

УДК 528.94; 581.5

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА НАЗЕМНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И ТИПА ВЕРХНЕГО СЛОЯ ТОРФА СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫХ ОТРОГОВ БОЛЬШОГО ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА ПО ДИСТАНЦИОННЫМ И НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ

Алексеева Мария Николаевна,

канд. геогр. наук, мл. науч. сотр. Института химии нефти
Сибирского отделения Российской академии наук,
Россия, 634021, г. Томск, пр. Академический, 4. E-mail: amn@ipc.tsc.ru

Прейс Юлия Ивановна,

канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. геоинформационных технологий
Института мониторинга климатических и экологических систем
Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 634021, г. Томск,
пр. Академический, 10/3. E-mail: preisyui@rambler.ru

Дюкарев Егор Анатольевич,

канд. физ.-мат. наук, ведущ. науч. сотр. лаб. физики климатических систем
Института мониторинга климатических и экологических систем Сибирского
отделения Российской академии наук, Россия, 634021, г. Томск,
пр. Академический, 10/3. E-mail: egor@imces.ru

Использование космических снимков для комплексного исследования природных объектов, в том числе для оценки современного ресурсного потенциала болот и скорости возобновления торфяных ресурсов, актуально в условиях труднодоступных и заболоченных территорий Западной Сибири. Структура болотных массивов хорошо отражается на космических снимках благодаря индикационным свойствам – текстуре и цвету однородных контуров болотных микроландшафтов. Космические снимки позволяют оценить современное состояние болотных экосистем и их нарушения в связи с антропогенным воздействием.

Цель работы: с использованием космических снимков составить карту наземного покрова южно-таежного ключевого участка «Бакчар–Икса». На основе составленной карты и данных полевых исследований провести геопространственный анализ структуры растительного покрова и верхнего слоя торфа.

Методы исследования. Тематическое картирование наземного покрова лесоболотной территории ключевого участка на основе дешифрирования космических снимков Landsat позволит определить площади, занимаемые различными типами болотных комплексов. Для дешифрирования космических снимков, составления карт и оценочных расчетов используется комплекс геоинформационных программ.

Результаты. Тематическая обработка космических снимков Landsat в системе ERDAS Imagine и формирование цифровых слоев в ArcGIS позволили наглядно картографически представить пространственную структуру наземного покрова на обширной территории ключевого участка «Бакчар–Икса», а также исследовать соответствие данных видовой принадлежности торфа поверхностного слоя и современного растительного покрова Иксинского болота. Проведенный сравнительный анализ выявил достаточно хорошее соответствие полученных при дешифрировании выделов болотной растительности и подстилающих видов торфа, за исключением верхового фускум торфа.

Ключевые слова:

Болотные комплексы, космические снимки, геоинформационные системы, растительный покров, торфяная залежь.

Введение

Использование космических снимков для комплексного исследования природных объектов актуально при исследовании труднодоступных и заболоченных территорий Западной Сибири. Устойчивая структура болотных массивов хорошо отражается на космических снимках, благодаря индикационным свойствам болотных микроландшафтов в изменении структуры изображения и текстуры в пределах однородных контуров [1, 2]. Исследование пространственной структуры природного многообразия микроландшафтов болотных массивов проводится по мультиспектральным спутниковым изображениям с применением методов экспертного дешифрирования [2–4].

Использование результатов наземных подспутниковых исследований значительно повышает точность дешифрирования космических снимков [5, 6]. Карты, составленные по результатам дистанционного зондирования, позволяют не только оценить площади лесов, болотных ландшафтов, сельскохозяйственных угодий, но и выявить повреждения лесных массивов, определить источники повреждений, выполнить анализ биологических характеристик растительности [7–10].

Ключевой участок (КУ) «Икса–Бакчар» (рис. 1) характеризует южно-таежные ландшафты Западно-Сибирской равнины. Располагается на слабодренированной и сильно заболоченной Васюганской равнине [11]. Территория КУ включает водос-

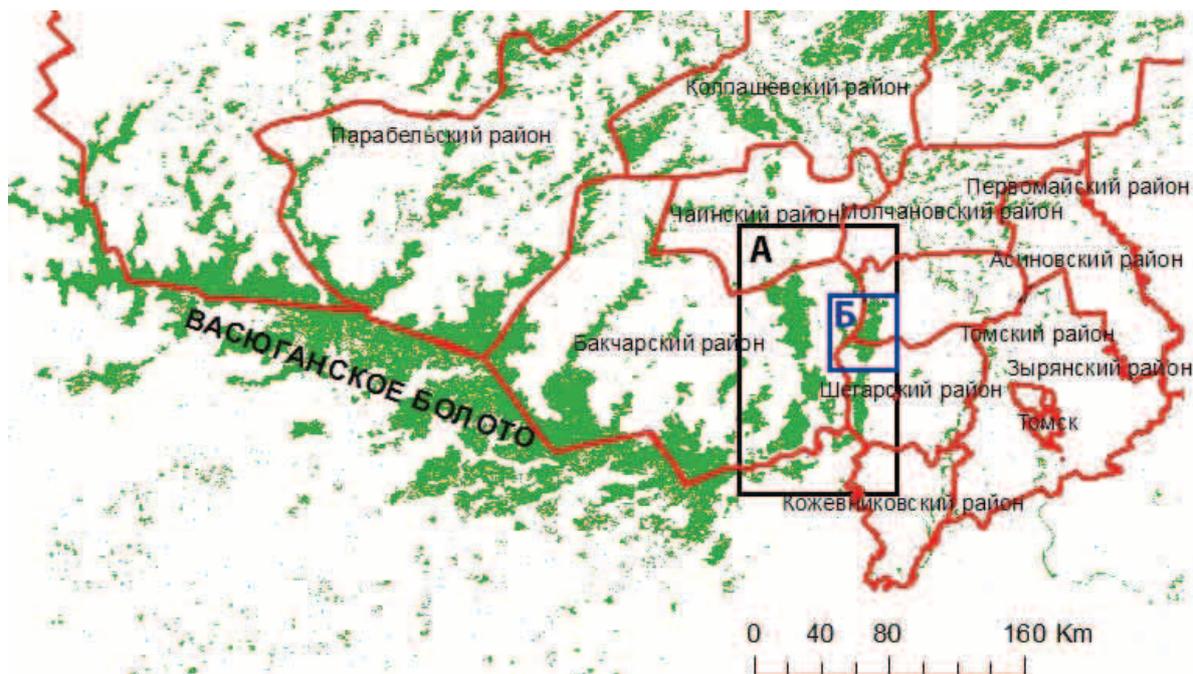


Рис. 1. А – Расположение ключевого участка «Икса–Бакчар». Б – участок Иксинского болота с зондированием торфа. Зеленым цветом показаны болота. Красным – границы районов Томской области

Fig. 1. А – Key area «Iksha–Bakchar». Б – Iksha bog area with peat sounding. The bogs are marked in green, the boundaries of Tomsk region districts are marked in red

боры притоков р. Чая – реки Икса, Бакчар, Тетеренка, Андарма, Парбиг, текущие в северо-восточном направлении. Строение междуречий во многом сходное, с асимметричной долиной: правый берег здесь несколько более крутой, чем левый, пологий, выделяется неширокая пойма. Большая часть междуречных пространств занята болотами. Между реками Бакчар и Икса располагается Бакчарский болотный массив, а между реками Икса и Шегарка – Иксинское болото. Также сильно заболочены левобережные террасы рек. За время формирования массивов болот, начавшегося на больших площадях 4,5–5 тыс. лет назад, торф перекрыл неровности поверхности, водоразделы приобрели слабо-выпуклый профиль, что создало условия для поверхностного стока вод с болот к периферии и привело к заболачиванию приболотных участков леса. Торфяные болота имеют среднюю мощность торфа 2–2,5 м, в первичных центрах заболачивания – 5–6 м.

Пространственная структура наземного покрова

Для классификации наземного покрова КУ «Икса–Бакчар» использовались космические снимки (КС) спутника Landsat 7. Сенсор ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) спутника Landsat-7 работает на орбите более 14 лет, и радиометрические характеристики прибора достаточно стабильные [12]. КС Landsat доступны бесплатно [13] через центр обработки данных Геологической службы США (U.S. Geological Survey Earth Resources Observation and Science Data Center) с помощью

веб-интерфейса Glovis [14]. Данные были получены в формате GeoTIFF в универсальной поперечной картографической проекции Меркатора (UTM) во Всемирной геодезической системе координат (WGS84). Каждое изображение состоит из шести спектральных каналов, ИК канала и панхроматического изображения. Шесть спектральных каналов с пространственным разрешением 28,5 м были использованы в дальнейшей работе. Из рассмотрения был исключен «тепловой» канал спутниковых снимков, полученный на длине волны 10,4–12,5 μm , поскольку пространственное разрешение в данном канале составляет 60 м.

Область КУ покрывают два спутниковых изображения, полученных в координатах PATH 149, ROW 20 и ROW 21 в системе координат Worldwide Reference System-2 (WRS-2). Два КС, датированных 13 июля 2007 г., были склеены в единую мозаику для обеспечения охвата территории всего КУ «Икса–Бакчар».

Для тематического анализа мозаики КС были сформированы обучающие выборки, на основе экспертных оценок с использованием полевых исследований различных ландшафтов в районе болотных массивов Икса и Бакчар. Формирование обучаемых эталонов и автоматическая классификация космических снимков Landsat проведены с использованием инструментальных средств системы ERDAS Imagine.

Обучающие выборки были сформированы для 26 типов наземного покрова, большинство из которых совпадает с типами, использованными в работе

Таблица. Классы наземного покрова КУ «Бакчар-Икса» и их площади (S)**Table.** Classes of ground cover of the key area «Bakchar-Iksa» and their areas (S)

№	Класс/Class	Площадь, га Area, ha	Доля от S КУ, % Part of the key area, %	Доля от S основного класса, % Part of the main class area, %
Леса/Forests		755443	51,6	
1	Темнохвойный/Dark coniferous	354404	24,2	46,9
2	Лиственный/Deciduous	295378	20,2	39,1
3	Смешанный/Mixed	105661	7,2	14,0
Болота водораздельные/Watershed bogs		437967	29,9	
Залесенные/Wooded		218332	14,9	
4	Рослый рям/Tall gyam	80776	5,5	37,0
5	Средний рям дренированный /Medium gyam drained	7008	0,5	3,2
6	Низкий рям дренированный/Low gyam drained	11638	0,8	5,3
7	Низкий рям/Low gyam	65812	4,5	30,1
8	Мелкомочажинно-рямовый комплекс/Small-hollow-gyam complex	47033	3,2	21,5
9	Среднемочажинно-рямовый комплекс/Medium-hollow-gyam complex	6065	0,4	2,8
Открытые/Open		219635	15,0	
10	Грядово-мелкомочажинный комплекс/Ridge-small-hollow complex	5578	0,4	2,5
11	Грядово-среднемочажинный комплекс/Ridge-medium-hollow complex	57248	3,9	26,1
12	Грядово-крупномочажинный комплекс/Ridge-large-hollow complex	28034	1,9	12,8
13	Шейхцериево-сфагновая топь/Scheuchzeria-sphagnum fen	37733	2,6	17,2
14	Осоково-сфагновая топь/Sedge-sphagnum fen	46348	3,2	21,1
15	Сфагновые сплавины/Sphagnum floating fen	39957	2,7	18,2
16	Водные объекты/Water objects	4738	0,3	2,2
Болота террасовые/Terrace wetlands		108983	7,4	
17	Заболоченный сосновый лес/Bog pine forest	15259	1,0	14,0
18	Согра/Swamp forest	8354	0,6	7,7
19	Сосново-разнотравно-моховое/Pine-herbs-moss	15503	1,1	14,2
20	Березово-разнотравно-гипновое/Birch-herbs-hypnum	54133	3,7	49,7
21	Ерниково-осоково-гипновое/Dwarf birch-sedge-hypnum	15735	1,1	14,4
Прочие земли/Other lands		162443	11,1	
22	Поля, луга, пашни/Fields, meadow, croplands	122855	8,4	75,6
23	Пойма/Floodplain	3956	0,3	2,4
24	Населенные пункты/Settlements	5450	0,4	3,4
25	Мелиорированное болото залесенное/Drained wooded bog	21667	1,5	13,3
26	Мелиорированное болото открытое/Drained open bog	8519	0,6	5,2
Всего/Total		1464840		

[15]. К исходному перечню добавлены типы «мелиорированное болото открытое» и «мелиорированное болото залесенное». Исползованная классификация наземного покрова разработана специально для исследуемой территории. Классификация, безусловно, не охватывает всего разнообразия типов болотных систем Сибири и не является единственно возможной, но она оказалась удобной для картографического сопровождения исследования болот на территории КУ, включая пространственную оценку чистой первичной продукции, углеродного баланса болот и микроклиматических исследований.

Результаты автоматической классификации с обучением подвергались коррекции средствами ERDAS Imagine. Проведена генерализация полученной карты путем фильтрации результатов с выбором преобладающего класса в скользящем окне 3×3 пикселя.

Ранее [15] на исследуемой территории были выделены леса, разделенные на 3 класса по породному составу древостоев и степени гидроморфности. Выделено 9 типов болотных залесенных и 8 типов

открытых болотных систем, а также сельскохозяйственные угодья, водные и техногенные объекты. Результаты классификации наземного покрова КУ сходны с полученными ранее [15] для меньшей территории Бакчарского болота. Поэтому подробное описание выделов не приводится. Площади, занимаемые различными классами, и их доля от площади КУ и основного класса приведены в таблице. Около половины территории КУ занимают леса (51,6 %), часть из которых переувлажнена. Водораздельные болота представлены крупными болотными массивами открытого (15 %) и залесенного (14,9 %) типов. Болота вдоль речных долин составляют всего 7,4 % от площади КУ. 8,4 % занимают земли сельскохозяйственного назначения.

Пространственная структура болотных комплексов существенно отличается от структуры остальной территории (рис. 2). Водораздельные болотные массивы Бакчарского и Иксинского болот являются сложными системами с преобладанием комплексных фаций. В северной половине Иксинского болота представлен эксцентрический олиго-

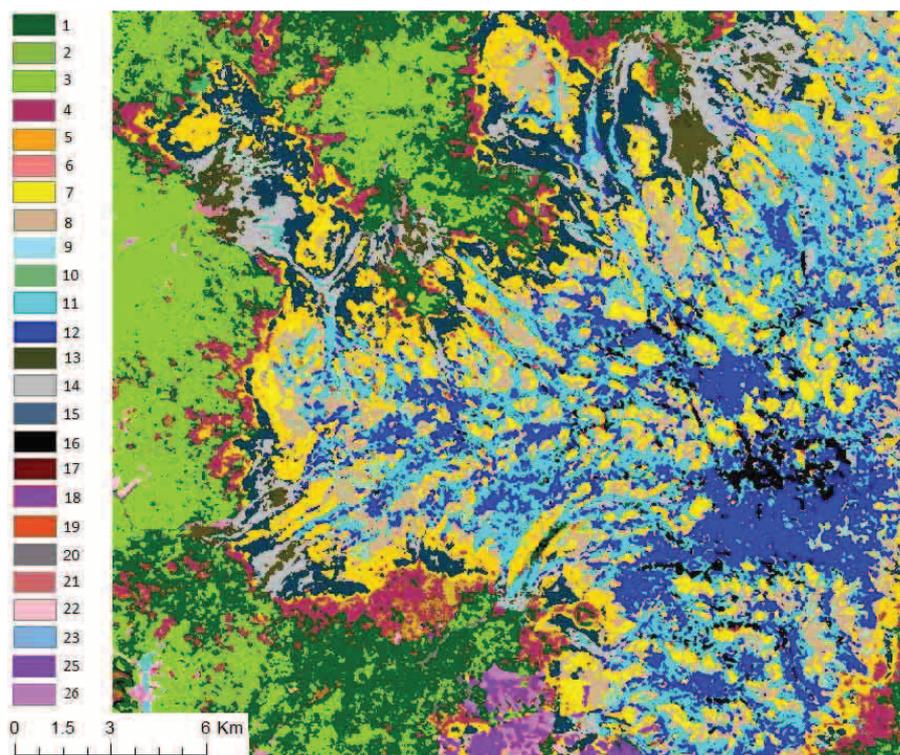


Рис. 2. Фрагмент карты наземного покрова, полученной в результате дешифрирования КС Landsat. Номера классов в легенде соответствуют обозначениям в таблице

Fig. 2. Map of ground cover based on decoded satellite imagery Landsat. The class number in explanatory text correspond to the numbers in Table

трофный болотный массив с сильнозаозеренным центральным плато и радиальной структурой склонов из чередующихся продольных полос рямов и грядово-мочажинно-озерных комплексов, а в южной половине на фоне сильнообводненных олиго- и мезоолиготрофных топей имеются многочисленные островки выпуклых верховиков и ло-

кальных заозеренных вершинных плато с ложбинами стока, ориентированными в разных направлениях и разного размера, с грядово-мочажинно-озерными и -озерковыми комплексами. Периферийные участки болота, как и все положительные элементы комплексов, заняты низкими и средними рямами, окрайки – рослыми рямами.

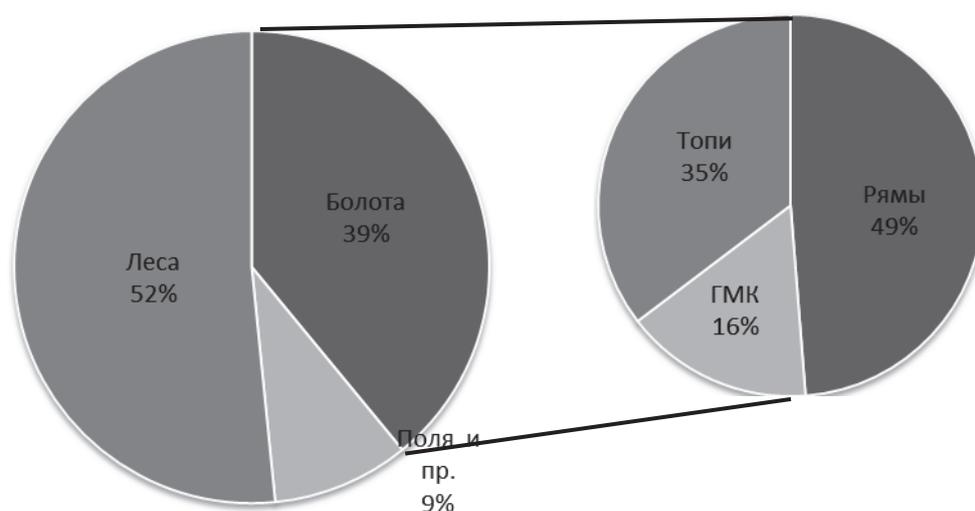


Рис. 3. Распределение обобщенных групп наземного покрова на территории КУ

Fig. 3. Distribution of the generic groups of the ground cover over the territory of the key area

Анализ взаимосвязей типов наземного покрова и видов торфа

Для дальнейшего анализа выделенные классы наземного покрова были обобщены в типичные группы, такие как леса (классы 1–3 таблица), открытые незаболоченные участки (поля, населенные пункты, пойма, водные объекты) и болотные выделы. Болота были разделены на три основные группы по характеру растительного покрова: облесенные болота (классы 4–9, 17, 19 и 25), грядово-мочажинные комплексы (ГМК) (классы 10–12) и топи (классы 13–15, 20, 21, 26). Доли распределения обобщенных классов от общей площади КУ представлены на рис. 3.

Проведенная генерализация классов необходима для решения конкретной задачи – сопоставления растительности и видов торфа. Изначальная достаточно подробная классификация наземного покрова проведена для надежного обнаружения однотипных, но существенно разных по спектральным характеристикам классов. Например, в класс облесенных болот объединены все типы рямовых сообществ, значительно различающихся между собой по составу и структуре древостоя, увлажнению поверхности и пр., что отражается в спектральных характеристиках обучающих выборок.

В среде ArcGIS проведен геопространственный анализ соответствия типов наземного покрова и

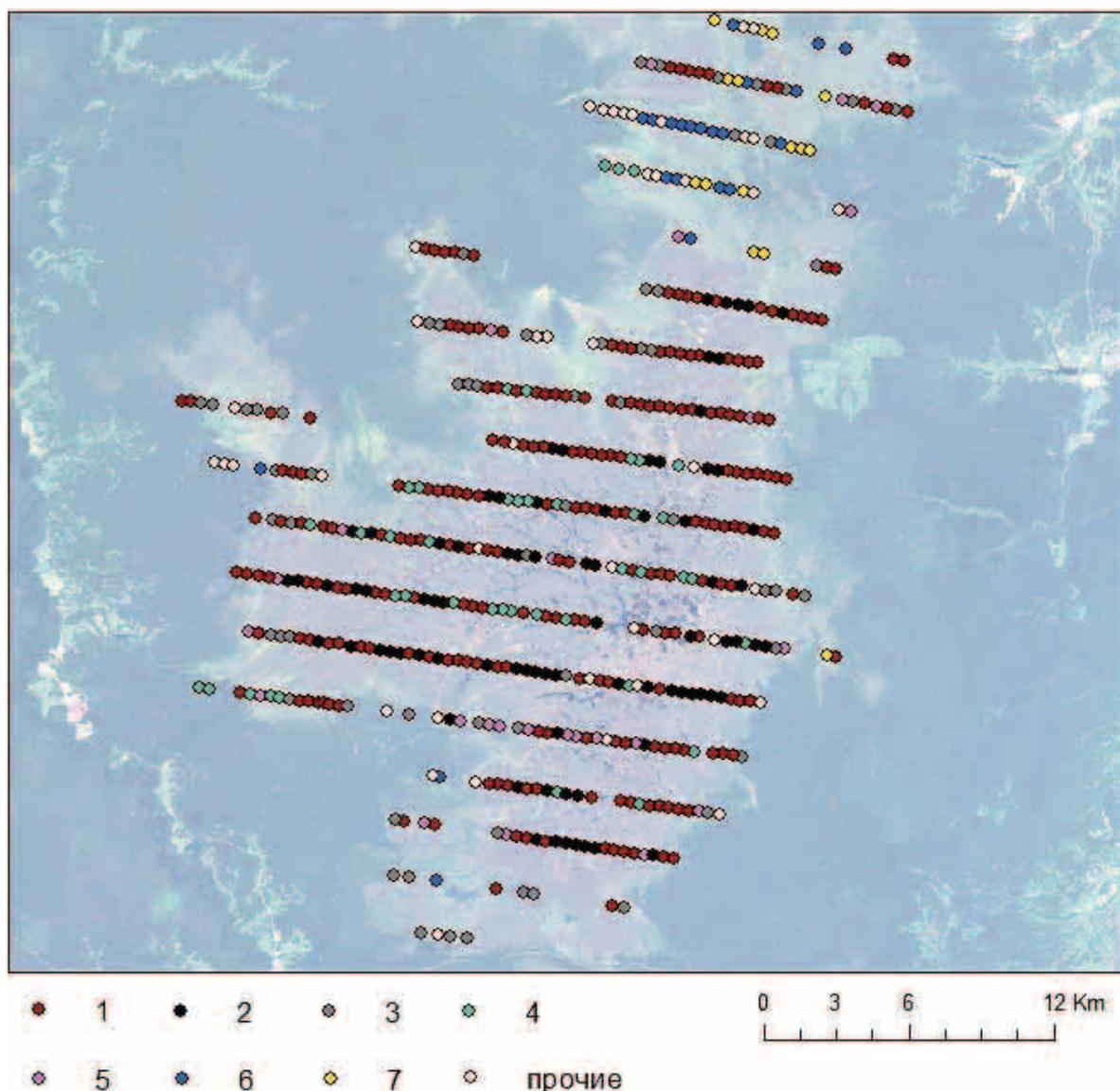


Рис. 4. Местоположение пунктов опробования торфяной залежи геологической разведки на Иксинском болоте. Подложка – КС Landsat. Виды торфа: 1 – фускум, 2 – комплексный верховой, 3 – магелланикум, 4 – сфагново-мочажинный, 5 – ангустифолиум, 6 – переходный осоково-сфагновый, 7 – переходный осоковый, 8 – прочие

Fig. 4. Points of sampling peat deposit of geological survey in Iksa bog. Substrate – satellite imagery Landsat. Types of peat: 1 – fuscum, 2 – complex raised bog, 3 – magellanicum, 4 – sphagnum-hollow, 5 – angustifolium, 6 – transition sedge-sphagnum, 7 – transition sedge, 8 – other

видов торфов, отлагаемых в верхних слоях залежи на территории ключевого участка Иксинского болота. База данных о видах торфа создана на основе ранее разработанной авторами автоматизированной системы оценки торфяного сырья по общетехническим свойствам торфа [16], в которую включены результаты фондовых материалов предварительной геологической разведки участка № 6 у с. Плотникова торфяного месторождения Васюганское [17].

База данных общих сведений о зондировании торфяной залежи содержит информацию о координатах нулевой границы месторождения, начала и конца профилей и пунктов отбора проб торфа в относительных величинах, полученных на основе плана месторождения, а база данных лабораторных анализов проб торфа – о типах и видах верхнего слоя торфа по 518 пунктам отбора. На рис. 4 приведено распределение пунктов опробования торфяной залежи на Иксинском болоте.

План геологической разведки торфяного месторождения Васюганское был географически привязан к топографическим картам масштаба 1:1000000 и 1:200000 и далее пространственно совмещен с КС в среде ArcGIS. Для векторизации точек по привязанному плану были отмечены начальные и конечные точки пунктов отбора образцов торфа и далее рассчитан шаг между остальными зондировочными точками (407 м по горизонтали), координаты которых были нанесены в ГИС. По ключевому коду номеров зондировочных точек в атрибутивной таблице векторного слоя плана точек пунктов отбора образцов торфа и аналогичного поля в БД видов

торфа [18], таблицы были сведены в одну в ГИС, что позволило наглядно отобразить векторный слой вида торфа в точках зондирования (рис. 4).

Анализ данных видовой принадлежности видов торфа поверхностного слоя торфяных залежей КУ Иксинского болота показал, что наиболее часто на территории встречается фускум торф (229 пунктов из 518), достаточно высокую встречаемость имеют комплексный верховой, магелланикум и сфагновый мочажинный (81, 62 и 42 пункта, соответственно), а также ангустифолиум и переходные осоково-сфагновый осоковый (25, 22 и 15 пунктов). Папиллозум, низинный осоковый, верховой пушицево-сфагновый и переходный сфагновый виды торфа найдены в небольшом числе пунктов опробования. Остальные виды торфа обнаружены в единичных пунктах (рис. 5).

Далее была рассчитана встречаемость видов торфа в процентах от числа пунктов опробования с каждым видом по обобщенным классам наземного покрова. Например, сфагновый мочажинный торф был обнаружен в 17 точках, соответствующих грядово-мочажинным комплексам, что составляет 10,8 % от общего числа пунктов (157) в которых присутствует этот вид торфа. Встречаемость менее 7 % можно считать незначительной.

Анализ показал, что все пункты отбора торфа в пределах обобщенного лесного класса приурочены к границе с болотом, то есть к контактной полосе заболоченных лесов или мелкозалежных облесенных участков болота. Здесь встречаются 11 видов разных типов торфа, но преимущественно верхового (53 %) и переходного (37 %) типов. Необходимо

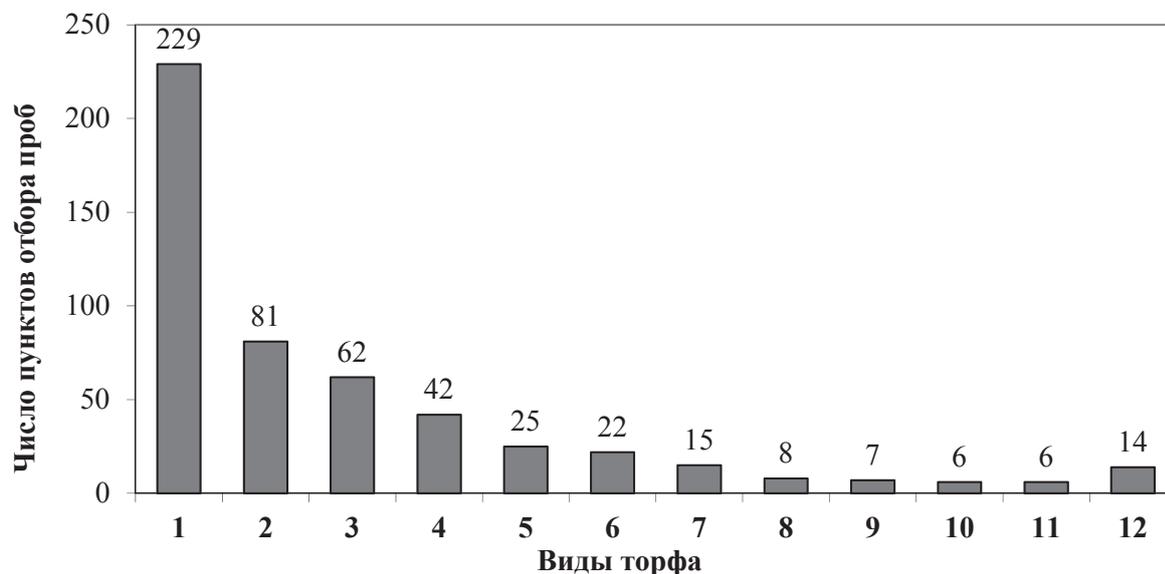


Рис. 5. Распределение количества пунктов отбора проб по видам торфа. Виды торфа: 1 – фускум, 2 – комплексный верховой, 3 – магелланикум, 4 – сфагново-мочажинный, 5 – ангустифолиум, 6 – переходный осоково-сфагновый, 7 – переходный осоковый, 8 – папиллозум, 9 – низинный осоковый, 10 – верховой пушицево-сфагновый, 11 – переходный сфагновый, 12 – прочие

Fig. 5. Distribution of points of sampling by peat types. Types of peat: 1 – fuscum, 2 – complex raised bog, 3 – magellanicum, 4 – sphagnum-hollow, 5 – angustifolium, 6 – transition sedge-sphagnum, 7 – transition sedge, 8 – papillosum, 9 – low-mire sedge, 10 – raised bog cottongrass-sphagnum, 11 – transition sphagnum, 12 – other

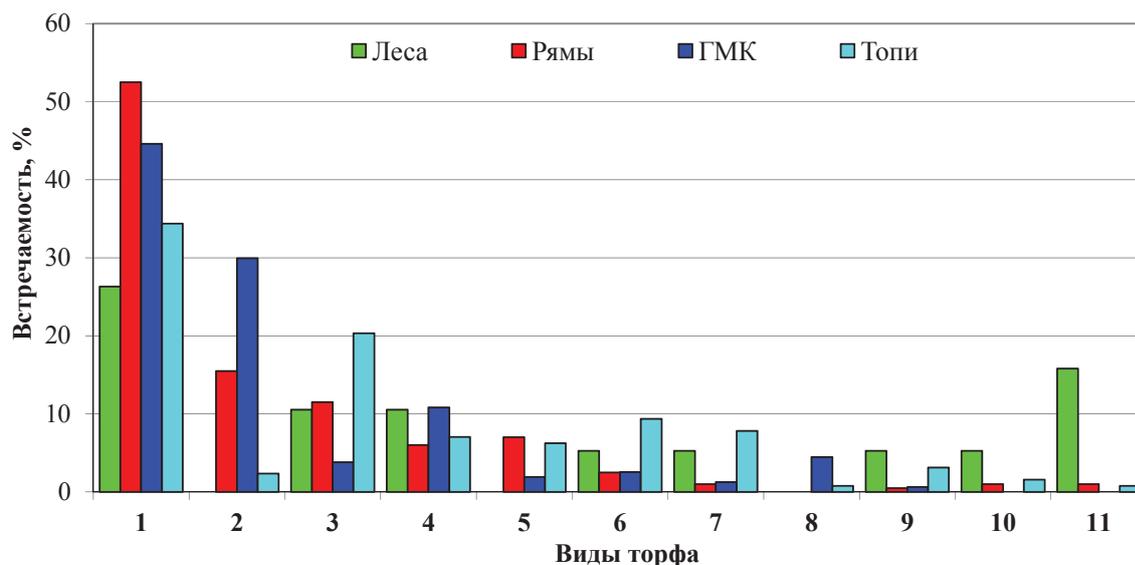


Рис. 6. Встречаемость видов торфа по обобщенным классам растительности. Обозначения см. на рис. 5

Fig. 6. Occurrence of peat types by the generic classes of vegetation. Symbols are the same as in Fig. 5

отметить, что на исследуемой территории распространения карбонатных глин и суглинков литогеннообусловленным типом заболачивания является эвтрофный, при котором отлагаются низинные торфа. На данной стадии развития болота несоответствие типов торфа богатству биофильными элементами подстилающих грунтов обусловлено, вероятнее всего, как изолирующим влиянием многолетнемерзлого водоупора в периоды похолоданий Малого Ледникового периода [19], так и воздействием кислых вод, стекающих с болота. Из верховых торфов часто встречаются: фускум, магелланикум, сфагновый мочажинный, пушицево-сфагновый, из переходных – сфагновый, осоково-сфагновый, осоковый. Только здесь выявлены переходные древесно-осоковый и шейхцерицево-сфагновый, низинный шейхцерицево-сфагновый. Наличие последних двух видов торфа, вероятнее всего, связано с погрешностью определения координат пунктов опробования, при котором произошло смещение из шейхцерицево-сфагновых топей, граничащих с суходольными лесами, или с погрешностью определения границ классов наземного покрова.

В классе **облесенных** болот наибольшее количество пунктов отбора (98,5 %) приурочено к олиготрофным рямовым (сосново-кустарничково-сфагновым) простым или комплексным выделам. Поэтому максимальную встречаемость (54 %) имеет фускум торф, отлагаемый доминантом этих сообществ [20]. Высокий суммарный процент (18,5 %) дают и типичные для рямов магелланикум и ангустифолиум торфа. Достаточно высокая встречаемость комплексного (15,5 %) и сфагново-мочажинного (6 %) торфов объясняется не только включением в эту группу комплексных растительных выделов, рямово-мелкомочажинного и мочажинно-рямового, но и значительной мелко-

контурностью рямовых выделов, извилистостью и размытостью их границ с более обводненными выделами. Этим же объясняется и встречаемость переходных осоково-сфагнового, осокового, сфагнового и низинного осокового, древесного и древесно-осокового торфов в периферийных рямах, граничащих с более высокотрофными или лесными выделами.

В **грядово-мочажинных** комплексах различного сложения преобладают верховые виды торфа (94 %), что отражает господство олиготрофных комплексов. Максимальную встречаемость имеет фускум, комплексный верховой и сфагновый мочажинный виды торфа. Именно в этих комплексных сообществах в связи с их высокой заозеренностью характерна максимальная встречаемость папиллозум торфа, отлагаемого на сплавинах. Необходимо отметить, что преобладают сильно обводненные комплексы, в которых гряды занимают не больше 5–10 % площади. В то же время встречаемость фускум торфа, типичного для гряд, составляет 44 %, отлагающегося на границах гряд комплексного верхового торфа – 30 %, а сфагново-мочажинного – лишь 11 %. Это также обусловлено закладкой пунктов отбора проб торфа при проведении геологоразведочных работ на наименее обводненных элементах комплексов. Переходные осоково-сфагновый, осоковый и низинный осоковый торфа встречаются единично в периферийных грядово-мочажинных комплексах.

В **топьяных** системах встречаются практически все верховые и переходные виды торфа, выявленные на исследуемом участке Иксинского болота, за исключением переходных шейхцерицево-сфагново- и древесно-осокового. Наиболее часто встречаются верховые торфа (74 %), что свидетельствует о господстве в настоящее время олиготрофных топей, а сочетание грядовых торфов: магелланикум,

фускум, (55 %) и топяных: ангустифолиум, сфагновый мочажинный, комплексный и папиллозум (16 %) – о мозаичном характере топей и наличии на них сфагновых кочек. Согласно [19], в периоды похолоданий Малого Ледникового периода на южнотаежных болотах, особенно на сильнообводненных сфагновых сплавинах, возникали многочисленные очаги многолетней мерзлоты и происходило интенсивное пучение мелких сфагновых бугров со *Sphagnum fuscum*. В последующие, более теплые, периоды климата мерзлота деградировала, бугорки, в связи с отсутствием мощного несущего каркаса из корней и стволиков сосенок и вересковых кустарничков, расплылись, и о былом их существовании свидетельствуют лишь округлые пятна *S. fuscum* с сильно угнетенными кустарничками и морошкой. Кроме этого, также высока вероятность закладки пунктов отбора преимущественно на наименее обводненных участках топей или кочках. По сравнению с облесенными и комплексными болотными выделами, в топях значительно более высокая встречаемость переходных торфов (23 %), представленных в основном осоково-сфагновым и осоковым, а также шейхцериевым, пушицево-сфагновым и сфагновым. Это связано с большей приуроченностью топей к периферийным, более мелкозалежным и, соответственно, более трофными участкам. При этом в классе сфагновые сплавины (15 в таблице) представлены и молодые топи, сформировавшиеся на месте облесенных окраев и минеральных островов, в которых еще не успел отложиться слой топяных мхов и верхний слой представлен переходными древесным, древесно-сфагновым и древесно-травяным торфами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландшафты болот Томской области / под ред. Н.С. Евсеевой. – Томск: Изд-во научно-технической литературы, 2012. – 399 с.
2. Meeting the challenge of mapping peatlands with remotely sensed data / O.N. Krankina, D. Pflugmacher, M. Friedl, W.B. Cohen, P. Nelson, A. Vaccini // *Biogeosciences*. – 2008. – V. 5. – P. 1809–1820.
3. Синюткина А.А. Классификация болотных геосистем Томской области // *Вестник Томского государственного университета*. – 2012. – № 357. – С. 192–195.
4. Базанов В.А., Березин А.Е. Кадастр болот районов нефтедобычи Томской области // *Вестник Томского государственного университета*. – 2006. – № 30. – С. 29–33.
5. Comparison and assessment of coarse resolution land cover maps for Northern Eurasia / D. Pflugmacher, O. Krankina, W.B. Cohen, M.A. Friedl, D. Sulla-Menashe, R.E. Kennedy, P. Nelson, T.V. Loboda, T. Kuemmerle, E. Dyukarev, V. Elsakov, V.I. Kharuk // *Remote Sensing of Environment*. – 2011. – V. 115. – P. 3539–3553.
6. Hese S., Schmillius C. High spatial resolution image object classification for terrestrial oil spill contamination mapping in West Siberia // *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformatics*. – 2009. – V. 11. – № 2. – P. 130–141.
7. Яценко И.Г., Алексеева М.Н., Сваровская Л.И. Геоинформационные технологии для анализа нефтяных загрязнений рек // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2014. – Т. 7. – С. 38–43.
8. Potapov P., Turubanova S., Hansen M.C. Regional-scale boreal forest cover and change mapping using Landsat data composites for European Russia // *Remote Sensing of the Environment*. – 2011. – V. 115. – № 2. – P. 548–561.
9. A new land cover map of Northern Eurasia / S. Bartalev, A.S. Belward, D. Erchov, A.S. Isaev // *International Journal of Remote Sensing*. – 2003. – V. 24. – P. 1977–1982.
10. Геоинформационное обеспечение комплексного мониторинга БВБ / В.А. Крутиков, Ю.М. Полищук, Е.С. Козин, О.С. Токарева // *Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития* / под ред. чл.-корр. РАН М.В. Кабанова. – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2002. – С. 73–79.
11. Исследование природно-климатических процессов на территории Большого Васюганского болота / отв. ред. М.В. Кабанов – Новосибирск. Изд-во Сибирского отделения РАН, 2012. – 242 с.
12. Landsat-7 ETM+: 12 Years On-Orbit Reflective-Band Radiometric Performance / B.L. Markham, M.O. Haque, J.A. Barsi, E. Mijicijevic, D.L. Helder, K.J. Thome, D. Aaron, J.S. Czapla-Myers // *Geoscience and Remote Sensing*. – 2012. – V. 50. – № 5. – P. 2056–2062.
13. Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat / M.A. Wulder, J.G. Masek, W.B. Cohen, T.R. Loveland, C.E. Woodcock // *Remote Sensing of Environment*. – 2012. – V. 122. – P. 2–10.

Заключение

Таким образом, проведенный сравнительный анализ выявил достаточно хорошее соответствие полученных при дешифрировании выделов болотной растительности и подстилающих их видов торфа. Завышение процента встречаемости грядовых торфов в комплексных и топяных выделах свидетельствует об их большой мозаичности и неполном соответствии верхнего слоя торфяной залежи современному наземному покрову, что обусловлено несоблюдением одного из требований методики геологической разведки – равномерной закладки пунктов отбора проб строго через 400 м. Следовательно, в таких болотных растительных выделах, имеющих комплексное строение и хорошо выраженную мозаичность, получить более объективные данные по стратиграфии залежи и соответствию верхнего слоя торфа современному растительному покрову возможно лишь при опробовании залежи преобладающего элемента комплексов или комплексными пунктам отбора.

Тематическая обработка космических снимков Landsat в системе ERDAS Imagine и формирование цифровых слоев в ArcGIS позволили наглядно картографически представить пространственную структуру наземного покрова на обширной территории КУ «Бакчар–Икса», а также исследовать соответствие данных видовой принадлежности торфа поверхностного слоя и современной растительности Иксинского болота. Проведенный сравнительный анализ выявил достаточно хорошее соответствие полученных при дешифрировании выделов болотной растительности и подстилающих видов торфа, за исключением верхового фускум торфа.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 13-05-98048-р_суб_а).

14. Landsat Satellite Archives // USGS EarthExplorer. 2012. URL: <http://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 01.12.2014).
15. Дюкарев Е.А., Пологова Н.Н., Головацкая Е.А. Технологии дистанционного зондирования для установления структуры лесоболотных комплексов ключевого участка «Бакчарский» // Журнал Сибирского Федерального университета. Серия «Техника и технологии». – 2008. – Т. 1. – № 4. – С. 334–345.
16. Буркатовский Б.А., Прейс Ю.И. Автоматизированная система оценка запасов торфяного сырья // Чтения памяти Ю.А. Львова: Сборник статей / под ред. Г.Ф. Плеханова. – Томск: Из-во НИИ Биологии и Биофизики при Томском гос. университете, 1995. – С. 79–82.
17. Геологический отчет о предварительной разведке месторождения «Васюганское» (участок № 6 у села Плотниково) Шегарского, Кривошеинского и Бакчарского района Томской области, 1989–1991 г. – Т. 3. – 345 с. – Т. 4. – 300 с. – Т. 5. – 287 с.
18. Алексеева М.Н., Прейс Ю.И. Формирование геоинформационной системы «Растительный покров и торфяная залежь Иксинского болота» // Десятое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Тез. рос. конф. / под. ред. М.В. Кабанова. – Томск, 14–17 октября 2013. – Томск: Изд-во Аграф-Пресс, 2013. – С. 170–171.
19. Прейс Ю.И. Палеокриогенные процессы в торфяных отложениях юга лесной зоны Западной Сибири // Климатология и гляциология Сибири: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Томск, 2012. – С. 226–227.
20. Классификация торфов и торфяных залежей Западной Сибири / Р.Г. Матухин, В.Г. Матухина, И.П. Васильев, Л.С. Михантьева, Г.И. Попова, В.Д. Марков, Л.А. Оспенникова / науч. ред. Н.Н. Уланов. – Новосибирск: СО РАН, 2000. – 90 с.

Поступила 15.12.2014 г.

DC 528.94; 581.5

SPATIAL STRUCTURE OF VEGETATION COVER AND TOP LAYER OF PEAT OF NORTHEASTERN SPURS OF THE GREAT VASYUGAN MIRE BY REMOTE AND GROUND DATA

Maria N. Alekseeva,

Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 4, Akademicheskii avenue, Tomsk, 634021, Russia.
E-mail: amn@ipc.tsc.ru

Yulia I. Preis,

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10/3, Akademicheskii avenue, Tomsk, 634021, Russia. E-mail: preisyui@rambler.ru

Egor A. Dyukarev,

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10/3, Akademicheskii avenue, Tomsk, 634021, Russia. E-mail: egor@imces.ru

The use of satellite images for a comprehensive study of natural objects, including the assessment of the current resource potential of wetlands and speed of peat accumulation is relevant in the study of remote areas of wetlands in Western Siberia. Structure of bog complexes is well reflected in the satellite images due to their indicator properties – texture and color of contours of bog microlandscapes. Satellite images allow evaluating the current state of wetland ecosystems and their violations in connection with the anthropogenic impact.

The main aim of the study is to map the surface cover using satellite images for South-Taiga key area «Bakchar-Iksa»; to carry out geospatial analysis of the structure of vegetation and the top layer of peat on the basis of the map data and ground surveys.

The methods used in the study. Thematic mapping of surface cover of forest-bog complexes at a key area based on satellite images Landsat will identify the areas occupied by different types of bog complexes. A complex of geo-information programs will be used for interpretation of satellite imagery, mapping and assessment calculations.

Results. Thematic processing of satellite images Landsat in the ERDAS Imagine system and compilation of digital layers in ArcGIS show clearly the spatial structure of vegetation over «Bakchar-Iksa» key area and allow investigating the compliance between modern vegetation and supplies types of near-surface peat layer at Iksinskoye bog. The comparative analysis revealed a good correspondence obtained for mapped bog vegetation and underlying peat types, except ombrotrophic fuscum peat type.

Key words:

Bog complexes, satellite imagery, geographic information systems, vegetation cover, peat deposit.

The research was financially supported by RFBR (Grant № 13–05–98048-p_cub_a).

REFERENCES

1. *Landshafty bolot Tomskoy oblasti* [Landscapes of bogs in Tomsk region] Ed. by N.S. Evseeva. Tomsk, Izdatelstvo nauchno-tekhnicheskoy literatury, 2012. 399 p.
2. Krankina O.N., Pflugmacher D., Friedl M., Cohen W.B., Nelson P., Baccini A. Meeting the challenge of mapping peatlands with remotely sensed data. *Biogeosciences*, 2008, vol. 5, pp. 1809–1820.
3. Sinyutkina A.A. Klassifikatsiya bolotnykh geosistem Tomskoy oblasti [Classification of bog systems of Tomsk region]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 357, pp. 192–195.
4. Bazanov V.A., Berezin A.E. Kadastr bolot rayonov nefte dobychi Tomskoy oblasti [Inventory of bogs of oil-producing areas in Tomsk region]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2006, no. 30, pp. 29–33.
5. Pflugmacher D., Krankina O., Cohen W.B., Friedl M.A., Sulla-Menashe D., Kennedy R.E., Nelson P., Loboda T.V., Kuemmerle T., Dyukarev E., Elsakov V., Kharuk V.I. Comparison and assessment of coarse resolution land cover maps for Northern Eurasia. *Remote Sensing of Environment*, 2011, vol. 115, pp. 3539–3553.
6. Hese S., Schmillius C. High spatial resolution image object classification for terrestrial oil spill contamination mapping in West Siberia. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformatics*, 2009, vol. 11, no. 2, pp. 130–141.
7. Yashchenko I.G., Alekseeva M.N., Svarovskaya L.I. Geoinformatsionnye tekhnologii dlya analiza neftyanykh zagryazneniy rek [Geographic information technologies for analyzing oil pollution of rivers]. *Interesko Geo-Sibir*, 2014, vol. 7, pp. 38–43.
8. Potapov P., Turubanova S., Hansen M.C. Regional-scale boreal forest cover and change mapping using Landsat data composites for European Russia. *Remote Sensing of the Environment*, 2011, vol. 115, no. 2, pp. 548–561.
9. Bartalev S., Belward A.S., Erchov D., Isaev A.S. A new land cover map of Northern Eurasia. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, vol. 24, pp. 1977–1982.
10. Krutikov V.A., Polishchuk Yu.M., Kozin E.S., Tokareva O.S. Geoinformatsionnoe obespechenie kompleksnogo monitoringa BVB [Geoinformational support for integrated monitoring of BVB]. *Bolshoe Vasyuganskoe boloto. Sovremennoe sostoyanie i protsessy razvitiya* [Great Vasyugan Mire. Current state and development processes]. Ed. by M.V. Kabanov. Tomsk, Institute of atmospheric optics SO RAN, 2002. pp. 73–79.
11. *Issledovanie prirodno-klimaticheskikh protsessov na territorii Bolshogo Vasyuganskogo bolota* [The study of natural and climatic processes in the Greater Vasyugan Mire]. Ed. by M.V. Kabanov. Novosibirsk, SB RAS Press, 2012. 242 p.
12. Markham B.L., Haque M.O., Barsi J.A., Micijevic E., Helder D.L., Thome K.J., Aaron D., Czaplak-Myers J.S. Landsat-7 ETM+: 12 Years On-Orbit Reflective-Band Radiometric Performance. *Geoscience and Remote Sensing*, 2012, vol. 50, no. 5, pp. 2056–2062.
13. Wulder M.A., Masek J.G., Cohen W.B., Loveland T.R., Woodcock C.E. Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment*, 2012, vol. 122, pp. 2–10.
14. Landsat Satellite Archives. USGS EarthExplorer. 2012. Available at: <http://earthexplorer.usgs.gov> (accessed 01.12.2014).
15. Dyukarev E.A., Pologova N.N., Golovatskaya E.A. Tekhnologii distantsionnogo zondirovaniya dlya ustanovleniya struktury le-sobolotnykh kompleksov klyuchevogo uchastka «Bakcharskiy» [Remote sensing technology to determine the structure of forest bog complexes of key area «Bakcharsky»]. *Zhurnal Sibirskogo Federal'nogo universiteta. Seriya «Tekhnika i tekhnologii»*, 2008, vol. 1, no. 4, pp. 334–345.
16. Burkatovskiy B.A., Preys Yu.I. Avtomatizirovannaya sistema otsenki zapasov torfyanogo syrya [Automated system for assessment of stocks of raw peat]. *Chteniya pamyati Yu.A. Lvova: Sbornik statey* [Proceedings of conference in honor of Yu.A. L'vov]. Ed. by G.F. Plekhanov. Tomsk, Research Institute of Biology and Biophysics of Tomsk University Publ., 1995. pp. 79–82.
17. *Geologicheskii otchet o predvaritel'noy razvedke mestorozhdeniya «Vasyuganskoe» (uchastok № 5 u sela Plotnikovo) Shegarskogo, Krivosheinskogo i Bakcharskogo raiona Tomskoy oblasti, 1989–1991* [Geological report on the preliminary exploration of the deposit «Vasyugan» (plot number 6 near the village Plotnikovo) Shegarsky, Krivosheinskiy and Bakcharsky districts of Tomsk region]. Vol. 3, 345 p.; vol. 4, 300 p.; vol. 5, 287 p.
18. Alekseeva M.N., Preis Yu.I. Formirovanie geoinformatsionnoy sistemy «Rastitelnyy pokrov i torfyanaya zalezh Iksinskogo bolota» [Development of geoinformation system «vegetation cover and peat deposit of Iksa bog»]. *Desyatye sibirskoe soveshchanie po klimato-ekologicheskomu monitoringu. Tezisy rossiyskoy konferentsii* [Tenth Siberian meeting on climatic-ecological monitoring. Book of abstract of Russian conference.]. Ed. by M.V. Kabanov. Tomsk, 14–17 October 2013. Tomsk, Agraf-Press, 2013. pp. 170–171.
19. Preis Yu.I. Paleokriogennye protsessy v torfyanyykh otlozheniyakh yuga lesnoy zony Zapadnoy Sibiri [Paleocryogenic processes in peat sediments of southern forest zone of Western Siberia]. *Materialy Mezhdunarodnoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii «Klimatologiya i glyatsiologiya Sibiri»* [Proc. Int. Scient. and Pract. Conf. Climatology and glaciology in Siberia]. Tomsk, 2012. pp. 226–227.
20. Matukhin R.G., Matukhina V.G., Vasilev I.P., Mikhanteva L.S., Popova G.I., Markov V.D., Ospennikova L.A. *Klassifikatsiya torfov i torfyanyykh zalezhey Zapadnoy Sibiri* [Classification of peats and peat deposits of Western Siberia]. Ed. by N.N. Ulanov. Novosibirsk, SB RAN Publ., 2000. 90 p.

Received: 15 December 2014.