

## МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 911.52

DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-2(145-153)

Е. И. КУЗЬМЕНКО, А. А. ФРОЛОВ, А. В. СИЛАЕВ

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, kuzmenko48@mail.ru, f-v1984@mail.ru, anton\_s@bk.ru

### ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МОЗАИКИ ХАНСЕНА

*Представлены методика и результаты изучения ландшафтной структуры северо-запада Западной Сибири на основе данных мозаики Хансена, состоящей из элементов, покрывающих всю территорию Земли. При исследовании данной территории использован синтез классических методов системного тематического картографирования, изложенных в учении о геосистемах В. Б. Сочавы, и автоматизированного дешифрирования данных дистанционного зондирования и составления карт с использованием ГИС-технологий. Показан способ геоинформационного картографирования ландшафтной структуры с использованием программ MultiSpec и QuantumGIS с целью составления оперативных растровых ландшафтных карт. При составлении карты и легенды использовался принцип геомного системно-иерархического представления территории как сложной многоуровневой структуры «снизу», от геосистем топологического уровня (групп, классов ландшафтных фаций) до геосистем регионального уровня (геомов, групп, классов геомов). Для составления оперативной растровой ландшафтной карты северо-запада Западной Сибири проведено многоуровневое автоматизированное дешифрирование мозаики Хансена и сопоставление ареалов (кластеров) на снимках с различными яркостными характеристиками ландшафтной структуры ключевых участков и стационарных физико-географических профилей. Особенность этой разработки также представляет собой использование динамической классификации геосистем, основанной на изучении их переменных состояний. Такой подход позволяет контролировать изменения ландшафтной структуры и ее площадей, интенсивность антропогенных воздействий на лесные и болотные ландшафты, определять пределы допустимых нагрузок на геосистемы территории с высокой техногенной нагрузкой нефтегазового комплекса, какой является северо-запад Западной Сибири. Благодаря автоматизированной обработке данных на основе контролируемой классификации территориальных объектов возможно устранить неточности, возникающие при визуальном дешифрировании изображения. Растровые ландшафтные карты могут использоваться как для дальнейшего создания векторных карт, так и в качестве оперативной информационной основы для целей рационального природопользования и охраны окружающей среды.*

Ключевые слова: геосистема, геом, автоматическое дешифрирование, контролируемая классификация, ГИС-технологии, ландшафтная структура.

E. I. KUZ'MENKO, A. A. FROLOV, A. V. SILAEV

V. B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Irkutsk, 664033, Russia, kuzmenko48@mail.ru, f-v1984@mail.ru, anton\_s@bk.ru

### GEOINFORMATIONAL MAPPING OF LANDSCAPES IN THE NORTHWESTERN PART OF WESTERN SIBERIA USING THE HANSEN MOSAIC DATASET

*Presented are the technique and results of studying the landscape structure of the north-west of Western Siberia on the basis of the Hansen mosaic consisting of elements covering the entire territory of the Earth. To study of this area used a synthesis of classical methods of thematic system mapping as described in the doctrine of geosystems of V. B. Sochava, and automated interpretation of remote sensing data and mapping using GIS technologies. The method of geoinformational mapping of the landscape structure with the use of MultiSpec and Quantum GIS software programs for the purpose of drawing up real-time raster landscape maps is shown. In drawing up the map and the legend, the principle of geomorphic system-hierarchical representation*

*of the territory as a complex multi-level "bottom-up" structure from topological-level geosystems (groups and classes of landscape facies) to regional-level geosystems (geoms, groups and classes geoms) was used. Compilation of operational raster landscape maps of the north-west of Western Siberia involved multilevel automated interpretation of the Hansen mosaic and mapping of areas (clusters) on images with different brightness characteristics of the landscape structure of key areas and stationary physical and geographical profiles. A characteristic of this approach is also the use of a dynamic classification of geosystems based on the study of their variable states. Such an approach permits a monitoring of changes in landscape structure and its areas and the intensity of anthropogenic impacts on forest and marsh landscapes, and determination of permissible loads on geosystems in areas with high technogenic load of the oil and gas complex represented by the north-west of Siberia. An automated processing of data based on a supervised classification of territorial objects allows for the elimination of inaccuracies arising in visual image interpretation. Raster landscape maps can be used both for a further creation of vector maps and as an real-time information base for purposes of environmental management and protection.*

Keywords: *geosystem, geom, automated interpretation, supervised classification, GIS technologies, landscape structure.*

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Важная задача исследований — синтез классических методов системного тематического картографирования, в том числе изложенных в учении о геосистемах, а также автоматизированного дешифрирования данных дистанционного зондирования и составления карт с использованием ГИС-технологий. Это позволит получить представление о типологической структуре, динамике ландшафтных фаций и региональных изменениях в таежных ландшафтах Западной Сибири для создания основы зонирования, районирования, решения природоохранных, оценочно-ресурсных, ландшафтно-планировочных проблем.

Постоянно растет необходимость изучения переменных состояний геосистем в окружающей среде, вызванных естественными и антропогенными причинами, нередко с негативными последствиями для ландшафтов. В настоящее время для исследования широко используются процедуры геоинформационного картографирования, что связано с развитием дистанционных методов изучения состояния территории и с широким применением ГИС-технологий для обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [1–8]. Эти материалы дополняются информацией по инвентаризации земель, картографическими и литературными данными, а также результатами комплексных полевых исследований ландшафтов. Накопленная информация синтезируется в ходе камеральной обработки с использованием ГИС [7].

При решении теоретико-методологических и практических задач нередко возникает необходимость использования оперативных карт как одного из основных направлений геоинформационного картографирования [9]. Особую важность при этом представляет создание оперативных карт на основе космических снимков высокого и среднего пространственного разрешения, например, с использованием данных серии спутников Landsat [4, 8]. По мнению И. С. Ермошкина [10], оперативное картографирование — самое эффективное средство визуализации результатов мониторинга, отличающееся достаточно высокой скоростью ввода и обработки информации.

С использованием спутниковых снимков Landsat группой ученых построена мозаика Хансена [11], покрывающая всю территорию Земли, на базе которой создана электронная карта динамики лесного покрова Global Forest Change 2000–2013 [12]. Эти данные характеризуют геосистемы как топологического, так и регионального уровня и покрывают обширную территорию. Оперативное отображение ландшафтной структуры и ее изменений на основе данных мозаики Хансена связано с автоматизированным составлением карт, включающих динамическую классификацию геосистем топологического уровня. При изучении геосистем регионального уровня осуществляется обобщение топогеосистем в геомы, группы, классы геомов с использованием методики системно-иерархического представления территории как сложной многоуровневой структуры [13, 14]. Это позволяет отразить не только структуру природных и природно-антропогенных геосистем на разных иерархических уровнях, но и формирует базу для изучения явлений и процессов, происходящих в биосфере и связанных со сменами растительности, сезонными биоритмами, продуктивностью и т. д.

Актуальная задача — это построение классифицированных изображений (карт классификации) на основе данных мозаики Хансена и их сопоставление с натурными ландшафтными данными. Такие изображения могут служить базой для составления как традиционных векторных, так и электронных оперативных растровых ландшафтных карт. Однако опыт создания ландшафтных карт с использованием методик регионального (на уровне геома) обобщения в настоящее время, особенно с применением автоматизированных подходов дешифрирования космических снимков, незначителен. За рубежом ГИС-технологии чаще используются при составлении карт лесной растительности с классификаци-

онными обобщениями дифференциации лесного покрова на уровне типов растительности: хвойные, лиственные, широколиственные леса и т. д. [12, 15–17].

Недостатком карты Global Forest Change 2000–2013, построенной с использованием данных мозаики Хансена, является отсутствие структурно-классификационной дифференциации лесных территорий. При создании карты учитывались только лесные и нелесные площади. Следовательно, статистика динамики площадей не отвечает на важный вопрос: каких лесов (например, сосновых, еловых или березовых) стало больше или меньше в картографируемом районе, какова их ресурсная ценность относительно занимаемой площади (средняя стволовая биомасса разных типов леса значительно варьирует), на какие лесные комплексы акцентировать внимание при лесовосстановлении? С этой точки зрения особенно актуальна оценка ландшафтной и лесотипологической пространственно-временной организации лесных территорий на основе классификаций структурно-динамического ландшафтоведения на локальном и региональном уровнях.

Накопленный опыт использования данных мозаики Хансена показан на примере создания оперативных растровых ландшафтных карт, отражающих природные и природно-антропогенные геосистемы как топологического, так и регионального уровней, на территорию северо-запада Западно-Сибирской равнины.

### ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для картирования ландшафтов выбрана территория Приобья в рамках элемента мозаики Хансена на 70 N 060 E (60–70 с. ш., 60–70° в. д.). Данная сцена охватывает территорию Западной Сибири в рамках средней, северной тайги и лесотундры от Среднего Приобья до впадения р. Оби в Обскую губу, куда входят следующие регионы: Нижнее и Кондо-Сосьвинское Приобье, Белогорский материк, Казым-Обское междуречье, Кондинская низменность, Нижнее Прииртышье, Приполярный и Полярный Урал.

Элемент мозаики Хансена представляет собой пространственную совокупность снимков Landsat 5 TM, 7 ETM+ с использованием четырех спектральных каналов: 3 — красный (RED) (0,63–0,69 мкм), 4 — ближний ИК (NIR) (0,78–0,90 мкм), 5 — ближний ИК (SWIR) (1,55–1,75 мкм), 7 — ближний ИК (SWIR) (2,09–2,35 мкм). Данные каналы хорошо отражают состояние растительности и антропогенно-нарушенных участков ландшафтов. Изображение покрывает территорию размером 10° × 10° и имеет пространственное разрешение 30 м на один пиксель [11].

При картографировании ландшафтов использовалась разнокачественная информация: космическая (мозаика Хансена); картографическая (тематические, топографические карты различных масштабов, цифровая топографическая основа) [18]; материалы полевых исследований; лесоустроительные материалы.

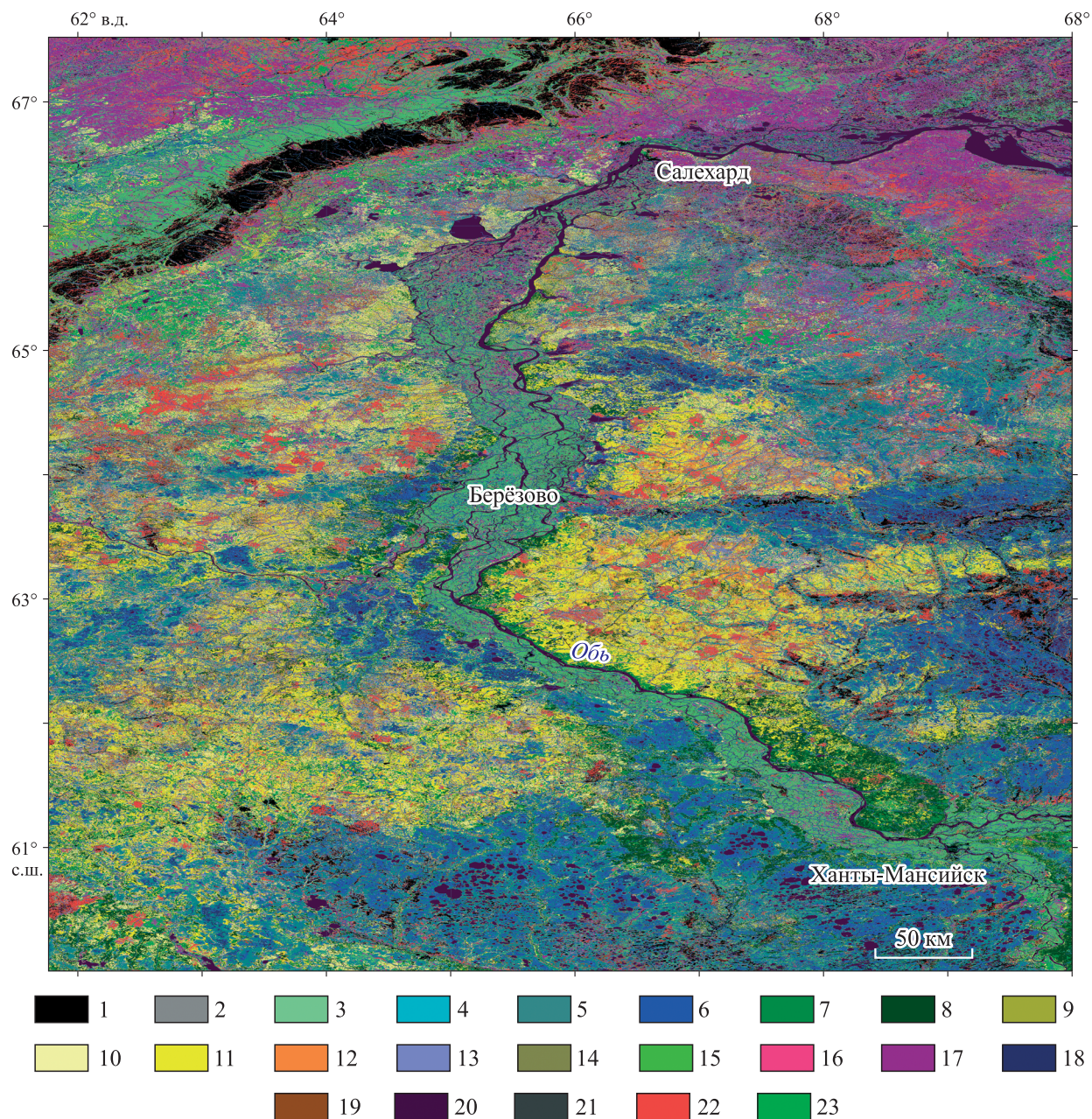
Для анализа данных мозаики Хансена применяются программы MultiSpec [19] и Quantum GIS [20], которые обеспечивают автоматизированную обработку данных и составление электронных карт.

С целью предварительной оценки ландшафтной структуры выполнялось автоматическое дешифрирование с помощью неконтролируемой классификации географических объектов методом ISODATA (Iterative Self-Organising Data Analysis Technique — интеративный самоорганизующийся способ анализа данных) [19]. Основным параметр, задаваемый перед вычислениями, — число классов и их размер. Предварительный анализ выявляет достаточно хорошее разделение болотных комплексов, но лесные ландшафты показаны очень обобщенно, т. е. дифференцируются на высоком иерархическом уровне.

Дальнейшая обработка изображения элемента мозаики проводилась методом спектрально-пространственной классификации с помощью алгоритма ECHO (Extraction and Classification of Homogeneous Objects — распознавание и классификация однородных объектов) и заключалась в группировке пикселей с использованием обучающих выборок [19]. Для последних используются участки описания биогеоценозов в полевых исследованиях, которые отнесены к разным геосистемам в зависимости от характеристик местоположения. Данный способ основан на использовании яркостных признаков территориальных объектов, полученных на снимке, принадлежность которых к определенной ландшафтной единице на местности известна, что обеспечивает эффективную многомерную классификацию снимка. Этот подход комбинирует не только метод линейного дискриминантного анализа Фишера и максимального правдоподобия, но и учитывает пространственную однородность территориальных объектов, что очень важно при создании карт с большим количеством видов геосистем, повторяющихся в картографируемом пространстве [4].

Для оценки результатов компьютерной классификации и разработки легенды карты выбраны ключевые участки на территории исследования. С целью выбора яркостных характеристик и оценки результатов классификации использовались следующие данные: ландшафтная и лесотаксационная характеристика полигонов Тугрского и Няганьского стационаров Института географии Сибири и Дальнего Востока СО АН СССР; ландшафтная карта урочищ окрестностей Тугрского стационара [21]; данные по ключевым участкам в районе пос. Березово, карта растительности Западно-Сибирской равнины [18]; планы лесонасаждений; полевые и фондовые материалы таксации Октябрьского, Советского, Березовского и Самзасского лесхозов.

Поле элемента мозаики Хансена охватывает значительную территорию и несколько природных зон ( $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ ), поэтому для получения наиболее объективных результатов дешифрирования (класси-



Карта ландшафтов северо-запада Западно-Сибирской равнины.

1–23 — см. легенду.

фикации) необходимо большое количество разнокачественных данных (материалы полевых исследований, планы лесонасаждений, картографические и литературные данные) для формирования обучающих выборок, характеризующих все представительные участки территории.

Детальная обработка элемента мозаики Хансена проведена в программе MultiSpec с выделением классификационных единиц по классам типов леса, что характеризует геомеры как на топологическом, так и на региональном уровне за счет генерализации. При наличии разработанной «сквозной» ландшафтной классификации, где учтена покомпонентная структура топогеосистем на часть экспериментального региона, возможно картографирование его другой части относительно аналогичной территории «снизу» от групп и классов фаций до геомов [22]. Именно такой подход «снизу» использовался авторами при составлении легенды и карты (см. рисунок, см. легенду). В процессе обработки изображения выделялись группы и классы фаций, объединяющиеся по схожести растительных ярусов, условий местоположения и с учетом преобладающего природного процесса, например, по характеру увлажнения (дренированные, слабодренированные, болотные и т. д.), а также макрорегиональных ландшафтно-географических закономерностей (подзональных, провинциальных) [4].

**Легенда к фрагменту карты ландшафтов  
северо-запада Западно-Сибирской равнины м-ба 1:50 000**

**Горно-тундровый арктический и субарктический класс геомов**

**Североуральская горно-тундровая группа геомов**

*Гольцовая тундрово-лишайниковая подгруппа геомов*

1. Скалы, останцы, песчаные пустыни, каменистые россыпи холодного гольцового пояса Урала.
2. Лишайниковые и кустарничково-лишайниковые тундры в сочетании с каменистыми россыпями горно-тундрового пояса.

**Собственно флювиальный Обь-Иртышский класс геомов**

**Долинные лугово-кустарничково-лесоболотные группы геомов**

*Долинные лугово-кустарничково-лесоболотные и лугово-болотные сферы  
натечного увлажнения подгруппы геомов*

3. Вейниково-канареечниковые и осоково-вейниково-канареечниковые, осоково-вейниковые, вейниково-осоковые, разнотравно-осоковые пойменные луга.

**Олиготрофно-болотный покровно-водораздельный класс геомов**

**Автоморфные междуречные лесо-болотные группы геомов**

*Вытуклые олиготрофные болота автономного развития (подгруппы геомов)*

4. Водораздельные евтрофные, мезотрофно-евтрофные, евтрофно-мезотрофные (шейхцериевые, осоковые, пушицевые) безлесные болота.
5. Сосновые кустарничково-сфагновые ямы плакорных междуречий и водораздельных понижений, грядово-мочажинные болота, олиготрофные осоково-сфагновые болота и лишайниково-сфагновые, кустарничково-лишайниково-сфагновые слабо облесенные болота севера.

**Аркто-бореальный тундровый редколесно-болотный класс геомов**

**Субарктические мерзлотные группы геомов**

*Флювиально-болотно-мерзлотные плоскобугристые редколесно-болотные  
подгруппы геомов*

6. Травяно-моховые болота (аапа): осоково-сфагновые, осоково-пушицево-сфагновые, осоково-гипновые среди плоскобугристых болот.

**Урало-Сибирский таежный предгорно-равнинный класс геомов**

**Среднетаежные темнохвойные дренированных материковых равнин  
и фиксированных водоразделов группы геомов**

7. Елово-березовые, кедрово-елово-березовые травяно-зеленомошные леса, восстанавливающиеся на местоположениях нарушенных еловых и кедровых среднетаежных лесов дренированных водоразделов и смешанные сосново-березовые, березово-сосновые с примесью темнохвойных пород травяно-зеленомошные водораздельно-склоновые леса (антропогенно-нарушенные).
8. Темнохвойные березово-кедрово-еловые, кедрово-еловые, кедрово-еловые с сосной мелкотравно-, травяно-зеленомошные леса дренированных материков, елово-кедровые, пихтово-кедрово-еловые, елово-кедровые с лиственницей травяно-, бруснично-зеленомошные леса плакорных водоразделов и склонов.
9. Темнохвойно-сосновые, сосновые с темнохвоем кустарничково-зеленомошные, багульниково-зеленомошные водораздельно-склоновые леса дренированных местоположений на супесчаных почвах.

**Среднетаежные сосновые боровые литоморфных песчаных террасированных равнин группы геомов**

10. Молодые и средневозрастные сосновые леса, восстанавливающиеся на местоположениях водораздельно-склоновых сосновых лишайниковых и кустарничково-лишайниковых среднетаежных лесов (антропогенно-нарушенные).
11. Сосновые приспевающие, спелые и перестойные лишайниковые, багульниково-брусничные, кустарничково-лишайниковые зеленомошно-лишайниковые водораздельно-склоновые боровые леса.

**СЕВЕРОАЗИАТСКИЙ МЕРЗЛОТНЫЙ ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ КЛАСС ГЕОМОВ**

**Светлохвойные северотаежные и среднетаежные гидролитоморфные равнинные (зандровые и аллювиальные) группы геомов**

*Светлохвойные дренированных песчаных равнин подгруппы геомов*

12. Лиственнично-сосновые, сосново-лиственничные, кедрово-сосново-лиственничные, лиственничные с сосной лишайниково-зеленомошные, зеленомошно-лишайниковые, кустарничково-лишайниковые северотаежные леса дренированных грядово-увалистых, плоско-увалистых и возвышенных песчаных равнин.

**Светлохвойно-темнохвойная водораздельных и придолинных понижений группа геомов**

*Лесоболотная олиготрофного режима подгруппа геомов*

13. Березово-сосновые, елово-кедровые, сосново-кедровые, кедрово-еловые, березово-сосново-кедровые, лиственнично-сосновые, долгомошно-сфагновые и кустарничково-зеленомошно-сфагновые редколесья приболотных и придолинных местоположений.

**Печорско-Зауральские темнохвойные предгорно-равнинные группы геомов**

*Среднетаежные темнохвойные высоких предгорных денудационных равнин (подгруппы геомов)*

14. Сосново-елово-кедровые, сосново-кедровые, кедрово-сосновые зеленомошно-лишайниковые, кустарничково-зеленомошные, кустарничково-бруснично-зеленомошные и бруснично-зеленомошные леса дренированных возвышенных водоразделов.

**Собственно флювиальный нижеобский класс геомов**

**Лугово-болотно-соровые нижеобские группы геомов**

*Лугово-болотные сферы натежного увлажнения (подгруппа геомов)*

15. Осоковые влажные пойменные луга и низинные осоковые, гипново-осоковые, осоково-гипновые болота нижней Оби, включая минеральные осоковые болота.

**СЕВЕРО-СИБИРСКИЙ РАВНИННО-КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ ЗОНАЛЬНО-КРИОСФЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КЛАСС ГЕОМОВ**

**Субарктическая мерзлотная тундрово-светлохвойно-редколесная группа геомов**

*Полуйская лесо-болотно-тундровая подгруппа геомов*

16. Плоские равнины с елово-лиственничными, лиственничными кустарничково-зеленомошно-лишайниковыми, кустарничково-мохово-лишайниковыми и лишайниково-сфагновыми редколесьями в сочетании с плоскобугристыми болотами и ерниковыми тундрами.

**АРКТОБОРЕАЛЬНЫЙ ТУНДРОВЫЙ РЕДКОЛЕСНО-БОЛОТНЫЙ КЛАСС ГЕОМОВ**

**Субарктические мерзлотные группы геомов**

*Флювиально-болотно-мерзлотные плоскобугристые редколесно-болотные подгруппы геомов*

17. Плоские слабодренированные равнины с мерзлыми плоскобугристыми болотами ерnikово-сфагново-лишайниковыми и лишайниково-кустарничковыми и крупнобугристыми мочажинно-озерковыми болотами ерnikово-багульниково-лишайниковыми на буграх и осоково-пушицево-сфагновыми в мочажинах.

**ОЗЕРНО-ФЛЮВИАЛЬНЫЙ ВНУТРИАЗИАТСКИЙ КЛАСС ГЕОМОВ**

**Аллювиально-равнинные болотно-озерные группы геомов (зоны избыточного увлажнения)**

*Озерно-криосферные лесоболотные подгруппы геомов*

18. Озерково-грядово-мочажинные, грядово-озерково-мочажинные, мочажинно-грядово-озерковые болота.

**СЕВЕРО-СИБИРСКИЙ ТУНДРОВО-КУСТАРНИЧКОВО-РЕДКОЛЕСНЫЙ КЛАСС ГЕОМОВ**

**Северотаежная террасово-равнинная светлохвойно-темнохвойно-редколесная группа геомов**

*Казымско-Полуйская северотаежная террасово-равнинная темнохвойно-редколесная подгруппа геомов*

19. Пологоувалистые и плакорные равнины с лиственнично-еловыми, березово-лиственнично-еловыми зеленомошно-лишайниковыми и кустарничково-моховыми редкостойными лесами в сочетании с лиственнично-елово-кедровыми, елово-кедровыми кустарничково-моховыми и кустарничково-сфагновыми редколесьями.

*Неландшафтные территориальные объекты*

20. Реки, озера, протоки, соры, ручьи.
21. Антропогенные объекты (города, поселки, площадки кустов буровых, трассы газонефтепроводов, железные и автомобильные дороги).
22. Свежие гари, вырубki.
23. Зарастающие вырубki, гари, редины, олуговелые вырубki и гари, слабо заросшие участки вокруг соров, пойм, проток.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Обработка элемента мозаики Хансена методом ЕСНО в программе MultiSpec позволила выделить 23 класса территориальных объектов: водные объекты, селитебные территории и промышленную зону, свежие и зарастающие вырубki и гари, а также 19 видов геосистем регионального (геомы, группы и классы геомов) уровня и их антропогенных вариантов (см. рисунок, см. легенду).

Анализ ландшафтной структуры территории исследования показал следующее.

1. Среднетаежная бореальная темнохвойная тайга возвышенных дренированных материков и плакорных водоразделов Кондо-Сосьвинского Приобья представлена ядром кедрово-еловых, елово-кедровых, лиственнично-елово-кедровых, березово-кедрово-еловых мелкотравно-, кустарничково-зеленомошных лесов и фрагментами небольших площадей тайги фиксированных дренированных водоразделов среди олиготрофных болот Кондо-Сосьвинской возвышенности и возвышенностей Северо-Сосьвинского свода. В районах распространения песчаных террасированных равнин и зандровых аллювиальных равнин формируется светлохвойная тайга с ядром сосновых, сосновых с лиственницей лишайниковых, кустарничково-лишайниковых, бруснично-лишайниковых, кустарничково-зеленомошных, бруснично-зеленомошных, багульниково-бруснично-зеленомошных лесов. При этом березовые и темнохвойно-березовые леса дренированных водоразделов представляют собой восстановительные стадии кедрово-еловых и елово-кедровых лесов, а смешанные сосново-березовые принадлежат к восстановительным стадиям сосновых лесов и выделяются отдельными категориями.

2. По зонально-региональным позициям выделяется северная светлохвойная тайга песчаных пологоувалистых, грядово-увалистых зандровых аллювиальных равнин с ядром лиственнично-сосновых, сосново-лиственничных, сосновых с лиственницей, лиственничных с сосной зеленомошно-лишайниково-кустарничковых, кустарничково-лишайниковых лесов. Северотаежные светлохвойные леса встречаются преимущественно в северной части Казымского плато и на Северо-Сосьвинской возвышенности и далее фрагментами тайги среди болот.

3. Северотаежные и переходные в лесотундровые леса представлены редкостойными лиственнично-еловыми, березово-лиственнично-еловыми, еловыми с лиственницей лишайниково-зеленомошными, зеленомошно-лишайниковыми и кустарничково-моховыми лесами, расположенными на плакорных суглинистых равнинах в сочетании с грядово-мочажинными и плоскобугристыми болотами, а также ерниковыми тундрами.

4. Для гидроморфной западносибирской тайги характерно большое типологическое разнообразие: от средней до северной тайги и южной лесотундры. Это березово-сосновые, елово-кедровые, сосново-кедровые, кедрово-еловые, березово-сосново-кедровые, лиственнично-сосновые моховые, долгомошно-сфагновые, кустарничково-зеленомошно-сфагновые, кустарничково-сфагновые заболоченные леса и редколесья низких террас, приболотных и придолинных местоположений.

5. По зональным позициям разделяются олиготрофные покровные сфагновые болота: сосновые кустарничково-сфагновые ямы, лишайниково-сфагновые олиготрофные болота, озерково-грядово-мочажинные болота и северотаежные и лесотундровые крупнобугристые и плоскобугристые кустарничково-мохово-лишайниковые с фрагментами травяно-сфагновых болот и елово-лиственничных редколесий, травяно-моховые грядово-мочажинные болота (аапа): осоково-сфагновые, осоково-пушицево-сфагновые, осоково-гипновые.

6. Для нижнего течения Оби характерны фрагменты тундровых ландшафтов, представленных ерниковыми, кустарничково-лишайниково-моховыми, ивняково-ерниковыми и ивняково-травяно-моховыми сообществами в сочетании с плоскобугристыми болотами и светлохвойными елово-лиственничными, лиственничными кустарничково-мохово-лишайниковыми редколесьями.

7. Приполярный и Полярный Урал характеризуется подгорными, лиственничными, елово-лиственничными, лиственнично-еловыми, лиственнично-елово-кедровыми кустарничково-лишайниково-моховыми, кустарничково-сфагновыми редколесьями («криволесьями»), горными лишайниковыми

и кустарничково-лишайниковыми тундрами, а в самой возвышенной гольцовой части — песчаными пустынями, каменистыми россыпями, скалами, останцами без растительности или с фрагментами лишайниковой растительности.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанное на основе данных мозаики Хансена классифицированное растровое изображение (схема классификации) позволяет отразить пространственную организацию геосистем обширной территории как на топологическом (классы ландшафтных фаций, их антропогенные модификации), так и на региональном уровне (геомы, группы и классы геомов). Схема классификации может использоваться в разных направлениях, в том числе как основа для создания векторных ландшафтных, геоботанических и других карт. Растровые схемы классификации могут выступать в качестве оперативной информационной базы для контроля за изменениями состояния природной среды, интенсивностью антропогенных воздействий на ландшафты, для планирования пределов допустимых нагрузок и структуры природоохранных мероприятий, особенно на территории интенсивного хозяйственного освоения с высокой техногенной нагрузкой, какой и является Сосьвинское Приобье. Использование подхода автоматизированной классификации с обучением позволяет устранить неточности, возникающие при визуальном дешифрировании данных мозаики Хансена.

Наибольшая степень антропогенной нарушенности на территории исследования приходится на долю сосновых боровых лесов возвышенных водоразделов и водораздельно-склоновых сосново-темнохвойных лесов. Значительная часть этих лесов находится в стадии восстановления после различных антропогенных воздействий (пожары, рубки). На территории исследования интенсивному антропогенному воздействию подвержены также болотные и лесоболотные геосистемы, что связано с освоением новых месторождений углеводородов и развитием нефтегазового комплекса в регионе.

Таким образом, создание электронных растровых карт способствует уточнению и актуализации легенд традиционных ландшафтных карт за счет оперативной оценки современной ландшафтной структуры и ее трансформации. Это необходимо в связи с тем, что под воздействием антропогенных нарушений за короткий период происходят значительные изменения в структуре и площадях природных комплексов, затрудняющие планирование оптимального природопользования и размещение промышленных объектов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буренина Т. А., Назимова Д. И. Географические исследования лесов Сибири // География и природ. ресурсы. — 2007. — № 3. — С. 165–172.
2. Корниенко С. Г. Оценка трансформаций природных ландшафтов Тазовского полуострова по данным космической съемки // География и природ. ресурсы. — 2011. — № 1. — С. 67–73.
3. Кузнецова Т. И., Батуев А. Р., Бардаш А. В., Абалаков А. Д., Седых С. А. Геоэкологическое картографирование юга Восточной Сибири // География и природ. ресурсы. — 2008. — № 2. — С. 144–152.
4. Кузьменко Е. И., Фролов А. А., Силаев А. В. Картирование лесных ландшафтов северо-запада Западной Сибири с использованием ГИС // География и природ. ресурсы. — 2015. — № 4. — С. 151–161.
5. Остроухов А. В. Оценка динамики антропогенной трансформации темнохвойных лесов северного Сихотэ-Алиня на основе дистанционного зондирования // География и природ. ресурсы. — 2014. — № 1. — С. 155–160.
6. Павлейчик В. М. Условия и факторы высотной дифференциации ландшафтов в среднегорьях Южного Урала // География и природ. ресурсы. — 2014. — № 1. — С. 75–81.
7. Фролов А. А. Геоинформационное картографирование изменчивости ландшафтов (на примере Южного Прибайкалья) // География и природ. ресурсы. — 2015. — № 1. — С. 156–166.
8. Фролов А. А. Картографирование ландшафтов Южного Прибайкалья на основе спутниковых данных Landsat // Геодезия и картография. — 2016. — № 10. — С. 22–29.
9. Берлянт А. М. Геоинформационное картографирование. — М.: Астрей, 1997. — 64 с.
10. Ермошкин И. С. Современные средства автоматизированного дешифрирования космических снимков и их использование в процессе создания и обновления карт [Электронный ресурс]. — [https://www.esricis.ru/news/agcreview/detail.php?ID=1132&SECTION\\_ID=33](https://www.esricis.ru/news/agcreview/detail.php?ID=1132&SECTION_ID=33) (дата обращения 07.07.2017).
11. Мозаика Хансена [Электронный ресурс]. — <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest/download.html> (дата обращения 07.07.2017).
12. Hansen M. C., Potapov P. V., Moore R., Hancher M., Turubanova S. A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S. V., Goetz S. J., Loveland T. R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C. O., Townshend J. R. G. High-Resolu-



- tion Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change [Электронный ресурс]. — <http://science.sciencemag.org/content/342/6160/850> (дата обращения 07.07.2017).
13. **Сочава В. Б.** Введение в учение о геосистемах. — Новосибирск: Наука, 1978. — 318 с.
  14. **Михеев В. С.** Ландшафтно-географическое обеспечение комплексных проблем Сибири. — Новосибирск: Наука, 1987. — 206 с.
  15. **Takeshi I., Hisashi S.** Representing Subgrid-Scale Edaphic Heterogeneity in a Large-Scale Ecosystem Model: A Case Study in the Circumpolar Boreal Regions [Электронный ресурс]. — <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2008GL035701/full> (дата обращения 10.07.2017).
  16. **Iizuka K., Tateishi R.** Estimation of CO<sub>2</sub> Sequestration by the Forests in Japan by Discriminating Precise Tree Age Category using Remote Sensing Techniques [Электронный ресурс]. — [www.mdpi.com/2072-4292/7/11/15082/pdf](http://www.mdpi.com/2072-4292/7/11/15082/pdf) (дата обращения 10.07.2017).
  17. **Thiel C., Schmullius C.** The potential of ALOS PALSAR backscatter and InSAR coherence for growing stock volume estimation in Central Siberia // Remote Sensing of Environment. — 2016. — 173. — P. 258–273.
  18. **Растительность** Западно-Сибирской равнины. Карта М-6 1:1500 000 / Ред. И. С. Ильин. — М.: ГУГК, 1976. — 4 л.
  19. **Landgrebe D., Biehl L.** An Introduction and Reference for MultiSpec Version 9.2011. — West Lafayette, Indiana USA: Purdue University, 2011. — 189 p.
  20. **Quantum GIS.** Версия 1.7.0. Руководство пользователя. — 2012 [Электронный ресурс]. — <http://www.qgis.org/en/documentation/manuals.html> (дата обращения 05.12.2014).
  21. **Природные режимы** средней тайги Западной Сибири / Ред. В. С. Михеев. — Новосибирск: Наука, 1977. — 301 с.
  22. **Кузьменко Е. И., Михеев В. С.** Эколого-географические и картографические основы комплексного изучения лесов Сибири. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2008. — 205 с.

*Поступила в редакцию 22 января 2018 г.*