

УДК 528.94:528.77(571.642)
DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-4-94-106

Картографирование растительности южной части острова Сахалин по данным дешифрирования снимков спутниковой системы Landsat

В. А. Мелкий^{1}, В. В. Братков², Е. С. Чернявка², А. А. Верхотуров¹, Д. В. Лисицкий³*

¹ Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск, Российская Федерация

² Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), г. Москва, Российская Федерация

³ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: vamelkiy@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – определение факторов, оказывающих значимое влияние на структуру распределения растительных сообществ территории и составление карты растительности. В статье приведены результаты анализа разнообразия растительного покрова и геоботанического картографирования территории на основе данных дешифрирования космических снимков. Основные источники информации для исследования – материалы полевых геоботанических исследований и космические снимки среднего пространственного разрешения, полученные со спутника Landsat-8, которые обеспечили выполнение оценки современного состояния лесных сообществ. Современное составление и оформление карт характеризуется широким применением ГИС-технологий и компьютерных методов анализа. Для дешифрирования и обработки снимков в работе использовались программные комплексы ENVI, ArcGis, QGIS. Завершающая обработка и оформление картографического материала проводилась с использованием программы Adobe Illustrator. В качестве объекта исследования была избрана южная часть территории острова Сахалин, на которой произрастает большое количество восточноазиатских видов, в том числе древесных и кустарниковых форм. В Южно-Сахалинском флористическом районе преобладает флора северо-японского типа, в ее составе заметно сокращается присутствие северных видов, характерных для темнохвойной таежной зоны. Крильонский район отличается присутствием видов, общих с Южными Курильскими островами и островом Хоккайдо. Результаты изучения пространственного распределения лесных ландшафтов послужили основой для выявления наиболее устойчивых растительных сообществ к климатическим изменениям, а также способных к быстрому восстановлению после лесных пожаров. Проанализированы климатические условия, позволившие выявить тренды многолетней динамики растительных сообществ на территории. Анализ многолетней динамики дал возможность выявить современное состояние лесных сообществ, прогнозировать отдельные негативные природные явления (пожары, заболачивание и т. п.). Динамика состояния лесных растительных сообществ отчетливо определяется по данным космических съемок. Карта, составленная по результатам дешифрирования космических снимков, отражает пространственное распределение и состояние растительного покрова территории, позволяет произвести инвентаризацию растительных ассоциаций, установить границы геоботанических районов в их современном состоянии.

Ключевые слова: аэрокосмические исследования Земли, геоинформационные технологии, геопространственное моделирование, таежная зона, геоботаническое картографирование, мониторинг земель

Введение

Геоботанические карты играют важную роль как в процессе познания и оценки состо-

яния компонентов экосистем, так и в информационном обеспечении для принятия решений при выполнении разнообразных практических

задач. Эти карты необходимы при физико-географическом и экономическом районировании территории, при оценке природных условий труднодоступных районов, выявлении возможности размещения пастбищ, оценке промышленных запасов деловой древесины, планировании лесовосстановительных мероприятий и иной хозяйственной деятельности. Растительность является важным элементом природных комплексов, производителем органических веществ из неорганических в процессе фотосинтеза, главным источником пищи и энергии для всех других форм жизни на Земле [1].

Исследуемая территория – южная часть острова Сахалин, которая отличается значительным разнообразием растительных сообществ в покрове. Карты растительности острова Сахалин давно нуждаются в обновлении, так как «Атлас Сахалинской области», в котором были опубликованы такие карты, был издан в 1967 г. и после больше не обновлялся [2]. «Атлас Сахалинской области. Ресурсы и экономика», изданный в 1994 г. и являющийся на сегодняшний день библиографической редкостью, имел более узкую тематическую направленность. В состав атласа вошли карты, содержащие информацию о природных условиях и ресурсах: обзорные общегеографические карты, карты гидрометеорологических условий, земельных ресурсов, биоресурсов суши и моря [3, 4].

В связи с тем, что обзорные карты растительности исследуемой территории устарели и практически недоступны широкому кругу специалистов, интересующихся особенностями природных условий региона, в работе была поставлена цель изучить распределение растительных сообществ и составить карту растительности южной части острова Сахалин масштаба 1 : 600 000. Для достижения поставленной цели выполнены следующие задачи: изучены климатические условия и иные факторы, определяющие процесс формирования растительности южной части острова Сахалин, которые позволили выявить тренды многолетней динамики растительных сообществ на территории, составить и оформить карту растительности южной части острова Сахалин.

Материалы и методы исследования

В качестве источников для выбора космических снимков использовались интернет-ресурсы Центра коллективного пользования ИКИ РАН «ИКИ-Мониторинг», US Geological Survey и др. [5, 6]. На территорию исследования были отобраны космические снимки со спутника Landsat 8 с низким покрытием облаками и временем съемки в вегетационный период (таблица).

Характеристика сцен Landsat на район исследования

Спутник / сканер	Идентификатор сцены	Разрешение, м	Дата съемки	Облачность над объектом (%)
Landsat 8 / OLI	108028_20190504	15–30	04.05.2019	0,00
	108028_20170530		30.05.2017	0,00
	108027_20171106		06.11.2017	0,00
	108027_20190909		09.09.2019	0,26
	108027_2015241		29.08.2015	0,24
	107027_20181102		02.11.2018	0,00
	107028_20181102		02.11.2018	0,00

Полевые исследования растительных сообществ исследуемого района проводились на эталонных участках. Названия растений при описании использовались в соответствии с базой данных Plants of the World Online (POWO) [7].

Методологической базой настоящего исследования являются теоретические и методические работы ученых, внесших значительный вклад в развитие научного направления геоботанического картографирования [8–12].

В процессе дешифрирования спутниковых изображений и геоинформационного моделирования применялись методики, разработанные специалистами в области геоинформационных технологий и мониторинга природной среды, в том числе с помощью данных дистанционного зондирования Земли [13–18].

Картографирование растительности проводилось путем анализа синтезированных изображений, что позволило выделить классы растительных сообществ, отличающиеся по спектральным признакам. Комбинация каналов SWIR-NIR-RED (6-5-4) дает много цветовых контрастов и крайне информативна для дешифрирования растительного покрова.

$$D = \ln(p_c) - \left[0,5 \ln(|Cov_c|) \right] - \left[0,5 (X - M_c) T(Cov_{c-1}) (X - M_c) \right],$$

где D – взвешенное расстояние (вероятность); c – определенный класс; X – значение пикселя; M_c – средний вектор образца класса c ; p_c – вероятность, что какой-либо пиксель принадлежит классу c ; Cov_c – матрица ковариации пикселей в классе c ; $|Cov_c|$ – определитель Cov_c (матрицы ковариации); Cov_{c-1} – обратная матрица (матрицы ковариации); \ln – функция натурального логарифма; T – функция транспонирования.

Геоботаническая изученность исследуемой территории

Основой для выявления геоботанических особенностей распределения растительных сообществ на территории южной части Сахалина послужило теоретическое обоснование ботанико-географического районирования, произведенного ранее. Ф. Б. Шмидт в конце XIX в. выделил в растительном покрове острова две геоботанические единицы: северную, куда вошла северо-восточная часть острова вместе с Тымь-Поронайской низменностью, и южную [19]. Положение естественного ботанического рубежа позднее обосновали Миябе и Татевачи [20], они дали ему название линии Шмидта. При проведении геоботанического районирования острова Сахалин А. И. Толмачев провел

Автоматизированное дешифрирование проводилось методом максимального подобия, обучающая выборка составлена на основе полевых исследований на эталонных площадках, которых было обследовано по 3 участка (50×50 м) на территории каждого из семи выделенных сообществ, а также визуального дешифрирования объектов на космических снимках.

Уравнение вероятности того, что данный пиксел принадлежит по спектральной яркости к какому-либо классу, предполагает, что эти вероятности равны для всех классов и что исходные диапазоны имеют нормальное распределение для максимальной вероятности:

границу между северной и южной областями по перешейку Поясок [21]. Позднее А. Л. Тахтаджян [22] (1978), Й. Игараши и Т. Игараши [23], а также П. В. Крестов, В. Ю. Баркалов, А. А. Таран [24] показали, что растительные сообщества, имеющие в составе восточноазиатские роды, такие как дубняки, с преобладанием *Quercus crispula*, распространены на севере вплоть до линии Шмидта. Представители южной флоры расселились до этой границы в период 7 000–5 200 лет назад [25, 26]. Граница между крупными фитохориями – Циркумбореальной и Восточно-Азиатской флористическим областями – в пределах острова Сахалин проводится по линии Шмидта. На одной из самых известных геоботанических схем [27] эта линия отделяет южную подзону бореальной лесной зоны от подзоны гемибореальных лесов.

При проведении геоботанического районирования острова Сахалин южнее перешейка Поясок А. И. Толмачев среди темнохвойных лесных сообществ с преобладанием в составе древостоев пихты (*Abies sachalinensis*) выделил две подзоны [21]. Эти подзоны полностью соответствуют Южно-Сахалинскому и Крильонскому районам на схеме П. В. Крестова с соавторами [24]. В составе Южно-Сахалинской подзоны-района выделены геоботанические районы: Центральный горный (1), Сусунайский равнинный (2); Сусунайский горный (3); Юго-восточный (4). Территория Крильонской под-

зоны темнохвойных лесов с примесью широколиственных пород полностью соответствует Юго-западному геоботаническому району (5) (рис. 1) [24, 28].

Дешифрирование космических снимков и построение карты

Геоботаническое геоинформационное картографирование, основанное на разносторонних данных о состоянии растительного покрова территории, полученных по данным

космических съемок и геоботанических наблюдений, позволило построить карту масштаба 1 : 600 000, на которой отображено современное состояние растительных сообществ в Южно-Сахалинской и Крильонской подзонах пихтово-еловых лесов.

В качестве исходного материала для нанесения на карту общегеографической основы были использованы данные топографических карт России [29]. Были выборочно взяты данные о местоположении объектов гидрографии и населенных пунктов.

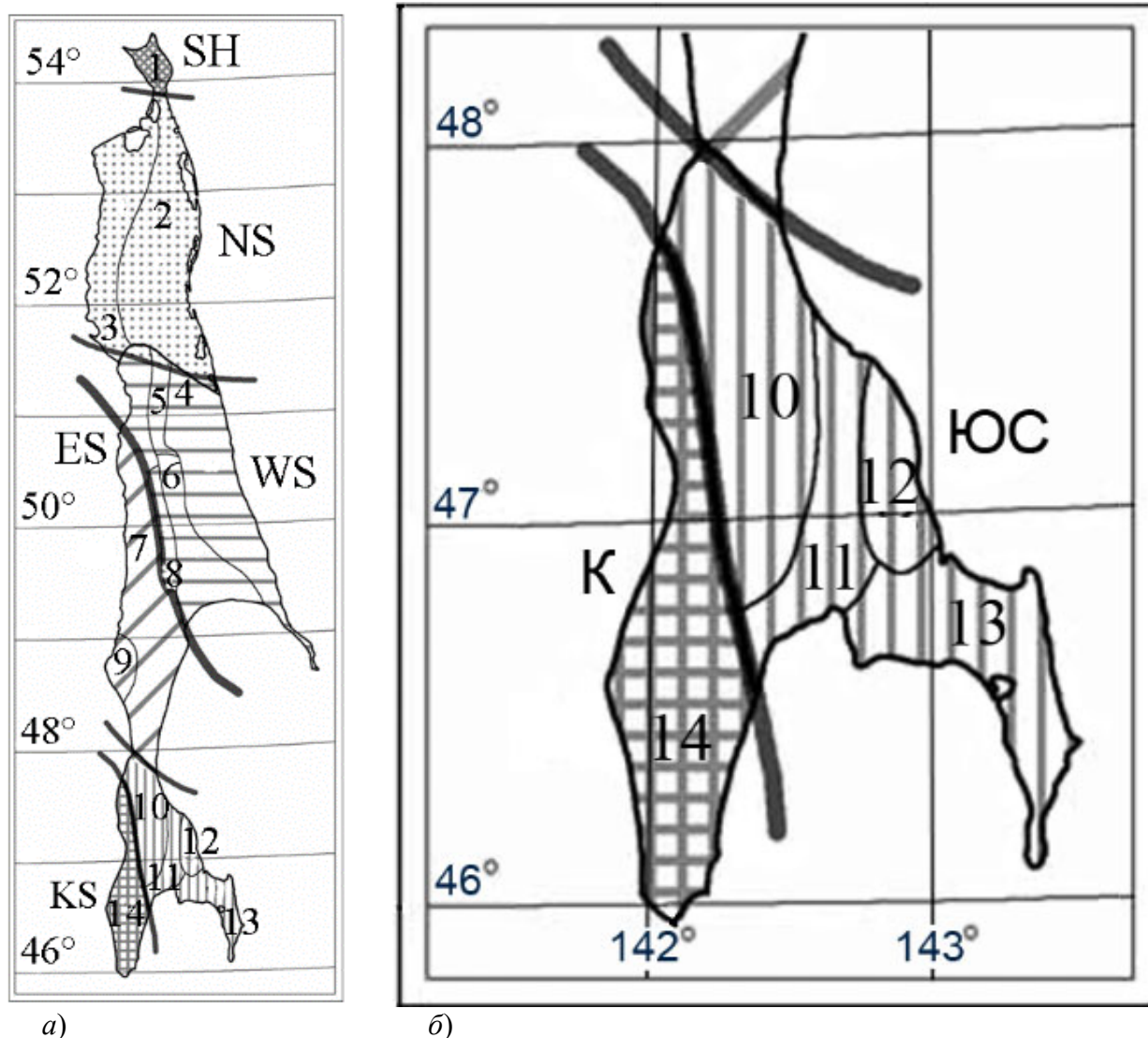


Рис. 1. Существующая схема геоботанического районирования исследуемой территории: а) общий вид схемы геоботанического районирования острова Сахалин по Толмачеву (1955) с изменениями Крестова и др. (2004); б) фрагмент схемы для южной части острова. Линии, выходящие за контур острова, разграничивают флористические подзоны: ЮС – Южно-Сахалинскую и К – Крильонскую. Цифрами обозначены районы: 10 – Центральный (Южно-Сахалинский) горный; 11 – район Южно-Сахалинской низменности; 3 – Сусунайский горный; 4 – Юго-Восточный; 5 – Юго-Западный

Для классификации растровых изображений в работе была проведена процедура классификации «с обучением» [30]. Обучающая выборка была составлена из набора пикселей, представляющих изображение эталонных участков, на которых производились геоботанические исследования с описаниями. Для дешифрирования использовался программный комплекс ENVI, с помощью которого выделены контуры растительных сообществ южной части острова Сахалин, среди них леса: темнохвойные (тхл), каменноберезовые (кбл), долинные (дл), лиственничные (лл), формация кедровостланиковая (фкс) и безлесные территории (б/л). Все растительные сообщества были разделены по их спектральным характеристикам на основе данных съемки в комбинации каналов 6-5-4.

Дальнейшая работа выполнена в программе QGIS. Для начала в программу были подгружены контуры растительности в формате *.shape и топографические карты в растровом виде. После чего осуществлялся выбор проекции (поперечная проекция Меркатора) для исследуемой территории и генерализация контуров растительности. После определения контуров всех растительных сообществ на исследуемой территории была проведена первоначальная классификация по цветам.

Оформление карты проводилось в Adobe Illustrator (AI). Результаты обработки данных позволили составить предварительный макет карты растительности территории в ее современном состоянии, с нанесением градусной сетки, легенды.

Современное распределение растительных сообществ

В соответствии с зонированием растительности, выполненной А. И. Толмачевым, южнее перешейка Поясок распространены елово-пихтовые леса, а в Крильонской подзоне в составе древостоев к ним добавляются широколиственные породы. На юге Сахалина (рис. 2) произрастает большое количество восточноазиатских видов, в том числе древесных и кустарниковых форм.

Южно-Сахалинская геоботаническая подзона включает 4 района, которые мы предлагаем

называть в соответствии с их географическим положением: 1 – Центральный горный; 2 – Сусунайский равнинный; 3 – Сусунайский горный; 4 – Юго-Восточный (Тонино-Анивский); 5 – Юго-Западный (Крильонский) (рис. 3).

Границу между Южно-Сахалинской и Крильонской подзонами на основании дешифрирования и выделения современного распределения растительных сообществ можно провести от м. Старомаячного (южнее с. Пензенского) на запад до г. Глухой, далее по водораздельной линии Южно-Камышового хребта до истоков р. Тамбовки, а затем по долине реки к заливу Анива.

Крильонская подзона включает один район – Юго-Западный (5), занимает западные склоны и отроги Южно-Камышового хребта к югу от г. Глухой, и большую часть полуострова Крильон. Рельеф местности в пределах района гористый, с умеренными высотами.

В Юго-Западном (Крильонском) районе распространены темнохвойные елово-пихтовые леса (тхл) (*Abies sachalinensis* и *Picea ajanensis*). В подлеске часто встречаются клен Майра (*Acer mayrii*), аралия высокая (*Aralia elata*), диморфант или калопанокс семилопастной (*Kalopanax septemlobus*), черемуха съори или айнская (*Padus ssiori*), бархат сахалинский (*Phellodendron sachalinenses*). Уникальными для района являются рощицы, с преобладанием в составе древостоев бархата сахалинского или черемухи съори, которые отмечены в долине р. Арканзас [31]. Повсеместно под полог темнохвойных лесов внедряются бамбучники, образуемые бамбуком (*Sasa kurilensis*). На возвышенностях распространены каменноберезняки (кбл), образованные березой каменной Эрмана (*Betula ermanii*), совместно с густыми и высокорослыми зарослями бамбука (*Sasa kurilensis*). На склонах у берега моря местами встречаются небольшие редкостойные рощицы дуба курчавенького (*Quercus crispula* Blume) с участием березы шерстистой (*Betula lanata* (Regel) V. Vasil.), клена Майра (*Acer mayrii*), вишни сахалинской, или Саржента (*Cerasus sargentii* (Rehd) Pojark.). Лесные сообщества с преобладанием лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr) занимают небольшие заболоченные участки в северной части района. Леса во многих местах пройдены рубками, подвергались воздействию пожаров и ветровалов.

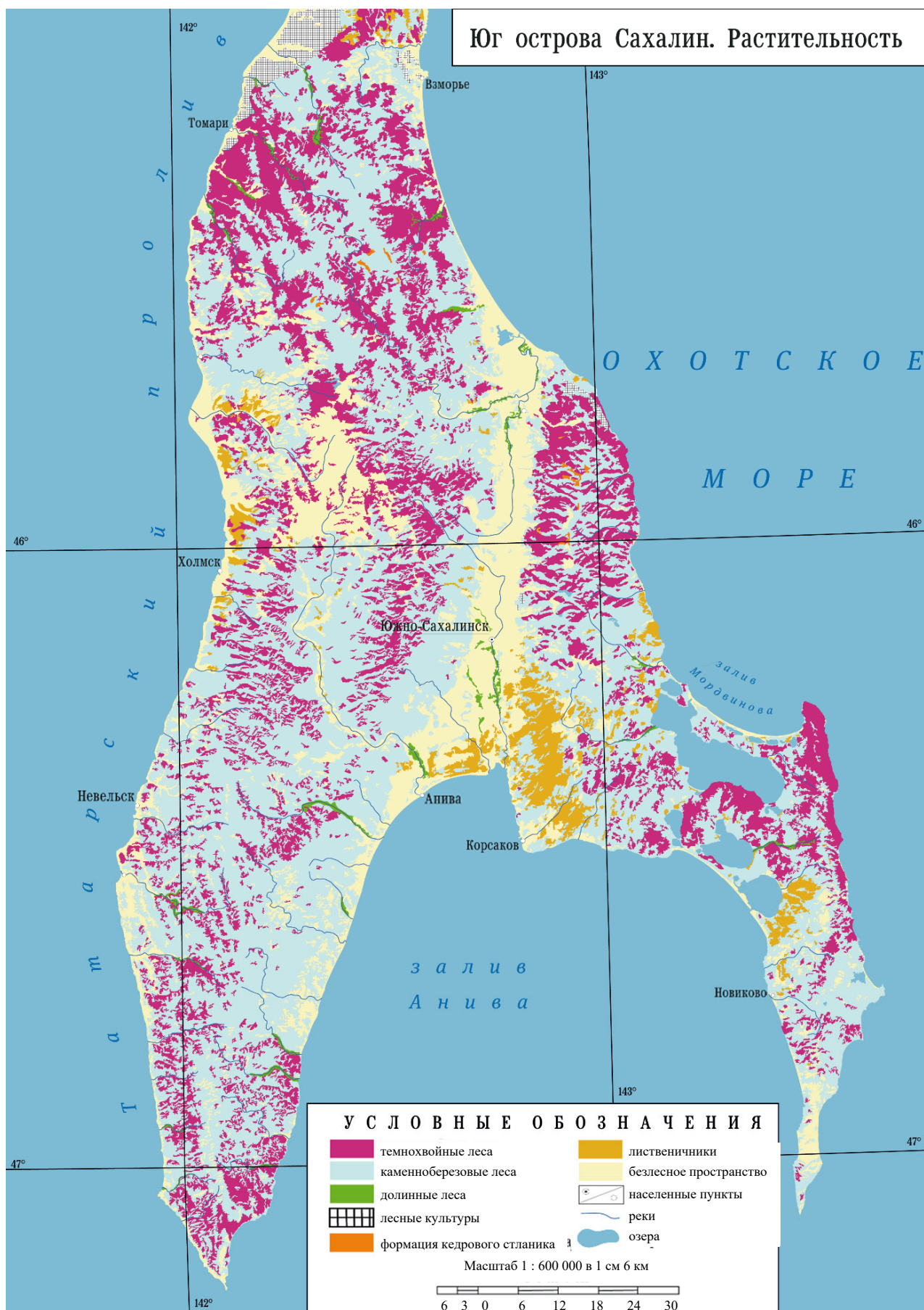


Рис. 2. Общий вид карты растительности южной части острова Сахалин

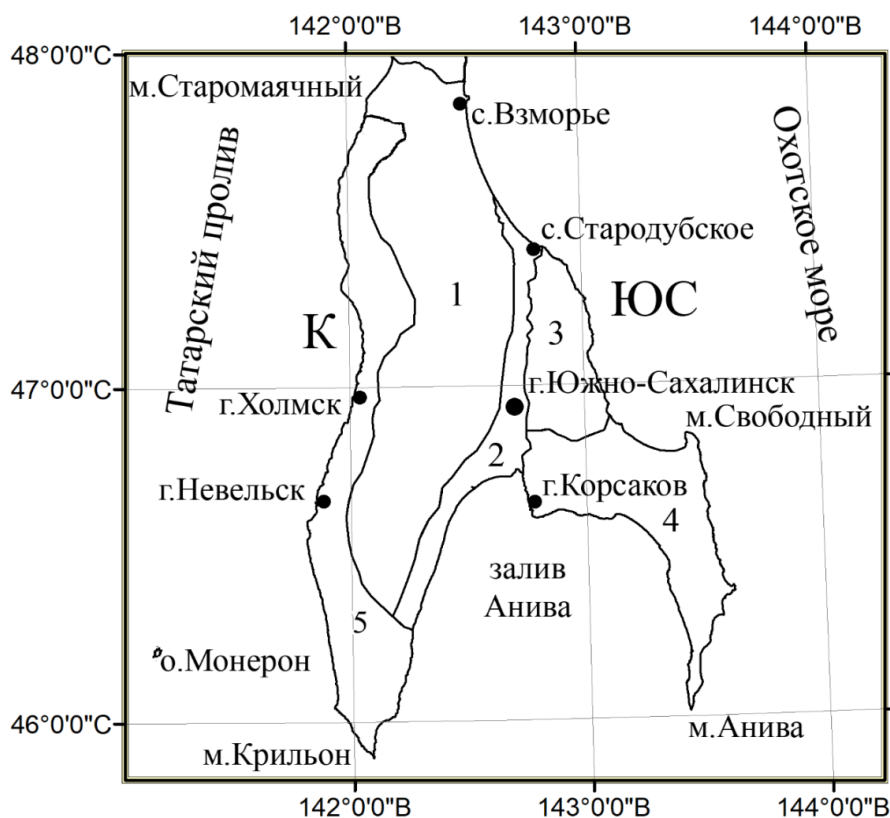


Рис. 3. Схема геоботанического районирования Южного Сахалина.

Флористические подзоны: ЮС – Южно-Сахалинская; К – Крильонская.

Цифрами обозначены районы: 1 – Центральный горный; 2 – Сусунайский равнинный; 3 – Сусунайский горный; 4 – Юго-Восточный; 5 – Юго-Западный

Характерной чертой растительного покрова Юго-Западного района является присутствие северо-японских видов, общих с южными Курильскими островами, а также Хоккайдо и Монерон: виноградовника (*Ampelopsis* A. Rich. ex Michx.), ариземы амурской (*Arisaema amurense* Maxim.), дактилосталикса (*Dactylostalex ringens* Rchb. f.), диспорума сидячего (*Disporum sessile* D. Don ex Schult. & Schult. f.), калопанакса семиллопастного, или диморфанта (*Kalopanax septemlobus* (Thunb.) Koidz.), и др.

Крупнотравные луга широко распространены в долинных лесах (дл) и на приморских склонах Юго-восточного района. Все безлесные территории быстро заселяются бамбучниками, которые также внедряются под полог лесов.

Центральный горный район расположен к востоку от осевой части Южно-Камышового хребта Западно-Сахалинских гор к югу от перешейка Поясок. Рельеф района расчлененный, с крутыми горными склонами.

Восточную границу района можно провести по подножью гор при переходе на равнинные участки. Господствующим типом лесной растительности района являются (тхл) елово-пихтовые леса (*Abies sachalinensis* и *Picea ajanensis*). В горах отчетливо проявляется высотная поясность: над зоной темнохвойной растительности располагаются каменноберезняки (кбл), сформированные березой каменной Эрмана (*Betula ermanii*), под которыми расположены бамбучники (*Sasa kurilensis*). Выше каменноберезняков в привершинных местах располагается пояс кедрового стланика, образованный *Pinus pumila* (Pall.) Regel, иногда вперемжку с верещатниками. Древесный ярус лесов в долинах рек (дл) представлен преимущественно ивой удской или сахалинской (*Salix udensis* (Wimm.) Trautv. & C. A. Mey), ивой росистой (*Salix rorida* Laksch.), ивой Шверина (*Salix schwerinii* E. L. Wolf), тополя Максимова (*Populus maximowiczii* Henry), чозении или

корейки земляничникоколистной (*Chosenia arbutifolia* (Pall.) A. K. Skvortsov), ильмов японского (*Ulmus japonica* (Rehder) Sarg.) и лопастного (*Ulmus laciniata* (Herder) Mayr ex Schwapp.). В подлеске смешанных и каменноберезовых лесов с участием бамбука, в прогалинах и на опушках по склонам до высоты 600–800 м н. у. м. распространены бересклеты большекрылый (*Euonymus macropterus* Rupr.), красноплодный (*Euonymus miniatus* Tolm.) и сахалинский (*Euonymus sachalinensis* (F. Schmidt) Maxim.). Места вырубок и гарей быстро занимают низкорослые заросли курильского бамбука (*Sasa kurilensis*) (б/л).

Значительные пространства в долинах рек (дл) занимают гречишно-вейниковые сообщества, в которых участвуют гречиши сахалинская (*Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai) и Вейриха (*Aconogonon weyrichii* (F. Schmidt) H. Hara), заросли белокопытников сахалинского (*Petasites sachalinensis* J. Toman) и японского (*Petasites japonicus* (Siebold & Zucc.) Maxim.).

В западной части района на месте сведенных долинных лесных сообществ распространены вейниково-разнотравные луга (б/л). Самым активным образователем травостоев луговых сообществ (до 70 %) является вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis purpurea* (Link) Trin.).

Результаты дешифрирования показывают, что растительность **Сусунайского горного района** представлена выраженными высотными поясами елово-пихтовых разнотравных и папоротниковых, каменноберезовых (кбл) и кедровостланиковых сообществ. Участки коренных (тхл) елово-пихтовых лесов сохранились главным образом на восточном склоне Сусунайского хребта. На отдельных вершинах хребта заросли кедрового стланика (фкс) перемежаются с подгольцовыми низкорослыми высокогорными верещатниками (*Ericaceae*).

В долинных лесах (дл) наиболее устойчивы растительные ассоциации с преобладанием ольхи и ив. Следует отметить, что, несмотря на значительное антропогенное воздействие в период активного освоения территории в XX в., основные черты распределения растительности на этой территории сохранились. Папоротниковые сообщества формируются в основном папоротниками курчавым (*Adiantum pedatum* f.

contratum Yonek. & Keizo Sasaki), орляком обыкновенным (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn ex Decken), страусником обыкновенным (*Matteuccia struthiopteris* (L.) Todaro). Крупнотравные сообщества в редколесье из *Betula ertmanii* и *Duschekia maximowiczii* представлены (*Aconogonon weyrichii* (F. Schmidt) H. Hara), лабазником камчатским *Filipendula camtschatica* (Pall.) Maxim.), аконитом (*Aconitum umbrosum* (Korsh.) Kom.). С повышением гипсометрического уровня нижний ярус в лесах постепенно переходит от зеленомошных и разнотравных к кустарниковым типам, где наиболее представительными являются клен желтый (*Acer ukurunduense* Trautv. & C. A. Mey.), ольховник Максимовича (*Duschekia maximowiczii* (Call. ex C. K. Schneid)).

В **Сусунайском равнинном районе** леса сведены на значительной площади (б/л). Геоботанический район занимает территорию Сусунайской низменности и прибрежных равнин западного побережья залива Анива. Лиственничники (лл) из *Larix cajanderi* произрастают здесь только в заболоченных местах вблизи побережья бухты Лососей, на остальной территории района лесные сообщества сохранились в основном на берегах рек (дл), древостои которых образуют ивы Шверина (*S. yezoensis* (C. K. Schneid.) Worosch.), тарайкинская (*S. taraikensis* Kimura), удская (*S. udensis* Trautv. et Mey.), сахалинская (*S. sachalinensis* Fr. Schmidt), ольха пушистая (*Alnus hirsuta* (Spach) Rupr.) и др. Большие участки в предгорьях Сусунайского и Камышового хребтов заняты белоберезняками, образованными березами плосколистной (*Betula platyphylla* Sukaczew), шерстистой (*Betula lanata* V. Vassil).

В **Юго-Восточном** (Тонино-Анивском) **районе** растительный покров в связи со значительным разнообразием рельефа и увлажненностью почв весьма неоднороден. Лиственничные леса (лл) занимают Корсаковское плато и заболоченные низины. Значительную площадь на плато занимают сельскохозяйственные поля и пастбища. Муравьевская низменность и предгорные шлейфы заняты (тхл) елово-пихтовыми разнотравными лесами (*Picea ajanensis* и *Abies sachalinensis*). В кедровостланиковых сообществах (фкс) доминантным видом выступает *Pinus pumila*. В центральной части низменности

располагаются озера, мари, болота. Травяно-кустарничковый покров составляют *Calamagrostis langsdorffii*, *Phragmites australis*, *Angelica genuflexa*, а также осоки (*Carex cryptocarpa*, *C. dispalata*, *C. middendorffii*, *C. rhynchophysa*). В южной части района в заболоченных местах к *Larix cajanderi* и *Picea ajanensis* примешивается *Picea glehnii*. Пойменные леса (дл) образованы ивами и тополем, в них хорошо развит крупнотравный ярус, сформированный лабазником (*Filipendula camtschatica* (Pall.) Maxim.), гречихой сахалинской (*Reynoutria sachalinensis* (Fr. Schmidt) Nakai), белокопытником (*Petasites amplus* Kitam.) [32]. Низкогорный хребет Лисянского покрыт в основном темнохвойными пихтово-еловыми и смешанными лесами (*Abies sachalinensis*, *Picea ajanensis*, *Alnus hirsuta*). В юго-восточной части района, на Тонино-Анивском полуострове, встречаются бамбучники [33]. Местами распространены представители флоры северояпонского типа. Северные виды во флористическом составе встречаются не часто.

Обсуждение

Проблема трактовки границ растительных сообществ обсуждается давно [9, 10]. Границы коренных растительных сообществ далеко не всегда имеют четкие очертания. Существует множество комбинаций, в которых имеет место контакт сообществ с различными динамическими тенденциями. Рубеж может быть между прогрессирующим и регрессирующим сообществами, причем оба процесса протекают очень быстро. При физиономической классификации растительности границы определяются общим флористическим аспектом в зависимости от внешней среды. Эколого-флористический критерий установления ассоциаций основан на распространении доминант и разного рода экологических индикаторов. Не вдаваясь в детали, мы можем признать, что границы не абсолютны, а зависят от

тех принципов, которые положены в основу классификации растительности. Так, в результате проведенных исследований можно отметить расширение распространения растительных сообществ, характерных для Центрального горного района за счет уменьшения площади широколиственных лесов на полуострове Крильон, которые не восстановились после интенсивных рубок в 1940–60-е гг., а также воздействия крупных ветровалов на этой территории в последующие годы. Активизация заселения склонов Южно-Камышового хребта бамбучниками послужила серьезным препятствием восстановлению прежних растительных сообществ. Кроме того, следует отметить уменьшение площади темнохвойных лесов в обрамлении Сусунайского равнинного района, где значительные территории заняли в настоящее время березняки.

Заключение

Анализ распределения растительных сообществ на исследуемой территории дал возможность выявить современное состояние лесных сообществ, прогнозировать отдельные негативные природные явления (пожары, заболачивание и т. п.). Состав и распределение растительных сообществ на юге острова Сахалин претерпели значительные изменения под влиянием сильного антропогенного воздействия. Исчезают девственные темнохвойные леса, они сменяются вторичными менее продуктивными лиственными насаждениями. Уменьшаются популяции наиболее редких видов растений, а вместе с тем все больше и больше места занимают сорные растения, распространению которых в первую очередь способствует хозяйственная деятельность человека. Границы районов изменились в связи с тем, что коренные темнохвойные леса уступили место березнякам, а также заселению территорий бамбучниками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Братков В. В., Заурбеков Ш. Ш., Мелкий В. А., Вазарханов И. С. Геоэкология : учеб. Сер. Бакалавриат и магистратура. – М. : КноРус, 2021. – 282 с.
2. Атлас Сахалинской области / Под ред. П. А. Леонова. – М. : ГУГК, 1967. – 144 с.
3. Атлас Сахалинской области. Ресурсы и экономика / Под ред. В. П. Козынюка. – Южно-Сахалинск : Сахалинское книжное изд-во, 1994. – 21 карта.

4. Мелкий В. А., Верхотуров А. А. Обзор изданий картографических материалов в Сахалинской области // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 5. – С. 48–53.
5. Архивы данных [Электронный ресурс] // Сайт Центра Коллективного Пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» отдела Технологий спутникового мониторинга Института космических исследований Российской академии наук. – Режим доступа: <http://smislab.ru/default.aspx?page=483> (дата обращения 25.04.2023).
6. Landsat Missions [Electronic resource] // United States Geological Survey (USGS). – Mode of access: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions> (accessed 25.04.2023).
7. Plants of the World Online. Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens, Kew [Electronic resource]. – Mode of access: <https://powo.science.kew.org> (accessed 25.02.2023).
8. Кузнецов Н. И. Ботанико-географическое картографирование Европейской России // Записки Одесского общества естествоиспытателей. – 1928. – Т. 44. – С. 309–320.
9. Сочава В. Б. Классификация растительности как иерархия динамических систем // Геоботаническое картографирование. – 1972. – С. 3–17. – DOI <https://doi.org/10.31111/geobotmap/1972.3> (дата обращения 25.04.2023).
10. Сочава В. Б. Логические основы и пути повышения информативности карт растительного покрова // Геоботаническое картографирование. – 1976. – С. 12–17.
11. Полежаев А. Н. Научные основы мониторинга растительных ресурсов на Севере Дальнего Востока России // Северо-Восточный научный журнал. – 2008. – № 1 (2). – С. 32–40.
12. Емельянова Л. Г., Огуреева Г. Н. Биогеографическое картографирование : учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2023. – 108 с.
13. Баргалаев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А., Шабанов Н. В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. – М. : ИКИ РАН, 2016. – 208 с.
14. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий : монография. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 260 с.
15. Карпик А. П., Мусихин И. А., Ветошкин Д. Н. Интеллектуальные информационные модели территорий как эффективный инструмент пространственного и экономического развития // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 155–163. – DOI [10.33764/2411-1759-2021-26-155-163](https://doi.org/10.33764/2411-1759-2021-26-155-163).
16. Жарников В. Б. Рациональное использование земель как задача геоинформационного пространственного анализа // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3(23). – С. 77–81.
17. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М. : Техносфера, 2010. – 560 с.
18. GIS, Spatial Analysis and Modeling / Eds. D. J. Maguire, M. Batty, M. F Goodchild. – Redlands, California : ESRI Press, 2005. – 480 p.
19. Schmidt F. Reisen im Amur-Lande und auf der Insel Sachalin, im Auftrage der Kaiserlich-Russischen geographischen Gesellschaft ausgefuehrt. Botanischer Theil. – St.-Pétersbourg : Acad. Imp. des sciences, 1868. – 227 с. (auf Deutsch).
20. Miyabe K., Tatewaki M. On the significance of the Schmidt Line in the plant distribution in Saghalien // Proceedings of the Imperial Academy (Japan). – 1937. – Vol. 13, No 1. – P. 24–26.
21. Толмачев А. И. Геоботаническое районирование острова Сахалина. – М.-Л. : Изд-во Академии наук СССР, 1955. – 80 с.
22. Тахтаджян А. Л. Флористические области Земли. – Л. : Наука, 1978. – 247 с.
23. Igarashi Y., Igarashi T. Late Holocene vegetation history in south Sakhalin, northeast Asia // Japanese journal of ecology. – 1998. – Vol. 48. – P. 231–244.
24. Крестов П. В., Баркалов В. Ю., Таран А. А. Ботанико-географическое районирование острова Сахалин [Электронный ресурс] // Растительный и животный мир острова Сахалин (материалы Междунар. сахалинского проекта). – Владивосток : Дальнаука, 2004. – Т. 1. – С. 67–90. – Режим доступа: <http://www.biosoil.ru/files/00000823.pdf>. (дата обращения 25.02.2023).
25. Короткий А. М., Гребенникова Т. А., Пушкарь В. С., Разжигаева Н. Г., Волков В. Г., Ганзей Л. А., Мохова Л. М., Базарова В. Б., Макарова Т. Р. Климатические смены на территории юга Дальнего Востока в позднем Кайнозое (Миоцен-Плейстоцен). – Владивосток : ДВГУ, 1996. – 58 с.
26. Igarashi Y. Vegetation and climate during the LGM and the last deglaciation on Hokkaido and Sakhalin Islands in the northwest Pacific // Quaternary International. – 2016. – Vol. 425. – P. 28–37. – DOI [10.1016/j.quaint.2016.05.018](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.05.018).
27. Hämet-Ahti L., Ahti T., Koponen T. A scheme of vegetation zones for Japan and adjacent regions // Annales Botanici Fennici. – 1974. – No. 11. – P. 59–88.

28. Верхотуров А. А., Мелкий В. А. Картографирование растительных сообществ подзоны темнохвойных лесов юга Сахалина на основе космических съемок // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2020. – Т. 26, № 4. – С. 60–72. – DOI 10.35595/2414-9179-2020-4-26-60-72.
29. Набор топографических карт в квадрате L-54. Travel Association – Trasa.RU [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://trasa.ru/topomap/content/154.html> (дата обращения 25.04.2023).
30. Sabirov R. N., Melkiy V. A., Verkhoturov A. A. Analysis transformation of forests of the Southern Sakhalin by remote sensing data using geoinformation technologies // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 806 (1). – P. 012027. – DOI 10.1088/1755-1315/806/1/012027.
31. Кордюков А. В., Ежкин А. К. Широколиственные рощи бассейна р. Арканзас (о. Сахалин) // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 2. – С. 56–59.
32. Белянина Я. П. Ландшафты юго-восточной части острова Сахалин // Изв. Дагестанского гос. пед. ун-та. Естественные и точные науки. – 2015. – № 3 (32). – С. 87–92.
33. Галанин А. В., Галанина И. А. Анализ эколого-ценотической структуры пихтового (*Abies sachalinensis*) леса с подлеском из бамбука курильского (*Sasa kurilensis*) на юге Сахалина // Вестник Северо-Восточного науч. центра ДВО РАН. – 2008. – № 1. – С. 33–46.

Об авторах

Вячеслав Анатольевич Мелкий – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности.

Виталий Викторович Братков – доктор географических наук, зав. кафедрой географии.

Екатерина Сергеевна Чернявка – магистрант.

Алексей Александрович Верхотуров – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Центра коллективного пользования.

Дмитрий Витальевич Лисицкий – доктор технических наук, профессор, директор НИИ стратегического развития.

Получено 10.04.2023

© В. А. Мелкий, В. В. Братков, Е. С. Чернявка,
А. А. Верхотуров, Д. В. Лисицкий, 2023

Vegetation mapping of the southern part of the Sakhalin Island by data of decoding images of the Landsat satellite system

V. A. Melkiy^{1,}, V. V. Bratkov², E. S. Chernyavka², A. A. Verkhoturov¹, D. V. Lisitsky³*

¹ Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch RAS,
Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation

² Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), Moscow, Russian Federation

³ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: vamelkiy@mail.ru

Abstract. The purpose of the research is to determine the factors that have a significant impact on the distribution structure of plant communities over the territory and to draw up a vegetation map. The article presents the analytical results of the vegetation cover diversity and geobotanical mapping of the territory based on the data of decoded satellite images. Materials and methods. The main sources of information for the study are materials of field geobotanical studies and satellite images of medium spatial resolution obtained from the Landsat-8 satellite, which provided an assessment of the current state of forest communities. Modern compilation and design of maps is characterized by the widespread use of GIS technologies and computer analysis methods. To decrypt and process the images, the ENVI, ArcGIS, and QGIS software complexes were used. The final processing and design of the cartographic material was carried out using the Adobe Illustrator program. Results. The southern part of the Sakhalin Island territory was chosen as the object of research, on which a large number of east-asian species, including tree and shrub forms, grow. In the Yuzhno-Sakhalinsk floristic region, the flora of the North-Japanese type prevails, and the presence of northern species characteristic of the dark coniferous taiga zone is noticeably reduced in its composition. Krillionsky district is distinguished by the presence of species common with the Southern Kuril

Islands and the Hokkaido Island. The results of studying the spatial distribution of forest landscapes served as a basis for identifying the most resistant to climate change plant communities, as well as those capable of rapid recovery after forest fires. Climatic conditions have been analyzed, which made it possible to identify trends in the long-term dynamics of plant communities in the territory. The analysis of long-term dynamics made it possible to identify the current state of forest communities, predict certain negative natural phenomena (fires, waterlogging, etc.). Conclusions. The dynamics of the state of forest plant communities is clearly determined by the data of satellite surveys. The map, compiled on the basis of the results of space images interpretation, reflects the spatial distribution and state of the vegetation cover of the territory, enables to make an inventory of plant associations, to establish the boundaries of geobotanical regions in their current state.

Keywords: aerospace earth research, geoinformation technologies, geospatial modeling, taiga zone, geobotanical mapping, land monitoring

REFERENCES

1. Bratkov, V. V., Zaurbekov, Sh. Sh., Melkiy, V. A., & Vazarkhanov, I. S. (2021). *Geoekologiya [Geocology]*. Moscow: KnoRus Publ., 280 p. [in Russian].
2. Leonov, P. A. (Ed.). (1967). *Atlas Sakhalinskoy oblasti [Atlas of the Sakhalin region]*. Moscow: GUGK Publ., 144 p. [in Russian].
3. Kozynyuk, V. P. (Ed.). (1994). *Atlas Sakhalinskoy oblasti. Resursy i ekonomika [Atlas of the Sakhalin region Resources and Economics]*. Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin Book Publ., 21 maps [in Russian].
4. Melkiy, V. A., & Verkhoturov, A. A. (2014). Review of publications of cartographic materials in the Sakhalin region. *Izvestia vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 58(5), 48–53 [in Russian].
5. Data archives. (2023). Website of the Center for Collective Use (CCU) "SRI-Monitoring" of the Department of Satellite Monitoring Technologies of the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences. Retrived from <http://smislab.ru/default.aspx?page=483> (accessed 25 April, 2023).
6. Landsat Missions. (2023). United States Geological Survey (USGS). Retrived from: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions> (accessed 25 April, 2023).
7. Plants of the World Online. (2023). Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens, Kew. Retrived from <https://powo.science.kew.org> (accessed 25 February, 2023).
8. Kuznetsov, N. I. (1928). Botanical and geographical mapping of European Russia. *Zapiski Odesskogo obshchestva estestvoispytateley [Notes of the Odessa Society of Naturalists]*, 44, 309–320 [in Russian].
9. Sochava, V. B. (1972). Classification of vegetation as a hierarchy of dynamic systems. *Geobotanicheskoe kartografirovanie [Geobotanical Mapping]*, pp. 3–17. DOI 10.31111/geobotmap/1972.3 [in Russian].
10. Sochava, V. B. (1976). Logical principles of construction and improvement of information content of vegetation maps. *Geobotanicheskoe kartografirovanie [Geobotanical Mapping]*, pp. 12–17 [in Russian].
11. Polezhaev, A. N. (2008). Scientific bases of monitoring of plant resources in the North of the Russian Far East. *Severo-Vostochnyi nauchnyi zhurnal [Northern-East Scientific Journal]*, 1(2), 32–40 [in Russian].
12. Emel'yanova, L. G., & Ogureeva, G. N. (2023). *Biogeograficheskoe kartografirovanie [Biogeographic mapping]* (2nd ed.). Moscow: Iurait Publ., 108 p. [in Russian].
13. Bartalev, S. A., Egorov, V. A., Zharko, V. O., Loupian, E. A., Plotnikov, D. E., Khvostikov, S. A., & Shabanov, N. V. (2016). *Sputnikovoe kartografirovanie rastitel'nogo pokrova Rossii [Land cover mapping over Russia using Earth observation data]*. Moscow: IKI RAN Publ., 208 p. [in Russian].
14. Karpik, A. P. (2004). *Metodologicheskie i tekhnologicheskie osnovy geoinformatsionnogo obespecheniya territoriy [Methodological and technological bases of geoinformation support of territories]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 260 p. [in Russian].
15. Karpik, A. P., Musikhin, I. A., & Vetoshkin, D. N. (2021). Smart information models as an effective tool of regional spatial and economic development. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(2), 155–163. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-155-163 [in Russian].
16. Zharnikov, V. B. (2013). Rational use of land as a task of geoinformation spatial analysis. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 3(23), 77–81 [in Russian].
17. Shovengerdt, R. A. (2010). *Distantsionnoe zondirovanie. Modeli i metody obrabotki izobrazheniy [Remote sensing. Models and methods of image processing]*. Moscow: Tekhnosfera Publ., 560 p. [in Russian].
18. Maguire, D. J., Batty, M., & Goodchild M. F. (Eds.). (2005). *GIS, Spatial Analysis and Modeling*. Redlands, California: ESRI Press, 480 p.

19. Schmidt, F. (1868). *Reisen im Amur-Lande und auf der Insel Sachalin, im Auftrage der Kaiserlich-Russischen geographischen Gesellschaft ausgeführt. Botanischer Theil*. St.-Petersbourg: Acad. Imp. des sciences, 227 p. [auf Deutsch].
20. Miyabe, K., & Tatewaki, M. (1937). On the significance of the Schmidt Line in the plant distribution in Saghalien. *Proceedings of the Imperial Academy*, 13(1), 24–26.
21. Tolmachev, A. I. (1955). *Geobotanicheskoe raionirovanie ostrova Sakhalina [Geobotanical zoning of Sakhalin Island]*. Moscow–Leningrad: USSR Academy of Sciences Publ., 80 p. [in Russian].
22. Takhtadzhyan, A. L. (1978). *Floristicheskie oblasti Zemli [Floristicheskie oblasti Zemli]*. Leningrad: Nauka Publ., 247 p. [in Russian].
23. Igarashi, Y., & Igarashi, T. (1998). Late Holocene vegetation history in south Sakhalin, northeast Asia. *Japanese Journal of Ecology*, 48, 231–244 [in Japanese].
24. Krestov, P. V., Barkalov, V. Yu., & Taran, A. A. (2004). Botanical and geographical zoning of Sakhalin Island. In *Rastitel'nyi i zhivotnyi mir ostrova Sakhalin (materialy Mezhdunarodnogo sakhalinskogo proekta): T. 1 [Flora and fauna of Sakhalin Island (materials of the international Sakhalin project): Vol. 1]* (pp. 67–92). Vladivostok: Dalnauka Publ. [in Russian].
25. Korotkiy, A. M., Grebennikova, T. A., Pushkar', V. S., Razzhigaeva, N. G., Volkov, V. G., Ganzei, L. A., Mokhova, L. M., Bazarova, V. B., & Makarova, T. R. (1996). *Klimaticheskie smeny na territorii yuga Dal'nego Vostoka v pozdnem Kaynozoe (Miotsen-Pleistotsen) [Climatic changes on the south of Russian Far East in the Late Cenozoic (Miocene-Pleistocene)]*. Vladivostok: DVGU Publ., P. 58 [in Russian].
26. Igarashi, Y. (2016). Vegetation and climate during the LGM and the last deglaciation on Hokkaido and Sakhalin Islands in the northwest Pacific. *Quaternary International*, 425, 28–37. DOI 10.1016/j.quaint.2016.05.018.
27. Hämet-Ahti, L., Ahti, T., & Köpönen, T. (1974). A scheme of vegetation zones for Japan and adjacent regions. *Annales Botanici Fennici*, 11, 59–88.
28. Verkhoturov, A. A., & Melkiy, V. A. (2020). Mapping of vegetation communities of the subzone of dark coniferous forests of South Sakhalin based on space surveys. *InterKarto. InterGIS*, 26(4), 60–72. DOI 10.35595/2414-9179-2020-4-26-60-72 [in Russian].
29. A set of topographic maps in a square L-54. (n. d.). Travel Association – Trasa.RU. Retrieved from <https://trasa.ru/topomap/content/154.html> (accessed 25 April, 2023).
30. Sabirov, R. N., Melkiy, V. A., & Verkhoturov, A. A. (2021). Analysis transformation of forests of the Southern Sakhalin by remote sensing data using geoinformation technologies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 806(1), P. 012027. DOI 10.1088/1755-1315/806/1/012027 [in Russian].
31. Kordyukov, A. V., & Ezhkin, A. K. (2018). Broad-leaved groves of the Arkansas River basin (Sakhalin Island). *Problemy regional'noy ekologii [Problems of Regional Ecology]*, 2, 56–59 [in Russian].
32. Belyanina, Ya. P. (2015). Landscapes of the south-eastern part of Sakhalin Island. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki [News of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and Exact Sciences]*, 3(32), 87–92 [in Russian].
33. Galanin, A. V., & Galanina, I. A. (2008). Analysis of ecological coenotic structure of *Abies sachalinensis* forest with underforest *Sasa kurilensis*, Southern Sakhalin. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN [Bulletin of the North-East Scientific Center]*, 1, 33–46 [in Russian].

Author details

Vyacheslav A. Melkiy – D. Sc., Leading Researcher, Laboratory of Volcanology and Volcanic Hazard.

Vitaliy V. Bratkov – D. Sc., Head of the Geography Department.

Ekaterina S. Chernyavka – Master's student.

Alexey A. Verkhoturov – Ph. D., Senior Researcher, Center for Collective Use.

Dmitry V. Lisitsky – D. Sc., Professor, Director of the Research Institute for Strategic Development.

Received 10.04.2023

© V. A. Melkiy, V. V. Bratkov, E. S. Chernyavka,
A. A. Verkhoturov, D. V. Lisitsky, 2023