

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт экологии и географии
Кафедра географии

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Ю. Ямских
подпись инициалы, фамилия
«___» _____ 20 ___ г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Геоинформационный анализ исчезновения темнохвойных лесов Сибири

05.04.06 Экология и природопользование

05.04.06.03 Геоэкология

Руководитель	_____	<u>доц., канд. техн. наук</u>	<u>С.Т. Им</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник			<u>Т.Е. Сапегина</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	<u>научный сотрудник, канд.</u>	<u>А.С. Шушпанов</u>
	подпись, дата	<u>биол.наук</u>	инициалы, фамилия
		должность, ученая степень	
Нормоконтролер	_____		<u>В.О. Брунгардт</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Красноярск 2020

РЕФЕРАТ

Магистерская работа по теме «Геоинформационный анализ исчезновения темнохвойных лесов Сибири» содержит 94 страниц текстового документа, 50 иллюстраций, 5 таблиц, 3 приложения, 1 формулу, 62 использованных источников.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ, МОНИТОРИНГ, ИСЧЕЗНОВЕНИЕ ЛЕСОВ, MODIS, КАРТА RUSSIAN LAND COVER 2010, ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ РЕЛЬЕФА ALOS, КЛИМАТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ CRU, ESRI ARCGIS.

Объект исследования: темнохвойные леса Сибири.

Цель работы: провести геоинформационный анализ исчезновения темнохвойных древостоев в Сибири по данным дистанционного зондирования Земли в связи изменениями климата и орографией местности.

Задачи:

1. Рассмотреть физико-географическую характеристику Сибири;
2. Проанализировать возможности ГИС-анализа и программного обеспечения ESRI ArcGIS для обработки временных рядов пространственных данных;
3. Изучить исходные данные о климате, о гаях, об исчезновении лесов и о рельефе местности на территорию Сибири;
4. Провести пространственный анализ данных об исчезновении темнохвойных древостоев в Сибири;
5. Сопоставить результаты анализа данных об исчезновении темнохвойных лесов с климатическими данными и данными о рельефе местности.

Тема работы является актуальной в связи с необходимостью исследования динамики состояния темнохвойных древостоев в последние десятилетия в Сибири. Начиная с 1970-х годов в Сибири наблюдается потепление климата, что привело к росту частоты пожаров, повышению активности насекомых вредителей и болезней лесов, а также росту засушливости. Указанные факторы приводят к гибели лесов.

На основе комплексного анализа материалов дистанционного зондирования, картографических и климатических данных, и цифровой модели рельефа исследованы пространственные особенности распределения усохших темнохвойных древостоев в Сибири в период начала 21 века.

Согласно использованным картографическим источникам, на 2010 год площадь всех лесов Сибири составляла $\sim 5,2$ млн км², из которых темнохвойные леса на территории Сибири занимали ~ 716 тыс. км² (14% от площади всех лесов). За период с 2000 по 2018 гг. исчезло ~ 48 тыс. км² темнохвойных лесов ($\sim 7\%$), исключая пожары.

Распределение усохших темнохвойных древостоев по рельефу местности является неоднородным. Выявлено, что в азимутальном распределении усохшие темнохвойные древостои приурочены преимущественно к южным, юго-восточным и юго-западным склонам. Максимальные значения наблюдаются на склонах южной экспозиции.

Большинство темнохвойных древостоев усыхают на территориях с уклоном от $0,1^\circ$ до 27° . То есть на равнинных, пологих, обрывистых, крутых территориях. Максимум исчезновения темнохвойных древостоев (14,2%) наблюдался на обрывистых территориях, с уклоном в $2-3^\circ$.

Темнохвойные древостои усыхают на поверхности с кривизной более 1-2. То есть рельеф с выпуклой поверхности, больше влияет на усыхание темнохвойных древостоев.

Выявлена связь между исчезновением темнохвойных лесов в Сибири в начале 21 века с динамикой климатических переменных. Температура различалась на $0,4-0,6^\circ\text{C}$ между участками усохших темнохвойных древостоев и территорией всех темнохвойных древостоев. Различие в количестве осадков составляло 0-20 мм, индекса сухости – 0-0,5. Наибольшие различия наблюдались в летние периоды.

Полученные результаты могут в дальнейшем быть использованы для пространственного моделирования прогнозных моделей изменения растительного покрова в бореальной зоне, а также для разработки рекомендаций по сохранению темнохвойных лесов в условиях меняющегося климата.

REPORT

Master's thesis on the topic "Geoinformation analysis of the disappearance of the dark coniferous forests of Siberia" consist of 109 pages of text document, 41 illustrations, 6 tables, 2 appendices, 1 formula, 62 source.

GEO-INFORMATION SYSTEMS, GEO-INFORMATION ANALYSIS, MONITORING, FOREST EXTINCTION, MODIS, RUSSIAN LAND COVER 2010 MAP, ALOS DIGITAL TERRAIN MODEL, CRU CLIMATE DATA, ESRI ARCGIS.

The object of the research: dark coniferous forests of Siberia.

Work's purpose: to conduct a geoinformation analysis of the dark coniferous stands extinction in Siberia according to remote sensing of the Earth due to the climate changes and the orography of the area.

Tasks:

1. To consider the physical and geographical characteristics of Siberia;
2. To analyze the capabilities of GIS analysis and ESRI ArcGIS software for processing time series of spatial data;
3. To study the initial data on the climate, the burns, the forest extinction and on the topography of the Siberia territory;
4. To conduct a spatial analysis of the dark forest stands' extinction in Siberia;
5. To compare the results of the analysis of the coniferous forests' extinction with climatic data and topography data.

The topic of the work is relevant in connection with the need to study the dynamics of the state of dark coniferous stands in recent decades in Siberia. Since the 1970s, Siberia has been experiencing a warming climate, which has led to an increase in the frequency of fires, increased activity of insect pests and forest diseases, and increased aridity. These factors lead to the decline of the forests.

The spatial features of the declined dark coniferous stands in Siberia in the early 21st century have been studied based on a complex analysis of remote sensing data, cartographic and climatic data, and digital elevation model.

In 2010 the area of all Siberian forest was 5.2 million km² of which dark coniferous forest in Siberia occupied 716 thousand km² (14% of the total forest area) according to the analysis of the cartographic data.

48 thousand km² of dark coniferous forest (7%) disappeared during 2000–2018, excluding fire impact.

The distribution of the declined dark coniferous stands on the landscape is heterogeneous. Pine forests prefer the slopes of the southern, North-Western exposures with a steepness of 0 to 3 degrees at an altitude of 100 to 400 meters above the sea level.

When processing the data on the terrain, it has been found out that in the azimuthal distribution, declined dark coniferous stands have been confined mainly to the southern, south-eastern and south-western slopes. Maximum values have been observed on the slopes of the southern exposure.

Thus, declined stands are located on the slopes where the risk of water stress is most likely since the southern slopes have a high heat supply.

Most dark-coniferous stands died in the areas with a slope from 0.1° to 27°. These are flat and steep territories. The maximum 14.2% of dark coniferous stands disappeared on steep territories, with a slope of 2-3°.

Dark coniferous stands declined on the surface with a curvature higher 1-2. The relief with a convex surface more affects the decline of the dark-coniferous stands.

The connection between the extinction of dark coniferous forests in Siberia at the beginning of the 21st century with the dynamics of climate variables have been revealed. The temperature differed by 0.4-0.6° C between the dead dark coniferous stands areas and the territory of all dark coniferous stands. The difference in precipitation was 0–20 mm, and the aridity index was 0–0.5. The greatest differences were observed in the summer.

The results obtained can be further used for spatial modeling of forecast models of changes in vegetation cover in the boreal zone, as well as for the development of recommendations for the conservation of dark coniferous forests in a changing climate.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Методика проведения анализа с помощью ГИС	7
1.2 История развития ГИС.....	7
1.2 Физико-географическое положение Сибири и характеристика лесного покрова.....	9
1.3 Мониторинг исчезновения лесов Сибири	12
1.4 История проведения мониторинга исчезновения лесов Сибири.....	13
1.5 Засухи.....	16
2 Физико-географическая характеристика Сибири.....	19
2.1 Геологическое строение и рельеф.....	19
2.2 Климатические условия	23
2.3 Гидрология	26
2.4 Характеристика почв и растительности	30
2.5 Животный мир	33
3 ГИС-анализ	36
4 Сбор необходимой информации и данных.....	36
4.1 Данные об исчезновении леса (lossyear)	Ошибка! Закладка не определена.
4.2 Данные о пожарах, данные MODIS Active Fire Product	Ошибка! Закладка не определена.
4.3 Карта Russian Land Cover 2010.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.4 Климатические наборы данных CRU TS4.03 и SPEI	Ошибка! Закладка не определена.
4.5 Цифровая модель рельефа ALOS Global Digital Surface Model “ALOS World 3D-30m (AW3D30)”	Ошибка! Закладка не определена.
4.6 Программное обеспечение.....	Ошибка! Закладка не определена.
5 ГИС-анализ исчезновения лесов Сибири...	Ошибка! Закладка не определена.

5.1	Создание масок древостоев на территории Сибири ..	Ошибка! Закладка не определена.
5.2	Составление мозаики из данных об исчезновении леса на территории Сибири	Ошибка! Закладка не определена.
5.3	Создание и применение маски гарей. ...	Ошибка! Закладка не определена.
5.4	Обработка климатических данных	Ошибка! Закладка не определена.
5.5	Создание из данных ALOS растров высот над уровнем моря, экспозиций и крутизны склонов территории.....	Ошибка! Закладка не определена.
6	Анализ полученных данных исчезновения лесов Сибири...	Ошибка! Закладка не определена.
7	Пространственное распределение темнохвойных древостоев по рельефу	Ошибка! Закладка не определена.
7.1	Распределение темнохвойных древостоев по экспозиции склонов	Ошибка! Закладка не определена.
7.2	Распределение темнохвойных древостоев по крутизне склонов ...	Ошибка! Закладка не определена.
7.3	Распределение темнохвойных древостоев по кривизне поверхности	Ошибка! Закладка не определена.
8	Анализ климатических данных.....	Ошибка! Закладка не определена.
8.1	Анализ показателя осадок.....	Ошибка! Закладка не определена.
8.2	Анализ показателя температур.....	Ошибка! Закладка не определена.
8.3	Анализ показателя индекса сухости SPEI.....	Ошибка! Закладка не определена.
8.4	Результаты анализа климатических показателей	Ошибка! Закладка не определена.
	Заключение	37
	Список использованных источников	39
	Приложение А Описание легенды к карте Russian Land Cover 2010	Ошибка! Закладка не определена.

Приложение Б Расположение темнохвойных древостоев по уклону местности

Ошибка! Закладка не определена.

Приложение В Распределение доли усохших темнохвойных древостоев в

зависимости от кривизны склона **Ошибка! Закладка не определена.**

ВВЕДЕНИЕ

Обезлесение – процесс изменения земель, занятых лесом, в земельные угодья без древесного покрова, такие как поля и пастбища, города, пустоши и другие. Основные причины обезлесения – усыхание лесов, передача территорий, занятых лесом, под другие цели, в особенности вырубка и выжигание леса под сельскохозяйственные угодья [2]. Другая заметная причина обезлесения – рубка леса без лесовосстановления. Кроме того, леса могут быть уничтожены вследствие естественных причин, таких как ураганы, рельеф, болезни леса, изменение климата, однако основной причиной обезлесения является антропогенный фактор.

Процесс уничтожения леса является актуальной и серьезной проблемой во многих частях земного шара, поскольку он влияет на их экологические, климатические и социально-экономические характеристики и снижает качество жизни. Обезлесение приводит к снижению биоразнообразия, запасов древесины, в том числе для промышленного использования, к почвенной эрозии (разрастание оврагов, вымывание плодородного слоя), снижению водности рек, а также к усилению парникового эффекта из-за выделения в атмосферу углерода в виде CO_2 , находившегося в биомассе леса [4].

По данным Глобальной оценки лесных ресурсов 2020 года (The Global Forest Resources Assessment 2020), предоставленные Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (Организация Объединённых Наций) (FAO – Продовольственная и сельскохозяйственная организация) с 1990 года было потеряно около 178 млн гектаров леса, что равно примерно площади Ливии [49]. С 2010-2015 гг. исчезло около 12 млн га леса, а с 2015-2020 гг. темпы утраты лесов сократилось до 10 млн га, из-за новых посадок леса. Всего площадь лесов на 2020 год составляет примерно 4,06 млрд га, что составляет 31% от общей площади земли.

Более половины (54%) мировых лесов находятся только в 5 странах: 20% – в России, 12% – в Бразилии, 9% – в Канаде, 8% – в США.

Самая большая площадь потери лесов отмечается в тропиках, в частности, Южной Америке, Африке и Индонезии [49].

Главная проблема – усыхание лесов влияет на глобальный углеродный цикл [55].

В последнее время общая площадь лесов несоизмеримо сокращается.

Углерод – не единственный парниковый газ, который связан с вырубкой леса. Водяной пар также относится к этой категории.

Россия – одна из главных лесных держав мира, ведь более 46,4% ее площади. Наиболее высокий уровень лесистости у Сибирского и Северо-Западного федеральных округов; низкий – у Северо-Кавказского и Южного федеральных округов [27]. Страна входит в тройку мировых лидеров по скорости и площади утраты первозданных (малонарушенных) лесов. Уже через 40 лет Россия может потерять половину, а через 80 лет – их все.

Цель работы: провести геоинформационный анализ исчезновения темнохвойных древостоев в Сибири по данным дистанционного зондирования Земли в связи изменениями климата и орографией местности.

Задачи:

1. Рассмотреть физико-географическую характеристику Сибири;
2. Проанализировать возможности ГИС-анализа и программного обеспечения ESRI ArcGIS для обработки временных рядов пространственных данных;
3. Изучить исходные данные о климате, о горах, об исчезновении лесов и о рельефе местности на территорию Сибири;
4. Провести пространственный анализ данных об исчезновении темнохвойных древостоев в Сибири;
5. Сопоставить результаты анализа данных об исчезновении темнохвойных лесов с климатическими данными и данными о рельефе местности.

Объектом исследования являются темнохвойные леса Сибири.

Предметом исследования являются особенности и возможности ГИС-технологий в исследованиях пространственно-временной динамики исчезновения темнохвойных лесов Сибири.

Методы исследования, применяемые в работе: теоретический, статистический, аналитический, картографический, метод геоинформационных систем.

Тема работы является актуальной в связи с необходимостью исследования динамики состояния темнохвойных древостоев в последние десятилетия в Сибири. Начиная с 1970-х годов в Сибири наблюдается потепление климата, что привело к росту частоты пожаров, повышению активности насекомых вредителей и болезней лесов, а также росту засушливости. Указанные факторы приводят к гибели лесов.

Сбор необходимой для исследования информации осуществлялся в Институте леса имени В. Н. Сукачева СО РАН.

Работа выполнена на кафедре географии Сибирского федерального университета под руководством к.т.н., доцента Им Сергея Тхекдеевича.

Все исследования по теме диссертации выполнены лично автором либо при его непосредственном участии. Автор проводил расчеты, анализ, обобщение и интерпретацию полученных результатов.

Апробация работы: По теме диссертации опубликовано 3 работы, материалы которых представлены на Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию конструктора М.Т. Калашникова и 100-летию профессора С. И. Широбокова «Проблемы региональной экологии и географии» (г. Ижевск, 2019 г.), Международной научно-практической конференции молодых ученых «Инновационные тенденции развития Российской науки» (г. Красноярск, 2019 г.), XXI Международном научно-практическом форуме студентов, аспирантов и молодых ученых «молодежь и наука XXI века» «География и геоэкология на службе науки и инновационного образования» (г. Красноярск, 2019 г.).

1 Методика проведения анализа с помощью ГИС

1.2 История развития ГИС

Наука об исследовании, моделировании и отображении пространственного расположения, сочетания и взаимосвязи объектов и явлений природы, и общества, является неотъемлемой частью человеческой жизни и истории, называется картографией [3].

Начиная с наскальных рисунков, карты древнего Вавилона, карт Греции и Азии, через эпоху великих географических открытий и по сегодняшний день, люди создавали, создают и используют карты для достижения различных целей. Одна из старых карт представлена на рисунке 1. По мнению многих исследователей, картирование представляет собой значительный шаг вперед в развитии человечества. Стоит отметить, что картография появилась, вероятно, ещё до появления письменности в первобытном обществе.

Об этом свидетельствует, например, то, что у народов, не имевших письменности в момент их открытия, имелись развитые картографические навыки [3].



Рисунок 1 – Карта Старого Света, 1459 год, Фра Мауро [3]

К сожалению, многие карты не сохранились в наше время. Так как материалы, используемые для их создания, утратили свой внешний вид.

Наука на данный момент продвинулась дальше. Развивается математика, анализ, информатика, электронно-вычислительные машины, системы для хранения и обработки данных.

Все это привело к рождению геоинформационных систем.

В современной литературе по геоинформационным технологиям авторы выделяют три основных периода развития программно-аппаратных средств ГИС: пионерный, государственных инициатив, пользовательский (коммерческий) [1].

Пионерный период: конец 50-х начало 70-х годов прошлого столетия. В этот период в сфере информационных технологий выполняются работы по изучению новых возможностей картографии с использованием электронной вычислительной техники. Данный период характеризуется развитием картографии в связи с бурным развитием компьютерных технологий: создание и использование электронных вычислительных машин в 50-х годах, принтеров, крупных графических дисплеев, анализаторов поверхности и других периферийных устройств. Одна из первых электронно-вычислительная машина представлена на рисунке 2.

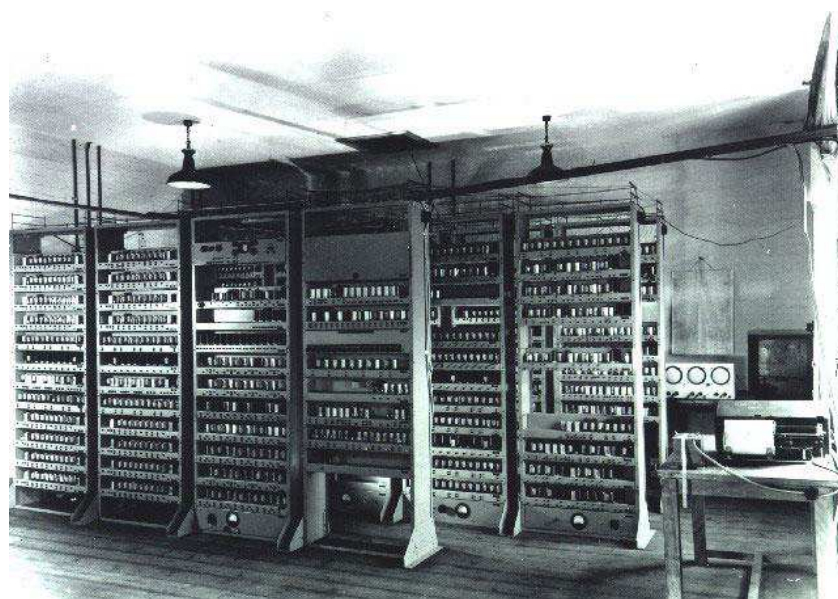


Рисунок 2 – Первая электронно-вычислительная машина [1]

Период государственных инициатив: характерен для периода с 70-х годов по начало 80-х годов. Данный период характеризуется созданием и развитием крупных геоинформационных проектов под покровительством государства, что соответствует названию периода.

Увеличивается количество государственных институтов в области геоинформационных технологий, при снижении роли и заслуг отдельных исследователей, и небольших групп.

Пользовательский (коммерческий) период: начиная с 1981 года и по настоящее время.

Для этого периода характерно массовая коммерческая эксплуатация программных продуктов и приложений ГИС [3].

Использование ГИС и баз данных с учетом применения сетевых технологий, систем навигации позволило выпустить на пользовательский рынок большое количество программных продуктов ГИС поддерживающих индивидуальную работу с картографическими данными на ПЭВМ (персональная электронно-вычислительная машина) и при применении в государственных и коммерческих организациях. Бурное развитие средств вычисления и ПЭВМ сделало доступными программные и аппаратные средства, сетевые информационные ресурсы широкому кругу специалистов-прикладников [1].

Перспективой развития географических исследований в 21 веке является тенденция к интеграции географических наук для обеспечения так называемого устойчивого (поддерживающего) развития. Разные ветви географии дают возможность комплексно рассмотреть проблемы дальнейшего развития разных территорий и мира в целом.

1.2 Физико-географическое положение Сибири и характеристика лесного покрова

Сибирь – географический район Азии.

Сибирь вошла в состав России в XVI–XVII веках. Площадь географической Сибири – 13,1 млн км² (около 77% территории России).

Население в границах географической Сибири – 36 млн чел., что на 2020 год составляет около 25% населения России [5].

Сибирь подразделяется на Западную: Тюменская (с Ханты-Мансийским и Ямало-Ненецким автономными округами), Курганская, Новосибирская, Омская, Томская и Кемеровская области, Алтайский край, Республика Алтай и Восточную: Красноярский и Забайкальский края, Иркутская и Амурская области, республики Хакасия, Тува, Бурятия и Якутия. Также иногда выделяют Южную Сибирь (в горной части), Северо-Восточную Сибирь, Среднюю Сибирь.

Леса России имеют планетарное значение, и играют огромную роль в глобальных процессах регулирования состояния окружающей среды и предотвращения негативных изменений климата. Они являются самым крупным в мире поглотителем диоксида углерода. На их долю приходится до 1/3 чистого депонирования углерода всех лесов планеты [17].

Площадь, покрытой лесной растительностью земель Сибири, составляет около 420,1 млн га.

На территории страны леса распределены неравномерно. Основная часть лесов расположена в бореальном поясе (холодный, умеренно-холодный и умеренный климат) и составляет около 60% всех бореальных лесов мира и 95% площади всех сомкнутых лесов России [5].

В Сибири преобладают такие древостои, как: лиственничные, смешанные, лиственные, темнохвойные, сосновые.

Насаждения с преобладанием лиственницы (*Larix sibirica*) имеют наибольшую площадь и запас в хвойном хозяйстве страны (51% хвойного хозяйства), произрастающие в районах Сибири и Дальнего Востока. Насаждения с преобладанием сосны (*Pinus sibirica*) занимают 23%, ели – 15% площади хозяйства. Около 50% площади хвойных пород представлено сухими, спелыми и перестойными насаждениями.

На формирование растительного покрова существенное влияние оказывали особенности континентального климата, наличие длительной сезонной и многолетней мерзлоты, сильно расчлененный рельеф и большое разнообразие литологического состава горных пород.

В составе земель лесного фонда выделяются лесные и нелесные земли. Лесные земли представлены лесной растительностью, и участками, не покрытыми лесной растительностью, но предназначенными для ее восстановления (вырубки, гари, участки, занятые питомниками и т.п.). К нелесным землям отнесены земли, предназначенные для ведения лесного хозяйства (просеки, дороги и др.).

В работе рассмотрены темнохвойные древостои (рисунок 3).



Рисунок 3 – Темнохвойный пихтовый лес [22]

Темнохвойный лес – лес, в котором преобладают теневыносливые хвойные деревья: ель (*Picea*), пихта (*Abies*) и другие. Темнохвойные породы создают под кронами своеобразную среду со слабой освещенностью, влажностью и бедными минеральным питанием почвами. Подлесок слабо развит или отсутствует [33].

Темнохвойные леса обладают высокой сомкнутостью и плотностью полога, поэтому в них слабая освещённость и почвы прогреваются плохо. Поэтому подзолообразовательный процесс медленнее, накапливается грубый гумус и в результате почвы менее плодородные.

Урман – это темнохвойный лес, произрастающий в Западной и средней Сибири вдоль рек. В России темнохвойные леса занимают довольно значительные площади – ~677 тыс. км², с общим запасом древесины в 2,6 млрд м³ [33]. Произрастают хвойные породы деревьев, как в горных районах, так и на равнинах. В темнохвойных лесах растут в основном такие

вечнозеленые, теневыносливые хвойные деревья, как пихта (*Abies*), ель (Европейская или обыкновенная) (*Picea abies*), кедровая сосна Сибирская (*Pinus sibirica*).

В этих лесах всегда мрачно, тенисто, влажно. Причина в том, что в них слабая освещенность и малая прогреваемость нижележащих лесных растений, из-за плотно сложенных крон этих деревьев и высокой сомкнутости древесного полога.

Средняя температура в темнохвойных лесах в июле, самом теплом месяце, немного превышает 10 градусов. Именно при этой температуре происходит, во-первых, у хвойных деревьев – «вызревание» молодых побегов, которые появились весной; во-вторых – формировании на поверхности хвоинок и ветвей танкозащитного слоя, необходимого для зимовки этих растений.

В темнохвойных лесах наблюдаются как чистые древостои, так и смешанные виды хвойных пород деревьев с другими, лиственными породами [33]. Например, в Сибири – Пихта и Сосна Кедровая Сибирская (*Pinus, Abies sibirica*); на Дальнем Востоке – Сосна Кедровая Корейская (*Pinus koraiensis*), Пихта (*Abies*), Ясень (*Fraxinus*); на острове Сахалин и Курильских островах – Пихта (*Abies*) вместе с Елью Аянской (*Picea jezoensis*). Горные же пихтовые леса имеют большое водоохранное, климаторегулирующее, почвозащитное и водорегулирующее значение.

1.3 Мониторинг исчезновения лесов Сибири

В последние десятилетия, в различных частях бореальной зоны, ученые наблюдают ухудшение состояния хвойных древостоев [46]. На территории России увеличивается количество усохших лесов (преимущественно темнохвойных) [43]. На Дальнем Востоке наблюдается гибель древостоев, сформированных елью (*Picea ajansis*) и пихтой (*Abies nephrolepis*) [25]. В горах Забайкалья, Восточного Саяна) и Кузнецкого Алатау отмечается усыхание древостоев сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica*) и пихты (*Abies sibirica*) [31, 41].

Фитопатогены и бактерии, насекомые-вредители, неблагоприятные воздействия климата – являются наиболее вероятными причинами усыхания темнохвойных [26, 31]. Отмечена связь повреждений с элементами рельефа (крутизной склона, экспозицией, кривизной).

Ежегодно на территории России регистрируют более 30 тыс. лесных пожаров, от которых исчезло растительности на 2-3 млн га. При этом выбросы в атмосферу аэрозолей соизмеримы с вулканической деятельностью, а масса ежегодно сгорающей органики настолько велика, что, если в ближайшее время не будет выработана стратегия и тактика управления подобным стихийным бедствием, она может достичь 1 млрд т. Вопросами, связанными с лесными пожарами, теперь занимаются в рамках международной кооперации, в которой большую роль играет Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (Красноярск).

1.4 История проведения мониторинга исчезновения лесов Сибири

Проблему усыхания, исчезновения лесов и пожаров сотрудники Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН изучают с 1958 года.

Институт леса СО РАН – первое в России академическое учреждение лесного профиля. Институт представлен на 4 рисунке. Институт организован в 1944 году в Москве академиком Владимиром Николаевичем Сукачевым. Его имя присвоено институту в 1967 году. В 1959 г. институт был включен в состав Сибирского отделения Академии наук СССР и перебазирован в г. Красноярск.



Рисунок 4 – Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН

В разные годы институт возглавляли академики: В.Н. Сукачев (1944-1959 гг.), А.Б. Жуков (1959-1977 гг.), А.С. Исаев (1977-1988 гг.). Институт леса СО РАН – самое крупное лесобиологическое учреждение в Российской академии наук.

С 1947 г. институт является коллективным членом Международного союза лесных исследовательских учреждений, с 1991 г. входит в Международную ассоциацию исследователей бореальных лесов.

Библиотека института является хранилищем научной литературы по лесобиологической тематике для регионов Сибири и Дальнего Востока. Она насчитывает более 150 тысяч единиц хранения.

На протяжении ряда лет институт разрабатывает методы использования информации, поступающей с летательных аппаратов (самолетов, спутников) для оценки состояния лесного покрова таежной зоны под воздействием антропогенных и природных факторов. Под руководством академика А.С. Исаева в 1970-1980 гг. была разработана система анализа аэрокосмической информации, включающая эталонные полигоны, на которых сопоставлялись результаты наземных исследований с дистанционными данными, дифференциацию лесных территорий на природной основе, экспериментальное изучение взаимодействия электромагнитных излучений с типичной лесной растительностью. Реальным выражением этих исследований стало тематическое картографирование перспективных, в ресурсном плане, отдельных районов, составление карт лесного фонда.

Продолжением этих работ в наши дни является разработка методики изучения таксационной и морфологической структуры древостоев на основе лазерной и цифровой фото- и видеосъемки, цифровой спутниковой съемки и трехмерного компьютерного анализа изображений. На ее основе выявлены закономерности таксационного строения и динамики фитомассы в насаждениях, формирующихся после пожаров и рубок [13].

К 1974 г. создали первую лабораторию на самолете АН-2, которую затем усовершенствовали на основе ИЛ-14. В 1984 г. появился новый вариант – на АН-30, где смонтировали не только средства удаленного сбора информации, но и мини-ЭВМ с накопителями данных и радиосбросом в радиусе 600 км [9].

Еще в 1974 г. по предложению Института космических исследований АН СССР начали проводить зондирование Земли из космоса. Организатором и научным руководителем исследования лесов стал академик А.С. Исаев. С его участием на базе уже существовавшего дистанционного самолетного комплекса сотрудники Института леса разработали методику дешифрирования космических снимков. И в 1989 г. были оформлены патенты и авторские свидетельства на элементы технологии мониторинга лесных пожаров. Но из-за экономических трудностей в стране тогда не удалось наладить стабильное и регулярное получение соответствующей информации [16].

Положение изменилось в 1992 г. В Красноярск прибыли ведущие специалисты по лесным пожарам из Канады, США и Германии, с ними сибиряки установили хорошие научные контакты. А позднее выяснилось, что НАСА готовит к эксплуатации космическую станцию для глобальных экологических наблюдений над всей территорией Азии, включая и российскую часть. И по инициативе директора Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН А.С. Исаева и директора отделения НАСА Р. Мэрфи было решено установить в Красноярске приемную станцию NRPT (США) для приема космической информации, поступающей с полярно-орбитальных спутников серии «NOAA». Ее ввели в строй в 1994 г. Затем, в соответствии с решением Совместной комиссии Черномырдина-Гора по исследованию космического пространства и американско-российской рабочей группы «Науки о Земле» начали изучать бореальные леса и создавать необходимую информационную систему [16].

Таким образом, в Красноярске появилась возможность проводить непрерывный мониторинг лесов всей азиатской части нашей страны. Над территорией Сибири космоснимки можно получать шесть раз в сутки в полосе 52-68 с. Ш., имеющей меридиональную протяженность 2400 км. Это позволяет оценивать пожарную опасность лесов региона и ее динамику, обнаруживать новые очаги и прогнозировать их развитие с учетом метеоусловий, наблюдать состояние территорий после бедствия.

Кроме того, сотрудники Института леса изучают «зеленые пожары», вызываемые шелкопрядом, усачом и другими вредными насекомыми.

Совместно с подразделениями Министерства по чрезвычайным ситуациям РФ они наблюдали за природными и техногенными катастрофами с оперативной передачей информации в соответствующие инстанции.

1.5 Засухи

Засуха – природное явление, связанное с дефицитом влаги, которое наблюдается в разных климатических зонах и приносит огромный ущерб. Последствия засухи представлены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Засуха в еловых лесах [25]

По данным ООН, ущерб превышает 20% от общего, наносимого всеми стихийными бедствиями. Засухи, особенно в их экстремальном проявлении, оказывают ускоряющее воздействие на развитие опустынивания, основной причиной которого на территории России являются чрезмерные антропогенные нагрузки, усиливающиеся в условиях длительных и интенсивных засух [6].

Повторяемость засух на территории России и соседних стран увеличивается с севера на юг и в степной зоне достигает 30 и более раз в столетие [18]. В районах развитого земледелия засухи наносят наибольший ущерб. Современные изменения климата, уже произошедшие и ожидаемые в XXI в., несомненно оказывают и будут оказывать влияние на экстремальность климата, в том числе на засухи. Это отмечено в Четвертом оценочном докладе

Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [52].

Определения, классификация засух. Предпосылки формирования.

Засуха – комплексное явление, которое может рассматриваться с нескольких точек зрения. Центральное место в определениях засухи занимает понятие дефицита влаги. Трудности в определении засухи связаны с необходимостью рассмотрения разных компонентов гидрологического цикла, а также периодов времени и сред, соответственно, когда и где дефицит влаги проявляется [4].

Длительный недостаток влаги в почве на большой глубине и краткосрочный ее избыток в верхнем слое, отражает сложность, связанную с определением и тождественности засух [10].

Формирование засух разной интенсивности и продолжительности обусловлено взаимодействием множества физических механизмов. Однако циркуляционные факторы являются решающими [7, 8].

Начало засух связано с установлением антициклонов, для которых характерна малооблачная солнечная погода без осадков. Высокий уровень инсоляции и сухость воздуха создают повышенную испаряемость, и запасы почвенной влаги без пополнения их дождями истощаются. Поступление воды в растения через корневую систему уменьшается, расход влаги на транспирацию начинает превосходить ее приток из почвы, водонасыщенность тканей уменьшается, нормальные условия фотосинтеза и углеродного питания нарушаются [12].

Специальные индексы засушливости. Влажность почвы является ключевой переменной при классификации засух.

Для характеристики засух используются специальные индексы, основанные на данных стандартных метеорологических наблюдений, значения которых позволяют идентифицировать явление засухи и дают возможность судить о степени ее суровости [18].

В мировой практике для слежения за изменением условий засушливости на длительных временных интервалах наиболее широко используется индекс Палмера PDSI (Palmer Drought Severity Index). Расчет этого показателя

базируется на использовании доступных метеорологических данных (температуры воздуха и осадков) [34], а также локальных констант, характеризующих влагоемкость почвы. На основе этих входных величин с помощью упрощенной схемы влагопереноса в почве определяются реальные и потенциальные значения эвапотранспирации, а также другие составляющие водного баланса, и рассчитывается стандартизованный индекс PDSI. При последующей интерпретации значений этого индекса выделяют 11 градаций увлажненности: значения, находящиеся в диапазоне от -0,49 до 0,49, соответствуют нормальным условиям, значения меньше -4 – экстремально засушливым, а значения больше 4 – экстремально влажным условиям; промежуточные градации характеризуют такие степени засушливости и избыточной увлажненности, как зарождающаяся, слабая, умеренная и сильная [54].

2 Физико-географическая характеристика Сибири

Площадь Географической Сибири составляет 9,4 млн. км², это 54,9% от территории всей России.

Западная Сибирь представляет собой территорию, простирающуюся на 2500 км от Северного Ледовитого океана до сухих степей Казахстана и на 1500 км от гор Урала до Енисея. Общая площадь Западной Сибири составляет 2.4 млн. км².

Среднесибирская страна занимает территорию, расположенную между Енисеем и Леной, а на юге и востоке обрамленную горами Южной и Северо-Восточной Сибири. Она простирается от Северного Ледовитого океана до подножия Восточного Саяна. Площадь Средней Сибири – около 4 млн. км² [5].

Восточная Сибирь – часть Сибири, включающая азиатскую территорию России, республику Саха (Якутия). Площадь Восточной Сибири – 3 млн. км².

2.1 Геологическое строение и рельеф

Геологическое строение Западной Сибири показано на рисунке 6.

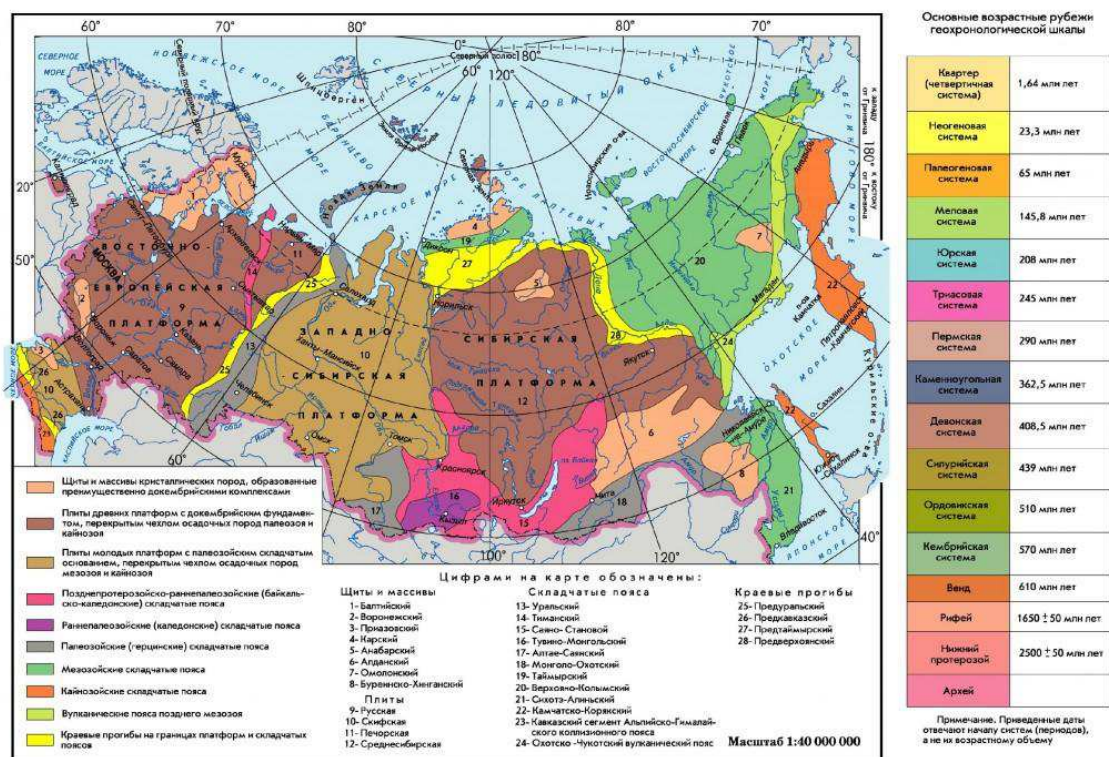


Рисунок 6 – Карта геологического строения России, 1:40000000 [24]

В основании Западно-Сибирской равнины лежит Западно-сибирская плита. В основании Западно-сибирской плиты находится палеозойский фундамент, глубина залегания которого составляет, в среднем, 7 км.

В ходе своего развития Западно-сибирская плита не раз подвергалась морскими трансгрессиями. В конце нижнего олигоцена море покинуло Западно-сибирскую плиту, и она преобразилась в огромную озерно-аллювиальную равнину. Северная часть плиты испытала поднятие в среднем и позднем олигоцене и неогене, которое в четвертичное время сменилось опусканием. Эта особенность плиты подчеркивается феноменальным развитием заболоченности [5].

Фундамент Сибирской платформы сложен метаморфизованными архейскими и протерозойскими осадочными породами, которые прорваны допалеозойскими интрузиями гранитов. Местами породы докембрийского фундамента выходят на поверхность, образуя Анабарский кристаллический массив на севере, Алданский щит на юго-востоке и отдельные участки Енисейского и Туруханского поднятий [24].

На юге Сибирской платформы, в основании нижнепалеозойских отложений, залегают базальные конгломераты, галька которых состоит из гранитов, гнейсов и мраморированных пород. В верхнем палеозое на севере страны установился озерно-болотный режим, в условиях которого накапливались отложения тунгусской свиты.

В Средней Сибири область распространения траппов занимает более 1 млн. км². Наиболее значительные мощности вулканогенных пород (до 1800-2000 м) наблюдаются в Тунгусской синеклизе. Геологическое строение Средней Сибири показано на рисунке 3.

После первого оледенения на севере произошла регрессия моря. Северная Земля в связи с этим превратилась в полуостров и причленилась к Таймыру. Значительные изменения были и во внутренних провинциях Средней Сибири. Тайга, например, вслед за отступавшим морем продвигалась к северу, а вечная мерзлота постепенно распространялась на юг. В это же время происходило формирование лесостепных ландшафтов Центральнойкутской низменности, а в бассейне Ангары господствовала елово-кедрово-пихтовая тайга с примесью некоторых широколиственных пород – дуба, граба, липы. В послеледниковое время климатические условия изменялись сравнительно мало и были близкими к современным [33].

Геологическое строение и история развития определяют многие особенности современного рельефа Средней Сибири.

На севере страны поднимаются горы Бырранга, простирающиеся в почти широтном направлении от Енисея до восточных районов полуострова Таймыр; горные массивы занимают и большую часть островов Северной Земли.

Между южным склоном гор Бырранга и подножием Среднесибирского плоскогорья располагается холмистая Таймырская низменность, протягивающаяся от низовьев Енисея на западе до устья Оленёка на востоке.

Большая часть Средней Сибири занята Среднесибирским плоскогорьем. Для его поверхности характерны значительные колебания высот – от 150 до 1700 м [11].

На востоке страны располагается Центральнаякутская низменность. Ее территория совпадает с Предверхоянским тектоническим прогибом и Виллюйской синеклизой, заполненными юрскими и меловыми отложениями мощностью до 5-8 км, и отличается плоским равнинным рельефом.

На юго-западе Средней Сибири поднимается среднегорный Енисейский кряж, протягивающийся от отрогов Восточного Саяна на северо-запад, к низовьям Подкаменной Тунгуски. Наконец, крайняя южная часть страны, прилегающая к Восточному Саяну, представляет собой пониженное пространство предгорного прогиба, заполненного континентальными юрскими и более молодыми отложениями. Средние высоты здесь колеблются от 200-300 м в районе Канска до 400-500 м на востоке [17].

Восточная Сибирь – это страна с разнообразным и контрастным рельефом. В ее пределах располагаются горные хребты и плоскогорья, а на севере – плоские низменности, протянувшиеся вдоль долин крупных рек далеко на юг. Геологическое строение Восточной Сибири показано на рисунке 3.

Вся эта территория принадлежит к Верхоянско-Чукотской области мезозойской складчатости. Основные процессы складкообразования происходили здесь преимущественно во второй половине мезозоя, но формирование современного рельефа обусловлено главным образом новейшими тектоническими движениями [24].

Основные типы рельефа Северо-Восточной Сибири образуют несколько отчетливо выраженных геоморфологических ярусов. Существенную роль играют здесь также формы мерзлотного рельефообразования, а свежие следы четвертичного оледенения характерны даже для плоскогорий и районов с низкогорным рельефом.

В соответствии с морфогенетическими особенностями в пределах страны различают следующие типы рельефа: аккумулятивные равнины, эрозионно-денудационные равнины, плоскогорья, низкогорья, среднегорный и высокогорный альпийский рельеф.

2.2 Климатические условия

Климатическая карта России показана на рисунке 7.



Рисунок 7 – Климатическая карта России, 1:30000000 [19]

На основной территории Западной Сибири климат континентальный (исключение – Алтайский край и Алтай). По мере удаления от льдов Северного Ледовитого океана вглубь континента континентальность климата возрастает [8].

Южные районы равнины находятся под воздействием Азиатского максимума, обуславливающего малоснежные и холодные зимы [6].

В северных районах температура зимой держится в районе -40° , в южных – около -15° . Средняя температура летом составляет $+5^{\circ}$ (север) и $+20^{\circ}$ (юг). Среднегодовая температура в высокогорных районах горного Алтая и Приполярного Урала составляет -10° , в низменностях – до $+5^{\circ}$. Наиболее холодное место – полуостров Ямал и его северные районы. Летом температура здесь составляет $+4^{\circ}$ [19].

Западную Сибирь защищают от влияния Атлантических воздушных масс – Уральские горы.

В летний период на всей территории господствуют циклоны. Их количество убывает с севера на юг. В северные районы приходят циклоны с европейской части России. В южные районы – с запада и юго-запада (с Каспийского и Черного морей, с низовьев Волги). Наибольшая циклоническая активность наблюдается между 54 и 60° с. ш. В этих районах за лето выпадает 300-400 мм осадков. В северном и южном направлении количество осадков постепенно уменьшается [11].

С апреля по сентябрь господствуют воздушные массы, приносимые с востока и со стороны Северного Ледовитого океана.

Среднегодовые показатели осадков составляют 300-600 мм. Наибольшее количество осадков в виде дождя приходится на лето и осень. Суточное количество осадков – всего около 10 мм.

В лесной зоне слой снега доходит до 60 см, в тундре – 40 см, а в степи – 25 см.

Западная Сибирь покрыта снежным покровом почти пять месяцев. В северных районах снег не тает до 270 дней, в южных – до 170.

Западная Сибирь – царство вечной мерзлоты. Наибольшую толщину вечная мерзлота имеет в северных районах, где достигает 600 м.

Климат большей части Западной Сибири влажный [19].

К югу от 56 параллели уменьшается годовое количество осадков до 300-400 мм. Испарение превышает количество осадков и климат становится засушливым. В данной местности преобладают степные ландшафты.

Основные особенности климата страны определяются ее географическим положением в средней части Северной Азии, удаленностью от теплых морей и воздействием Северного Ледовитого океана. В целом климат Средней Сибири резко континентальный, с большими амплитудами температур теплого и холодного сезонов года, умеренным, а местами и небольшим количеством осадков, которые распределяются по сезонам очень неравномерно. Климатическая карта России показана на рисунке 4.

Зимой в связи с сильным охлаждением поверхности материка большая часть Средней Сибири оказывается в сфере воздействия области высокого давления азиатского антициклона. Преобладание над территорией страны масс холодного и сухого континентального воздуха обуславливает весьма низкие зимние температуры: январь здесь на 6-14° холоднее, чем в среднем на соответствующих широтах земного шара: средняя температура его от -17,4° (в Красноярске) до -43° (в районе Якутска) [11]. Погода зимой устойчива; характерны сильные морозы, обилие безветренных дней, а на юге – значительное число часов солнечного сияния.

Летом над Средней Сибирью устанавливается пониженное атмосферное давление. Нигде на земном шаре в этих широтах летние температуры не бывают такими высокими, как здесь: даже у границы древесной растительности, местами севернее 70° с. ш., средняя температура июля равна +11-12°, а в районе Якутска (62° с. ш.) она достигает +18,9°.

Для Средней Сибири характерно значительное увеличение континентальности климата в восточных ее провинциях. В Якутии амплитуды абсолютных температур достигают 100°, а разница средних температур самого теплого и наиболее холодного месяцев -55-65°. Заметно уменьшается на востоке и количество осадков. На западе Среднесибирского плоскогорья благодаря поступлению влажных атлантических воздушных масс осадков выпадает нередко даже больше, чем на Западно-Сибирской равнине, а мощность снежного покрова бывает почти максимальной для равнин России – 80-100 см [11]. Однако на востоке, в Центральноякутской низменности, сумма осадков уменьшается почти в 3 раза: в течение продолжительной зимы здесь выпадает лишь 10-20% годового количества осадков, а мощность снежного покрова обычно не превышает 25-30 см.

Большая часть осадков приходится на вторую половину лета: нередко в июле и августе их выпадает в 2-3 раза больше, чем за весь длительный холодный период. Типичны также сильные колебания количества осадков в различные годы. В Дудинке в засушливый год выпадает всего 125 мм, а в

дождливый год – до 350 мм; в Красноярске годовая сумма атмосферных осадков колеблется от 127 до 475 мм [19].

Важнейшим следствием резко континентального климата страны является почти повсеместное распространение вечной мерзлоты.

2.3 Гидрология

Гидрологическая карта России представлена на рисунке 8.



Рисунок 8 – Гидрологическая карта России, 1:15000000 [33]

Реки Западной Сибири принадлежат бассейну Карского моря. Самая крупная водная артерия – Обь с притоком Иртыш. Они относятся к числу величайших рек земного шара. Река Обь образуется при слиянии Бии и Катунь, берущих начало на Алтае, и впадает в Обскую губу Карского моря. Среди рек России она занимает первое место по площади бассейна и третье по водности.

В лесной зоне, до устья Иртыша, Обь принимает свои основные притоки: справа – реки Томь, Чулым, Кеть, Тым, Вах; слева – реки Парабель, Васюган,

Большой Юган и Иртыш. Наиболее крупные реки севера Западной Сибири – Надым, Пур и Таз – берут свое начало на Сибирских Увалах [33].

Питание рек смешанное, в нем принимают участие: сезонные снега, высокогорные снежники и ледники, а также осадки от дождей и грунтовые воды. Среди других видов питания преобладающим является снеговое, осуществляющееся главным образом за счет таяния сезонных снегов [29].

Для режима большинства рек Алтая характерно следующее:

1) сравнительно невысокое весеннее половодье, растянутое до первой половины лета по причине разновременного поступления талых вод из разных высотных зон; на основную волну весеннего половодья накладываются также и паводки от дождей;

2) слабо выраженная летняя межень, часто прерываемая дождевыми паводками, которые по высоте уступают весеннему половодью; 3) наименьшая водность в зимний период.

Одной из гидрографических особенностей степной и лесостепной зон Западной Сибири является обилие озер самых разнообразных размеров [17]. Количество озер здесь исчисляется тысячами. Среди них можно выделить следующие основные группы озер:

1) озера Барабинской степи; самым большим является оз. Чаны, представляющее собой мелководный водоем площадью около 2600 км²; другим большим озером является Убинское;

2) озера Кулундинской степи, в числе которых находится крупнейшее соляное оз. Кулундинское, площадью около 600 км²; близ него находится озеро меньших размеров – Кучук;

3) озера Ишимской степи, включающие множество, преимущественно малых водоемов междуречья Иртыш – Ишим; самым большим водоемом является оз. Селеты-Тенгиз;

4) озера Зауралья, объединяющие многочисленные мелкие степные водоемы Кустанайской и Челябинской областей.

Котловины озер степной и лесостепной зон представляют собой плоские бессточные блюдцеобразные западины, слабо выделяющиеся на общем фоне равнины.

Средняя Сибирь – страна с богато развитой сетью рек –от гигантских многоводных потоков до небольших ручьев, подчас пересыхающих летом или промерзающих до дна зимой [37]. Гидрологическая карта представлена на рисунке 5.

Средняя плотность речной сети превышает 0,2 км на 1 км² территории, а коэффициент стока достигает 0,6, т. е. почти вдвое выше, чем в Западной Сибири. Большинство среднесибирских рек питается талыми снеговыми водами и летне-осенними дождями [37]. Доля грунтового питания по причине широкого распространения вечной мерзлоты сравнительно невелика (обычно не более 5-8%), но несколько увеличивается в южных районах. Почти на всех реках сток за теплый период года составляет до 70-90% годового, а на зиму приходится не более 10% [29].

Все реки Средней Сибири относятся к бассейну Северного Ледовитого океана. Наиболее значительные из них – Лена, протекающая вблизи восточной окраины страны, многочисленные правые притоки Енисея, текущие с востока на запад, а также Пясины, Хатанга, Анабар и Оленёк.

Располагающееся в верховьях Ангары озеро Байкал оказывает большое влияние на режим реки.

Озер в Средней Сибири значительно меньше, чем на Западно-Сибирской равнине. Богаты ими лишь Центральнаякутская и Таймырская низменности, где преобладают небольшие и неглубокие термокарстовые озера [39].

Самое большое озеро – Таймыр – расположено у южного подножия гор Бырранга. Площадь его сильно изменяется по сезонам года: весной она достигает 4650 км², осенью же, когда основная масса воды уже вынесена из озера рекой Нижней Таймырой в Карское море, площадь значительно сокращается.

Группа своеобразных крупных озер располагается в горах Путорана. Они занимают тектонические понижения и имеют значительную глубину, иногда более 200 м; нередко дно котловин располагается на 100-150 м ниже уровня океана. Длина некоторых из этих озер (Дюпкун, Большое Хантайское) достигает 100-120 км [5].

Весьма богата Средняя Сибирь и подземными водами. В ее пределах расположены Тунгусский, Хатангский, Якутский и Ангаре Ленский артезианские бассейны. Характер их подземных вод разнообразен; наряду с пресными водами, которые широко применяются для водоснабжения (например, Якутска), в соленосных отложениях нижнего палеозоя имеются соленые воды и рассолы, местами используемые для лечебных и промышленных целей.

Восточная Сибирь расчленена сетью многих рек, стекающих к морям Лаптевых и Восточно-Сибирскому. Наиболее крупные на них – Яна, Индигирка и Колыма – текут почти в меридиональном направлении с юга на север.

Западные районы страны дренируются Яной (длина – 1490 км², площадь бассейна – 238 тыс. км²). Ее истоки – реки Дулгалах и Сартанг – стекают с северного склона Верхоянского хребта. После их слияния в пределах Янского плоскогорья река течет в широкой долине с хорошо развитыми террасами. В средней части течения, где Яна пересекает отроги горных хребтов, долина ее сужается, а в русле появляются пороги. Низовья Яны расположены на территории приморской низменности; при впадении в море Лаптевых река образует большую дельту (площадью около 5200 км²) [33].

Большинство озер Восточной Сибири расположено на северных равнинах, в бассейнах Индигирки и Алазеи. Чаще всего озера занимают термокарстовые котловины или понижения в поймах и на речных островах. Все они отличаются небольшими размерами, плоскими берегами, малыми глубинами (до 4-7 м). В течение семи-восьми месяцев озера скованы мощным ледяным покровом; очень многие из них в середине зимы промерзают до дна.

2.4 Характеристика почв и растительности

На рисунке 9 представлена почвенная карта России.

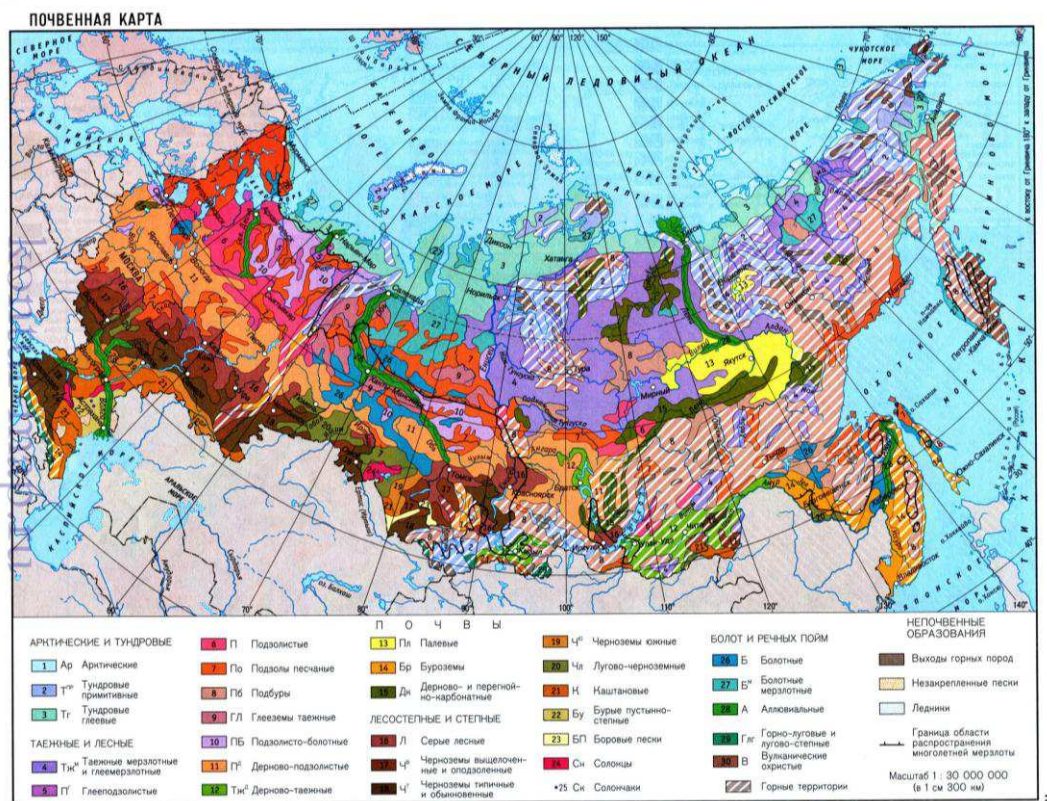


Рисунок 9 – Почвенная карта России, 1:30000000 [21]

На территории Западной Сибири встречается довольно много (особенно в южных районах) разных видов почв.

В тундре встречаются тундрово-глеевые почвы. Здесь наблюдается явление вечной мерзлоты [21].

В тайге распространены подзолистые и дерново-подзолистые, намного реже мерзлотно-таёжные почвы.

А в лесостепях и степях – чернозёмы лесостепей и степей, а также лугово-чернозёмные виды почв.

На Крайнем Севере располагается зона тундры, южнее – неширокая зона лесотундры, за ней лежит обширная лесоболотная зона, которая занимает более 60% всего пространства Западной Сибири. На севере эта зона начинается

неширокой полосой редколесий, а на юге заканчивается лиственненно-лесной подзоной березняков с примесью осины. Южнее лесоболотной зоны протянулась зона лесостепи, занимающая 10% общей площади всей Западной Сибири; и, наконец, на самом юге равнину замыкает зона степи, внутри которой имеются несколько «островов» полупустыни. Похожую смену типов растительности можно наблюдать и по мере поднятия в горы [44].

Проведенные за последние годы исследования позволили вычислить суммарную площадь, занятую каждым типом растительности. Так, на болота приходится 35% всей территории Западной Сибири; на долю всех хвойных и лиственных лесов приходится 30%; на луга и степи – 7%; на тундры и кустарниковые заросли – 13%; остальные 20% – это воды, овраги, пески, гольцы, каменистые россыпи, снежники [21]. Древесная растительность лесотундры представлена главным образом лиственницей сибирской и лиственницей Сукачева; в лесоболотной зоне среди хвойных преобладают кедр и сосна, в составе лесов Западной Сибири много березы и осины.

Средняя Сибирь существенно отличается от соседней Западно-Сибирской равнины по характеру почв и растительного покрова. На рисунке 6 представлена почвенная карта России.

Почвенно-растительные зоны представлены арктическими пустынями, тундрами, лесотундрой и тайгой. Подзона мелколиственных лесов отсутствует, а степи и лесостепи встречаются на крайнем юге и востоке страны только в виде «островов» среди тайги [44].

Так, в горах низовьев Нижней Тунгуски на высоте до 250-400 м располагается темнохвойная тайга, которая выше сменяется светлохвойными лиственничными лесами. На высоте 500-700 м они переходят в горное лиственничное редколесье или заросли кустарниковой ольхи; вершины массивов, поднимающихся выше 700-800 м, заняты горной каменистой тундрой [33].

Почвы и растительность Средней Сибири развиваются в условиях резко континентального, сурового климата. Осадков здесь выпадает меньше, чем в

более западных районах, мощность снежного покрова чаще всего невелика, и почти повсеместно распространена вечная мерзлота.

В северной половине среднесибирской тайги формируются глеево-мерзлотно-таежные и мерзлотно-таежные почвы.

На лёссовидных суглинках Центральной Якутии формируются дерново-лесные и мерзлотно-таежные палевые (нейтральные) осолоделые почвы, не имеющие аналогов нигде на земном шаре.

Значительные площади занимают также почвы, формирующиеся в условиях горного рельефа, – горно-тундровые (в горах Бырранга, Путорана и в Анабарском массиве), горно-мерзлотно-таежные и горно-лесные карбонатные. На юге – в Приангарье – доминируют зональные дерново-подзолистые и дерново-лесные бурые, а в лесостепных «островах» – серые лесные почвы и черноземы [5].

Своеобразный характер имеет и растительный покров таежной зоны, занимающей более 70% территории Средней Сибири. В ее пределах преобладают светлохвойные леса из лиственницы сибирской (на западе) и даурской (на востоке). Темнохвойная тайга оттеснена в крайние западные районы и на повышенные участки южных провинций.

С особенностями континентального климата связано существование в тайге, нередко даже вблизи Полярного круга, островов степей и участков галофитной растительности на солончаках (Центральноякутская низменность). В соответствии с суровыми климатическими условиями на территории Северо-Восточной Сибири преобладают ландшафты северотаежных редкостойных лесов и тундры.

На крайнем севере, на островах Северного Ледовитого океана, преобладают арктические пустыни с бедной растительностью на примитивных маломощных арктических почвах. Южнее, на материковой приморской равнине, располагается зона тундры – арктической, кочкарной и кустарничковой. Здесь формируются оглеенные тундровые почвы, также маломощные [17].

Гребни самых высоких массивов, где климатические условия препятствуют существованию даже самых неприхотливых растений, представляют собой безжизненную холодную пустыню и покрыты сплошным плащом каменных россыпей и осыпей, над которыми поднимаются скалистые вершины.

2.5 Животный мир

Фауна Сибири богата и разнообразна. Здесь обитает большое количество млекопитающих и птиц; многие из них имеют важное промысловое значение (белка, колонок, горностай, ондатра, песец и др.) [28].

Флора и фауна России представлены на рисунке 10.



Рисунок 10 – Карта флоры и фауны России, 1:11800000 [28]

Появляются такие животные, как кабарга (*Moschus moschiferus*), пищуха северная (*Ochotona hyperborea*) и снежный баран (*Ovis nivicola*); чаще, чем в

Западной Сибири, встречаются соболь и северный олень. В некоторых таежных районах Якутии, лежащих даже вблизи Полярного круга, обитают такие степные животные, как длиннохвостый суслик («евражка» – *Citellus undulatus*) и черношапочный сурок (*Marmota camtschatica*). Далеко на север проникают и некоторые южные птицы: выпь (*Botaurus stellaris*), скалистый голубь (*Columba livia*), полевой жаворонок. Много здесь и таежных птиц, не характерных для Западной Сибири: каменный глухарь (*Tetrao urogalloides*), черная ворона (*Corvus corone orientalis*), утка-касатка и несколько видов воробьиных. Разнообразие фауны Средней Сибири связано с относительно древним возрастом страны и с различиями ее современных природных условий. Зоогеографы уже давно выделяют Среднюю Сибирь в качестве самостоятельного Восточно-Сибирского зоогеографического округа [39].

Восточнее Лены исчезают некоторые обычные для сибирской тайги животные. Здесь нет колонка, сибирского козерога и др. Вместо них в горах и на равнинах появляются млекопитающие и птицы, близкие к широко распространенным в Северной Америке. Из 45 видов млекопитающих, живущих в горах бассейна Колымы, более половины имеет весьма близкое родство с животными Аляски. Таковы, например, желтобрюхий лемминг (*Lemmus chrysogaster*), светлый волк, огромный колымский лось (*Alces americanus*). В реках встречаются некоторые американские рыбы (например, даллия – *Dallia pectoralis*, чукучан – *Catostomus catostomus*) [33]. Присутствие в составе фауны Северо-Востока североамериканских животных объясняется тем, что еще в середине четвертичного времени на месте нынешнего Берингова пролива существовала суша, опустившаяся лишь в верхнечетвертичное время.

Бескрайние просторы Сибири простираются в различных климатических зонах. Растительный мир имеет огромное многообразие: от лишайника и мха, покрывающих болотистую местность, до огромных хвойных лесов тайги. Но, несмотря на такое разнообразие, некоторые виды растений уже занесены в Красную книгу. Например, женьшень или гортензия черешчатая.

Редко цветут цветы волчьего лыка. Этот представитель ягодковых, сейчас встречается очень редко в лесах Западной и Центральной Сибири.

Истреблены браконьерским промыслом многие животные Сибири, занесенные в Красную книгу. На страницах ее есть девятнадцать видов млекопитающих, семьдесят четыре вида птиц.

Орнитологи насчитывают около трехсот видов птиц, которые выбирают для своего гнездования щедрый край [5].

Охрана флоры и фауны была и остается одной из серьезнейших задач, поставленной перед человечеством, которое вот уже много веков бездумно и расточительно относится к окружающей среде. Огромную роль в сохранности природы Сибири играют заповедники и национальные парки.

[Глава 3 – изъята]

[Глава 4 – изъята]

[Глава 5 – изъята]

[Глава 6 – изъята]

[Глава 7 – изъята]

[Глава 8 – изъята]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе комплексного анализа материалов дистанционного зондирования, картографических и климатических данных, и цифровой модели рельефа исследовано пространственные особенности распределения усохших темнохвойных древостоев в Сибири в период начала 21 века.

Использование современных ГИС-инструментов позволило автоматизировать обработку большого объема данных. В частности, разработана методика исследования, обработаны временные серии пространственных данных об исчезновении темнохвойных лесов в Сибири, сформирована маска гарей, произведен сопряженный анализ данных об исчезновении лесов наряду с климатическими переменными и рельефом местности.

Согласно использованным картографическим источникам, на 2010 год площадь всех лесов Сибири составляла ~5,2 млн км², из которых темнохвойные леса на территории Сибири занимали ~716 тыс. км² (14% от площади всех лесов). За период с 2000 по 2018 гг. исчезло ~48 тыс. км² темнохвойных лесов (на ~7%), исключая пожары.

Распределение усохших темнохвойных древостоев по рельефу местности является неоднородным. Выявлено, что в азимутальном распределении они приурочены преимущественно к южным, юго-восточным и юго-западным склонам. Максимальные значения наблюдаются на склонах южной экспозиции. Большинство темнохвойных древостоев усыхают на территориях с уклоном от 0,1° до 27°. То есть на равнинных, пологих, обрывистых, крутых территориях. Максимальные 14,2% темнохвойных древостоев исчезло на обрывистых территориях, с уклоном в 2-3°. Темнохвойные древостои усыхают на поверхности с кривизной от 1-2°. То есть рельеф с выпуклой поверхности, больше влияет на усыхание темнохвойных древостоев. От крутизны склона зависит изменение температуры, так как меняется угол падения солнечных лучей. Чем круче склон, тем больше он нагревается. Следовательно, усохшие древостои располагались на склонах, где наиболее вероятен риск водного стресса.

Выявлена связь между исчезновением темнохвойных лесов в Сибири в начале 21 века с динамикой климатических переменных. Температура различалась на 0,4-0,6°С между участками усохших темнохвойных древостоев и территорией всех темнохвойных древостоев. Различие в количестве осадков составляло 0-20 мм, индекса сухости – 0-0,5. Наибольшие различия наблюдались в летние периоды.

Таким образом, проведенное исследование позволило сделать количественные оценки влияния климатических переменных и орографии местности на современное состояние темнохвойных лесов в Сибири. Полученные результаты могут в дальнейшем быть использованы для пространственного моделирования прогнозных моделей изменения растительного покрова в бореальной зоне, а также для разработки рекомендаций по сохранению темнохвойных лесов в условиях меняющегося климата.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ананьев, Ю. С. Геоинформационные системы : учебное пособие / Ю. С. Ананьев. – Томск : Изд. ТПУ, 2003. – 70 с.
2. Архипова, Н. Г. Проблема усыхания елей в Латвии // Проблемы усыхания еловых насаждений : материалы междунар. науч.-практ. семинара. – Минск : ООО “КолорПоинт”, 2013. – С. 11.
3. Браун, Л. А. История географических карт / Л. А. Браун. – Москва : Центрполиграф, 2006. – 479 с.
4. Василюскас, В. Усыхание ельников в Литве и главные их причины / В. Василюскас // Проблемы усыхания еловых насаждений : материалы междунар. науч.-практ. семинара. – Минск : ООО “КолорПоинт”, 2013. – С. 11.
5. Гвоздецкий, Н. А. Физическая география СССР. Азиатская часть / Н. А. Гвоздецкий, Н. И. Михайлов. – Москва : Мысль, 1978. – 512 с.
6. Грингоф, И. Г. Засухи и опустынивание – экологические проблемы современности / И. Г. Грингоф // Труды ВНИИСХМ. – 2000. – №33. – С. 14–40.
7. Гребенщиков, О. С. Вертикальная поясность растительности в горах восточной части Западной Европы / О. С. Гребенщиков // Биологический журнал. – 1957. – Т. 42. – №6. – С. 13–15.
8. Дроздов, О. В., Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории / О. В. Дроздов, А. С. Григорьева. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1971. – 316 с.
9. Ефремов, Д. Ф. Профилактика и меры предупреждения лесных пожаров в системе лесопользования Российской Федерации / Д. Ф. Ефремов, А. С. Захаренков, М. А. Копейкин. – Москва : Всемирный банк, 2012. – 104 с.
10. Засухи, их возможные причины и предпосылки предсказания / В. Ф. Логинов [и др.]. – Обнинск : ВНИИГМИ МЦД, 1976. – 300 с.
11. Захарова, А. Ф. Радиационный режим северных и южных склонов в зависимости от географической широты / А. Ф. Захарова. – Москва, 1959. – 269 с.
12. Иванов, В. П. Усыхание еловых лесов – проблема регионов / В. П. Иванов, И. Н. Глазун, В. П. Шелуха, С. И., Смирнов, Д. И. Нартов // Лес XXI

века: тезисы докладов межд. практ. конф. Брянск 20-24 окт. 2005 г. – Брянск : БГТУ, 2005. – С. 42.

13. Им, С. Т. Усыхание ели в лесах Беларуси / С. Т. Им, В. И. Харук, М. Л. Двинская // Экология. – 2006. – №3. – С. 180-189.

14. Исаев, А. С. Карта лесов СССР / Исаев А. С. – Москва : Союзгипролесхоз, 1990. – 564с.

15. К проблеме усыхания ельников в лесах Европейского Севера России / Н. П. Чупров // Лесное хозяйство. – 2008. – № 1. – С. 24–26.

16. Кабанихин, С. И. Трехмерная ГИС анализа и оценки природных и техногенных катастроф / С. И. Кабанихин, О. И. Криворотько, И. В. Маринин. – Москва: Palmarium Academic Publishing, 2013. – 96 с.

17. Калуцков, Н. География России : учебник и практикум / Н. Калуцков. – Москва : Юрайт, 2016. – 348 с.

18. Клещенко, А. Д. Современные проблемы мониторинга засух / А. Д. Клещенко // Труды Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной микробиологии. – 2000. – №33. – С. 3-13.

19. Климатические условия и микроклимат таежных геосистем Сибири. – Новосибирск : Наука, 1980. – 232 с.

20. Корец, М. А. Оценка характеристик лесных территорий на основе сопряженного анализа данных ГИС и спутниковой съемки : дис. ... канд. техн. Наук : 05.11.13 / Корец Михаил Анатольевич. – Красноярск, 2001. – 157с.

21. Кузин, Е. Н. Почвоведение / Е. Н. Кузин, Н. П. Чекаев, Е. Е. Кузина. – Пенза : 2016. – 166 с.

22. Культиасов, И. М. Экология растений / И. М. Культиасов. – Москва : Изд-во МГУ, 1982. – 318 с.

23. Курлович, Д. М. Геоинформационные методы анализа и прогнозирования погоды : учеб. метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2013. – 191 с.

24. Лазько, Е. М. Региональная геология СССР. Азиатская часть / Е. М. Лазько. – Москва : Недра, 1975. – 464 с.

25. Манько, Ю. И. Усыхание ели в свете глобального ухудшения темнохвойных лесов / Ю. И. Манько, Г. А. Гладкова. – Владивосток : Дальнаука, 2001. – 228 с.
26. Мандельштам, Н. Л. Инсоляция склонов различной экспозиции и крутизны в условиях Саратовской области / Н. Л. Мандельштам // Вопросы климата и погоды Нижнего Поволжья. – Саратов. – 1966. – С.122-130.
27. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [Электронный ресурс] : Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». – Режим доступа: <https://gosdoklad-ecology.ru/2017/biologicheskoe-raznoobrazie/lesnye-resursy>.
28. Мир природы. Живые организмы окружающей. – Новосибирск : Наука, 1980. – 142 с.
29. Москвин, Ю. Максимальный сток малых и средних рек Крайнего Севера Западной Сибири / Ю. Москвин, С. Тумановская. – Москва : LAP Lambert Academic Publishing, 2014. – 76 с.
30. Оценка климатогенных изменений разнообразия древесных пород по данным учетов лесного фонда / Д. Г. Замолотчиков // Успехи современной биологии. – Москва, 2011. – Т. 131. – № 4. – С. 382–392.
31. Павлов, И. Н. Оценка роли корневых патогенов в ухудшении состояния лесного фонда сибирского федерального округа / И. Н. Павлов // Хвойные бореальные зоны. – 2008. – С. 23-33.
32. Петров, И. А. Оценка воздействия климатических изменений на древесные растения в горах Алтае-Саянского региона : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Петров Илья Андреевич. – Красноярск, 2016. – 144 с.
33. Раковская, Э. М. Физическая география России : учеб. пособие для вузов / Э. М. Раковская, М. И. Давыдова. – Москва : ВЛАДОС, 2001. – 304 с.
34. Савиных, В. П. Геоданные как системный информационный ресурс / В. П. Савиных, В. Я. Цветков // Вестник Российской Академии Наук. – 2014. – № 9. – С. 826–829.
35. Сазонов, А. А. Проблема массового усыхания ельников Беларуси и пути ее решения / А. А. Сазонов [и др.] // Лесное и охотничье хозяйство :

научный, производственно-практический журнал для работников лесной отрасли. – Минск. – 2013. – №7. – С. 10-15.

36. Сапегина, Т. Е. ГИС-анализ исчезновения лесов Сибири (исчезновение в период с 2000-2018 года) / Т. Е. Сапегина // География и геоэкология на службе науки и инновационного образования. – Красноярск. – 2020.

37. Сапегина, Т. Е. Пространственно-временная динамика гарей ленточных сосновых боров Приобского плато / Т. Е. Сапегина // Проблемы региональной экологии и географии. – Красноярск. – 2019. – С. 256-259.

38. Соколов, А. А. Гидрография СССР / А. А. Соколов. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1964. – 287 с.

39. Соколова, Г. Г. Влияние высоты местности, экспозиции и крутизны склона на особенности пространственного распределения растений / Г. Г. Соколова // Acta Biologica Sibirica. – 2016. – С. 34-45.

40. Средняя Сибирь / под ред. Герасимова И. П. – Москва : Наука, 1964. – 429 с.

41. Флоринский, И. В. Иллюстрированное введение в геоморфометрию / И. В. Флоринский // Система планета Земля. – 2016. – №1. – С. 5-25.

42. Хвойные леса : Лесная энциклопедия / под ред. Г. И. Воробьева. – Москва : 1986. – 631 с.

43. Хлебникова, Е. И. Засухи / Е. И. Хлебникова, Т. В. Павлова, Н. А. Сперанская // Известия Российской академии наук. – 2013. – №5. – С. 126–164.

44. Цветков, В. Я. Геоинформационные системы и технологии / В. Я. Цветков. – Москва : Эко–Тренд, 1998. – 290 с.

45. Чупров, Н. П. К проблеме усыхания ельников в лесах европейского севера России / Н. П. Чупров // Лесное хозяйство. – 2008. – №1. – С. 24-26.

46. Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв / И. В. Иванов [и др.]. – Москва: ГЕОС, 2015. – 928 с.

47. Adaptation, migration or extirpation: Climate change outcomes for tree populations / S. N. Aitken, S. Yeaman, J. A. Holliday // Evolutionary Applications. – 2008. – V. 1(1). – P. 95–111.

48. Aitken, S. N. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations / S. N. Aitken // Population Genetics, Climate Change, The Land. – 2008. – P. 32-49.
49. ArcGIS for Desktop [Электронный ресурс] : ArcMap. – Режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap>.
50. Bryukhanova, E. A. Historical GIS on-line : a Review of Foreign and Russian Projects / E. A. Bryukhanova, M. V. Rygalova // Publishing house of the Altai University press. – Barnaul, 2016. – №2 (90). – P. 56–59.
51. Caetano, M. S. Using spectral mixture analysis for fire severity mapping / M. S. Caetano, L. A. Mertes, J. M. Pereira // Proceedings of 2nd international conference on forest fire research. – 1994. – № 6. – P. 667–677.
52. EARTHDATA [Электронный ресурс] : M2TUNXLND: MERRA-2 tavgU_2d_Ind_Nx: 2d,diurnal,Time-Averaged,Single-Level,Assimilation,Land Surface Diagnostics V5.12.4. – Режим доступа: https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/M2TUNXLND_5.12.4/summary?keywords=MERRA-2.
53. Food and Agriculture Organization of the United Nations [Электронный ресурс] : Global forest resources assessment 2020. – Режим доступа: <http://www.fao.org/3/CA8753EN/CA8753EN>.
54. Isachenko, A. O. The concept of forming the geoinformation system of a mining enterprise / A. O. Isachenko, D. S. Mikhalevich, Y. L. Yunakov // Gornyi Zhurnal. – 2013. – № 5. – P. 62–66.
55. Жаха [Электронный ресурс] : ALOS. – Режим доступа: <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/data/index.htm>.
56. Kozyreva, Yu. V. Geography of the Altai territory: textbook / Yu. V. Kozyreva, N. B. Rygalova. – Barnaul : Publishing house of the Altai University press, 2014. – 140 p.
57. NASA Earth Data [Электронный ресурс] : MODIS/Terra+Aqua Direct Broadcast Burned Area Monthly L3 Global 500m SIN Grid V006. – Режим доступа: <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=mcd64%20v006&ok=mcd64%20v006>.
58. Pachauri, R. K. Climate Change 2007 / R. K. Pachauri. – Switzerland, 2008. – 104 p.

59. Reichhardt, T. Environmental GIS. The World in a Computer / Tony Reichhardt // Environ. Sci. Technol. – 1996. – №30 (8). – P. 340–343.


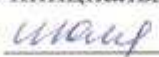
60. Sapegina, T. E. Spatial-temporal dynamics of burned areas belt pine forests of Priobskoye plateau / T. E. Sapegina // Innovative trends in the development of Russian science. – 2019. – P. 290-293.

61. Self-calibrating Palmer Drought Severity Index (scPDSI) [Электронный ресурс] : Global 0.5 1901-2018. – Режим доступа: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/drought/global>.

62. University of Maryland department of geographical sciences [Электронный ресурс] : Global Forest Change 2000–2018. – Режим доступа: https://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest/download_v1.6.html.

[Приложения А-В изъяты]

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт экологии и географии
Кафедра географии

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 Г.Ю. Ямских
подпись инициалы, фамилия
« 1 »  2020 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Геоинформационный анализ исчезновения темнохвойных лесов Сибири

05.04.06 Экология и природопользование

05.04.06.03 Геоэкология

Руководитель	 подпись, дата	<u>доц., канд. техн. наук</u> должность, ученая степень	<u>С.Т. Им</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата		<u>Т.Е. Сапегина</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 подпись, дата	<u>научный сотрудник, канд.</u> <u>биол.наук</u> должность, ученая степень	<u>А.С. Шушпанов</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 подпись, дата		<u>В.О. Брунгардт</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2020