



УДК 528.8:574.42:58.02

DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-4-415-431

Влияние климата на состояние северной части елово-пихтовой подзоны темнохвойных бореальных лесов острова Сахалин

Мелкий В.А.¹, Верхотуров А.А.¹, Братков В.В.²

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,
Россия, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б

²Московский государственный университет геодезии и картографии,
Россия, 105064, г. Москва, Гороховский пер., 4

E-mail: vamelkiy@mail.ru; ussr-91@mail.ru; vbratkov@mail.ru

Аннотация. Одним из регионов России, где сохранились большие массивы бореальных лесов, является остров Сахалин. В результате исследования определен характер изменения состояния северной части подзоны бореальных елово-пихтовых лесов Сахалина под влиянием современных климатических изменений на основе данных наблюдений на метеостанциях и космических съемок. Приводятся результаты исследования многолетней динамики лесов по данным космических съемок и регулярных наблюдений на метеостанциях «Погиби», «Ноглики», «Александровск-Сахалинский», «Тымовское». Оценка современного состояния лесных сообществ территории выполнена по многозональным космическим снимкам территории среднего разрешения, полученных со спутников *Landsat*. Установлено, что интенсивное развитие растительности и прирост фитомассы обусловлены условиями тепло- и влагообеспеченности территории, которые находят свое выражение в величине гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК). Анализ климатических условий лесных растительных сообществ дал возможность понять тенденции и направленность их изменения, прогнозировать отдельные негативные природные явления (пожары, усыхание и др.).

Ключевые слова: многозональные космические снимки, климатические условия, гидротермический коэффициент, елово-пихтовые леса, моделирование, ArcGIS

Для цитирования: Мелкий В.А., Верхотуров А.А., Братков В.В. 2020. Влияние климата на состояние северной части елово-пихтовой подзоны темнохвойных бореальных лесов острова Сахалин. Региональные геосистемы, 44 (4): 415–431. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-4-415-431

Climate influence on the state of the northern part of the spruce-fir subzone of the dark coniferous boreal forests of Sakhalin Island

Vyacheslav A. Melkiy¹, Alexey A. Verkhoturov¹, Vitaly V. Bratkov²

¹Institute Marine Geology and Geophysics, FEB RAS,
1 B, Nauki Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia

²Moscow State University of Geodesy and Cartography,
4 Gorokhovskiy per., Moscow, 105064, Russia

E-mail: vamelkiy@mail.ru; ussr-91@mail.ru; vbratkov@mail.ru

Abstract. The nature of the influence of climatic conditions on the state of the spruce-fir subzone of the dark-coniferous boreal forests of Sakhalin Island is revealed. The results of a study of long-term dynamics of forests based on space surveys and regular observations at the weather stations "Pogibi", "Nogliki", "Aleksandrovs-Sakhalinskiy "Tymovskoe", are presented. The current state of the territory's forest communities was assessed using multi-spectral medium-resolution satellite images of the territory obtained by Landsat satellites. It is established that intensive vegetation development and phytomass growth are caused by heat and moisture availability of the territory, reflected in value of the Selyaninov



hydrothermal coefficient (SHC). The analysis of the dynamics of State of forest plant communities made it possible to understand trends of direction their changes, predict certain negative natural phenomena (fires, drying up, etc.). The position of floral borders of study area depends mainly from distribution of hydrothermic coefficient.

Key words: multi-zone satellite images, climate conditions, hydrothermal coefficient, spruce-fir forests, modeling, ArcGIS

For citation: Melkiy V.A., Verkhoturov A.A., Bratkov V.V. 2020. Climate influence on the state of the northern part of the eel-fir subzone of the dark coniferous boreal forests of Sakhalin Island. *Regional Geosystems*, 44 (4): 415–431. (in Russian). DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-4-415-431

Введение

Изменения климата выявляются при сопоставлении рядов одинаковой длительности, продолжительность которых составляет десятки лет. С точки зрения географии и экологии, наибольший интерес представляет не столько анализ изменений основных климатических параметров (температур, осадков), сколько результаты влияния этих изменений на биоту. Среди растительных группировок особое место занимают леса, которые являются важнейшими компонентами биосферы и источниками ресурсов. Они имеют глобальное экологическое, экономическое и социальное значение, в связи с чем организован их мониторинг.

Одним из регионов России, где сохранились большие массивы бореальных лесов, является остров Сахалин. Особенность этих лесов – их формирование в условиях территориальной изоляции от материка, а также океанического климата, в результате чего они несколько отличаются от материковых. Нарушенность лесного покрова на любой территории зависит, с одной стороны, от породного состава и возраста древостоев, а с другой – от климатических условий [Seidl et al., 2017].

В качестве объекта исследования нами определена территория, по которой при геоботаническом районировании острова Сахалин А.И. Толмачев [1955] провел северную границу в подзоны зеленомошных темнохвойных лесов с преобладанием ели (*Picea ajanensis*). В более поздних работах положение геоботанических границ уточнялось [Крестов и др., 2004; Мелкий и др., 2019] (рис. 1).

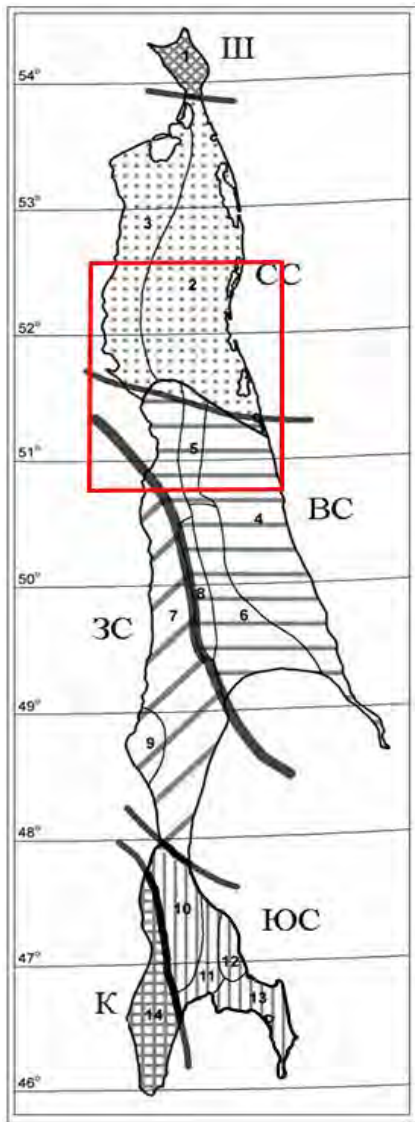
В результате исследования определен характер изменения состояния северной части подзоны бореальных елово-пихтовых лесов Сахалина под влиянием современных климатических изменений на основе данных наблюдений на метеостанциях и космических съемок.

Объекты и методы исследования

В основу статьи положены результаты анализа состояния растительности, который проводился с использованием топографических карт и космических снимков со спутников серии *Landsat*, отражающих состояние северной части подзоны бореальных елово-пихтовых лесов Сахалина. Полевые исследования растительных сообществ района проводились на эталонных участках по проверенным методикам [Сукачев, Зонн, 1961; Нормативные..., 1986]. Полевые описания оцифрованы, имеют точную геодезическую привязку, структурированы и подготовлены для использования.

Характеристика современных климатических условий выполнена на основе анализа рядов инструментальных наблюдений, осуществлённых на метеостанциях «Погиби», «Ноглики», «Александровск-Сахалинский», «Тымовское», имеющих в свободном доступе (www.meteo.ru, www.pogodaiklimat.ru). Обработка рядов данных и определение линейных временных трендов количественных характеристик погоды производилась статистическими методами. [Gavrilov et al., 2018; Муха, 2020].

Для исследования изменений лесного покрова большую роль играют ранее созданные карты данной территории. Они послужили источником информации о состоянии растительности на момент съемки и выявления изменений. В работе использовалась топографическая карта масштаба 1: 500 000 данной территории.



Условные обозначения:

Ш – Шмидтовский район,
СС – Северо-Сахалинский район,
ЗС – Западно-Сахалинский район,
ВС – Восточно-Сахалинский район,
ЮС – Южно-Сахалинский район,
К – Крильонский район

Линии, выходящие за контур острова, разделяют флористические области.

Линии внутри контуров острова разделяют геоботанические районы по Толмачеву [1955]:

подзона лиственных лесов:

1 – район полуострова Шмидта,
2 – Северо-Восточный район,
3 – Северо-Западный район;

подзона зеленомошных темнохвойных лесов с преобладанием ели:

4 – Восточно-Сахалинский горный район,
5 – Тымский район,
6 – Поронайский район,
7 – Западно-Сахалинский горный район,
8 – район Поронайской горной цепи,
9 – Ламанонский прибрежный район;

подзона темнохвойных лесов с преобладанием пихты:

10 – Центральный (Южно-Сахалинский) горный район,
11 – район Южно-Сахалинской низменности,
12 – Сусунайский горный район,
13 – Юго-Восточный район;

подзона темнохвойных лесов с примесью широколиственных пород:

14 – Юго-Западный район

Красным контуром обведен район исследования

Рис. 1. Схема геоботанического районирования острова Сахалин по А.И. Толмачеву [1955] с изменениями П.В. Крестова с соавторами [2004]

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

Для более точного изучения произошедших изменений необходимы снимки одного сезона. Для исследования данной территории выбраны снимки конца летнего периода.

Исходя из этого условия, для исследования динамики лесной растительности на сайте Геологической службы США при помощи *EarthExplorer* были выбраны три сцены *Landsat* с минимальной облачностью в период активной вегетации, отражающие состояние местности на 1992, 2005 и 2015 гг. [United..., 2020] (рис. 2). Методические подходы использования снимков с *Landsat* для изучения растительного покрова показали свою информативность [Терехин, 2018; 2019]. Предварительная обработка вклю-

чала радиометрическую и атмосферную коррекцию изображения в ПО *ENVI*. Радиометрическая коррекция была проведена для всех трёх снимков (1992, 2005 и 2015 гг.). Также была задана оптимальная линейная растяжка. Картографирование осуществлялось при помощи таких программных средств, как *ArcGIS*, *MapInfo* [Черепанова и др., 2017; Шихов и др., 2017].

Снимки в естественных цветах не дают возможности достаточно точно определить границу леса. Поэтому необходимо использовать различные методы определения лесного покрова. Для определения границ различных лесных сообществ можно воспользоваться несколькими методами дешифрирования:

- 1) метод классификации [Khatami et al., 2016; He et al., 2019];
- 2) метод соотношения спектральных каналов;
- 3) метод спектрального индекса [Малышева, 2018].



Рис. 2. Снимки Landsat на исследуемую территорию: А – 1992 г.; Б – 2006 г.; В – 2015 г.
Fig. 2. Landsat Images for research area: А – 1992; Б – 2006; В – 2015

Методы анализа сезонной и многолетней динамики природно-территориальных комплексов (ПТК), обусловленной погодно-климатическими условиями, базируются на концепции их пространственно-временного анализа и синтеза, разработанной Н.Л. Беру-чашвили, дополненной и апробированной В.В. Братковым [Атаев и др., 2018]. Результатами влияния климатических изменений могут быть, например, изменения запасов фитомассы или границы той или иной группировки растительности. В качестве оценочного средства состояния растительного покрова применялся нормализованный относительный вегетационный индекс NDVI [Братков и др., 2016; Керимов и др., 2016; Gonsamo, Chen, 2016; Корец, Скудини, 2018].

Климатические факторы, определяющие распространение растительных сообществ

Климат Сахалина умеренный муссонный. Зима на острове сухая и холодная, лето – влажное, теплое. Продолжительность солнечного сияния исследуемой территории составляет 1650–1750 часов за год.

Среднемесячная температура самого холодного месяца (января) в пределах изучаемого района изменялась незначительно: от $-25,1$ °С до $-28,8$ °С. Абсолютный минимум, зарегистрированный в разных местах, достигал отметок от -49 °С до -38 °С. Средние температуры августа колебались от $+14,6$ °С на севере, до $+16,5$ °С – в Александровске-Сахалинском. Абсолютный максимум достигал $+39$ °С в Тымовском.

Зимой наблюдается господство ветров северного и северо-западного направлений с повышенной скоростью (от 1,5 до 10,0 м/сек), летом – юго-восточных и южных. Ветры усиливают суровость погодных условий.

На севере территории в летнее время выпадает 300 мм осадков, на юге – 550–600 мм. В холодный период осадки зачастую представлены мокрым снегом и обрушиваются в виде мощных снегопадов.

Результаты и их обсуждение

Сведения о среднесуточных и месячных температурах и осадках с метеостанций «Погиби», «Ноглики», «Александровск-Сахалинский», «Тымовское», расположенных по периметру исследуемой территории, за 1966–2019 гг., имеются на сайтах <http://www.meteo.ru> и <http://www.pogodaiklimat.ru>. Используются данные суточного разрешения, обработка которых осуществлялась в пакете MS-Excel. В результате были получены стандартные статистические показатели: средние месячные и годовые значения, экстремумы и стандартное отклонение. Изменение термических условий по данным метеостанции (м/с) «Погиби» за 1966–2019 гг. иллюстрируют табл. 1, рис. 3. Изменение величины осадков по данным м/с «Погиби» за 1966–2019 гг. иллюстрируют табл. 2, рис. 4.

Таблица 1
Table 1

Термический режим по данным метеостанции «Погиби» за 1966–2019 гг.
Thermal regime according by data of the weather station (WS) "Pogibi" for 1966–2019

Показатели	Средние месячные и годовые значения												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
Мин.	-24,9	-24,1	-16,6	-6,4	0,9	7,7	12,1	12,4	3,3	-8,8	-17,7	-20,8	-3,3
Макс.	-11,7	-9,4	-1,3	4,8	10,4	15,6	16,7	18,1	13,6	6,2	-2,7	-10,5	0,3
Сред.	-19,3	-17,8	-11,4	-2,8	2,9	10,2	14,3	15,5	11,6	3,3	-7,7	-15,8	-1,3
Ст. отк	2,6	3,2	3,2	2,1	2,0	1,5	0,9	1,3	1,8	2,6	3,3	2,5	0,8
Абс. мин	-44,0	-40,7	-37,0	-28,3	-10,6	-1,9	2,2	-1,5	-3,0	-17,2	-29,4	-41,0	-44,0
Абс. макс	0,6	0,5	8,0	13,0	22,3	27,0	25,5	27,3	24,7	17,6	9,3	3,4	27,3

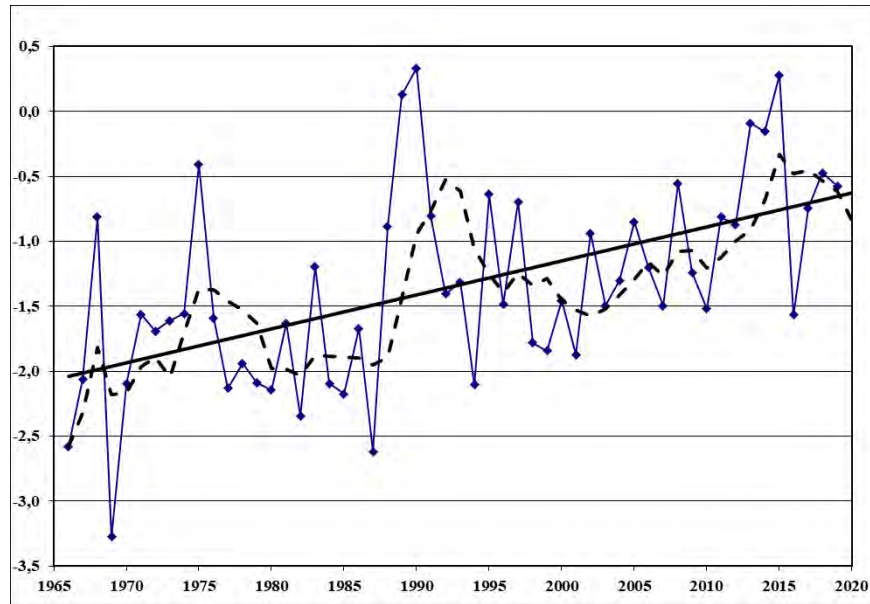


Рис. 3. График хода среднегодовых температур по данным м/с «Погиби» за 1966–2019 гг.
 (здесь и далее: сплошная линия – линейный тренд, пунктирная – осреднение за 5 лет)
 Fig. 3. Graph of the course of Average annual temperatures according by data of WS "Pogibi"
 for 1966–2019 (here and further: solid line – linear trend, dotted line – averaging over 5 years)

Таблица 2
 Table 2

Режим осадков по данным м/с «Погиби» за 1966–2019 гг.
 Precipitation regime according by data of the WS "Pogibi" for 1966–2019

Показатели	Средние месячные и годовые значения												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
Минимум	0	0	3	8	0	4	1	20	14	9	2	5	294
Максимум	100	78	112	74	125	184	157	176	192	209	92	105	880
Среднее	28	26	31	30	45	46	58	76	72	65	31	33	541
Ст. откл	23	20	22	16	24	36	41	39	36	39	20	20	123

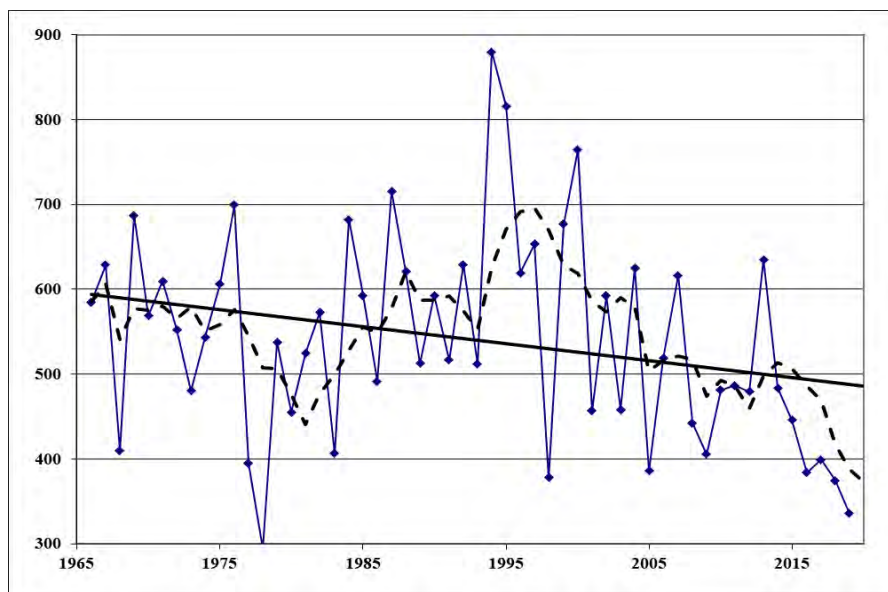


Рис. 4. Динамика среднегодовых осадков по данным м/с «Погиби» за 1966–2019 гг.
 Fig. 4. Dynamics of Average annual precipitation according to WS "Pogibi" for 1966–2019

Изменение термических условий по данным метеостанции «Ноглики» за 1966–2019 гг. иллюстрируют табл. 3, рис. 5.

Таблица 3
Table 3

Термический режим по данным метеостанции «Ноглики» за 1966–2019 гг.
Thermal regime according by data of the WS "Nogliki" for 1966–2019

Показатели	Средние месячные и годовые значения												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
Мин.	-24,2	-22,1	-15,0	-5,3	1,8	5,7	9,8	11,6	8,4	0,7	-11,4	-20,5	-3,3
Макс.	-9,8	-9,9	-4,3	2,7	8,5	14,3	18,0	17,7	13,0	5,9	-2,7	-8,4	0,7
Сред.	-17,8	-15,9	-9,6	-1,5	3,7	9,5	13,3	14,7	10,9	3,4	-7,1	-15,0	-0,8
Ст. отк	3,0	2,6	2,4	1,5	1,4	1,8	1,6	1,5	1,0	1,3	2,3	2,7	0,9
Абс.мин	-48	-44	-40	-28	-10	-5	-1	-1	-5	-20	-34	-42	-48
Абс.макс	0,9	3,5	11,9	21,4	30,6	32,8	33,6	33,3	28,6	22,3	11,8	3,4	33,6

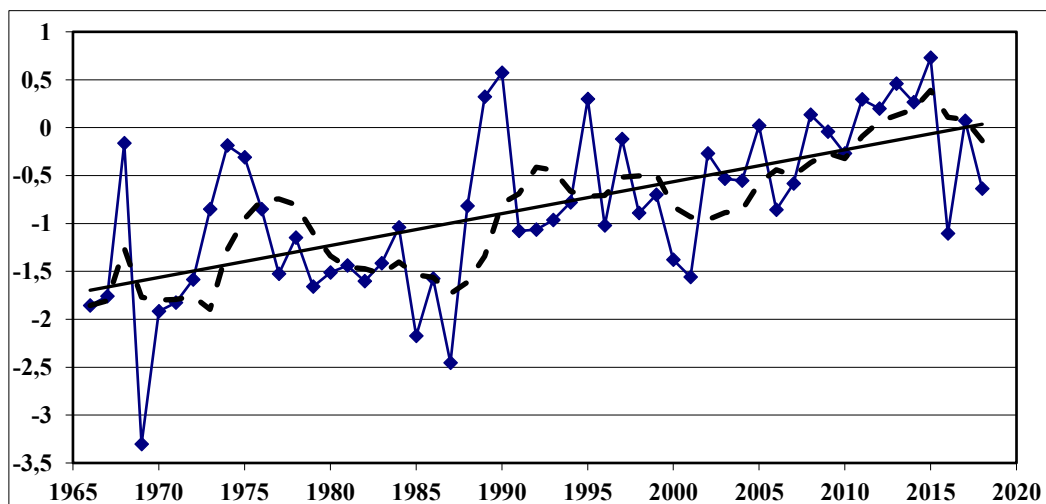


Рис. 5. График хода среднегодовых температур по данным метеостанции «Ноглики» за 1966–2019 гг.

Fig. 5. Graph of the Course of Average annual temperatures according by data of WS "Nogliki" for 1966–2019

Изменение величины осадков по данным метеостанции «Ноглики» за 1966–2019 гг. иллюстрируют табл. 4, рис. 6.

Изменение термических условий по данным метеостанции «Александровск-Сахалинский» за 1966–2019 гг. иллюстрируют табл. 5, рис. 7.

Таблица 4
Table 4

Режим осадков по данным метеостанции «Ноглики» за 1966–2019 гг.
Precipitation regime according by data of the WS "Nogliki" for 1966–2019

Показатели	Средние месячные и годовые значения												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
Минимум	3	2	8	17	13	1	1	6	7	19	10	5	448
Максимум	108	78	118	177	121	147	197	295	222	237	136	143	1038
Среднее	39	35	45	49	63	52	63	105	90	91	54	51	738
Ст. откл.	25	21	26	29	29	34	42	52	42	50	26	30	117

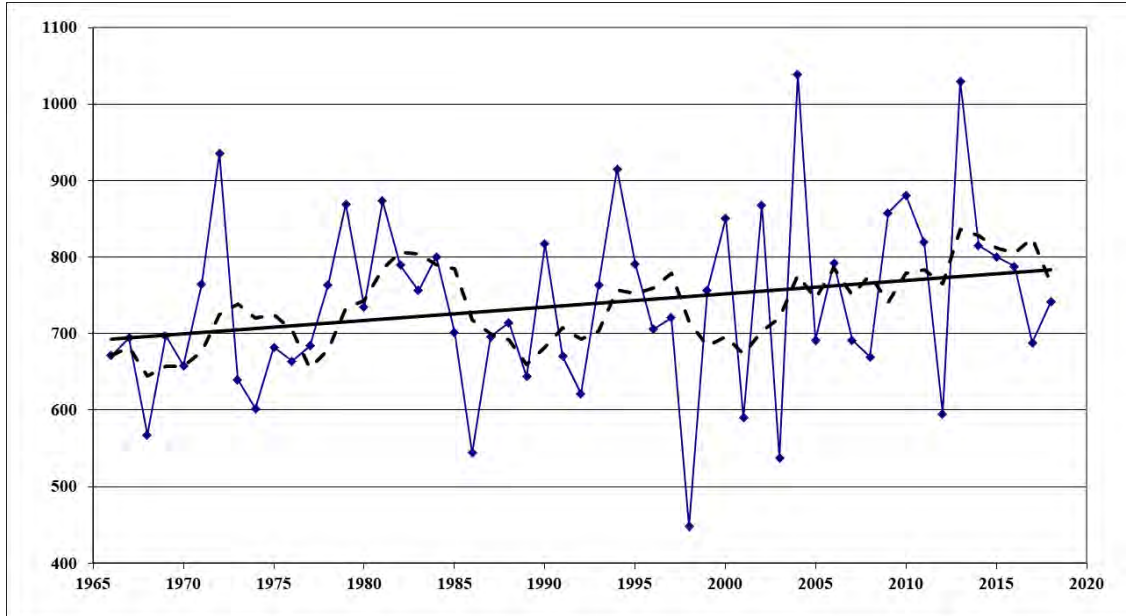


Рис. 6. Динамика среднегодовых осадков по данным метеостанции «Ноглики» за 1966–2019 гг.
 Fig. 6. Dynamics of Average annual precipitation according to WS "Nogliki" for 1966–2019

Таблица 5
 Table 5

Термический режим по данным метеостанции «Александровск-Сахалинский» за 1966–2019 гг.
 Thermal regime according by data of the WS "Alexandrovsk-Sakhalinsky" for 1966–2019

Показатели	Средние месячные и годовые значения												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
Мин.	-21,9	-20,0	-12,7	-2,8	4,2	8,5	13,7	13,9	10,3	2,6	-7,8	-17,6	-1,3
Макс.	-9,2	-9,2	-2,4	2,9	8,9	13,8	17,6	19,5	14,0	7,5	-0,8	-6,8	2,4
Сред.	-16,8	-14,9	-8,1	0,1	5,9	11,3	15,3	16,4	12,3	4,9	-4,4	-12,3	0,9
Ст. откл.	2,8	2,5	2,1	1,2	1,2	1,1	0,9	1,2	0,9	1,1	1,7	2,7	0,8
Абс. мин	-41	-36	-30	-23	-7	-2	1	4	-2	-15	-23	-36	-41
Абс. макс	2	3	11	19	26	27	30	31	27	21	14	6	31

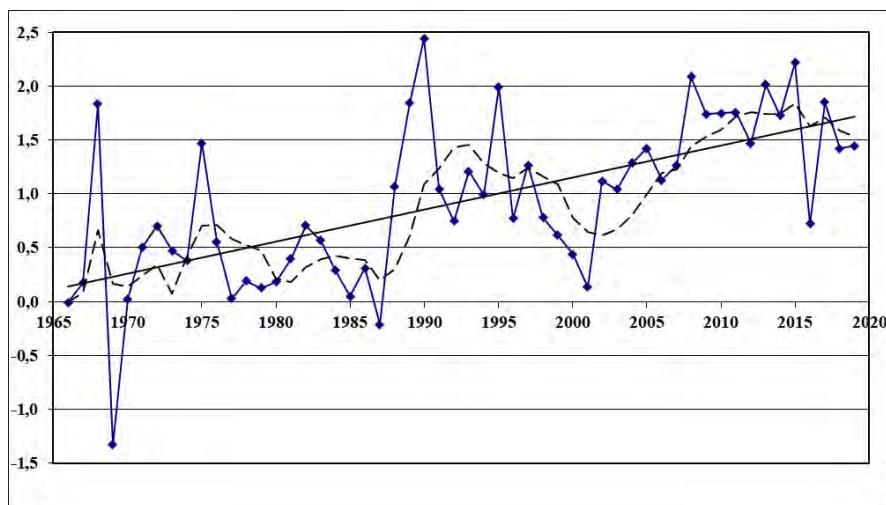


Рис. 7. График хода среднегодовых температур по данным метеостанции «Александровск-Сахалинский» за 1966–2019 гг.
 Fig. 7. Graph of the course of Average annual temperatures according by data of WS "Alexandrovsk-Sakhalinsky" for 1966–2019

Изменение величины осадков по данным метеостанции «Александровск–Сахалинский» за 1966–2019 гг. иллюстрируют табл. 6, рис. 8.

Таблица 6
Table 6

Режим осадков по данным метеостанции «Александровск–Сахалинский» за 1966–2019 гг.
Precipitation regime according by data of the WS "Alexandrovsk-Sakhalinsky" for 1966–2019

Показатели	Средние месячные и годовые значения												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
Минимум	5	4	3	5	11	3	0	4	14	23	8	19	474
Максимум	99	74	86	69	97	147	135	205	196	228	146	118	874
Среднее	40	30	29	31	47	39	57	88	94	90	55	61	662
Ст. откл.	23	18	19	16	21	26	29	44	35	44	27	22	94

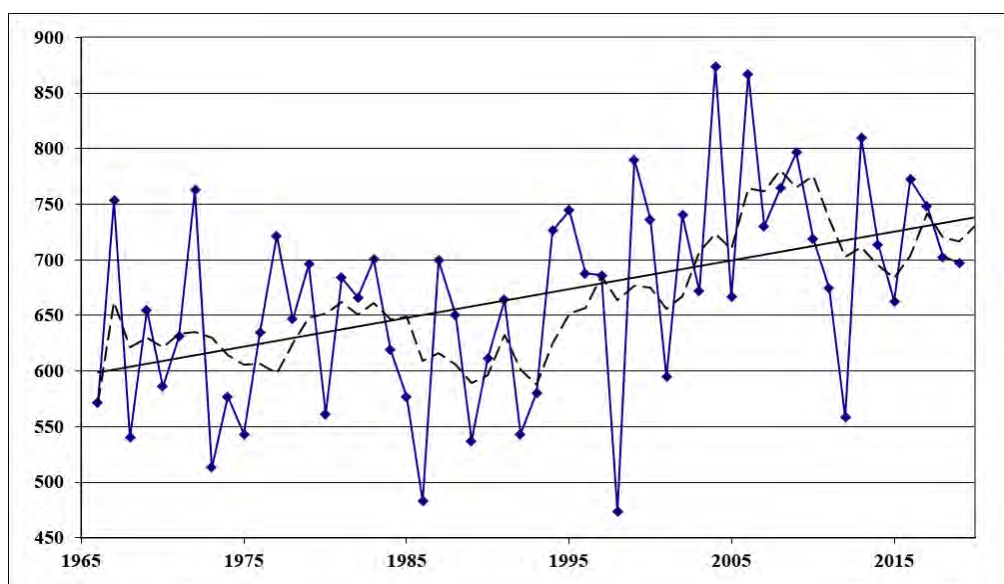


Рис. 8. Динамика среднегодовых осадков по данным метеостанции «Александровск–Сахалинский» за 1966–2019 гг.

Fig. 8. Dynamics of Average annual precipitation according by data of the WS "Alexandrovsk-Sakhalinsky" for 1966-2019

Изменение термических условий по данным метеостанции «Тымовское» за 1966–2019 гг. иллюстрируют табл. 7, рис. 9.

Таблица 7
Table 7

Термический режим по данным метеостанции «Тымовское» за 1966–2019 гг.
Thermal regime according by data of the WS "Tymovskoe" for 1966–2019

Показатели	Средние месячные и годовые значения												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
Мин.	-28,8	-25,5	-16,6	-4,4	4,5	9,9	14,0	13,7	8,4	0,0	-12,8	-26,0	-3,6
Макс.	-13,2	-11,3	-4,4	2,3	10,2	16,4	18,8	19,0	12,6	5,2	-3,5	-10,1	0,9
Сред.	-22,1	-19,2	-10,5	-0,6	6,7	12,7	16,2	16,1	10,8	2,7	-8,4	-18,0	-1,1
Ст. отк	3,6	3,1	2,5	1,3	1,4	1,5	1,3	1,2	1,0	1,2	2,4	3,5	0,9
Абс. мин	-48	-48	-41	-35	-14	-4	-1	-1	-8	-24	-37	-47	-48
Абс. макс	1	4	8	22	29	32	35	33	30	22	12	6	35

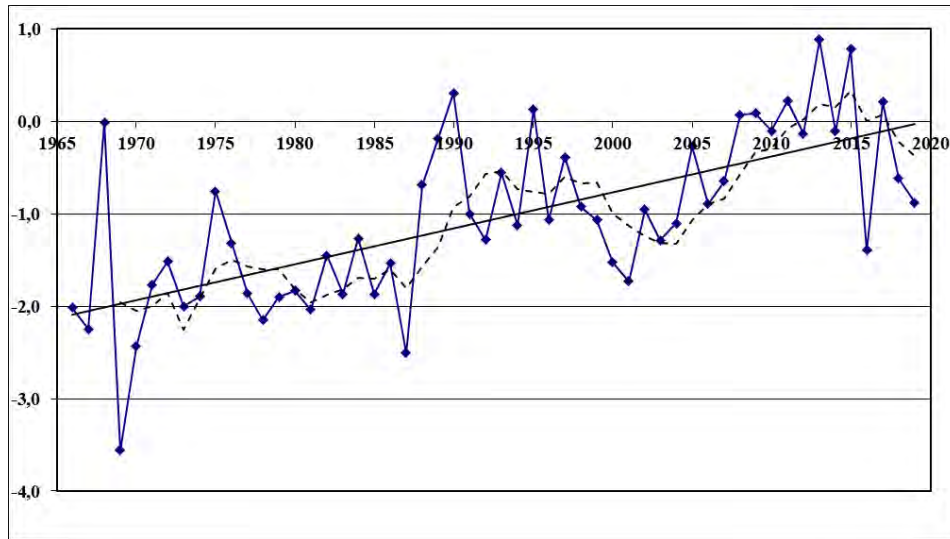


Рис. 9. График хода среднегодовых температур по данным метеостанции «Тымовское» за 1966–2019 гг.

Fig. 9. Dynamics of Average annual precipitation according by data of the WS "Tyumovskoe" for 1966–2019

Изменение величины осадков по данным метеостанции «Тымовское» за 1966–2019 гг. иллюстрируют табл. 8, рис. 10.

Таблица 8
Table 8

Режим осадков по данным метеостанции «Тымовское» за 1966–2019 гг.
Precipitation regime according by data of the WS "Tyumovskoe" for 1966–2019

Показатели	Средние месячные и годовые значения												год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Минимум	6	3	5	6	8	3	0	4	27	41	15	23	480
Максимум	93	96	97	88	137	133	145	196	199	249	169	153	906
Среднее	41	33	35	38	49	43	59	93	100	95	75	61	722
Ст. откл	24	20	20	17	25	28	33	42	38	40	29	23	92

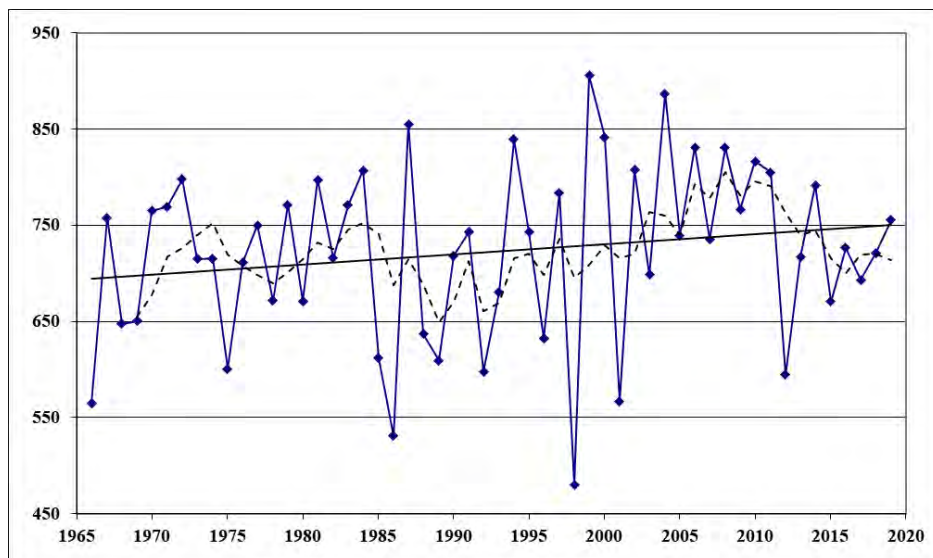


Рис. 10. Динамика среднегодовых осадков по данным метеостанции «Тымовское» за 1966–2019 гг.
Fig. 10. Dynamics of Average annual precipitation according by data of WS "Tyumovskoe" for 1966–2019

Средняя годовая температура воздуха за указанный период составляла от 0,9 °С в Александровске-Сахалинском до –1,3 °С в Погиби. Самым холодным был 1969 г., когда средняя температура воздуха опускалась в Тымовском до –3,6 °С. Что касается максимальной среднегодовой температуры воздуха, то она довольно часто превышала 0 °С, при этом максимального значения (+2,4 °С) достигала в 1990 г. на станции Александровск-Сахалинский. Изменения температуры воздуха со времени начала наблюдений до настоящего времени традиционно определяется линейным трендом, который иллюстрирует рост температуры воздуха в пределах 1–2 °С. Устойчивый рост температуры воздуха, называемый в настоящее время «глобальным потеплением», отмечается с середины – второй половины 1990-х годов на большинстве станций. В целом в начале рассматриваемого периода преобладали температуры ниже средней многолетней нормы, тогда как в конце – существенно выше. Кроме того, ранее чаще наблюдались существенные амплитуды колебания температуры воздуха, чем в настоящее время.

Что касается внутригодовой изменчивости, то летом амплитуда колебаний температуры воздуха выражена гораздо слабее, чем в холодное время года.

Средняя годовая величина осадков составляла за указанный период от 541 мм в Погиби до 722 мм в Тымовском. Абсолютный минимум годовых осадков был зафиксирован в 1978 г. (294 мм) в Погиби. Абсолютный максимум осадков отмечался в Погиби (1994 г. – 880 мм) и в Александровске-Сахалинском (2004 г. – 874 мм). Линейный тренд показывает рост количества выпадающих осадков на всех метеостанциях, кроме Погиби. Выраженный рост количества осадков произошел на фоне подъема температуры воздуха.

Таким образом, отмечается тенденция роста температуры воздуха и количества осадков на большей части территории, что в целом способствует развитию именно лесной растительности в связи с удлинением периода активной вегетации. Дополнительным благоприятным фактором можно считать оттепели в холодный период, сопровождаемые увеличением количества сезонных осадков.

Анализ динамики лесного растительного покрова

Динамика растительного покрова определяется воздействием внешних ритмических факторов (суточных, сезонных и многолетних) и имеет определенную направленность. При анализе динамики как основного физиономического компонента ландшафтов использовалась методика выявления изменений вегетационных индексов [Барталев и др., 2016; Данилова и др., 2017; Мазуров и др., 2017; Белова, Ершов, 2019; Саворский, Кашницкий, 2019]. Величины NDVI для исследуемой территории по состоянию на 1992, 2005 и 2015 гг. отображены на рис. 11.

Интервал NDVI 0,6–1 выбран в связи с тем, что эти значения соответствуют зонам распространения лесной растительности. Интервал был выявлен путем эталонирования по спутниковому снимку и топографической карте. Предварительно снимок с NDVI был обработан инструментом «Focal Statics» с шагом 4x4 для получения более плавных очертаний изолиний значений вегетационного индекса.

В целом для типичной лесной растительности величина NDVI > 0,7 и выше. Поэтому границу древесной растительности можно оконтурить соответствующей изолинией по снимкам, характеризующим состояние растительного покрова за рассматриваемый период.

Выявление биоклиматических параметров, определяющих положение флористических границ

Условия произрастания растительности, темпы прироста фитомассы, урожайность сельскохозяйственных культур определяются тепло- и влагообеспеченностью территории. Для их оценки используются различные коэффициенты и индексы, среди которых в

отечественной географии нашел широкое применение гидротермический коэффициент, предложенный Г.Т. Селяниновым (ГТК). Он рассчитывается по формуле:

$$\text{ГТК} = \sum r / (0,1 \sum t \geq 10 \text{ } ^\circ\text{C}),$$

где $\sum r$ – суммарные атмосферные осадки за вегетационный период, $\sum t \geq 10 \text{ } ^\circ\text{C}$ – сумма активных температур (среднесуточных $t \geq 10 \text{ } ^\circ\text{C}$ за вегетационный период) [Бакаева, 2019].

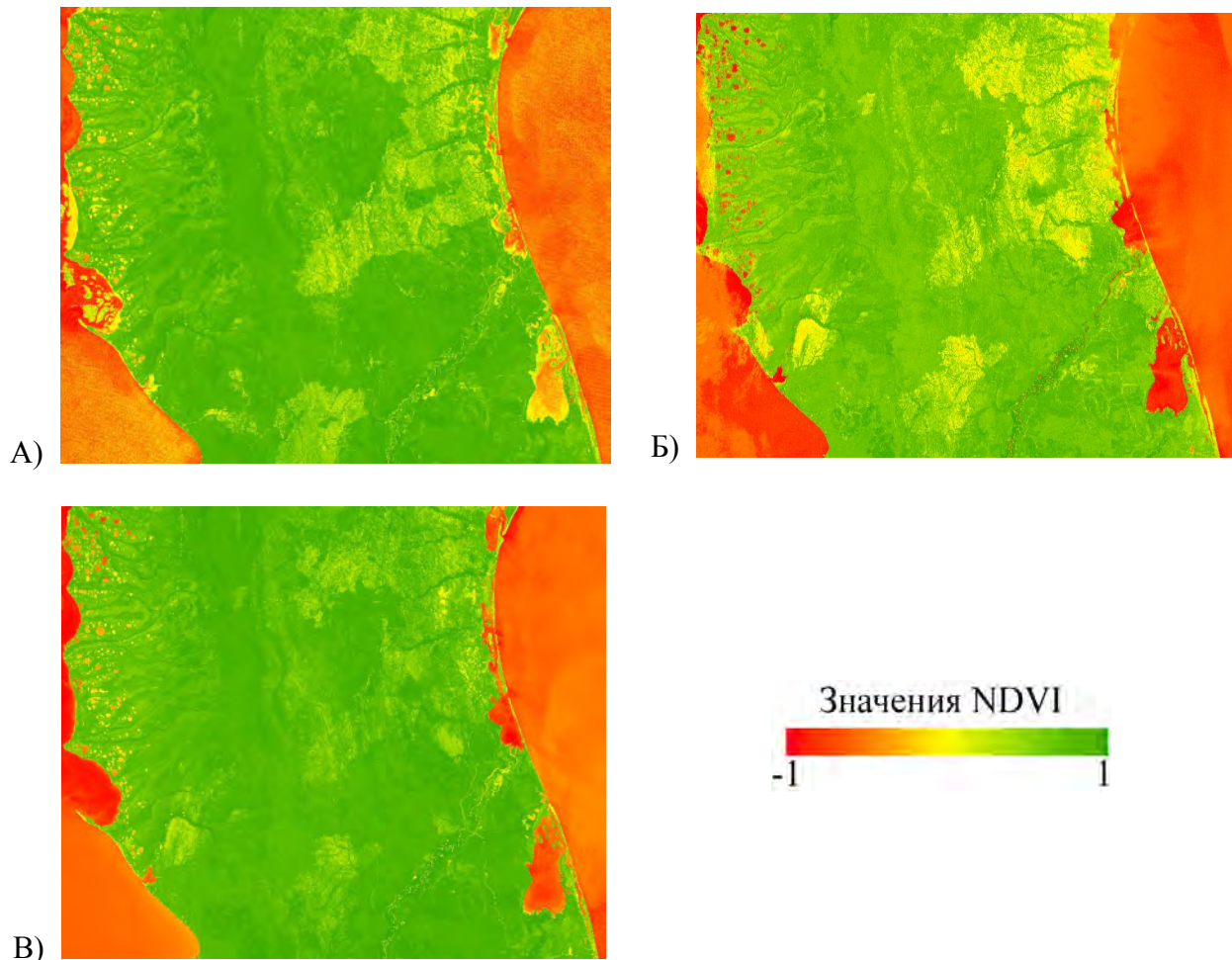


Рис. 11. Значения NDVI в диапазоне 0,6–1: А – 1992 г.; Б – 2006 г.; В – 2015 г.

Fig. 11. NDVI values in range 0,6–1: A – 1992; Б – 2006; В – 2015

Для модельных расчетов использовалась общедоступная база данных «WorldClim-2», созданная С.Е. Фиском и Р.Дж. Хайджимансом [Fick, Hijmans, 2017; WorldClim, 2020] в Стокгольмском институте окружающей среды, которая содержит данные о климатических параметрах у земной поверхности с разрешением $\leq 1 \text{ км}^2$. База основана на данных наблюдений на метеостанциях таких параметров, как месячные осадки, температура, скорость ветра и давление водяного пара, которые необходимы для моделирования таких биосферных процессов, как рост растений. В тех регионах, где плотность метеостанций недостаточна для того, чтобы извлечь качественную информацию для моделирования распределения метеопараметров, использовались данные дистанционного зондирования [Byer, Jin, 2017; Herrera, Ault, 2017].

Биоклиматические показатели находятся в прямой зависимости от среднемесячных температур и количества осадков. Эти параметры обычно служат основой для моделирования условий формирования определенных растительных сообществ. Лимитирующие или экстремальные экологические факторы (температура самого холодного или теплого месяцев, осадки наиболее сухого и влажного периодов) оказывают

существенное влияние на распространение растительных сообществ [Fick, Hijmans, 2017]. Анализ биоклиматических параметров позволил выявить, что на исследуемой территории положение флористических границ зависит, главным образом, от тепло- и влагообеспеченности, отразившихся в значениях ГТК (рис. 12).

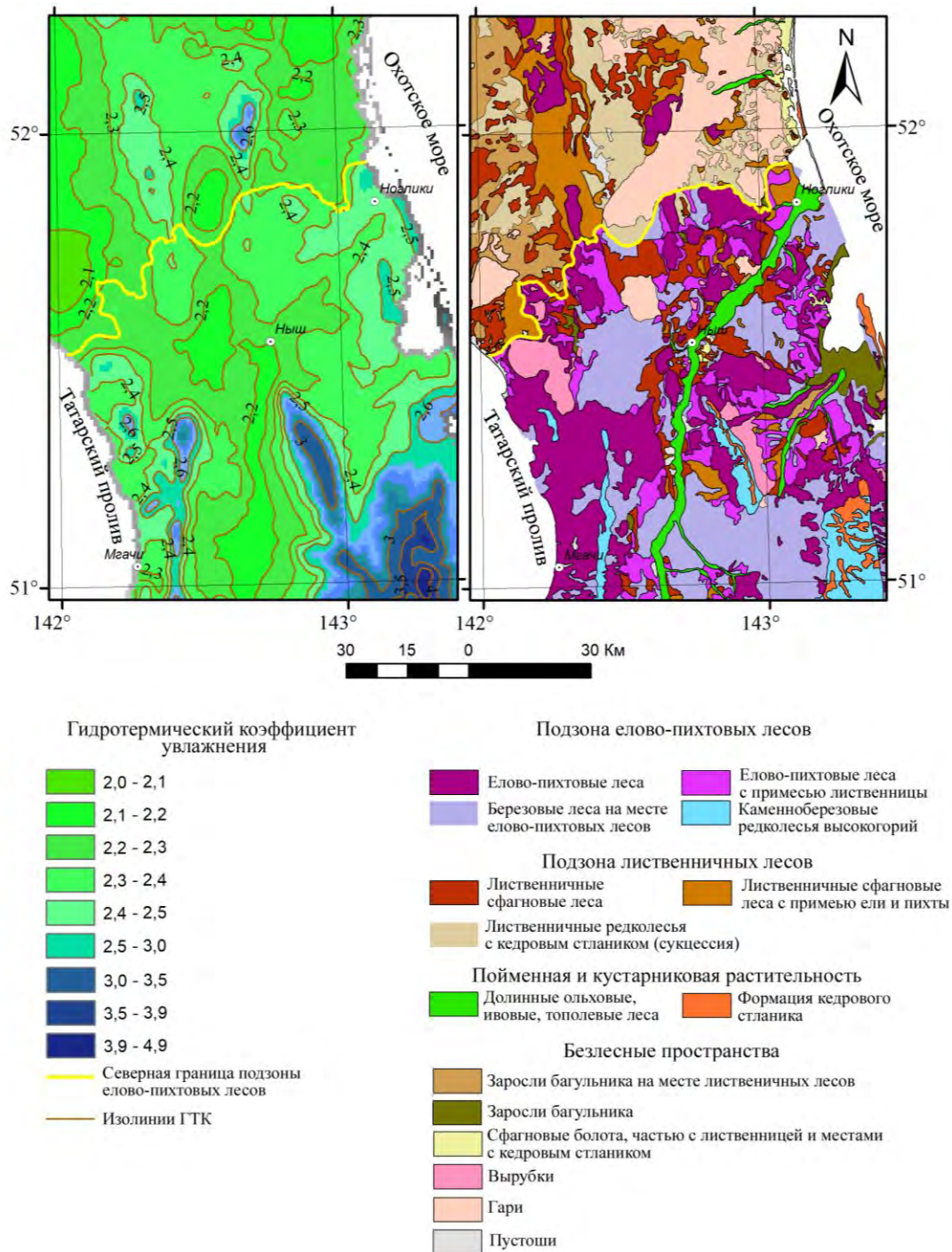


Рис. 12. Распределение биоклиматических параметров и растительных сообществ на исследуемой территории: А – распределение гидротермического коэффициента, рассчитанного по информации из базы данных «WorldClim-2»; Б – карта лесов
Fig. 12. Distribution of bioclimatic parameters and plant communities in the study area: А – distribution of the hydrothermal moisture coefficient calculated from information from the WorldClim-2 database; Б – forest map



Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Лесная растительность является довольно чутким индикатором современных климатических изменений. Так, за период 1966–2015 гг., по данным метеостанций, на исследуемой территории среднегодовая температура за пятилетний период выросла в Погиби на 1,9 °С, в Ногликах – 1,8 °С, Александровске-Сахалинском – 1,7 °С, Тымовском – 2,2 °С, при этом среднее количество годовых осадков в Погиби уменьшилось на 70 мм, в Ногликах увеличилось на 126 мм, Александровске-Сахалинском – на 63 мм, Тымовском – на 40 мм, что способствовало увеличению площади лесной растительности на исследованной территории.

2. Биоклиматические показатели, как показали данные дистанционного зондирования территории, находятся в прямой зависимости от среднемесячных температур и количества осадков. Лимитирующие или экстремальные экологические факторы (температура самого холодного или теплого месяцев, осадки наиболее сухого и влажного периодов) оказывают существенное влияние на распространение растительных сообществ. Положение флористических границ исследуемой территории зависит, главным образом, от распределения гидротермического коэффициента.

3. Граница между подзонами лиственных и елово-пихтовых лесов проходит по линии п. Вени (севернее пгт. Ноглики) – урочище Трамбаус (севернее м. Уанди). Севернее границы растительность представлена на сухих и заболоченных местообитаниях лиственныхниками, которые являются господствующим типом лесной растительности. К югу от границы в Восточно-Сахалинском растительном районе встречаются зеленомошные, папоротниковые и кустарниковые елово-пихтовые леса. Лиственные леса встречаются изредка. Каменноберезняки распространены в среднегорном поясе. На вершинах хребтов преобладает кедровостланиковая формация. На высоких вершинах встречается горно-тундровая растительность.

В долинах рек встречаются интразональные леса из ивы, ольхи и тополя. В понижениях рельефа значительные пространства занимают сфагновые или осоково-сфагновые болота. Вейниково-осоковые луга имеют ограниченное распространение. Крупнотравные луга встречаются редко.

Список источников

1. Малышева Н.В. 2018. Основы автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков лесов с использованием ГИС. Учебное пособие. М., МЭСХ, 136 с.
2. Нормативные материалы для таксации лесов Сахалина и Камчатки. 1986. Южно-Сахалинск, СахЛЮС ДальНИИЛХ, 814 с.
3. Сукачев В.Н., Зонн С.В. 1961. Методические указания к изучению типов леса. М., Издательство АН СССР, 144 с.
4. Черепанова Е.С., Пьянков С.В., Шихов А.Н. 2017. Геоинформатика: основы работы с географическими пространственными данными. Учебное пособие. Пермь, 94 с.
5. Шихов А.Н., Черепанова Е.С., Пьянков С.В. 2017. Геоинформационные системы: методы пространственного анализа. Учебное пособие. Пермь, 88 с.
6. United States Geological Survey (USGS). Electronic resource. URL: <https://doi.org/earthexplorer.usgs.gov/> (accessed 5 September 2020)
7. WorldClim. Electronic resource URL: <http://worldclim.org/> (accessed 5 September 2020)

Список литературы

1. Атаев З.В., Братков В.В., Гаджибеков М.И. 2018. Сезонная и многолетняя динамика полупустынных ландшафтов Северо-Западного Прикаспия (на примере можжевельного урочища «Буруны» Терско-Кумской низменности). Известия Дагестанского государственного педагогического



университета. *Естественные и точные науки*, 12 (4): 34–48. <https://doi.org/10.31161/1995-0675-2018-12-4-34-48>

2. Бакаева Н.П. 2019. Влияние погодных условий, систем обработки почвы и удобрений на структуру урожая и качество зерна яровой пшеницы. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*, 4: 12–19.

3. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. 2016. Спутниковое картографирование растительного покрова России. Москва, Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), 208 с.

4. Белова Е.И., Ершов Д.В. 2019. Исследование возможности оценки возобновления лесной растительности после сплошных рубок по спутниковым данным LANDSAT (на примере Брянского Полесья). *Вопросы лесной науки*, 2 (4): 1–20.

5. Братков В.В., Кравченко И.В., Туаев Г.А., Атаев З.В., Абдулжалимов А.А. 2016. Применение вегетационных индексов для картографирования ландшафтов Большого Кавказа. *Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки*, 10 (4): 97–111.

6. Данилова И.В., Корец М.А., Рызжкова В.А. 2017. Картографирование возрастных стадий лесной растительности на основе анализа разносезонных спутниковых изображений Landsat. *Исследование Земли из космоса*, 4: 12–24.

7. Керимов Р.М., Абдулов Р.Н., Агаев Ф.Г. 2016. Параметрические вегетационные индексы для обработки данных дистанционного зондирования. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 8 (142): 65–69.

8. Корец М.А., Скудин В.М. 2018. Автоматизированное дешифрирование лесотаксационных выделов по материалам космической съемки и цифровой модели рельефа местности. *ИнтерКарто. ИнтерГИС*, 24 (2): 94–105.

9. Крестов П.В., Баркалов В.Ю., Таран А.А. 2004. Ботанико-географическое районирование острова Сахалин. В кн.: *Растительный и животный мир острова Сахалин: Материалы Международного сахалинского проекта*. Владивосток, Дальнаука: 67–92.

10. Мазуров Б.Т., Аврунев Е.И., Хамедов В.А. 2017. Оперативный мониторинг лесных земель северных регионов на основе использования оптических и радарных космических снимков. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 14 (4): 103–111.

11. Мелкий В.А., Верхотуров А.А., Сабиров Р.Н., Братков В.В. 2019. Анализ состояния лесных земель на острове Сахалин. *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о Земле*, 2 (14): 68–73. <https://doi.org/10.25587/SVFU.2019.14.35448>

12. Муха В.С. 2020. Статистическая обработка метеорологических данных для выводов о наличии временных трендов. *Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники*, 18 (1): 96–103. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-1-96-103>

13. Саворский В.П., Кашницкий А.В., Панова О.Ю. 2019. Информационные инструменты распределённого анализа данных спутникового мониторинга растительных ареалов при проведении специальных экспертиз. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 16 (5): 99–110.

14. Терехин Э.А. 2018. Изменение лесистости овражно-балочных систем юга Среднерусской возвышенности за последние десятилетия. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*, 42 (2): 223–230.

15. Терехин Э.А. 2019. Оценка и автоматизированное картографирование современной лесистости овражно-балочных систем Белгородской области на основе спутниковых данных. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*, 43 (2): 173–181.

16. Толмачев А.И. 1955. Геоботаническое районирование острова Сахалина. М.-Л., Издательство АН СССР, 78 с.

17. Byer S., Jin Y. 2017. Detecting drought-induced tree mortality in Sierra Nevada forests with time series of satellite data. *Remote Sensing*, 9: 14–17.

18. Fick S.E., Hijmans R.J. 2017. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37 (12): 4302–4315.

19. Gavrilov M.B., Marković S.B., Janc N., Nikolić M., Valjarević A., Komac B., Zorn M., Punišić M., Vačević N. 2018. Assessing average annual air temperature trends using the Mann–Kendall test in Kosovo. *Acta geographica Slovenica*, 58 (1): 7–25. <https://doi.org/10.3986/AGS.1309>.



20. Gonsamo A., Chen J.M. 2016. Circumpolar vegetation dynamics product for global change study. *Remote Sensing of Environment*, 182 (1): 13–26.
21. He C., Zhang Q., Liao M., Qu T., Wang D. 2019. Remote sensing and texture image classification network based on deep learning integrated with binary coding and Sinkhorn distance. *Remote Sensing*, 11 (23): 2870.
22. Herrera D., Ault T. 2017. Insights from a new high-resolution drought atlas for the Caribbean spanning 1950–2016. *Journal of Climate*, 30: 7801–7825.
23. Khatami R., Mountrakis G., Stehmann S.V. 2016. A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. *Remote Sensing of Environment*, 177: 89–100.
24. Seidl R., Thom D., Kautz M., Martin-Benito D., Peltoniemi M., Vacchiano G., Wild J., Ascoli D., Petr M., Honkaniemi J., Lexer M.J., Trotsiuk V., Mairota P., Svoboda M., Fabrika M., Nagel T.A., Rey-er C.P.O. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7 (6): 395–402.

References

1. Ataev Z.V., Bratkov V.V., Gadzhibekov M.I. 2018. Seasonal and Long-term Dynamics of the Northwest Pre-Caspian Semi-desert Landscapes (Exemplified by Juniper Tract "Buruny" of the Terek-Kuma Lowland). *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki*, 12 (4): 34–48. DOI: 10.31161/1995–0675–2018–12–4–34–48 (in Russian)
2. Bakaeva N.P. 2019. Influence of weather conditions, soil processing systems and fertilizers on the yield and quality structure of spring wheat. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*, 4: 12–19. (in Russian)
3. Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Lupyan E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Shabanov N.V. 2016. Land cover mapping over Russia using Earth observation data. Moscow, Russian Academy of Sciences' Space Research Institute, 208 p. (in Russian)
4. Belova E.I., Ershov D.V. 2019. Using LANDSAT time series for assessing reforestation on clear cuts in Bryansk region. *Forest science issues*, 2 (4): 1–20. (in Russian)
5. Bratkov V.V., Kravchenko I.V., Tuaeov G.A., Ataev Z.V., Abdulzhalimov A.A. 2016. Application of Vegetation Indexes for Mapping Landscapes of the Greater Caucasus. *Dagestan State Pedagogical University. Journal Natural and Exact Sciences*, 10 (4): 97–111. (in Russian)
6. Danilova I.V., Korets M.A., Ryzhkova V.A. 2017. Regenerating Vegetation Age Stages Mapping Based on Multi-Seasonal Landsat Satellite Imagery. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. 4: 12–24. (in Russian)
7. Kerimov R.M., Abdulov R.N., Agayev F.G. 2016. Parametric vegetation indices for processing remote sensing data. *Vestnik Altayskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*. 8 (142): 65–69. (in Russian)
8. Korets M.A., Skudin V.M. 2018. Automated approach for mapping of forest inventory polygons on the base of space imagery and digital elevation model. *InterCarto. InterGIS*, 24 (2): 94–105. (in Russian)
9. Krestov P.V., Barkalov V.Yu., Taran A.A. 2004. Botanical and geographical zoning of Sakhalin Island. In: *Rastitel'niy i zhivotniy mir ostrova Sakhalin: Materialy Mezhdunarodnogo sakhalinskogo proekta [Flora and fauna of Sakhalin Island: Materials of the International Sakhalin project]*. Vladivostok, Dalnauka: 67–92. (in Russian)
10. Mazurov B.T., Avrunev E.I., Khamedov V.A. 2017. Operational monitoring of boreal forests using optical and radar satellite imagery. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 14 (4): 103–111. (in Russian)
11. Melky V.A., Verkhoturov A.A., Sabirov R.N., Bratkov V.V. 2019. Analysis of State Forest lands on the Island of Sakhalin. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences Series*, 2 (14): 68–73. <https://doi.org/10.25587/SVUFU.2019.14.35448>. (in Russian)
12. Mukha V.S. 2020. Statistical processing of the meteorological data for conclusion on the presence of the time trends. *Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics*, 18 (1): 96–103. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-1-96-103> (in Russian)
13. Savorskiy V.P., Kashnitsky A.V., Panova O.Yu. 2019. Information tools for distributed analysis of satellite monitoring of plant areas during special examinations. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 16 (5): 99–110. (in Russian)
14. Terekhin E.A. 2018. Changes in forest cover of ravines-balks network in the south of the Central Russian Upland in recent decades. *Belgorod State University Scientific Bulletin: Natural sciences*, 42 (2): 223–230. (in Russian)



15. Terekhin E.A. 2019. Evaluation and automated mapping the modern forest coverage of small flat-bottom valleys in the Belgorod region using satellite data. *Belgorod State University Scientific Bulletin: Natural sciences*, 43 (2): 173–181. (in Russian)
16. Tolmachev A.I. 1955. *Geodinamicheskie processy i prirodnye katastrofy v Dal'nevostochnom regione [Geobotanical zoning of Sakhalin Island]*. Moscow-Leningrad, Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 78 p.
17. Byer S., Jin Y. 2017. Detecting drought- induced tree mortality in Sierra Nevada forests with time series of satellite data. *Remote Sensing*, 9: 14–17.
18. Fick S.E., Hijmans R.J. 2017. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37 (12): 4302–4315.
19. Gavrilov M.B., Marković S.B., Janc N., Nikolić M., Valjarević A., Komac B., Zorn M., Punišić M., Vačević N. 2018. Assessing average annual air temperature trends using the Mann–Kendall test in Kosovo. *Acta geographica Slovenica*, 58 (1): 7–25. <https://doi.org/10.3986/AGS.1309>.
20. Gonsamo A., Chen J.M. 2016. Circumpolar vegetation dynamics product for global change study. *Remote Sensing of Environment*, 182 (1): 13–26.
21. He C., Zhang Q., Liao M., Qu T., Wang D. 2019. Remote sensing and texture image classification network based on deep learning integrated with binary coding and Sinkhorn distance. *Remote Sensing*, 11 (23): 2870.
22. Herrera D., Ault T. 2017. Insights from a new high- resolution drought atlas for the Caribbean spanning 1950–2016. *Journal of Climate*, 30: 7801–7825.
23. Khatami R., Mountrakis G., Stehmann S.V. 2016. A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. *Remote Sensing of Environment*, 177: 89–100.
24. Seidl R., Thom D., Kautz M., Martin-Benito D., Peltoniemi M., Vacchiano G., Wild J., Ascoli D., Petr M., Honkaniemi J., Lexer M.J., Trotsiuk V., Mairota P., Svoboda M., Fabrika M., Nagel T.A., Rey- er C.P.O. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7 (6): 395–402.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мелкий Вячеслав Анатольевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук; профессор кафедры геологии и нефтегазового дела Сахалинского государственного университета, г. Южно-Сахалинск, Россия

Верхотуров Алексей Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Центра коллективного пользования Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук; доцент кафедры геологии и нефтегазового дела Сахалинского государственного университета, г. Южно-Сахалинск, Россия

Братков Виталий Викторович, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой географии Московского государственного университета геодезии и картографии, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vyacheslav A. Melkiy, Doctor of Technical, Leading Researcher of the laboratory of Volcanology and volcanic hazard, Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Professor of Department Geology and Oil&Gas affairs of the Sakhalin State University, Yuzhno–Sakhalinsk, Russia

Alexey A. Verkhotur, Ph.D. (Technical Sciences), Senior Researcher of Center for collective use, Institute of marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Associate Professor of Department Geology and Oil&Gas affairs of the Sakhalin State University, Yuzhno–Sakhalinsk, Russia

Vitaly V. Bratkov, Doctor of Geography, Professor, Head of the Department of Geography, Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia