

## **АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ В ЗАКАЗНИКЕ «ДОЛИНСКИЙ» (САХАЛИН) ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

*Инна Ивановна Лобищева*

Сахалинский государственный университет, 693023, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Пограничная, 2, старший преподаватель кафедры геологии и нефтегазового дела, тел. (914)757-99-26, e-mail: slalinna@mail.ru

*Алексей Александрович Верхотуров*

Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, 693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Центра коллективного пользования, тел. (914)760-68-87, e-mail: ussr-91@mail.ru

*Вячеслав Анатольевич Мелкий*

Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, 693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности, тел. (984)139-70-77, e-mail: vamelkiy@mail.ru

Определение соотношения пород в составе древостоев дает возможность судить о геоэкологическом состоянии растительного покрова. Следует отметить неоднородную изученность лесов в различных регионах страны, в связи с чем исследование особо охраняемых природных территорий (ООПТ), к которым относится заказник «Долинский», при недостаточной численности работников в лесной отрасли становится особенно актуальной. В качестве подспорья наземным наблюдениям выступает автоматизированное дешифрирование данных дистанционного зондирования. Работы по выделению породного состава лесов по данным аэрокосмических съемок на территории острова Сахалин ранее проводились в незначительных объемах. Проанализированы космические снимки Sentinel-2 территории заказника «Долинский», полученные в 2018–2021 гг. с целью выявления классификационных признаков различных растительных сообществ, характерных для южной части Сахалина. На основании визуального дешифрирования выделены эталонные площадки для геоботанических исследований, которые с высокой степенью достоверности отнесены к конкретным растительным формациям: пихтово-еловой, каменноберезовой, ивово-ольховой речных долин, бамбучниковой, обезлесенным территориям и посадкам культур сосны и лиственницы. Дальнейшая работа проводилась с помощью методов геоинформационного анализа в ArcGIS. Оптимальные сочетания каналов при формировании композитов синтезированных изображений для выделения обучающих выборок для каждой формации были определены при выполнении классификации растительности. В случае возникновения затруднений с разделением некоторых формаций (лиственница – сосна) на изображениях работа проводилась по материалам разносезонных съемок. Полученные характеристики обучающих выборок могут использоваться при проведении дальнейших исследований в заказнике и за его пределами.

**Ключевые слова:** космические снимки, автоматизированное дешифрирование, геоинформационный анализ, растительные сообщества, лес, ООПТ

## **ANALYSIS OF THE STATE OF PLANT COMMUNITIES IN THE DOLINSKY NATURE SANCTUARY (SAKHALIN) ACCORDING TO SATELLITE SURVEYS**

### ***Inna I. Lobishcheva***

Sakhalin State University, 2, Pogranichnaya St., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia, Ph. D. Senior Lecturer, phone: (914)757-99-26, e-mail: slalinna@mail.ru

### ***Alexey A. Verkhoturov***

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 1B, Nauki St., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia, Ph. D., Senior Researcher, Center of Collective Use, phone: (914)760-68-87, e-mail: ussr-91@mail.ru

### ***Vyacheslav A. Melkiy***

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 1B, Nauki St., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia, D. Sc., Leading Researcher, Laboratory of Volcanology and Volcanic Hazards, phone: (984)139-70-77, e-mail: vamelkiy@mail.ru

The determination ratio of timber tree in the composition of stands makes it possible to judge about geocological state of the vegetation cover. It be noted heterogeneous studying of forests in different regions of the country, in connection with which the research of specially protected natural areas (SPNA), which includes the Dolinsky Nature Sanctuary, with an insufficient number of employees in the forest industry, becomes especially relevant. Automated decoding of remote sensing data serves as an aid to ground-based observations. Work to identify the species composition of forests according to aerospace surveys on the territory of Sakhalin Island previously carried out in small volumes. The Sentinel-2 satellite images of the territory of the Dolinsky Nature Sanctuary, obtained in 2018-2021, analyzed in order to identify the classification features of various plant communities characteristic of the southern part of Sakhalin. On basis of visual interpretation, reference sites for geobotanical studies were identified, which with a high degree of confidence attributed to specific plant formations: fir-spruce, stone-birch, willow-alder river valleys, bamboo, deforested areas and plantings of pine and larch crops. Further work carried out using the methods of geoinformation analysis in ArcGIS. The optimal combinations of channels in the formation of synthesized image composites for the selection of training samples for each plant formation were determined when performing vegetation classification. In case of difficulties with the separation of some formations (larch – pine) in the images, the work carried out based on the materials of multi-season surveys. The obtained characteristics of the training samples can be used for further research in the Dolinsky Nature Sanctuary and beyond.

**Keywords:** satellite images, automated decryption, geoinformation analysis, plant communities, forest, protected areas

### ***Введение***

Леса на Земле по данным на 2020 г. занимали площадь 39,8 млн. км<sup>2</sup>, в России – 8,1 млн. км<sup>2</sup> [1]. Вырубка лесов сопровождается снижением кислородопродуцирующей функции биосферы. Обезлесение считается одной из важнейших экологических проблем на Земле [2–6]. Усиление антропогенного воздействия на природные биоценозы в течение последних десятилетий отмечается повсеместно, поэтому вопросы организации охраны растительного и животного мира приобретают особую актуальность при решении задач сохранения природного

наследия и биоразнообразия живых организмов. Для решения этих вопросов создаются особо охраняемые природные территории, объекты которых нуждаются в постоянном наблюдении [7, 8]. В условиях нехватки сил и средств для наземных исследований на первый план выходит необходимость использования аэрокосмических средств. Для повышения качества и достоверности сведений о состоянии мониторинга ООПТ на основе автоматизированного дешифрирования требуется формирование эталонных выборок, характерных для всех растительных сообществ в их составе. На территории заказника «Долинский» проводятся работы на эталонных геоботанических площадках [9, 10]. Анализ данных, полученных при дешифрировании разновременных снимков, способствует формированию качественных эталонов для обучения «искусственного интеллекта» распознаванию разновидностей лесных сообществ и их породного состава.

### *Методы и материалы*

В качестве материалов для анализа состава лесных сообществ заказника «Долинский» отбирались спутниковые снимки Sentinel-2A, выполненные в период с 2018 по 2021 год [11]. Основными критериями отбора изображений было отсутствие облачности над интересующим районом.

Обработка снимков выполнялась в ПО ArcMap [12]. В работе была проведена процедура классификации «с обучением». Для классификации растровых изображений использовался метод максимального правдоподобия [13–16]. Все растительные сообщества были разделены по их спектральным характеристикам на основе данных съемки в комбинации каналов 11-8-4. Обучающая выборка составлялась из набора пикселей, представляющих изображение эталонных участков, на которых выполнялись геоботанические исследования. Группы пикселей на снимке, принадлежащих к различным типам растительности, визуализировались и преобразовывались в векторный формат.

### *Результаты*

В статье мы ограничились изучением спектральных особенностей сообществ, распространенных на территории заказника. Посредством визуального дешифрирования выделены эталонные участки для геоботанических исследований, на которых группы пикселей изображения имеют наиболее близкие спектральные характеристики. На выделенных участках были разбиты площадки размером 30×30 м с координатной привязкой их центральных точек для изучения состава растительных сообществ. При выполнении геоботанических работ было выявлено покрытые растительностью следующие формаций:

1. темнохвойные пихтово-еловые леса;
2. каменноберезняки с бамбучником;
3. долинные ивово-ольховые леса;
4. бамбучники с березовым редколесьем;
5. лесные культуры лиственницы;

6. лесные культуры сосны;
7. безлесные территории.

В результате классификации методом максимального правдоподобия фрагмента изображения Sentinel-2A с помощью программного комплекса ArcMap выявлено распределение семи типов растительных сообществ на территории заказника «Долинский» (рис. 1).

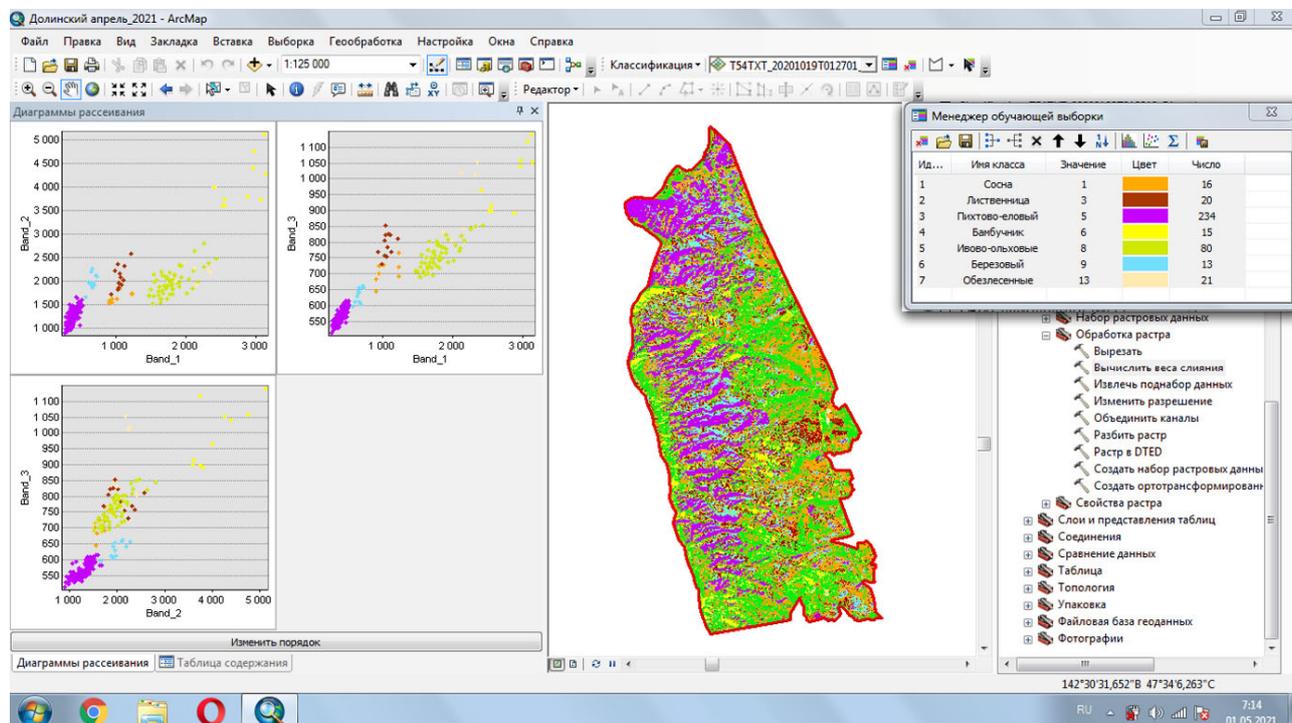


Рис. 1. Классификация изображения территории заказника в ArcMap

Облака точек, свойственных отражательным характеристикам выделенных растительных сообществ, размещенных в декартовой системе координат на диаграммах рассеяния, показывают насколько хорошо разделяются классы в соответствии с избранной для данной работы обучающей выборкой. Группировки точек на представленных диаграммах рассеяния (рис. 2) показали, что спектральные характеристики практически всех растительных формаций имеют положительную корреляцию с характеристиками выборки. Точки на графиках расположены близко друг от друга, что свидетельствует о сильной корреляции, и, как следствие, о качественном выделении эталонов для пихтово-еловых, ивово-ольховых лесов, посадок культур лиственницы и сосны. Выбросы точек, которые значительно удалены от общего кластера показывают, что выделение классов «бамбучники» и «безлесные территории» было выполнено недостаточно точно. Участки, занимаемые этими сообществами, сравнительно небольшие, кроме того, в бамбуковых сообществах зачастую встречается каменная береза (*Betula ermanii*). Требуется выделение новых эталонных участков и замена участка в обучающей выборке.

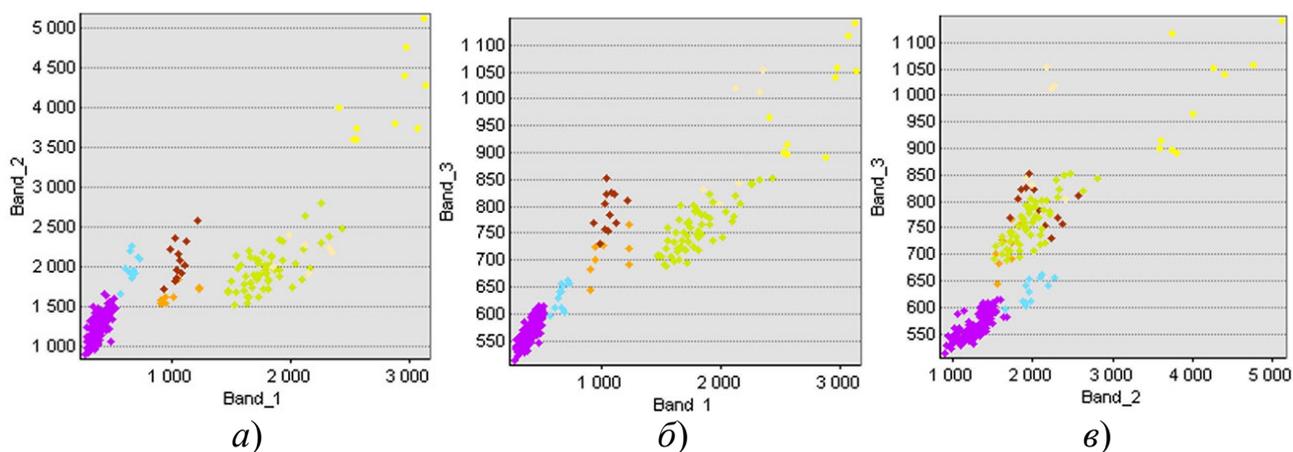


Рис. 2. Диаграммы рассеяния для классов растительных формаций заказника, выделенных методом максимального правдоподобия по снимку Sentinel-2A от 19.10.2020 г.

### *Обсуждение*

Классификация «с обучением» методом максимального правдоподобия космических снимков Sentinel-2A с помощью инструментария ПО ArcMap позволила довольно точно выделить пихтово-еловые леса, ивово-ольховые долинные леса и посадки хвойных культур сосны и лиственницы.

Средневозрастные и небольшие участки старовозрастных пихтарников и ельников в заказнике «Долинский» сохранились только в верховьях рек и на крутых склонах Долинского хребта. Горные каменноберезовые редколесья с курильским бамбуком и долинные ивово-ольховые сообщества сохранились практически без изменений. Большая часть растительного покрова территории заказника существенно трансформировалась в результате пожаров и промышленных рубок. В настоящее время территорию старых гарей и лесосек занимают леса, сформировавшиеся в результате естественного и искусственного лесовосстановления.

Полученная картосхема находится в согласии с данными других исследователей [17–21]. Выделение классов «бамбучники» и «безлесные территории» следует провести более тщательно (возможно по данным съемок, выполненных в другие сезоны года). В составе растительности заказника широко представлены бамбучники, занимающие открытые пространства, заросшие только курильским бамбуком или с рединой древесных пород, не образующих сколько-нибудь заметного полога (каменная береза, ива, ольха, пихта, ель), которые широко распространились на месте вырубок и гарей, препятствуя восстановлению древесной растительности. На редины встречаются кустарники черники, бересклета, малины, багульника. Более точные результаты выделения каменноберезовых лесов и бамбучников можно получить, продолжив дальнейшие исследования этих сообществ.

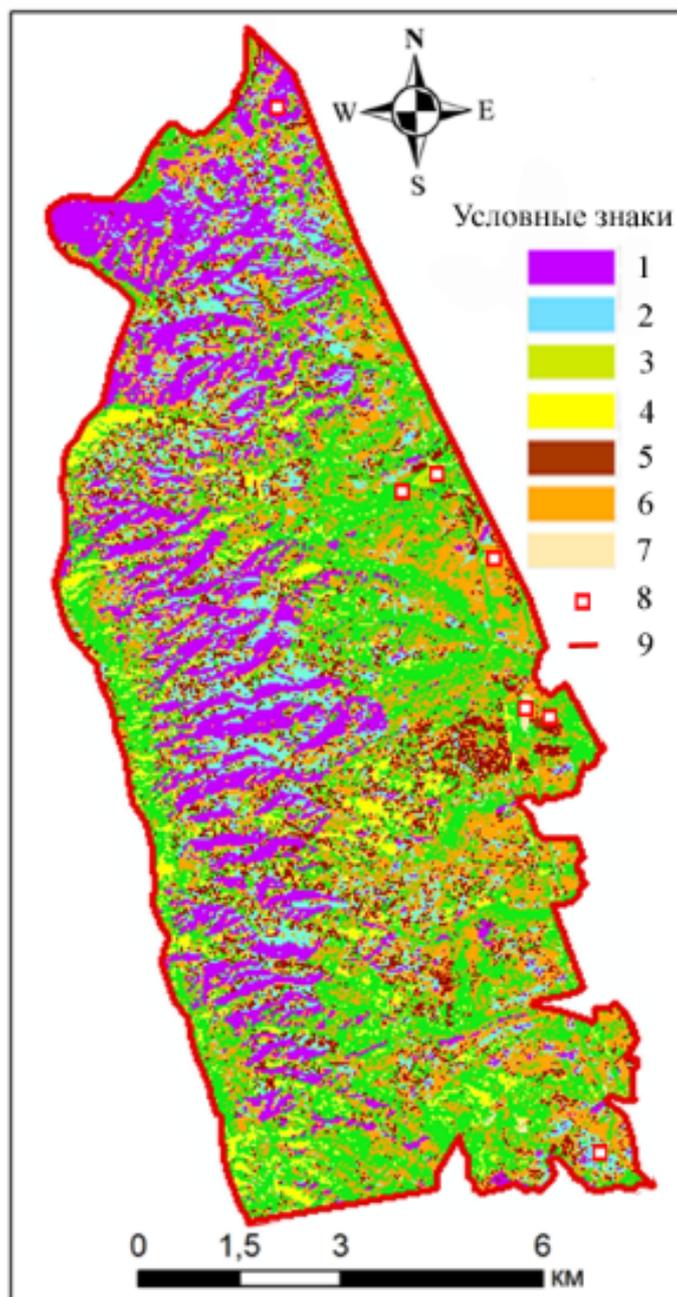


Рис. 3. Картограмма растительных формаций заказника «Долинский» по результатам классификации данных ДЗЗ:

1 – пихтово-еловые леса; 2 – каменноберезняки с бамбучником; 3 – ивово-ольховые леса; 4 – бамбучники с березовым редколесьем; 5 – посадки лесных культур лиственницы; 6 – лесные культуры сосны; 7 – безлесные территории; 8 – эталонные площадки геоботанических исследований; 9 – граница заказника

### *Заключение*

Основная идея настоящего исследования – разделение растительных сообществ в «Долинском» заказнике по данным съемки в осенний период в комбинации каналов 11-8-4 методом максимального правдоподобия при воплощении по-

казала достаточно хорошую результативность. В итоге составлена картосхема, которая демонстрирует картину распределения растительных сообществ и позволит после небольшой доработки при дальнейших исследованиях сформировать высокоточную обучающую выборку, пригодную для оперативной оценки состояния лесов территории.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Площадь леса в мире по странам // Openbase.online [Electronic resource]. – Mode of access : <https://openbase.online/ploshhad-lesa-v-mire/> (дата обращения: 01.05.2021).
2. Imai N., Titin J., Kita S., Ong R. C., Kitayama K. Co-benefits of Sustainable Forest Management for Carbon Sequestration. In: Co-benefits of Sustainable Forestry. Ecological Research Monographs. Kitayama K. (eds). – Springer, Tokyo. 2012. – Pp. 129-148. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-4-431-54141-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-4-431-54141-7_7)
3. Mahala A. Land Degradation Process of Silabati River Basin, West Bengal, India: A Physical Perspective. In: Shit P., Pourghasemi H., Bhunia G. (eds) Gully Erosion Studies from India and Surrounding Regions. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). – C. Springer, Cham. 2020. – Pp. 265–278. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23243-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23243-6_16)
4. Myers S. L. China's Voracious Appetite for Timber Stokes Fury in Russia and Beyond // The New York Times. 2019. 9 April.
5. Кузьмичев Е. П., Трушина И. Г., Лопатин Е. В. 2018. Объемы незаконных рубок лесных насаждений в Российской Федерации // Лесохозяйственная информация. № 1. – С. 63-77. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2018.1.06
6. China's Forest Recovery Shows Hope for Mitigating Global Climate Change. Michigan State University, 2016 [Electronic resource]. – Available at: <https://phys.org/news/2016-03-china-forestrecovery-mitigating-global.html> (дата обращения: 01.05.2021).
7. Особо охраняемые природные территории: состояние, проблемы и перспективы развития. Коллективная монография / Г. С. Айдарханова, З. В. Атаев, В. В. Братков, О. Ю. Гурьевских, Г. С. Джамирзоев, Д. М. Иванов, Е. К. Куджева, Ф. А. Куджева / под ред. М. В. Ларионова. – Новосибирск: Изд. АНС «СИБАК», 2017. – 122 с.
8. Особо охраняемые природные территории Дагестана и их значение для сохранения ландшафтного разнообразия региона / Г. С. Джамирзоев, С. А. Букреев, З. В. Атаев, К. А. Абдулаев // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2017. – Т. 11. – № 4. – С. 17–26.
9. Мелкий В. А., Верхотуров А. А., Сабиров Р. Н. Анализ геоэкологического состояния пихтово-еловых лесных формаций по данным дистанционного зондирования // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. – 2020. – Т. 1. – С. 184–191. DOI: 10.33764/2687-041X-2020-1-184-191
10. Верхотуров А. А., Мелкий В. А., Сабиров Р. Н. Геоинформационное картографирование пихтово-еловых лесов по данным космических съемок в различных спектральных диапазонах // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. – 2020. – Т. 1. – С. 141–147. DOI: 10.33764/2687-041X-2020-1-141-147
11. Sentinel Missions. Website ESA (European Space Agency) [Electronic resource]. – Available at: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (дата обращения: 01.05.2021).
12. Ресурсы для ArcMap // ESRI.com [Электронный ресурс]. – Доступно на: <https://www.esri.com/ru-ru/arcgis/products/arcgis-desktop/resources> (дата обращения: 01.05.2021).
13. Richards J.A. Remote sensing digital image analysis. An introduction. – Sekond, revised and enlarged edition. – Berlin Heidelberg: Springer – Verlag, 1993. – 339 с.

14. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М.: Техносфера. – 2010. – 560 с.
15. Создание инструментов для удаленной обработки спутниковых данных в современных информационных системах / А. В. Кашницкий, И. В. Балашов, Е. А. Лупян, В. А. Толпин, И. А. Уваров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12. – № 1. – С. 156–170.
16. Классификации по методу максимального подобию // ArcGIS Desktop. Краткий обзор справочника по инструментам геообработки [Электронный ресурс]. – URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.5/tools/spatial-analyst-toolbox/maximum-likelihood-classification.htm> (дата обращения: 01.05.2021).
17. Данилова Л. В., Чернявская Е. Г. Кадастровые сведения Государственного природного заказника «Долинский» // Государственный кадастр особо охраняемых природных территорий регионального значения Сахалинской области по состоянию на 01 января 2017 года. – Южно-Сахалинск, Министерство лесного и охотничьего хозяйства Сахалинской области, 2017. – С. 112–128. [Электронный ресурс]. – Доступно на : <http://oopt.aari.ru/ref/1861> (дата обращения: 01.05.2021).
18. Чернявская Е. Г. Государственный природный заказник «Долинский» // Заповедные территории [Электронный ресурс]. – Доступно на : [http://boomerangclub.ru/up/images/informaciya/priroda-sakhalina-i-kuril/multemediinie-diski/OOPT/r%20\(35\).htm](http://boomerangclub.ru/up/images/informaciya/priroda-sakhalina-i-kuril/multemediinie-diski/OOPT/r%20(35).htm) (дата обращения: 01.05.2021).
19. Положение о государственном природном комплексном заказнике регионального значения «Долинский» (в ред. Постановлений Администрации Сахалинской области от 30.01.2009 № 26-па, от 13.07.2009 № 262-па) // ООПТ России [Электронный ресурс]. – Доступно на : <http://oopt.aari.ru/oopt/Долинский-Изыбровский> (дата обращения: 01.05.2021).
20. Сабиров Р. Н. Вековая динамика лесов острова Сахалин // Леса российского Дальнего Востока: Мониторинг динамики лесов российского Дальнего Востока. Материалы V Всероссийской конференции (18–20 сентября 2012 г.) Владивосток: ЛАИНС. – 2012. С. 20–22.
21. Сабирова Н. Д., Сабиров Р. Н. Флористическое разнообразие каменнобереговых лесов южного Сахалина // Сохранение лесных экосистем: проблемы и пути их решения. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Киров, 15–19 мая 2017 года). Под редакцией Н. П. Савиных, О. Н. Пересторониной, Е. А. Домниной, С. В. Шабалкиной, М. Н. Шаклеиной. – Киров, Радуга-ПРЕСС. – 2017. – С. 261–266.

© И. И. Лобичева, А. А. Верхотуров, В. А. Мелкий, 2021