

Е.И. КУЗЬМЕНКО*, Ш.Ш. МАКСЮТОВ**, А.А. ФРОЛОВ*

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

**Национальный Институт по изучению окружающей среды, 300-4352, Цукуба-Сити, Янагава, 16-2, Япония, maksyutov@yahoo.com

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТАЕЖНЫХ ГЕОСИСТЕМ
ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ЮЖНОГО ЗАУРАЛЬЯ**

Представлены результаты изучения пространственно-временной организации южнотаежных, подтаежных и лесостепных геосистем регионов юга Западной Сибири, включающих Прииртышье, Притоболье, Приишимье, Тобол-Тавдинское междуречье, и Южного Урала. Проведено картографирование ландшафтной структуры территории исследования, основанное на принципах структурно-динамического ландшафтоведения и генетической классификации типов леса с использованием современных ГИС-технологий, включающих автоматизированное дешифрирование данных дистанционного зондирования Земли. Такой подход позволяет использовать лесотаксационные данные в ландшафтных исследованиях. Схема геоинформационного картографирования ландшафтов, реализованная на основе данных мозаики Хансена, позволила построить цифровые растровые ландшафтные карты территории исследования, отражающие пространственно-временную организацию геосистем и зональное распределение лесов в регионе. Автоматизированная обработка данных дистанционного зондирования дает возможность определить ландшафтную структуру, рассчитать площади различных антропогенно нарушенных территорий (вырубок, гарей) и соотношение различных типов геосистем.

Ключевые слова: лесные геосистемы, генетический тип леса, структурно-динамическое ландшафтоведение, антропогенное воздействие, автоматизированное дешифрирование космических снимков, геоинформационное картографирование.

E.I. KUZMENKO*, Sh.Sh. MAKSYUTOV**, A.A. FROLOV*

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

**National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, Japan, maksyutov@yahoo.com

**SPATIO-TEMPORAL ORGANIZATION OF TAIGA GEOSYSTEMS
IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA AND SOUTHERN TRANS-URAL REGION**

We present the results from studying the spatio-temporal organization of southern and subtaiga and forest-steppe geosystems of regions of the South of Western Siberia, including the Irtysh, Tobol, Ishim and Tobol-Tavda interfluvial area, and the southern Ural, reflecting spatio-temporal variability of landscape structure in these regions, conducted its mapping, the estimation of the dynamic state variables of geosystems with the purpose of solving practical, forward-looking, environmental protection and expert tasks. The landscape structure of the study area was mapped based on the principles of structurally dynamic landscape science and the genetic classification of forest types using modern GIS technologies, including automated interpretation of Earth remote sensing data (ERS). This approach allows us to use forest taxonomic data in landscape studies. The geographic information landscape mapping scheme, implemented on the basis of Hansen mosaic data, made it possible to construct digital raster landscape maps of the study area, reflecting the spatio-temporal organization of geosystems and the zonal distribution of forests in the region. Automated processing of ERS data enabled determination of the landscape structure as well as calculating the areas of different anthropogenically disturbed territories (felling areas and burning) and correlation of various types of geosystems.

Keywords: forest geosystems, forest genetic type, structural and dynamic landscape science, anthropogenic impact, automated interpretation of satellite images, geographic information mapping.

ВВЕДЕНИЕ

Ландшафтное изучение и картографирование таежных регионов Сибири базируется на системных принципах, сформулированных в учении о геосистемах В.Б. Сочавой [1], и географо-генетических лесоводственных подходах, разработанных Б.П. Колесниковым [2, 3].

Для решения теоретико-методологических и практических задач изучения ландшафтов нередко возникает необходимость использования оперативных карт как одного из направлений геоинформационного картографирования, которое в настоящее время становится одним из основных в развитии картографической науки [4–9].

Одна из новых проблем, решаемых в данной статье, представляет собой выявление современной ландшафтной структуры и ее пространственно-временной неоднородности на больших площадях таежных регионов для оценки переменных состояний геосистем и прогнозирования их трансформации. В связи с этим актуальна разработка новых подходов, использующих динамические классификации геосистем, в процессе составления электронных ландшафтных карт. На основе ГИС-технологий с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ), картографической информации, данных полевых исследований и литературных сведений решаются задачи оперативного отображения ландшафтной структуры на разных иерархических уровнях и быстро происходящих изменений состояния геосистем. Данные разработки стали основой для составления авторами оперативных растровых карт юга Западной Сибири, включающего территории Нижнего Прииртышья, Притоболья, Пришимья, Тобол-Тавдинского междуречья, Южного Зауралья, как продолжения уже составленной растровой карты северо-запада Западной Сибири с использованием мозаики Хансена с целью охвата таким картографированием всей таежной и лесостепной территории Западной Сибири.

Согласно классическому физико-географическому районированию юга Тюменской области, в состав рассматриваемой территории в рамках одного элемента мозаики Хансена (набор пространственно совмещенных снимков системы Landsat на территорию, эквивалентную четырем листам топографических карт м-ба 1:1 000 000) [10] входят лесная равнинная широтно-зональная область (подзона южной тайги, включающая Обь-Иртышскую, Тобольскую, Кондинскую провинции, и подзона подтайги с Тавдинской и Ашлыкской провинциями), а также лесостепная равнинная широтно-зональная область (подзона лесостепи с Ишимской и Курганской провинциями) [11].

Цель исследования — изучение и картографирование пространственно-временной организации южнотаежных, подтаежных и лесостепных геосистем вышеуказанных территорий с использованием структурно-динамической ландшафтной классификации, лесотаксационных материалов и результатов автоматизированного дешифрирования элемента мозаики Хансена. Основная задача — выявить ландшафтную структуру юга Западной Сибири с отражением ее на оперативной растровой карте, применив геомерный системно-иерархический подход и динамические классификации от групп и классов ландшафтных фаций (с производными динамическими модификациями) до подгрупп геомов. Это позволило дать оценку зонально-провинциальным изменениям растительного покрова и ландшафтной структуры на региональном уровне, что при классическом картографировании представляет собой более длительный процесс.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение геосистем проводилось на основе методов полевых исследований ландшафтов на ключевых участках и стационарного изучения ландшафтных фаций на физико-географических профилях. В процессе создания карты использовалась классификация геосистем Западной Сибири по Нижнему Прииртышью и Притоболью, разработанная В.С. Михеевым [12]. Методика исследования и картографирования пространственно-временной организации геосистем, принципы составления классификационных схем и легенд были разработаны при изучении лесов Кондо-Сосьвинского Приобья, Обь-Иртышья и Притоболья [13] и применены при картографировании на основе ГИС-технологий (Multispec, Quantum GIS, MapInfo) по данным космических снимков Landsat.

Для картирования регионов использована мозаика Хансена, разработанная Мерилендским университетом (США) для составления карты «Global Forest Change 2000–2013» [10]. Однако недостаток такой карты состоит в отсутствии ландшафтной или лесной типологической классификации, что затрудняет определение площади различных типов леса, подверженных большим изменениям под воздействием пожаров, вырубок и других антропогенных факторов. Векторные и растровые карты, составленные на основе динамических классификаций, учитывают современное состояние и динамику таежных геосистем, отражают распределение лесорастительных условий и все пространственно-временное разнообразие лесных геосистем, а также могут быть эффективны как для оценки их продуктивности, так и для расчета углеродного баланса обширных территорий регионов Западной Сибири.

Элемент мозаики Хансена представляет собой набор пространственно совмещенных снимков Landsat в системе координат WGS-84 на территорию, эквивалентную четырем листам топографических

карт м-ба 1:1 000 000. Обработка элемента мозаики Хансена (сцена N60_ E 60) проведена в программе Multispec [14] по методике автоматизированного дешифрирования многозональных снимков. Выделены классы ландшафтных фаций, объединенные в геомы на топологическом уровне, и подгруппы геомов — на региональном.

При ГИС-картографировании геосистем территории исследования применялся следующий алгоритм выполнения технологических этапов, реализуемый в программе Multispec: кластеризация элемента мозаики с использованием одношагового либо итеративного алгоритма (ISODATA); определение характеристик классов (спектральных образов ландшафтных фаций, их групп и классов) на снимке с помощью обучающих выборок; проведение автоматической обработки элемента мозаики с использованием спектрально-пространственной классификации ЕСНО с обучающей выборкой по тестовым участкам.

Классификация элемента мозаики Хансена предполагает программное распознавание объектов (классов растительности и ландшафтных классов) по особенностям их спектральной отражательной способности [15, 16]. Дешифрирование элемента мозаики (снимка) в GIS Multispec включало разделение снимка на ареалы методом спектрально-пространственной классификации с помощью алгоритма ЕСНО, который заключался в группировке пикселей с использованием обучающих выборок [17, 18]. Яркостные признаки на снимке, отражающие ареалы биогеоценозов, сопоставлены с фактическими данными, принадлежность которых к определенной ландшафтной единице на местности известна. Это картографические данные (тематические карты различного содержания), материалы полевых ландшафтно-экологических и стационарных исследований, лесоустроительные материалы и таксационные описания Ханты-Мансийского, Тобольского, Заводоуковского, Яркового, Тюменского, Курганского лесхозов, цифровая модель рельефа (SRTM), а также литературные источники [19, 20].

Для верификации съемочного материала авторами также использовались результаты полевых исследований (физико-географические описания, инструментальная лесотаксация), проведенных на юге Западной Сибири в Нижнем и Среднем Прииртышье (пос. Горноправдинск, озера Светлое, Каишкуль, Петиккуль, в лесостепной зоне ключевые участки в Заводоуковском районе, вдоль р. Тап и др.). Все участки картографировались в крупном масштабе.

В результате автоматической классификации с использованием обучающих выборок формировалось классифицированное изображение (схема классификации) с ареалами на уровне групп фаций, которые объединялись в классы фаций, геомы и их подгруппы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований выявлена пространственно-временная организация южнотаежных, подтаежных и лесостепных геосистем Нижнего Прииртышья, Притоболья, Приишимья, Тобол-Тавдинского междуречья и Южного Зауралья. На основе данных мозаики Хансена построены растровые карты лесных, болотных и луговых ландшафтов (рис. 1, легенда 1). Особенность обработки мозаики — возможность получения информации о структуре ландшафтов одновременно на несколько регионально-типологических комплексов, охватывающих территории двух-трех подзон тайги и представляющих возможность классификации геосистем не только топологического, но и регионального уровня обобщения.

Для Нижнего Прииртышья и Нижнего Притоболья основная зональная группа в южной тайге — это коренные елово-пихтовые зеленомошно-травяные и травяные леса с липой в подлеске на дерново-сильнопodzolistых среднесуглинистых почвах со вторым гумусовым горизонтом, входящие в подгруппу геомов южнотаежных темнохвойных лесов дренированных возвышенных материковых и предгорных равнин.

Антропогенное и сопутствующее негативное воздействие на коренные пихтовые и еловые леса связано с пожарами, вырубками, повреждением энтомофагами, частыми ветровалами, загрязнением нефтепродуктами. На большей части государственного природного заказника «Тобольский материк» они нарушены и находятся в стадии восстановления или трансформированы в устойчиво-производные пихтово-осиновые, елово-пихтово-осиновые, пихтово-березовые, елово-пихтово-березовые и другие темнохвойно-мелколиственные и мелколиственные леса.

Для предгорных равнин Южного Зауралья характерны южнотаежные и подтаежные сосновые, березово-сосновые, темнохвойно-березовые, сосново-березовые, березовые травяно-зеленомошные, травяные и разнотравные леса. Значительные площади березовых и сосновых лесов в этой части Зауралья являются вторичными на местоположениях темнохвойных лесов после пожаров и старых сплошных вырубок, на которых сформировались вторичные насаждения возраста 70–100 лет. Особо сильна тенденция сокращения кедровых лесов.

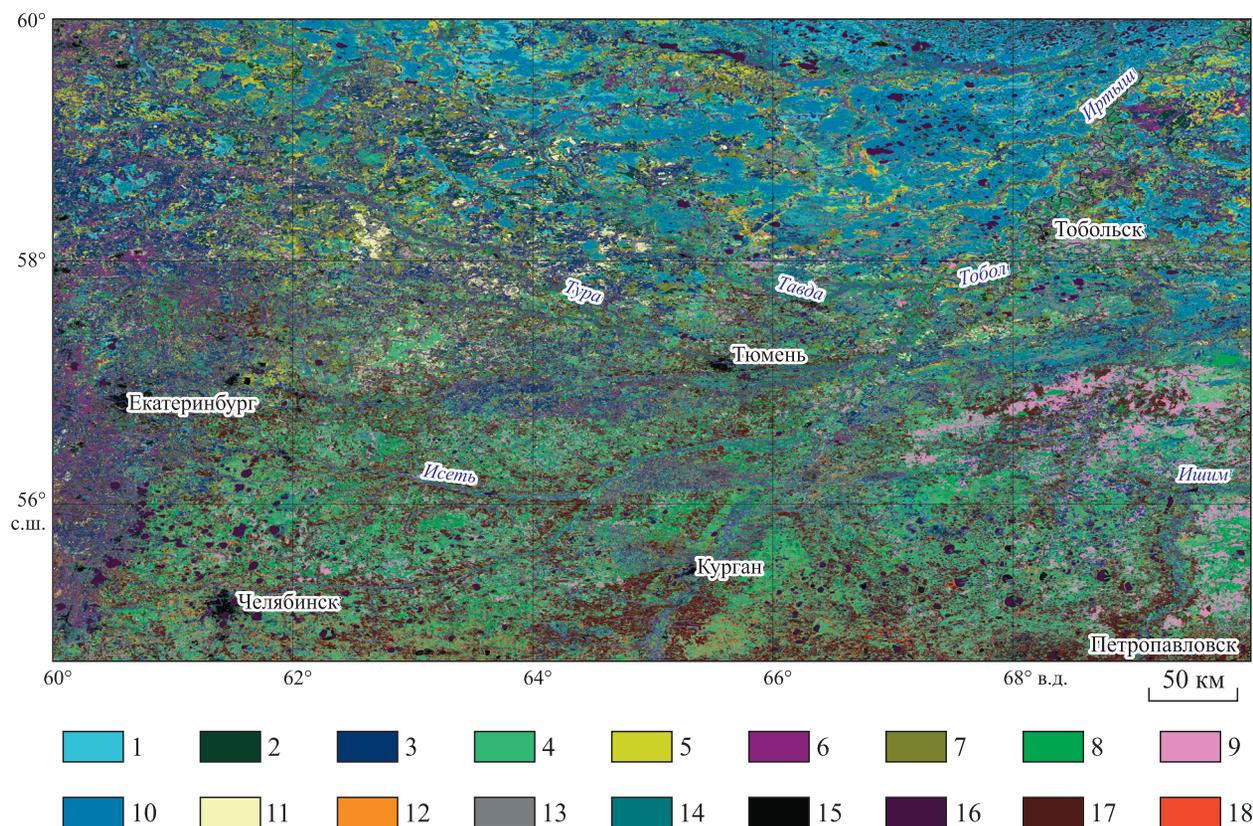


Рис. 1. Ландшафтная растровая карта уровня классов фаций — геомов территории юга Западной Сибири и Южного Зауралья как результат обработки элемента мозаики Хансена.

1–18 — см. легенду 1.

Легенда 1

к ландшафтной растровой карте уровня классов фаций — геомов территории юга Западной Сибири и Южного Зауралья

1. Тростниково-осоковые («хасырейные») озерно-болотные котловинные комплексы междуречий на иловато-глеевых болотных почвах с фрагментами поймы со злаковыми лугами и ивой, березой, осиной и придолинные евтрофно-мезоолиготрофные комплексы краевых зон олиготрофных болот.

2. Кедрово-еловые с пихтой мелкоотравно-зеленомошные, бруснично-зеленомошные, кустарничково-зеленомошные леса дренированных плакоров и материковых равнин и редко встречающиеся елово-кедровые слабодренированных низких водоразделов и приплакорных (приболотных) склонов и террас на перегнойно-элювиально-глеевых среднесуглинистых почвах.

3. Кратковременно-производные осиново-березовые с темнохвоем, елово-осиново-березовые, кедрово-елово-березовые, елово-пихтово-березовые, пихтово-елово-березовые, сосново-березовые травяно-зеленомошные, бруснично-зеленомошные, травяные (осочковые), липняковые, разнотравные леса на местоположениях коренных темнохвойных и сосновых лесов.

4. Луговой и лесо-луговой комплекс с гигрофильно-осоковыми и разнотравно-злаковыми суходольными лугами пологосклоновых равнин и возвышенностей на дерново- и перегнойно-подзолисто-глеевых легкосуглинистых почвах с фрагментами сосново-березовых и березовых травяных лесов на дерново-слабоподзолистых супесчаных почвах.

5. Сосновые боровые лишайниковые, мелколиственно-сосновые брусничные и ягодно-мшистые леса дренированных водоразделов и предгорных равнин и сосново-таежные кустарничково-зеленомошные леса на подзолистых иллювиально-железистых песчаных и супесчаных почвах в сочетании с сосновыми моховыми лесами приречных равнин и террас на среднеподзолистых оглеенных почвах.

6. Пихтовые с елью, кедром, березой травяные, разнотравные, разнотравно-папоротниковые елово-пихтовые, сосново-елово-пихтовые, березово-пихтовые и пихтово-еловые, березово-еловые с участием липы зеленомошно-травяные, травяные (зеленомошно-кисличные, осочково-мелкотравные, разнотравно-осочковые) леса возвышенных дренированных водоразделов и предгорных равнин на дерново-сильноподзолистых со вторым гумусовым горизонтом среднесуглинистых почвах.

7. Кратковременно-производные пихтово-осиновые с елью, елово-березово-осиновые, осиново-березовые с темнохвоем, осочково-мелкотравные, осочковые, травяные, разнотравные, папоротниково-снытьевые леса на местоположениях пихтовых и елово-пихтовых лесов.

8. Долинно-пойменная серия (разнотравно-злаковые луга, ивняки, ивово-березовые и березовые леса) и болотно-лугово-кустарниково-лесные серии сложных пойм притоков и долины Оби, Иртыша и крупных озер на дерново-глеевых почвах.

9. Березовые, осиново-березовые разнотравно-злаковые и злаково-разнотравные леса с фрагментами остепненных лугов дренированных равнин на серых лесных почвах и березовые, осиново-березовые леса в сочетании с гигрофильно-разнотравно-осоковыми лугами террас на дерново-подзолистых глееватых тяжелоуглинистых почвах.

10. Грядово-озерковые, грядово-озерково-мочажинные мезоолиготрофные болота и водораздельные выпуклые безлесные олиготрофные болота.

11. Молодые и средневозрастные сосновые, березово-сосновые, темнохвойно-сосновые лишайниковые, бруснично-зеленомошные, кустарничково-зеленомошные, травяно-кустарничковые леса на местоположениях сосновых лесов на дренированных водоразделах.

12. Сосновые, мелколиственно-сосновые, сосново-мелколиственные травяные, травяно-кустарничковые и сосновые злаково-разнотравные и злаковые леса возвышенных дренированных равнин и предгорных равнин на серых лесных почвах (собственно южнотаежные и подтаежные).

13. Колочно-лугово-болотные: осоковые и осоково-гипновые болота межгрядовых понижений водоразделов на иловато-глеевых болотных почвах и открытые низины с кустарничково-осоково-моховыми и злаково-осоковыми (мозаично-пятнистыми) болотами местами с березняками мохово-осоковыми, вейниковыми, тростниковыми на торфяных и торфяно-глеевых почвах (евтрофно-мезотрофная серия).

14. Водораздельно-склоновые облесенные олиготрофные грядово-мочажинные болота и евтрофно-мезотрофно-олиготрофные болота и сосново-кустарничково-сфагновые ямы низких террас и приречных равнин.

15. Населенные пункты, дороги, промплощадки, линейные объекты, кусты буровых.

16. Реки, озера, «соры».

17. Антропогенно измененные территории: пашни, залежи, сенокосные и пастбищные луга, необлесившиеся вырубки, редины, березовые перелески олуговелые, местами остепненные на местоположениях сосново-мелколиственных лесов.

18. Зарастающие пашни, гари, вырубки.

Для Нижнего Прииртышья, государственного природного заказника «Тобольский материк» и юга Кондинской низменности характерны сосновые боровые лишайниковые, брусничные, травяные леса и сосново-таежные с примесью темнохвойных пород кустарничково-зеленомошные леса на подзолистых иллювиально-железистых песчаных и супесчаных почвах в сочетании с сосновыми моховыми лесами на среднеподзолистых оглеенных почвах. Они отнесены к подгруппе геомов литоморфных среднетаежных светлохвойных лесов песчаных приречных равнин и террас.

На водоразделах в нижнем течении р. Тобол, Вагай-Ишимском междуречье встречаются небольшими ареалами сосновые, мелколиственно-сосновые, сосново-мелколиственные травяные леса на дерново-слабоподзолистых супесчаных почвах. Они отнесены к подгруппе геомов южнотаежных литоморфных светлохвойных лесов, возвышенных дренированных водораздельных равнин и песчаных террасированных равнин. Темнохвойно-березово-сосновые леса дренированных материковых равнин некоторые исследователи считают длительно-производными вариантами зональных пихтовых лесов [20, 21]. По сравнению со среднетаежной подзоной в окружении этих лесов уменьшаются заболоченность и площадь сфагновых болот, входящих в подгруппу геомов покровно-водораздельных выпуклых олиготрофных болот автономного развития (она составляет 6,26 % территории).

Для юга Тобол-Тавдинского и Тобол-Турьинского междуречий, среднего течения р. Тобол характерны сосновые боровые кустарничково-лишайниковые, травяно-кустарничковые леса и сосново-березовые, березовые разнотравные и вейниковые леса возвышенных дренированных равнин и предгорных равнин на серых лесных почвах.

Сосново-березовые и березовые с сосной травяные и вейниковые леса, сформировавшиеся на местоположениях коренных сосновых лесов, преимущественно устойчиво-производные, так как тенденции восстановления в сосновые леса из-за задернения напочвенного покрова и небольшого количества подроста не наблюдается. Они представляют подгруппу геомов подтаежных светлохвойных, смешанных, мелколиственных лесов дренированных возвышенных равнин и приречных террас.

В верхнем течении рек Тобол и Ишим сосновые остепненные леса сведены почти полностью. Сосново-березовые, березовые злаково-разнотравные, разнотравно-злаковые и зимолюбковые леса

здесь встречаются в сочетании с луговыми вейниковыми и разнотравно-вейниковыми комплексами и фрагментами низинных осоковых и осоково-гипновых болот с ленточными структурами заболоченных травяно-моховых, осоковых, осоково-сфагновых березняков. Они представляют подгруппу лесостепных колочно-лугово-болотных комплексов межрядовых понижений водоразделов, низин и западин.

Расширение ареала обзорного картографирования на основе обработки мозаики Хансена позволило увеличить масштабный и таксономический уровень картографирования до подгрупп геомов, а также выявить общий характер зонально-провинциальных изменений ландшафтной структуры, а, следовательно, оценить изменения границ подзон тайги на территории исследования (рис. 2, легенда 2).

Продвижение к северу границы южнотаежной подзоны представляет собой косвенный индикатор потепления климата в Западной Сибири [22, 23]. С учетом общей тенденции изменения климата строятся прогнозные сценарии зонально-региональных трансформаций природных зон изученных регионов. На процесс формирования лесной растительности и смену темнохвойного и светлохвойного инвариантов геосистем на мелколиственный повлиял цикл потепления климата, связанный с повышением средних годовых температур воздуха. Граница южнотаежных лесов смещается на север [24], и четкий переход подтаежных лесов к южнотаежным не прослеживается, так как сосновая тайга постепенно поглощается мелколиственными лесами и составляет в двух подзонах всего 7,68 % от всей рассмотренной территории (см. таблицу). Темнохвойные леса сохранились преимущественно на территории Тобольского материка, предгорных равнинах Южного Зауралья, по долинам рек, приозерным, приболотным местоположениям и занимают сравнительно небольшую площадь — 5,39 %.

Можно констатировать, что южная граница распространения коренных южнотаежных елово-пихтовых зеленомошно-травяных лесов на дренированных водоразделах территории Нижнего Прииртышья, Притоболья, Приишимья, Тобол-Тавдинского междуречья и Южного Зауралья носит прерывистый характер, присутствует характерное для Западной Сибири нарушение широтной зональности. Климатогенная смена темнохвойного и светлохвойного инварианта геосистем усиливается антропогенными факторами, что приводит к трансформации таежных ландшафтов и значительному увеличению площади мелколиственных и смешанных лесов (до 30,74 %).

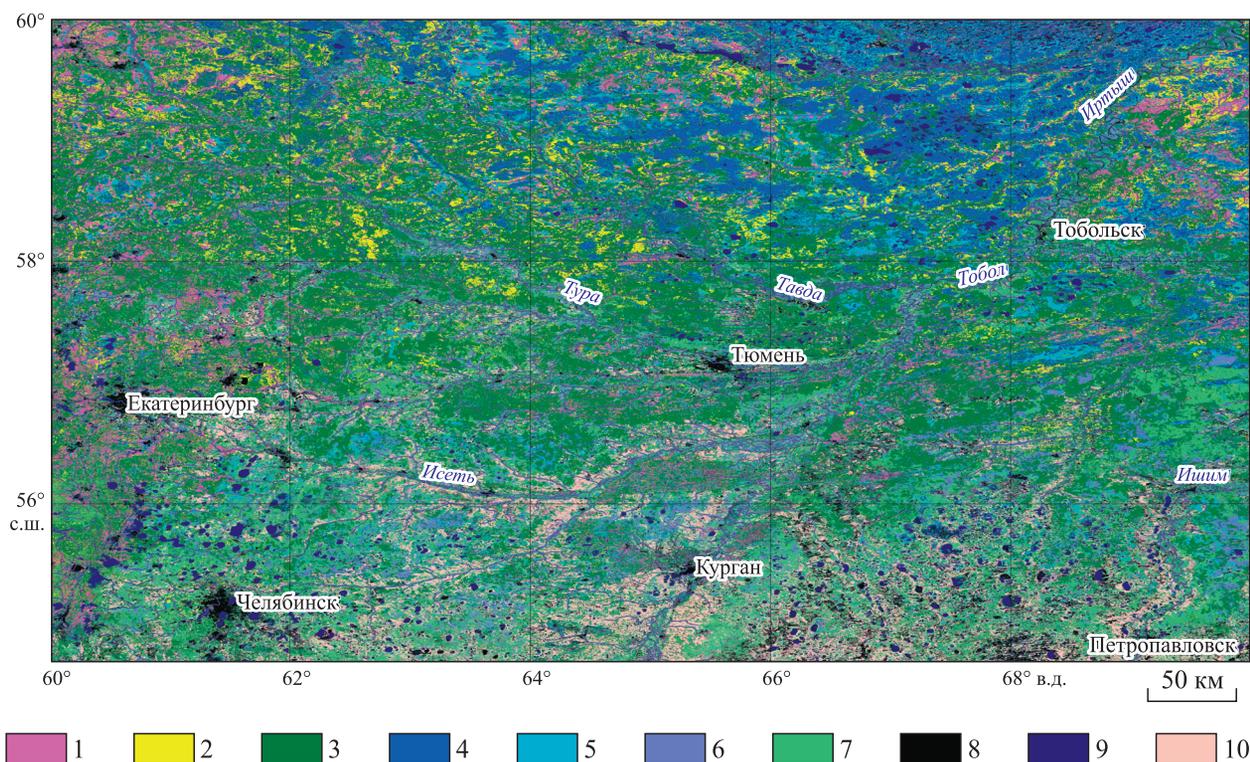


Рис. 2. Ландшафтная растровая карта геосистем регионального уровня (подгруппы геомов) юга Западной Сибири и Южного Зауралья как результат обработки элемента мозаики Хансена.

1–10 — см. легенду 2.

Легенда 2
к ландшафтной растровой карте геосистем регионального уровня
(подгруппы геомов) юга Западной Сибири и Южного Зауралья

1. Южнотаежные темнохвойные дренированных материковых равнин и предгорных равнин: пихтовые, еловые травяные, осочково-мелкотравные, осочковые, мелкотравно-зеленомошные леса.
2. Южнотаежные светлохвойные литоморфные возвышенных водораздельных равнин и песчаных террасированных равнин: сосновые, березово-сосновые, темнохвойно-березово-сосновые лишайниковые, кустарничково-зеленомошные, травяные леса.
3. Подтаежные светлохвойные, смешанные и мелколиственные леса дренированных водоразделов и приречных террас: сосновые, сосново-березовые, березовые с темнохвоем, осиново-березовые, березово-осиновые, травяные, вейниковые, разнотравные.
4. Болотные автономного развития покровно-водораздельные выпуклые олиготрофные болота: грядово-озерковые, грядово-озерково-мочажинные, водораздельные беслесные олиготрофные болота и сосновые кустарничково-сфагновые рямы.
5. Евтрофные и евтрофно-мезотрофные болота озерно-болотных котловинных и приречных комплексов среди верховых болот: тростниковые, тростниково-осоковые, травяные, осоково-сфагновые междуречий и придолинных евтрофно-мезотрофные и евтрофно-мезоолиготрофные комплексы краевых зон олиготрофных болот.
6. Колочно-лугово-болотный комплекс с «займищными» и «веретьевыми» болотами межрядовых понижений водоразделов, низин и западин: березово-сосновые, березовые разнотравно-злаковые, злаково-разнотравные, злаковые леса с осоковыми, осоково-гипновыми, вейниково-осоковыми болотами (евтрофно-мезотрофная серия) с березой и сосной на грядах с фрагментами влажнотравных и осоковых лугов.
7. Лесостепной мелколиственно-луговой комплекс пологосклоновых террасированных равнин: луга влажнотравные осоковые, разнотравные, разнотравно-злаковые, галофитно-злаковые с фрагментами осоково-сфагновых, осоковых и травяных болот в сочетании с березовыми перелесками и долинно-пойменной серией.
8. Населенные пункты, дороги, промплощадки, линейные объекты, кусты буровых.
9. Водные объекты: реки, озера, «соры».
10. Антропогенно измененные геосистемы: пашни, залежи, сенокосные и пастбищные луга, необлесившиеся вырубки, редины, олуговелье березовые перелески, местами остепненные на местоположениях сосново-мелколиственных лесов.

С 1960–1970 гг. наблюдается смещение границы темнохвойных лесов от междуречья рек Ишим и Вагай почти до низовьев р. Тобол. В районе Тобол-Тавдинского междуречья граница сместилась от низовьев р. Тавды до ее среднего течения.

Соотношение площадей региональных геосистем и других территориальных объектов
в подзонах юга Западной Сибири и Южного Зауралья

Номер	Геосистемы и другие территориальные объекты	Площадь, %
1	Южнотаежные темнохвойные дренированных материковых равнин и предгорных равнин	5,388
2	Южнотаежные светлохвойные литоморфные возвышенных водораздельных равнин и песчаных террасированных равнин	7,678
3	Подтаежные светлохвойные, смешанные и мелколиственные дренированных водоразделов и приречных террас	30,743
4	Болотные автономного развития покровно-водораздельные выпуклые олиготрофные болота	6,256
5	Евтрофные и евтрофно-мезотрофные болота озерно-болотных котловинных и приречных комплексов среди верховых болот	10,079
6	Лесостепной колочно-лугово-болотный комплекс водоразделов с «займищными» и «веретьевыми» болотами межрядовых понижений водоразделов, низин и западин	5,133
7	Лесостепной мелколиственно-луговой комплекс пологосклоновых террасированных равнин	10,124
8	Населенные пункты, дороги, кусты буровых, промплощадки	6,633
9	Водные объекты	3,364
10	Антропогенно измененные территории: пашни, залежи, сенокосные и пастбищные луга, необлесившиеся вырубки, редины	14,602

Примечание. Номера в таблице соответствуют номерам таксонов в легенде 2.

Граница между южной тайгой, где много вторичных мелколиственных лесов, и подтайгой, где доминируют березовые, осиново-березовые разнотравно-злаковые леса придолинных и водораздельных участков, четко не прослеживается. В южной части Притоболья, Приишимья значительные площади лесов также подверглись антропогенному воздействию, связанному с осушением болот, изъятием земель под пашни, расширением процесса олуговения редины и вырубок, что привело к сведению лесной растительности и расширению антропогенно нарушенных площадей на 14,6 % территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синтез классических подходов структурно-динамического ландшафтоведения с использованием ГИС-технологий на основе данных мозаики Хансена позволил разработать ландшафтные растровые карты обзорного типа. Такие карты отражают пространственно-временную организацию геосистем рассмотренных регионов, дают представление о трансформации структуры лесных ландшафтов и представляют собой основу для районирования, ландшафтного планирования и решения на его основе природоохранных задач и управленческих проблем лесопромышленного комплекса.

Расширение ареала обзорного картографирования на основе обработки мозаики Хансена позволило увеличить масштабный и таксономический уровень картографирования до подгрупп геомов, а также выявить общий характер трансформации геосистем и тенденции смещения границ тайги на север на территории исследования.

Методика использования системно-иерархической геомерной классификации при составлении растровых карт дала возможность провести анализ ландшафтной структуры юга Западной Сибири и Южного Зауралья, установить высокую степень трансформации геосистем, а также выявить тенденции к сокращению коренных темнохвойных и сосновых лесов и к значительному расширению площади мелколиственных и смешанных лесов, что связано как с климатическими изменениями, так и с усилением антропогенного влияния.

Сосновые леса, площадь которых в двух подзонах тайги составляет в настоящее время всего 7,68 % от всей рассмотренной территории, замещаются березовыми и сосново-березовыми сообществами, площадь которых увеличилась до 30,74 %.

При создании растровых карт появляется возможность автоматического контроля изменения ландшафтной структуры и быстрого расчета площади антропогенных нарушений, изменения типологической структуры лесов, что важно для оценки их ресурсного потенциала и позволяет своевременно оценивать масштабы нарушений природной среды и предупреждать их на основе системы оптимальных природоохранных мероприятий и рационального природопользования.

Исследование выполнено в рамках тем и за счет средств государственных заданий Института географии им. В.Б. Сочава СО РАН (AAAA-A21-121012190059-5, AAAA-A17-117041910172-4 и AAAA-A21-121012190056-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. — Новосибирск: Наука, 1978. — 318 с.
2. Колесников Б.П. Состояние советской лесной типологии и проблема генетической классификации типов леса // Изв. СО АН СССР. — 1958. — № 2. — С. 109–122.
3. Колесников Б.П. Опыт составления плана лесонасаждений с использованием генетической классификации типов леса // Принципы и методы геоботанического картографирования. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. — С. 92–97.
4. Вантеева Ю.В., Распутина Е.А., Солодянкина С.В. Геоинформационное картографирование ландшафтов на примере Приморского хребта (Прибайкалье) // Геодезия и картография. — 2019. — № 12. — С. 20–30.
5. Корниенко С.Г. Оценка трансформаций природных ландшафтов Тазовского полуострова по данным космической съемки // География и природ. ресурсы. — 2011. — № 1. — С. 67–73.
6. Хромых В.В., Хромых О.В. Использование ГИС-технологий для изучения динамики долинных ландшафтов (на примере долины Нижней Томи) // Вестн. Том. ун-та. — 2007. — № 300-1. — С. 230–233.
7. Kotaro I., Ryutaro T. Estimation of CO₂ 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 (дата обращения 20.02.2021).

8. **Ise T., Sato H.** 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 20.02.2021).
9. **Christian T., Christiane S.** The potential of ALOS PALSAR backscatter and In SAR coherence for growing stock volume estimation in Central Siberia // Remote Sensing of Environment. — 2016. — N 173. — P. 258–273.
10. **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-resolution global maps of 21st-century forest cover change // Science. — 2013. — N 342. — P. 850–853.
11. **Гвоздецкий Н.А., Кривоулицкий А.Е., Макунина А.А., Толчельников Ю.С., Сергеев Г.М., Головина Н.В., Роднянская Э.Я., Селезнева Н.С., Шульгин А.М., Шейко С.Н., Звонкова Т.В.** Физико-географическое районирование Тюменской области. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. — 248 с.
12. **Михеев В.С., Козин В.В., Шеховцов А.И.** Общие принципы геоэкологического картографирования // Экологическое картографирование Сибири. — Новосибирск: Наука, 1996. — С. 20–43.
13. **Кузьменко Е.И., Михеев В.С.** Эколого-географические и картографические основы комплексного изучения лесов Сибири. — Новосибирск: ГЕО, 2008. — 205 с.
14. **Landgrebe D., Biehl L.** An Introduction and Reference for Multi Spec Version // West Lafayette. — Indiana, USA: Purdue University, 2011. — 189 p.
15. **Тутубалина О.В.** Компьютерный практикум по курсу «Космические методы исследования почв». — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. — 105 с.
16. **Балдина Е.А.** Радиолокационные данные для характеристики состояния залежей в дельте Волги // Геоматика. — 2012. — № 4. — С. 28–33.
17. **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.
18. **Kuz'menko E.I., Frolov A.A., Silaev A.V.** Geoinformational mapping landscapes in the northwestern part of Western Siberia using Hansen mosaic dataset // Geography and Natur. Resources. — 2018. — Vol. 39, Iss. 2. — P. 175–181.
19. **Любимова Е.Л.** Растительность Обь-Иртышского междуречья // Природные условия освоения междуречья Обь-Иртыш. — М.: Изд-во АН СССР, 1972. — С. 302–321.
20. **Лапшина Е.И.** Геоботаническое картографирование таежной зоны Западной Сибири // Геоботаническое картографирование. — Л.: Наука, 1973. — С. 49–60.
21. **Ильина И.С., Лапшина Е.И., Мельцер Л.И., Романова Е.А., Лавренко Н.Н.** Растительный покров Западно-Сибирской равнины. — Новосибирск: Наука, 1985. — 250 с.
22. **Павленко В.А., Сергеев А.А.** Потепление климата Западной Сибири и возможные эколого-экономические последствия // Интерэкспо. Гео-Сибирь. — Новосибирск, 2006. — Т. 6. — С. 176–181.
23. **Кабанов М.В., Лыкосов В.Н.** Мониторинг и моделирование природно-климатических изменений в Сибири // Оптика атмосферы и океана. — 2006. — Т. 19, № 9. — С. 753–765.
24. **Кузьменко Е.И., Максюттов Ш.Ш., Владимиров И.Н.** Использование ландшафтной карты для оценки продуктивности геосистем южной тайги Западной Сибири // География и природ. ресурсы. — 2013. — № 2. — С. 143–151.

Поступила в редакцию 27.01.2020

После доработки 01.05.2021

Принята к публикации 13.10.2021