

А.А. Верхотуров<sup>1</sup>, В.А. Мелкий<sup>2</sup>

## КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ПОДЗОНЫ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ЮГА САХАЛИНА НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКИХ СЪЁМОК

### АННОТАЦИЯ

Авторами выполнены исследования с целью повышения эффективности тематического картографирования на основе распознавания растительных сообществ подзоны темнохвойных лесов юга Сахалина на разновременных спутниковых изображениях среднего пространственного разрешения Landsat 8. Для улучшения качества распознавания при автоматизированном дешифрировании использовались эталонные выборки участков, где были проведены геоботанические исследования. Проводились эксперименты по дешифрированию растительности на одноканальных, синтезированных многозональных изображениях, полученных в разные сезоны года. Спектральные характеристики позволяют выявить на снимках растительные сообщества по морфолого-физиологическим свойствам различных растений, которые количественно оценивались по отражению растительности на весеннем снимке, и интегральный показатель фотосинтетической активности растительности, которую оценивали по индексу NDVI, рассчитываемому по весенне-осенним снимкам. Рассмотрены концептуальные и методические аспекты прямого экспертного дешифрирования растительности по снимкам Landsat методами классификации с использованием инструментов растровой алгебры ESRI ArcGIS. На примере исследования растительных сообществ подзоны темнохвойных лесов юга Сахалина с достаточным уровнем достоверности выделены темнохвойные лесные массивы, каменистые берега, формация кедрового стланика, долинная лесостепь, заросли курильского бамбука, а также селитебные зоны, сельскохозяйственные угодья, участки, лишённые растительности в результате гравитационных склоновых процессов, заболоченные участки, ветровалы и техногенные пустоши. Дешифрирование растительного покрова по снимкам Landsat показало, что использование сезонного временного ряда позволяет существенно повысить достоверность дешифрирования большинства видов растительных сообществ на юге острова. Район исследований характеризуется значительным перепадом высот — от 0 до 1100 м, чем обусловлено наличие высотной поясности в растительном покрове, которую необходимо учитывать при дешифрировании. Картографирование завершается выполнением векторизации растровых слоёв и дальнейшей генерализации векторных полигонов в соответствии с выбранным масштабом карты.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дешифрирование аэрокосмических изображений, тематическое картографирование, спектральные диапазоны, пихтово-еловые леса, геодезическая привязка

---

<sup>1</sup> Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, Центр коллективного пользования, ул. Науки, д. 1Б, 693022, Южно-Сахалинск, Россия; *e-mail*: [ussr-91@mail.ru](mailto:ussr-91@mail.ru)

<sup>2</sup> Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, Лаборатория вулканологии и вулканопасности, ул. Науки, д. 1Б, 693022, Южно-Сахалинск, Россия; *e-mail*: [vamelkiy@mail.ru](mailto:vamelkiy@mail.ru)

Alexey A. Verkhoturov<sup>1</sup>, Vyacheslav A. Melkiy<sup>2</sup>

## MAPPING OF VEGETATION COMMUNITIES OF THE SUBZONE OF DARK CONIFEROUS FORESTS OF THE SOUTH SAKHALIN BASED ON SPACE SURVEYS

### ABSTRACT

Research was carried out to improve efficiency of thematic mapping based on the recognition of plant communities in the subzone of dark coniferous forests for South of Sakhalin on multi-time satellite images of average resolution Landsat 8. We used reference samples of sites where geobotanical studies were conducted, to improve the quality of recognition during automated decryption. Experiments were conducted to decode vegetation on single-channel, synthesized multi-zone images obtained in different seasons of year. Spectral characteristics allow us to identify plant communities in images based on morphological and physiological properties of various plants, which were quantified by reflection of vegetation in the spring image, and an integral indicator of photosynthetic activity of vegetation, which was evaluated by NDVI index calculated from spring and autumn images. Conceptual and methodological aspects of direct expert interpretation of vegetation from Landsat images by classification methods using ESRI ArcGIS raster algebra tools are considered. On example of study of vegetation communities of subzone of dark-coniferous forests of the South of Sakhalin with sufficient level of reliability, dark-coniferous forests, stone birch forest, cedar elfin formation, valley forests, thickets of Kuril bamboo, as well as residential zones, agricultural lands, areas devoid of vegetation as result of gravitational slope processes, wetlands, windfalls and man-made wasteland were identified. Decoding of vegetation cover from Landsat images showed that use of seasonal time series can significantly increase the reliability of the interpretation of most species of plant communities for the South of island. The research area is characterized by significant difference in altitude from 0 to 1100 m, as a result presence of high-altitude zone in the vegetation cover, which must be taken into account when decoding. Mapping is completed by performing automatic vectorization of raster layers and further generalization of vector polygons in accordance with selected map scale.

**KEYWORDS:** decoding of aerospace images, thematic mapping, spectral ranges, fir-spruce forests, geodetic reference

### ВВЕДЕНИЕ

Южная часть острова Сахалин — наиболее густонаселённая в регионе, вследствие чего природная среда подвергается значительному антропогенному воздействию. Лесные экосистемы являются чутким индикатором нарушенности среды. Космический мониторинг лесов в настоящее время стал одним из наиболее доступных способов для выявления их состояния, особенно в труднодоступных районах Сибири и Дальнего Востока. Разработкой методов дешифрирования растительных сообществ на основе GIS-технологий занимались многие исследователи [Мелкий и др., 1998; Рус, 2006; Ohmann et al., 2011; Gong et al., 2013; Rogan et al., 2013; Барталев и др., 2015; Еришов и др., 2015; Баймаганбетова, Голубева, 2016; Кадочников, Якубайлик, 2016; Гаджимурадова и др., 2017; Корец, Скудин, 2018; Кадочников, 2019; Мелкий и др., 2019].

<sup>1</sup> The Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Center for collective use, Nauki str., 1B, 693022, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia; e-mail: [ussr-91@mail.ru](mailto:ussr-91@mail.ru)

<sup>2</sup> The Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Laboratory of volcanology and volcano hazard, Nauki str., 1B, 693022, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia; e-mail: [vamelkiy@mail.ru](mailto:vamelkiy@mail.ru)

Начало широкомасштабным исследованиям флоры Сахалина положил Ф.Б. Шмидт [1868], который выделял на острове два ботанико-географических района. Позднее исследованиями в зоне разграничения этих районов занимались японские ботаники К. Миябе и М. Татеваки [1937], которые определили точное местоположение «линии Шмидта». Детальное районирование для всей территории Сахалина было предложено Н.Е. Кабановым [1950]. Он предложил принципы дробного районирования без учёта региональных особенностей, что не позволило произвести зональную дифференциацию растительного покрова острова. Основываясь на идее зонального распределения растительности, А.И. Толмачёвым [1955] выделено 14 районов и 4 подзоны (рис. 1).

Границы подзон были проведены следующим образом:

- 1) северная граница, отделяющая подзону лиственничных лесов от подзоны темнохвойных лесов с преобладанием ели, по линии «залив Виахту — залив Набиль»;
- 2) граница, разделяющая подзоны темнохвойных лесов с преобладанием ели или пихты (на перешейке Поясок);
- 3) северо-восточная граница распространения широколиственно-пихтово-еловых лесов (по линии «с. Пензенское — г. Анива»), отделяющая подзону темнохвойных лесов с преобладанием пихты от подзоны темнохвойных лесов с примесью широколиственных пород.

Вслед за К. Миябе и М. Татеваки северную границу Западно-Сахалинского района как рубеж между двумя фитоценозами на Сахалине на основании выявления в составе растительных сообществ восточно-азиатских родов установили П.В. Крестов, В.Ю. Баркалов, А.А. Таран [2004]. Проникновение представителей южной флоры, например дубняков из *Quercus crispula*, до этой границы в период 7000–5200 лет назад обосновано в работах [Igarashi, Igarashi, 1998; Igarashi et al., 2001].

Объектом нашего исследования послужила территория, которая при геоботаническом районировании о-ва Сахалин выделена А.И. Толмачёвым в подзону зеленомошных темнохвойных лесов с преобладанием пихты (*Abies sachalinensis*). Основной чертой распределения растительности на этой территории является повсеместное преобладание пихтово-еловых лесов. С повышением гипсометрического уровня нижний ярус в лесах постепенно переходит от зеленомошных к кустарниковым типам. Использование геоинформационных технологий при обработке разносторонней космической и геоботанической информации позволило построить тематические карты, на которых с высокой точностью отображено современное состояние растительных сообществ в подзоне пихтово-еловых лесов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основными источниками информации данной работы послужили материалы полевых геоботанических исследований и космические снимки среднего пространственного разрешения со спутника Landsat 8.

Изыскание полевого материала для картографирования растительных сообществ района исследования проводились по устоявшимся методикам [Побережная и др., 2009]. Полевые описания оцифрованы, имеют точную геодезическую привязку, структурированы и подготовлены для использования.

Помимо геоботанических описаний, использованы снимки с малой облачностью со спутника Landsat 8 за период с 2016 по 2019 гг., полученные в разные сезоны года. При визуальном и автоматизированном дешифрировании снимков использовались комбинации каналов данных Landsat (сканер OLI), одноканальные изображения, NDVI.

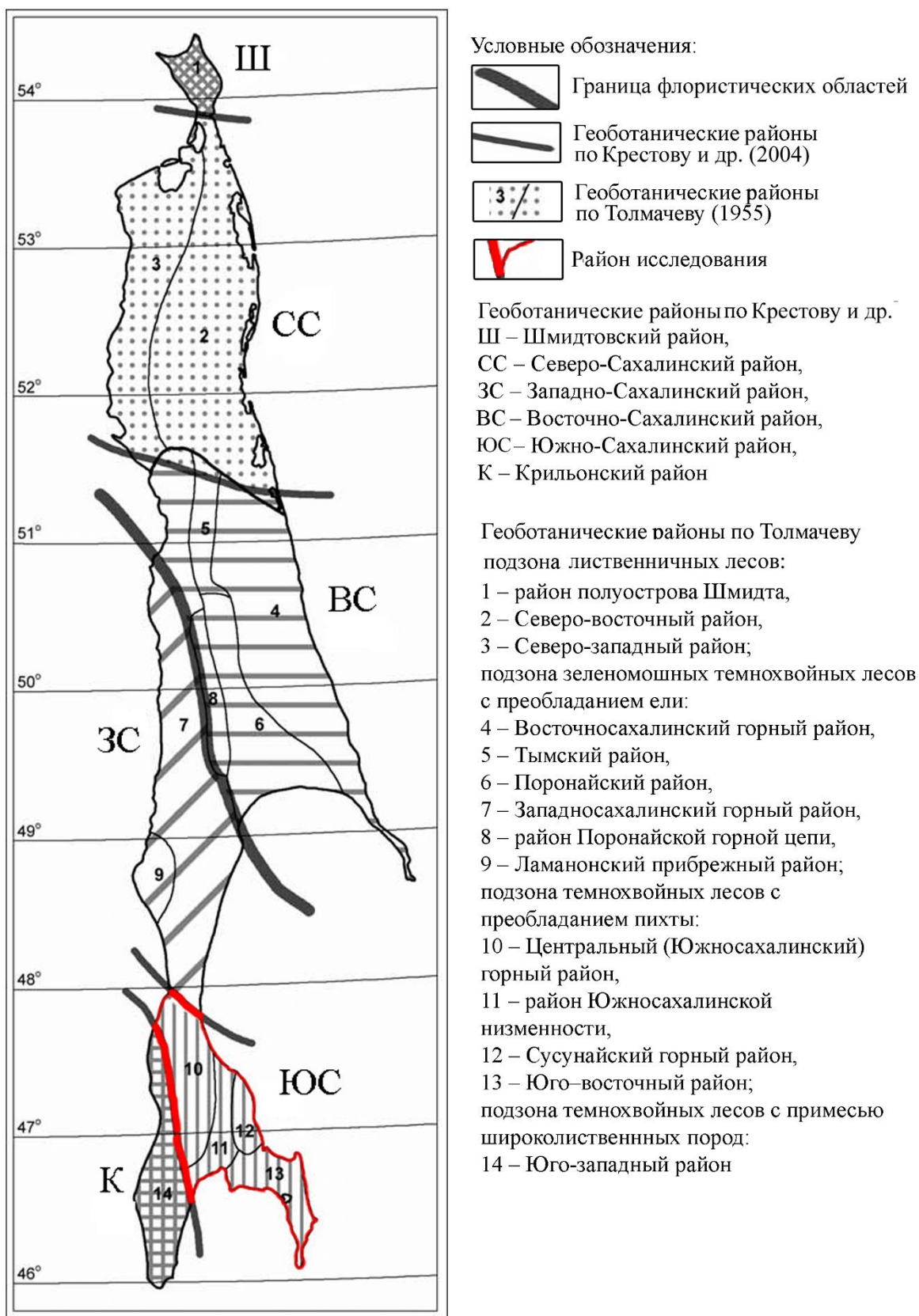


Рис. 1. Схема геоботанического районирования острова Сахалин по Толмачёву [1955] с изменениями Крестова и др. [2004]

Fig. 1. Scheme of geobotanical zoning of Sakhalin island according by Tolmachev [1955] with changes by Krestov et al. [2004]

Комбинация каналов 6-5-4 даёт много цветовых контрастов и крайне информативна для дешифрирования растительного покрова в оттенках зелёного и жёлтого. Комбинация каналов 5-4-3 позволяет распознавать растительные сообщества в оттенках красного. Наряду с синтезированными снимками растительность хорошо распознается и в панхроматическом (8 канал) и красном (4 канал) изображении (рис. 2).

Для дифференциации растительных сообществ под влиянием высотной поясности и для построения изогипс использована цифровая модель рельефа SRTM и топографические карты м-ба 1: 100 000 на исследуемую территорию.

Для составления карты растительных сообществ автоматизированное дешифрирование на основе эталонных площадок проводилось методом максимального подобия. Классы заданы с учётом их непересечения в поле спектральных яркостей. Для контроля качества автоматизированного дешифрирования и распознавания растительных сообществ, близких по своим спектральным характеристикам, проводилось визуальное дешифрирование.

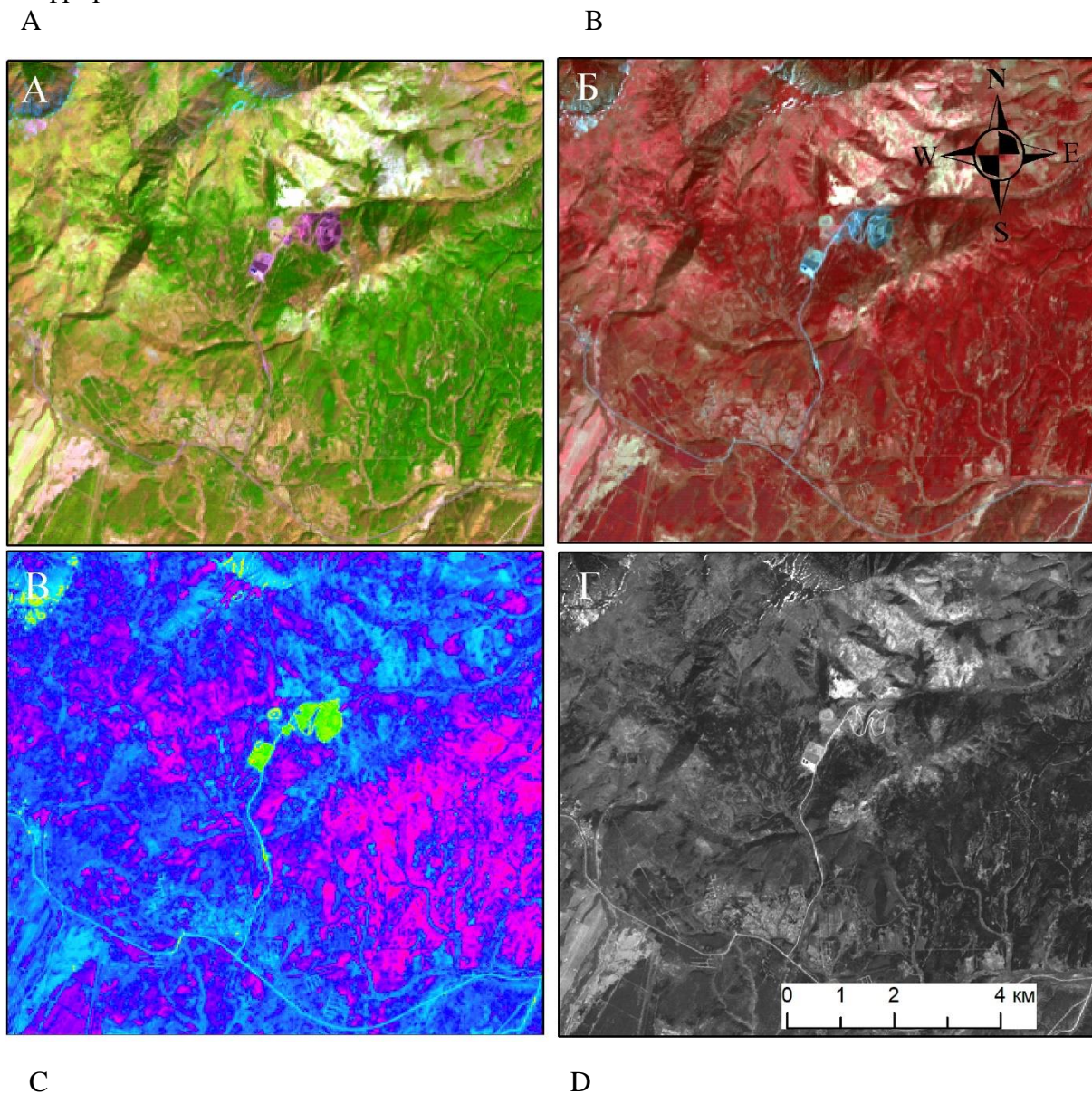


Рис. 2. Материалы ДЗЗ для дешифрирования: А — комбинация 6-5-4; Б — комбинация 5-4-3; В — изображение NDVI; Г — панхроматическое изображение  
Fig. 2. Remote sensing materials for decoding: A — combination 6-5-4; B — combination 5-4-3; C — NDVI image; D — panchromatic image

Картографирование завершается автоматической векторизацией растровых слоёв и дальнейшей генерализацией векторных полигонов в соответствии с выбранным масштабом карты в среде ESRI ArcGIS.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обработка и анализ распределения растительности на основе данных космических съёмок исследуемой территории представляют собой комплекс довольно сложных задач, вследствие того, что в её пределах рельеф изменяется от спокойного полого-наклонного равнинного до резко расчленённого горного. Древесная растительность района характеризуется заметной неоднородностью: лесообразующими породами являются как темнохвойные, так и лиственные. Большие лесопокрытые площади в течение XX в. подвергались промышленным рубкам, а также были сведены при их передаче в состав селитебных зон или земель сельскохозяйственного назначения. В последние десятилетия на участках, где ранее производились рубки темнохвойного леса, наблюдаются сукцессии, в результате которых, пройдя стадию господства в составе мелколиственных пород, начинают формироваться коренные древостои. Распознавание с использованием метода управляемой классификации в данных условиях осложнено, потому что спектральные характеристики различных растительных сообществ, характерных для объекта исследования, не только мало различаются, но и имеют область перекрытия в определённых диапазонах. Учитывая региональную специфику состояния растительных сообществ, предлагается разработанная технологическая схема обработки информации (рис. 3).



Рис. 3. Технологическая схема обработки данных о состоянии растительных сообществ  
Fig. 3. Technological scheme of processing data about state of vegetation communities

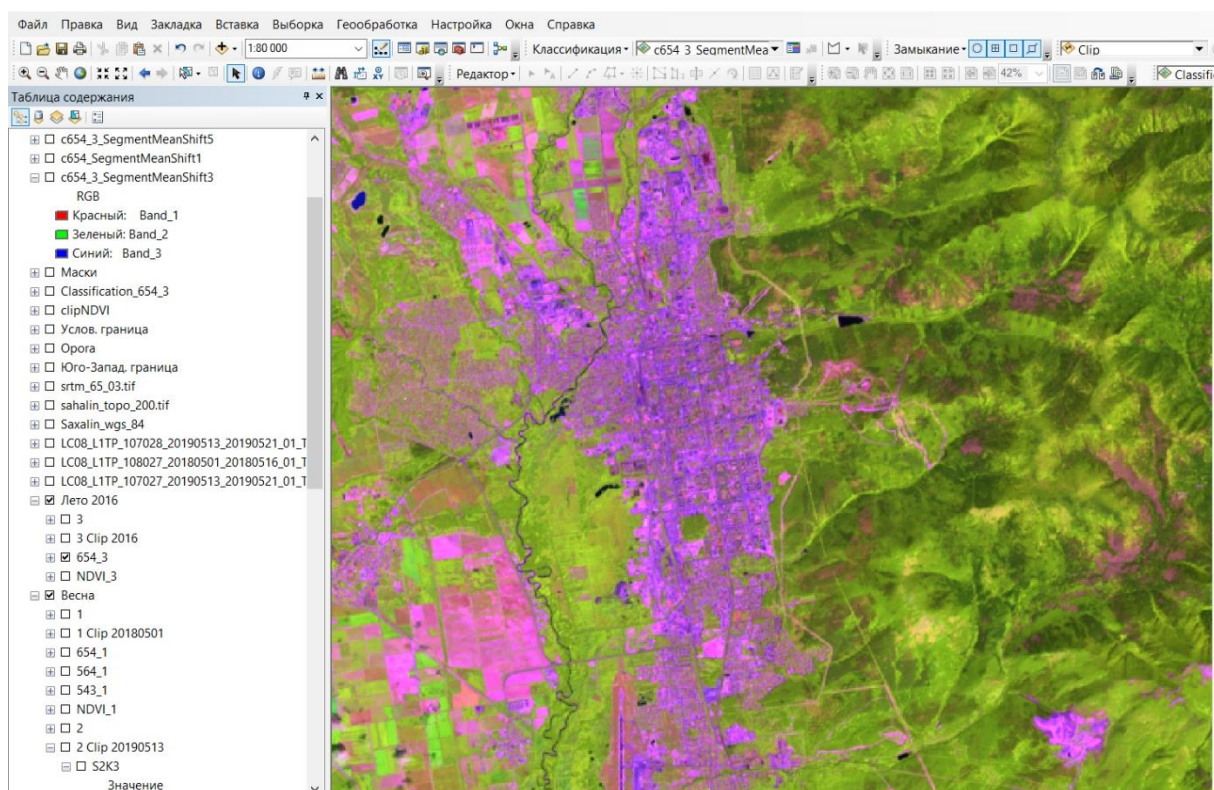
### **Технологическая схема дешифрирования**

Обычно первой процедурой при обработке космоснимков является геопривязка в ГИС (процедура геокодирования), необходимая для выполнения привязки электронной карты или растрового изображения к определённому месту на поверхности Земли, которое, в свою очередь, связано с геодезической системой отсчёта, такой как WGS-84. Таким образом осуществляется привязка объектов карты к адресам или координатам.

В первую очередь, после подбора космических снимков Landsat 8 с сайта Геологической службы США выполняется предварительная обработка космической информации. Поскольку данные поставляются уже с геодезической привязкой в системе WGS-84, основными операциями обработки являются проведение атмосферной коррекции и обрезка изображения области исследования.

Используя инструмент по созданию композитов, можно решать задачу подготовки наиболее выразительного сочетания каналов по дешифрированию растительных сообществ снимков Landsat (рис 4).

На исследуемой территории, кроме растительных сообществ, выделяются значительные площади, занятые водными объектами, селитебными зонами и землями сельскохозяйственного назначения. Водные объекты уверенно дешифрируются в автоматизированном режиме, как при проведении классификации методом максимального подобия на синтезированных изображениях в комбинации каналов 6-5-4, так и посредством выделения при обработке NDVI (значения  $< 0$ ). Селитебные зоны, сельскохозяйственные угодья и ветровалы хорошо распознаются при использовании обучаемой классификации в комбинации 6-5-4 на летних снимках.



*Рис. 4. Выделение селитебных зон, сельскохозяйственных угодий и ветровалов в комбинации каналов 6-5-4*

*Fig. 4. Allocation of residential areas, agricultural land and windthrow in combination of channels 6-5-4*

### **Исследование спектральных характеристик растительных сообществ территории**

При распознавании растительных сообществ подзоны темнохвойных лесов юга Сахалина на разновременных спутниковых изображениях среднего пространственного разрешения Landsat 8 получены спектральные характеристики отдельных каналов, по которым были рассчитаны NDVI (табл. 1).

Проведённые исследования показали, что полученные значения NDVI по данным летних съёмок не позволяют разделить растительные формации между собой. Однако болотная растительность по отражательным характеристикам уверенно идентифицируется только на летних изображениях. Бамбучники целесообразно выделять также в летний сезон, предварительно выделив темнохвойный лес и кедровый стланик. Пихтово-еловые леса хорошо выделяются на зимних и ранневесенних изображениях. На весенних снимках значения индекса темнохвойных лесов похожи на характеристики кедровостланниковой формации. Однако, учитывая высотную поясность растительности, местоположение этих сообществ можно разграничить по высоте 550–650 м.

*Табл. 1. Значения NDVI для растительных формаций по данным съёмки в различные сезоны*

*Table 1. NDVI values for vegetation formations according by data space survey in different seasons*

<b>Сезоны съёмки</b>	<b>зима – ранняя весна</b>	<b>весна</b>	<b>лето</b>
<b>Растительные формации</b>			
Пихтово-еловые леса	0,54–0,68	0,62–0,72	0,71–0,78
Каменноберезняки с бамбуком	0,07–0,15	0,51–0,58	0,83–0,85
Берёзовые и смешанные леса	0,37–0,46	0,43–0,50	0,82–0,85
Долинные леса	0,11–0,19	0,35–0,41	0,81–0,83
Кедрово-стланиковые сообщества	0,44–0,48	0,58–0,62	0,73–0,75
Бамбучники	0,32–0,47	0,43–0,57	0,71–0,78
Болотная растительность	0,35–0,39	0,37–0,41	0,61–0,64

В связи с тем, что спектральные характеристики выделяемых растительных формаций на разнотемпературных снимках зачастую перекрываются, необходимо их выделять в определённой последовательности:

- пихтово-еловая формация на зимних и весенних снимках;
- кедрово-стланиковая формация на весенних снимках;
- бамбучники — на летних;
- болотная растительность — на летних;
- формации берёзовых и смешанных лесов — на ранневесенних и зимних;
- каменноберезняки с бамбуком — на весенних;
- формации долинных лесов — на весенних.

### **Составление карты растительных сообществ**

Территория подзоны темнохвойных лесов с преобладанием пихты имеет существенную внутреннюю широтную и высотную дифференциацию растительного покрова (рис. 5). Растительность на западных склонах Камышового хребта несколько отличается от таковой на горных отрогах восточных склонов. Последнее обстоятельство обусловлено прежде всего ощутимым влиянием на восточные склоны Западно-Сахалинских гор воздушных масс, поступающих со стороны холодного Охотского моря.

Растительность восточных склонов, наряду с общими чертами для всей территории, имеет и специфические особенности. В частности, в пределах Сусунайского и Камышового хребтов хорошо выражена вертикальная поясность — предгорья, нижние и средние части горных склонов заняты темнохвойными лесами, выше располагаются



каменноберезняки, вслед за которыми формируется подгольцовый пояс. Долины рек заняты интразональными комплексами, усложняющими структуру растительного покрова.

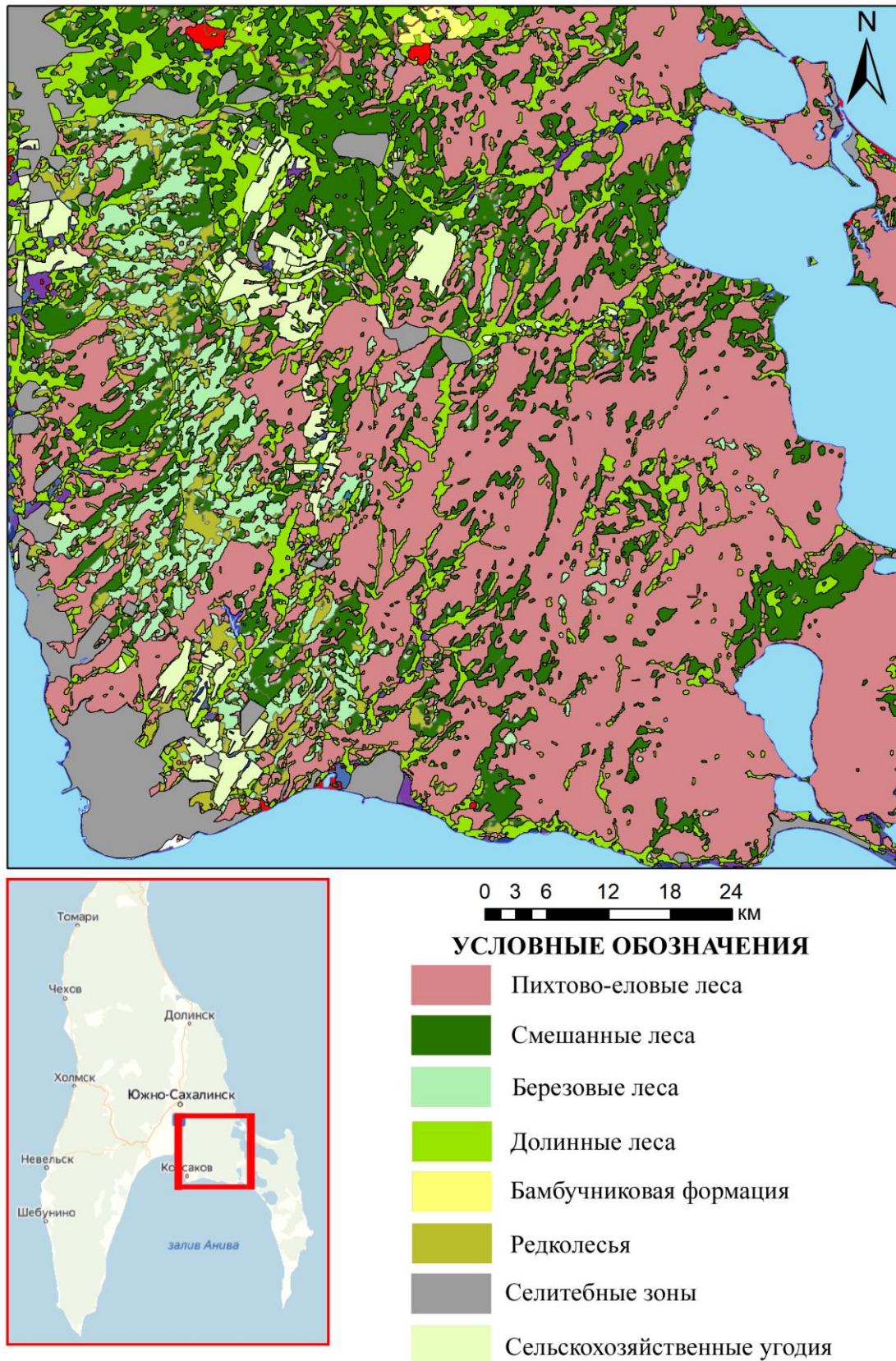


Рис. 5. Фрагмент карты растительных сообществ подзоны темнохвойных лесов  
Fig. 5. Fragment of map of the plant communities of coniferous forest subzone

На юге острова в связи с преобладанием горного рельефа болотные комплексы развиты относительно слабо.

## ВЫВОДЫ

В исследованной подзоне темнохвойных лесов с преобладанием пихты выделены следующие основные растительные формации:

- темнохвойные леса;
- каменноберезняки;
- формация кедрового стланика;
- долинные леса;
- заросли курильского бамбука;
- луговая растительность;
- субальпийская растительность.
- участки с болотной растительностью.

Кроме того, выявлены и нанесены на карту:

- селитебные зоны;
- сельскохозяйственные угодья;
- участки, лишённые растительности в результате гравитационных склоновых процессов;
- ветровалы;
- техногенные пустоши.

Выявлено, что по значениям вегетационного индекса NDVI растительные формации между собой практически не разделимы на изображениях, полученных во время летних съёмок. Эти материалы пригодны для выделения болотной растительности и бамбучников после предварительного вычленения сообществ темнохвойных лесов и кедрового стланика. Спектральные характеристики выделяемых растительных формаций на разносезонных снимках зачастую перекрываются. Поэтому необходимо выделять формации в определенной последовательности с учётом сезонности: пихтово-еловую формацию в зимний и весенний период, кедрово-стланиковую формацию — весной, бамбучники и болотную растительность — летом, берёзовые и смешанные леса — весной и зимой, каменноберезняки с бамбуком и долинные леса — весной.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баймаганбетова Г.А., Голубева Е.И. Космические снимки для картографирования и мониторинга состояния зелёного каркаса г. Астаны. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобальных изменений климата: Материалы Междунар. конф. М.: Издательский дом «Научная библиотека», 2016. Т. 22. Ч. 1. С. 370–380. DOI: 10.24057/2414-9179-2016-1-22-370-380.
2. Барталёв С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Луян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А. Состояние и перспективы развития методов спутникового картографирования растительного покрова России. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015. Т. 12. № 5. С. 203–221.
3. Гаджимурадова З.М., Атаев З.В., Братков В.В. Влияние современных климатических изменений на динамику растительного покрова южной части предгорных ландшафтов Дагестана (по материалам дистанционного зондирования Земли). Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки, 2017. Т. 11. № 3. С. 95–103.

4. *Ершов Д.В., Гаврилюк Е.А., Карпущина Д.А., Ковганко К.А.* Новая карта растительности центральной части европейской России по спутниковым данным высокой детальности. Доклады Академии наук, 2015. Т. 464. № 5. С. 639–641. DOI: 10.7868/S0869565215290289.
5. *Кабанов Н.Е.* Ботанико-географические районы Сахалина. Сообщения ДВФ АН СССР, 1950. Вып. 1. С. 20–24.
6. *Кадочников А.А.* Разработка программно-технологической платформы для комплекса оперативной обработки спутниковых данных. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2019. Т. 25. № 1. С. 388–397. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-388-397.
7. *Кадочников А.А., Якубайлик О.Э.* Программно-технологическое обеспечение геоинформационной системы бассейна р. Енисей. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобальных изменений климата: Материалы Междунар. конф. М.: Издательский дом «Научная библиотека», 2016. Т. 22. Ч. 1. С. 111–119. DOI: 10.24057/2414-9179-2016-1-22-111-119.
8. *Корец М.А., Скудин В.М.* Автоматизированное дешифрирование лесотаксационных выделов по материалам космической съёмки и цифровой модели рельефа местности. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. Т. 24. Ч. 2. С. 94–105. DOI: 10.24057/2414-9179-2018-2-24-94-105.
9. *Крестов П.В., Баркалов В.Ю., Таран А.А.* Ботанико-географическое районирование острова Сахалин. Растительный и животный мир острова Сахалин. Материалы Международного сахалинского проекта. Владивосток: Дальнаука, 2004. Т. 1. С. 67–92.
10. *Мелкий В.А., Марчуков В.С., Игрицов М.А.* Методика автоматизированного ландшафтного дешифрирования космических изображений. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъёмка, 1998. № 4–5. С. 68–82.
11. *Мелкий В.А., Верхотуров А.А., Сабиров Р.Н., Братков В.В.* Анализ состояния лесных земель на острове Сахалин. Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о Земле, 2019. № 2 (14). С. 68–73. DOI: 10.25587/SVFU.2019.14.35448.
12. *Побережная Т.М., Сабиров Р.Н., Копанина А.В., Нюшко Т.И., Шахов И.М.* Организация экологического мониторинга в зоне воздействия завода СПГ на юге Сахалина. Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук, 2009. № 6 (148). С. 60–67.
13. *Рус У.Г.* Основы дистанционного зондирования. М.: Техносфера, 2006. 336 с.
14. *Толмачёв А.И.* Геоботаническое районирование острова Сахалина. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1955. 78 с.
15. *Gong P., Wang J., Yu L., Zhao Y.C., Zhao Y., Liang L., Niu Z.G., Huang X.M., Fu H.H., Liu S., Li C., Li X., Fu W., Liu C., Xu Y., Wang X., Cheng Q., Hu L., Yao W., Zhang H., Zhu P., Zhao Z., Zhang H., Zheng Y., Ji L., Zhang Y., Chen H., Yan A., Guo J., Yu L., Wang L., Liu X., Shi T., Zhu M., Chen Y., Yang G., Tang P., Xu B., Giri C., Clinton N., Zhu Z., Chen J.* Finer resolution observation and monitoring of global land cover: First mapping results with Landsat TM and ETM+ data. International Journal of Remote Sensing, 2013. V. 34. P. 2607–2654.
16. *Igarashi Y., Igarashi T.* Late Holocene vegetation history in South Sakhalin, Northeast Asia. Japanese Journal of Ecology, 1998. V. 48. P. 231–244 (на японском языке).
17. *Igarashi Y., Igarashi T., Endo K., Yamada O., Nakagawa M., Sumita M.* Vegetation history since the Late Glacial of Habomai bog and Ochiishi Cape bog, Nemuro peninsula, Eastern Hokkaido, North Japan. Japanese Journal of Historical Botany, 2001. V. 10. P. 67–79.

18. *Miyabe K., Tatewaki M.* On the significance of the Schmidt Line in the plant distribution in Saghalien. Proceedings of the Imperial Academy, 1937. (Japan). V. 13. No 1. P. 24–26.
19. *Ohmann J.L., Gregory M.J., Henderson E.B., Roberts H.M.* Mapping gradients of community composition with nearest-neighbour imputation: extending plot data for landscape analysis. *Journal of Vegetation Science*, 2011. V. 22. P. 660–676.
20. *Rogan J., Ziemer M., Martin D., Ratick S., Cuba N., De Lauer V.* The impact of tree cover loss on land surface temperature: A case study of central Massachusetts using Landsat Thematic Mapper thermal data. *Applied Geography*, 2013. V. 45. P. 49–57.
21. *Schmidt F.* Reisen im Amur-Lande und auf der Insel Sachalin, im Auftrage der Kaiserlich-Russischen geographischen Gesellschaft ausgefuehrt. Botanischer Theil. St.-Petersbourg. Academie Imperiale Des Sciences, 1868. 227 s. (на немецком языке).

## REFERENCES

1. *Baimaganbetova G.A., Golubeva E.I.* Space images for mapping and monitoring the state of the green frame of Astana. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories in the context of global climate change: Proceedings of the International conference. Moscow: Publishing House “Scientific Library”, 2016. V. 22. Part 1. P. 370–380. DOI: 10.24057/2414-9179-2016-1-22-370-380 (in Russian, abs English).
2. *Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Lupyan E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A.* Current state and development prospects of satellite mapping methods of Russia’s vegetation cover. Current problems in remote sensing of the Earth from space, 2015. V. 12. No 5. P. 203–221 (in Russian).
3. *Ershov D.V., Gavriilyuk E.A., Karpukhina D.A., Kovganko K.A.* A new map of the vegetation of Central European Russia based on high-resolution satellite data. Reports of the Academy of Sciences, 2015. V. 464. No 1. P. 251–253. DOI: 10.1134/S0012496615050105 (in Russian).
4. *Gong P., Wang J., Yu L., Zhao Y.C., Zhao Y., Liang L., Niu Z.G., Huang X.M., Fu H.H., Liu S., Li C., Li X., Fu W., Liu C., Xu Y., Wang X., Cheng Q., Hu L., Yao W., Zhang H., Zhu P., Zhao Z., Zhang H., Zheng Y., Ji L., Zhang Y., Chen H., Yan A., Guo J., Yu L., Wang L., Liu X., Shi T., Zhu M., Chen Y., Yang G., Tang P., Xu B., Giri C., Clinton N., Zhu Z., Chen J., Chen J.* Finer resolution observation and monitoring of global land cover: First mapping results with Landsat TM and ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*, 2013. V. 34. P. 2607–2654.
5. *Igarashi Y., Igarashi T.* Late Holocene vegetation history in South Sakhalin, Northeast Asia. *Japanese Journal of Ecology*, 1998. V. 48. P. 231–244 (in Japanese).
6. *Igarashi Y., Igarashi T., Endo K., Yamada O., Nakagawa M., Sumita M.* Vegetation history since the Late Glacial of Habomai bog and Ochiishi Cape bog, Nemuro peninsula, Eastern Hokkaido, North Japan. *Japanese Journal of Historical Botany*, 2001. V. 10. P. 67–79.
7. *Hajimuradova Z.M., Ataev Z.V., Bratkov V.V.* Influence of modern climate changes on the dynamics of vegetation cover of the southern part of the foothill landscapes of Dagestan (based by materials of remote sensing of the Earth). *Bulletin of Dagestan State Pedagogical University. Natural and Exact Sciences*, 2017. V. 11. No 3. P. 95–103 (in Russian).
8. *Kabanov N.E.* Botanical and geographical areas of Sakhalin. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the USSR Academy of Sciences*, 1950. Iss. 1. P. 20–24 (in Russian).
9. *Kadochnikov A.A.* Development of software and technology platform for satellite data processing complex. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2019. V. 25. Part 1. P. 388–397. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-388-397 (in Russian, abs English).
10. *Kadochnikov A.A., Yakubailik O.E.* Software and technologies for geographic information system of Yenisei River basin. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories in the context of global climate change: Proceedings of the International conference.

- Moscow: Publishing House “Scientific Library”, 2016. V. 22. No 1. P. 111–119. DOI: 10.24057/2414-9179-2016-1-22-111-119 (in Russian, abs English).
11. *Korets M.A., Skudin V.M.* Automated approach for mapping of forest inventory polygons on the base of space imagery and digital elevation model. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Petrozavodsk: KRC RAS, 2018. V. 24. No 2. P. 94–105. DOI: 10.24057/2414-9179-2018-2-24-94-105 (in Russian, abs English).
  12. *Krestov P.V., Barkalov V.Yu., Taran A.A.* Botanical and geographical zoning of Sakhalin Island. Flora and fauna of Sakhalin island. Materials of the international Sakhalin project. Vladivostok: Dalnauka, 2004. V. 1. P. 67–92 (in Russian).
  13. *Melkiy V.A., Marchukov V.S., Igritsov M.A.* Methodology of landscape automated interpretation of space images. Proceedings of the Higher Educational Institutions — Izvestia vuzov. Geodesy and aerophotosurveying, 1998. No 4–5. P. 68–82 (in Russian).
  14. *Melkiy V.A., Verkhoturov A.A., Sabirov R.N., Bratkov V.V.* Analysis of the state of forest lands on Sakhalin Island. Vestnik of North-Eastern Federal University. Series “Earth Science”, 2019. No 2 (14). P. 68–73. DOI: 10.25587/SVFU.2019.14.35448 (in Russian).
  15. *Miyabe K., Tatewaki M.* On the significance of the Schmidt Line in the plant distribution in Saghalien. Proceedings of the Imperial Academy, 1937. (Japan). V. 13. No 1. P. 24–26.
  16. *Ohmann J.L., Gregory M.J., Henderson E.B., Roberts H.M.* Mapping gradients of community composition with nearest-neighbour imputation: extending plot data for landscape analysis. Journal of Vegetation Science, 2011. V. 22. P. 660–676.
  17. *Poberezhnaya T.M., Sabirov R.N., Kopanina A.V., Nyushko T.I., Shakhov I.M.* Organization of environmental monitoring in the impact zone of the LNG plant in the South of Sakhalin. Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009. No 6 (148). P. 60–67 (in Russian).
  18. *Ris U.G.* Basics of remote sensing. Moscow: Technosfera, 2006. 336 p (in Russian).
  19. *Rogan J., Ziemer M., Martin D., Ratick S., Cuba N., De Lauer V.* The impact of tree cover loss on land surface temperature: A case study of central Massachusetts using Landsat Thematic Mapper thermal data. Applied Geography, 2013. V. 45. P. 49–57.
  20. *Schmidt F.* Reisen im Amur-Lande und auf der Insel Sachalin, im Auftrage der Kaiserlich-Russischen geographischen Gesellschaft ausgeführt. Botanischer Theil. St.-Pétersbourg. Academie Imperiale Des Sciences, 1868. 227 s. (in German).
  21. *Tolmachev A.I.* Geobotanical zoning of Sakhalin Island. Moscow-Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1955. 78 p.
-