IN THE MIDDLE PRIOB'IE (WESTERN SIBERIA)

Filippov I.V., Lapshina E.D.

The new GIS technologies and availability of satellite images of high resolution all over the world could be a promising source of thematic information about the distribution of the Western Siberian bogs. At the same time for the accurate interpretation of peatland diversity on the base of satellite images detailed quality ground truth information is necessary.

*Following peatland unit types have been distinguished and described within the study area "Kukushkino Bog" situated 60 km to the east from Khanty-Mansiysk within the huge oligotrophic lake-bog system: 1 – pine-dwarf shrubs-sphagnum bogs ('ryam'), 2 – pine-dwarf shrubs-sphagnum bog with small cotton-grass sphagnum hollows, 3 – dwarf shrubs-cotton grass-sphagnum bogs ('open bog'), 4 – ombrotrophic ridge-hollow complex, 5 – ombrotrophic sphagnum lawns complex & water tracks, 6 – poor sedge (*Carex rostrata*)-sphagnum fens.*

Detailed study of peatland diversity and development of landscape-ecological classification of mire types for the territory of Western Siberia could be a good scientific base for the future investigation of peatlands and estimated of their values of carbon pool.