

ЭЛЕКТРОННАЯ СЕРИЯ «НАУКИ О ЗЕМЛЕ»

научного рецензируемого журнала

«ВЕСТНИК СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

имени М.К. АММОСОВА»

Сетевое научное периодическое издание

Издается с 2016 года

Издание выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»

№ 3 (35) 2024

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

Главный редактор

А.Н. Николаев, д. б. н.

Заместитель главного редактора, редактор серии «Науки о Земле»

Е.Э. Соловьев, к. г. - м. н., доцент.

Выпускающий редактор

Я.П. Шепелева, к. г. - м. н.

Члены редакционной коллегии:

Верчеба А.А., доктор геолого-минералогических наук; *Витченко А.Н.*, доктор географических наук; *Данилов Ю.Г.*, кандидат географических наук; *Лопух П.С.*, доктор географических наук; *Мартынов В.Л.*, доктор географических наук; *Михно В.Б.*, доктор географических наук; *Нестеров Ю.А.*, кандидат географических наук; *Никифорова З.С.*, доктор геолого-минералогических наук; *Носонов А.М.*, доктор географических наук; *Округин А.В.*, доктор геолого-минералогических наук; *Полуфунтикова Л.И.*, кандидат геолого-минералогических наук; *Присяжный М.Ю.*, доктор географических наук; *Саввинова А.Н.*, кандидат географических наук; *Семенов Ю.М.*, доктор географических наук; *Скоринцева И.Б.*, доктор географических наук; *Тесленок С.А.*, кандидат географических наук; *Толстов А.В.*, доктор геолого-минералогических наук; *Фридовский В.Ю.*, доктор геолого-минералогических наук; *Часовский В.И.*, доктор географических наук.

Адрес учредителя и издателя: 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58

Адрес редакции: 677000, г. Якутск, ул. Петровского, 5, каб.1

Тел./факс: (4112) 40-38-75. e-mail: vestnik_geo@mail.ru. <https://vfuzeml.elpub.ru/jour/index>

Северо-Восточный федеральный университет

<http://s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/strukturnye-podrazdeleniya/unir/vestnik-svfu/>

VESTNIK OF NORTH-EASTERN FEDERAL UNIVERSITY
«EARTH SCIENCES» SERIES

Network scientific periodical

Published since 2016

The frequency of publication is 4 times a year

The founder and publisher is Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“The M.K. Ammosov North-Eastern Federal University”

№ 3 (35) 2024

EDITORIAL BOARD OF THE SERIES

Editor-in-Chief

A.N. Nikovaev, Doctor of Biological Sciences

Deputy Editor-in-Chief, Editor of the Series:

E.E. Solovyov, Candidate of Geological-mineralogical sciences, Associate Professor

Commissioning Editor

Ia. P. Shepeleva, Candidate of Geological-mineralogical sciences Sciences

Members of the Editorial Board of the Series:

Vercheba A.A., Doctor of Geological-mineralogical Sciences; *Vitchenko A.N.*, Doctor of Geographical Sciences; *Danilov Y.G.*, Candidate of Geographical Sciences; *Lopuh P.C.*, Doctor of Geographical Sciences; *Martynov V.L.*, Doctor of Geographical Sciences; *Mikhno V.B.*, Doctor of Geographical Sciences; *Nesterov Y.A.*, Candidate of Geographical Sciences; *Nikiforova Z.S.*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; *Nosonov A.M.*, Doctor of Geographical Sciences; *Okrugin A.V.*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; *Polufuntikova L.I.*, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences; *Prisyazny M.Y.*, Doctor of Geographical Sciences; *Savvinova A.N.*, Candidate of Geographical Sciences; *Semenov Y.M.*, Doctor of Geographical Sciences; *Skorintseva I.B.*, Doctor of Geographical Sciences; *Teslenok S.A.*, Candidate of Geographical Sciences; *Tolstov A.V.*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; *Fridovsky V.Y.*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; *Chasovsky V.I.*, Doctor of Geographical Sciences.

Founder and publisher address: the North-Eastern Federal University, 677000, Yakutsk, ul. Belinskogo, 58.

Editors Office address: the North-Eastern Federal University, 677000, Yakutsk, ul. Petrovskogo, 5, room 1

Telephone/Fax: (4112) 40-38-75. e-mail: vestnik_geo@mail.ru. <https://vfuzeml.elpub.ru/jour/index>
<http://s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/strukturnye-podrazdeleniya/unir/vestnik-svfu/>

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

Guliev I.S., Martynova G.S., Maksakova O.P., Nanajanova R.G., N.I. Velimetova, S.G. Zeinalov.
A study of geochemical features of medicinal oils 5

Гриб Н.Н., Колодезников И.И., Гриб Г.В. Уточнение нормативной сейсмичности на участке инженерно-геологических изысканий «Горно-обогатительный комбинат «Гросс»»..... 18

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

Алиева А.Дж., Ашрафов М.Г., Данилов Ю.Г., Мельникова А.А. Вопросы дистанционного измерения альбедо почвы при помощи летательных аппаратов по траектории полета 29

Богдан Е.А., Белан Л.Н., Витценко А.Ю., Туктарова И.О., Шагалиев Р.Д. Дистанционная оценка влияния температурного режима на NDVI растительности Башкирского государственного природного заповедника..... 38

Калиничева С.В. Оценка устойчивости мерзлотных ландшафтов Восточной Сибири (на примере Якутии)..... 51

Пахомова Л.С. Распространение уникальных озер на территории Якутии 60

Тесленок С.А., Заикин А.В7, Скурихин А.А., Обрядин А.А., Федосеева У.С.
Создание анаглифических карт рельефа в ГИС с открытым объектным кодом..... 74

CONTENT

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION OF SOLID MINERALS, MINERALOGY

<i>Гулиев И.С., Мартынова Г.С., Максакова О.П., Нанаджанова Р.Г., Велиметова Н.И., Зейналов С.Г.</i> Исследование геохимических особенностей лечебных нефтей.....	5
<i>Grib N.N., Kolodeznikov I.I., Grib G.V.</i> Clarifying baseline seismicity for a geotechnical survey site at Gross mining and processing plant	18

PHYSICAL GEOGRAPHY AND BIOGEOGRAPHY, SOIL GEOGRAPHY AND LANDSCAPE GEOCHEMISTRY

<i>Alieva A.J., Ashrafov M.G., Danilov Yu.G., Melnikov A.A.</i> Remote measurement of soil albedo along aircraft flight paths	29
<i>Bogdan E.A., Belan L.N., Vitsenko A.Y., Tuktarov I.O., Shagaliev R.D.</i> Remote assessment of the temperature regime impact on the vegetation NDVI at the Bashkir State Nature Reserve....	38
<i>Kalinicheva S.V.</i> Assessment of the permafrost landscapes stability in Eastern Siberia: the case of Yakutia	51
<i>Pakhomova L.S.</i> Spread of unique lakes in the territory of Yakutia	60
<i>Teslenok S.A., Zaikin A.V., Skurihin A.A., Obryadin A.A., Fedoseeva U.S.</i> Creation of anaglyphic relief maps in GIS with open object code	74

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 550.4.41

DOI 10.25587/2587-8751-2024-3-5-17

*I.S. Guliev¹, G.S. Martynova², O.P. Maksakova², R.G. Nanajanova²,
N.I. Velimetova², S.G. Zeinalov^{2*}*

¹Institute of Oil and Gas, Ministry of Science and Education of Azerbaijan

²Institute of Geology and Geophysics, Ministry of Science and Education of Azerbaijan

*zeynalov.samir.98@mail.ru

A STUDY OF GEOCHEMICAL FEATURES OF MEDICINAL OILS

Abstract. The article provides data on the geochemical properties of the fields officially recognized as medicinal crude oils in Croatia and Naftalan, Azerbaijan. Studies of hydrocarbon, biomarker and microelement compositions were carried out using the following methods: chromatography-mass spectrometry, mass spectroscopy with inductively coupled plasma, and the combined thermal analysis. Determination of the potential fractional composition of oil was carried out using a synchronous thermal analyzer and showed that medicinal Naftalan and Croatian medicinal crude oil have a similar fractional composition. The hydrocarbon composition and biomarkers analyses – determination of steranes, hopanes and adamantanes in the studied oils – was accomplished on a Clarus 680 Perkin-Elmer chromatography-mass spectrometer. It was defined that the medicinal and fuel oils of Naftalan differ significantly in hydrocarbon composition, while compared with the Croatian medicinal crude oil, the medicinal Naftalan oil is almost identical in hydrocarbon composition and biomarker-geochemical parameters. Using the ICP method, microelement data on the composition of the Croatian medicinal crude oil and the medicinal Naftalan oil was obtained; both of studied oils are of the ferruginous type. The Naftalan medicinal oil quantitatively exceeds the Croatian medicinal crude oil in terms of microelement content. Despite the difference in the genesis and geological structure of the medicinal oil fields in Croatia and Naftalan, Azerbaijan, the study of their hydrocarbon, biomarker and microelement compositions showed undoubted similarity. It can be suggested that the organic matter (OM) involved in the formation of the oils have almost the same origin.

Keywords: medicinal oil, Naftalan, geochemical parameters, hydrocarbon composition, biomarkers, sterane, hopane, adamantane, fractional composition, microelements.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛЕЧЕБНЫХ НЕФТЕЙ

*И.С. Гулиев¹, Г.С. Мартынова², О.П. Максакова², Р.Г. Нанаджанова²,
Н.И. Велиметова², С.Г. Зейналов^{2*}*

¹Институт нефти и газа Министерства науки и образования Азербайджана

²Институт геологии и геофизики Министерства науки и образования Азербайджана

*zeynalov.samir.98@mail.ru

Аннотация. В статье приведены данные о геохимических свойствах месторождений нефтей, официально признанных лечебными – Хорватия и Азербайджан Нафталан. Исследования углеводородного, биомаркерного и микроэлементного составов проводились с использованием следующих методов: хромато-масс-спектрометрии, масс-спектропии с индуктивно связанной плазмой и совмещенного термического

анализа. При определении потенциального фракционного состава нефти с использованием синхронного термического анализатора, показано, что лечебный Нафталан и Хорватская лечебная нефть имеют схожий фракционный состав. Анализ углеводородного состава и биомаркеров – определение терпанов, стеранов, гопанов и адамантанов исследуемых нефтей выполнялось на хромато-масс-спектрометре Clarus 680 Perkin-Elmer. Установлено, что лечебные и топливные нефти Нафталана существенно различаются по углеводородному составу, в то время как с Хорватской лечебной нефтью лечебный Нафталан практически идентичен по углеводородному составу и биомаркерно-геохимическим параметрам. С использованием метода ICP получены данные о микроэлементном составе Хорватской лечебной нефти и лечебной Нафталанской нефти, обе исследуемые нефти относятся к железистому типу. Лечебная Нафталанская нефть количественно превосходит Хорватскую лечебную нефть по содержанию микроэлементов. Несмотря на различие генезиса и геологического строения месторождений лечебных нефтей – Хорватии и Нафталана (Азербайджан), изучение углеводородного, биомаркерного и микроэлементного составов показало несомненное сходство. Можно предположить, что органические вещества (ОВ), участвующие в образовании нефтей, имеют практически одинаковое происхождение.

Ключевые слова: лечебная нефть, Нафталан, геохимические параметры, углеводородный состав, биомаркеры, стераны, гопаны, адамантаны, фракционный состав, микроэлементы.

Introduction

Medicinal oils are found in many places in the world; however, oil is officially used for medicinal purposes only in Azerbaijan and Croatia at special medical institutions. In 1989, in Croatia, in the small town of Ivanic Grad, located 30 km south of Zagreb, the balneotherapeutic sanatorium Naftalan was opened, which gained worldwide fame at the end of the 20th century. Rare sources of naphthalan were discovered while drilling an oil well in the Moslavina basin.

The purpose of this work is to consider and compare the properties of the Croatian medicinal crude oil with the Azerbaijani Naftalan medicinal and fuel oil.

The healing properties of Naftalan oil, the deposit of which is located in Azerbaijan in the city of Naftalan, not far from the large city of Ganja, have long been known throughout the world. There is a lot of literature on the origin of Naftalan oil, its genesis, physicochemical and geochemical properties, as well as unique balneological properties [1-7].

Methods and objects of research

The objects of research were the following samples:

- naphthalan oil from Croatian Naftalan Health Center in Ivanic Grad;
- crude oil from the Croatian medicinal oil field;
- medicinal oil from Naftalan field; I-II horizon, filter 151-586 m;
- fuel oil from Naftalan field; III-IV horizon well 1;
- refined naphthalan oil
- white naphthalan oil

The studies were carried out using the following methods: chromatography-mass spectrometry, inductively coupled plasma mass spectroscopy (ICP) and simultaneous thermal analysis (STA).

STA method. Determination of the potential fractional composition of oil was carried out using a synchronous thermal analyzer STA 6000 Perkin Elmer in the temperature range of 20–700°C. The oil samples were heated in a nitrogen atmosphere at a given constant speed from 5–40°C, as a result of which DSC curves were obtained in the coordinates $\Delta H=f(T)$ and TG curves in the coordinates $\Delta m=f(T)$, as well as their derivatives.

Chromatography-mass spectrometry method. Studies of the oils were carried out on a Clarus 680 Perkin-Elmer chromatography-mass spectrometer, which has an interface with a highly efficient mass selective detector Clarus SQ8T. Hydrocarbon chromatograms were obtained by total ion current (TIC) on a 100 m long, 0.25 mm diameter quartz capillary column impregnated with ZB-1MS phase. The analysis conditions were identical. Helium, with the flow rate 1 ml/min, was used as a carrier gas.

Evaporator temperature was at 300°C; programming the temperature rise from 80 to 290°C at a rate of 4°C/min, followed by an isotherm for 70 min. The ionizing voltage of the source was 70 eV, the source temperature was 250°C. Biomarker chromatograms were performed in the SIR, SIM mode. Methylene chloride was used as a solvent. During the study, chromatograms were also recorded on a column with a similar phase – DB – 5 M.

A trace element analysis of the oil samples was carried out on a **NexION 300D inductively coupled plasma mass spectrometer**. The detection limit for almost all elements of the periodic table was at the level of 9.1–10 ppm.

Results and discussion

The STA method was used to study the properties of the Croatian medicinal crude oil. Table 1 presents the quantitative content of fractions in the temperature ranges corresponding to the evaporation of gasoline – G, naphtha – N, kerosene –K, gas oil – G, paraffin –P, oils (light, medium, heavy) –M (1,2,3), resins –R and asphaltenes –Asph.

Data on the fractional composition of the medicinal and fuel Naftalan oil is also provided. As we can see, the oil from the Croatian field is naphthenic-paraffin, and after distillation we are dealing with a fraction (~97 % wt.), with boiling point = 280–425°C, in which light fractions (GNKG) and aromatics, which are toxic at treatment of both the musculoskeletal system and the skin and cause itching, burning and allergic reactions in patients. Medicinal Naftalan and Croatian medicinal crude oil have a similar fractional composition.

Table 1 – Fractional composition of medicinal oils

Таблица 1 – Фракционный состав лекарственных масел

Sample Name	Indicators	Fractions		P+O1, O2, O3	R+Asph
		GN	KG		
Croatian medicinal crude oil	T_1-T_2	b.p. –180°C	180–280°C	280–425°C	425–700°C
	Δ , % (wt.)	9.188	28.979	49.429	11.053
Naftalan medicinal oil	T_1-T_2	b.p. –180°C	180–280°C	280–425°C	425–970°C
	Δ , % (wt.)	8.302	32.098	43.636	16.183
Naftalan fuel oil	T_1-T_2	b.p. –180°C	180–280°C	280–425°C	425–790°C
	Δ , % (wt.)	11.221	40.427	38.603	9.506

Figure 1 presents chromatography-mass spectra of naftalan medicinal and fuel oil and the Croatian medicinal crude oil; Table 2 shows the calculated hydrocarbon composition data.

As you can see, the medicinal and fuel oils of Naftalan differ significantly in hydrocarbon composition, while with Croatian medicinal crude oil, medicinal Naftalan is almost identical in hydrocarbon composition.

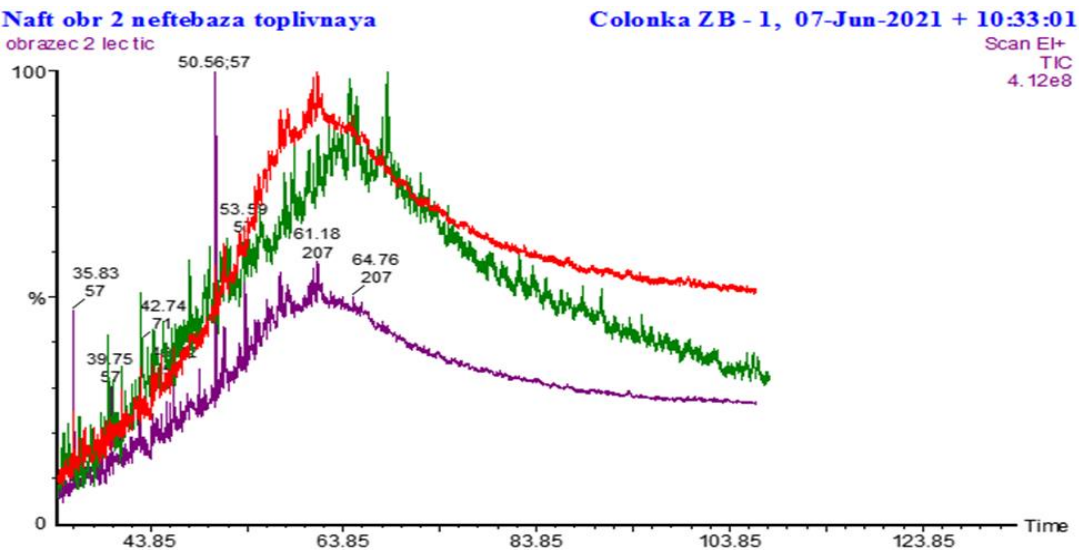


Fig. 1. Chromatogram of Croatian medicinal crude oil sample (green line) and Naftalan oil: medicinal (red line) and fuel (purple line)

Рис. 1. Хроматограмма образцов хорватской лекарственной сырой нефти (зеленая линия) и нафталановой нефти: лекарственной (красная линия) и топливной (фиолетовая линия)

Table 2 – HC composition of oils according to gas chromatography-mass spectrometry data

Таблица 2 – Углеводородный состав масел по данным газовой хроматографии-масс-спектрометрии

Sample name	n-alk %	i-alk %	isoprenoids %	Σ alkanes	Naphthenes					Σ napht	Arenes			Σ arene
					mono	bi	tri	tetra	penta		mono	bi	tri	
Croatian crude oil	-	10.66	-	10.66	77.46	5.57	-	2.86	2.21	88.1	-	-	-	-
Naftalan medicinal	-	3.53	-	3.53	44.08	35.3	4.31	-	-	83.69	2.33	4.67	5.11	12.11
Naftalan fuel	6.81	16.12	Pr 4.94; Ph -2.11	22.93	41.7	17.14	-	0.53	-	59.37	3.7	1.76	12.02	17.48

In balneological centers of both countries, in addition to native oil, oils and certain fractions – oil distillation products – are used for medicinal purposes.

We examined the composition of naphthalan oil from the Croatian Naftalan Health Center, as well as oil from Naftalan oil: refined and white. Chromatograms of oils and calculation of their hydrocarbon composition are presented in Figure 2 and in Table 3.

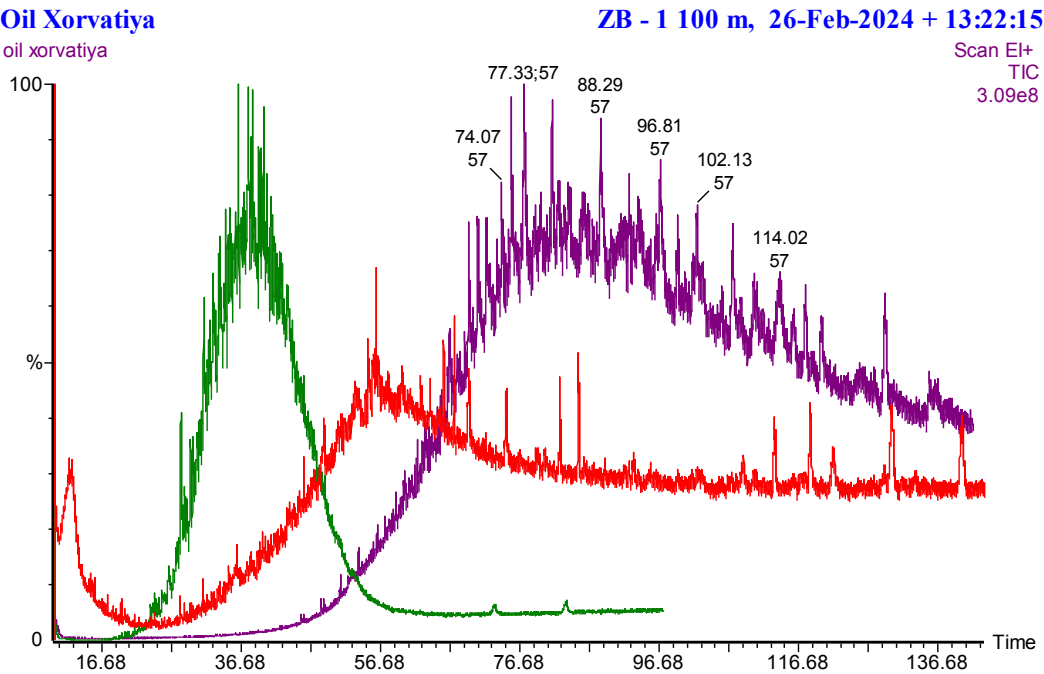


Fig. 2. Chromatogram of naphthalan oil from Croatian Naftalan Health Center (purple line) and from Naftalan oil: (red line – refined, green line – white)

Рис. 2. Хроматограмма нафталянового масла из Хорватского медицинского центра Нафталян (фиолетовая линия) и нафталяновой нефти: (красная линия – очищенная, зеленая линия – белая)

Table 3 – Hydrocarbon composition of oils from Naftalan oil

Таблица 3 – Углеводородный состав масел по данным газовой хроматографии-масс-спектрометрии

Samle	n-alk %	i-alk %	isopre-noids %	Σ al-kanes	Naphtenes					Σ napht	Arenes			Σ arenes	diff
					mono	bi	tri	tetra	pen-ta		mono	bi	tri		
naphthalan oil from Croatian Naftalan Health Center	-	71.25	-	71.25	17.23	1.56	-	3.38	5.96	28.13	-	-	0.62	0.62	-
Refined naphthalan	-	33.85	-	33.85	54.7	3.5	-	3.08	2.44	63.72	-	-	0.72	0.72	-
White naphthalan	-	2.2	-	2.2	93.68	4.18	-	-	-	97.86	-	-	-	-	Tetralines 0.02

The Croatian oil from the Naftalan Health Center has a paraffin base, it corresponds to ~ 71 % isoalkane hydrocarbons; naphthenic hydrocarbons ~28 %. As for aromatic hydrocarbons, they are absent in white oil, and in the other two oils their content is approximately the same.

As can be seen, Naftalan oils have a wide range of naphthenic hydrocarbons ~ from 64 to 98 %; alkane hydrocarbons ~ from 2 to 34 %.

Of interest was a comparative assessment of the catagenetic transformation of medicinal oils based on biomarkers that were obtained in the SIR, SIM mode using gas chromatography-mass spectrometry.

Also presented are mass fragmentograms and calculation data for steranes and hopanes of Croatia oil (Fig. 3-4, Table 4-5).

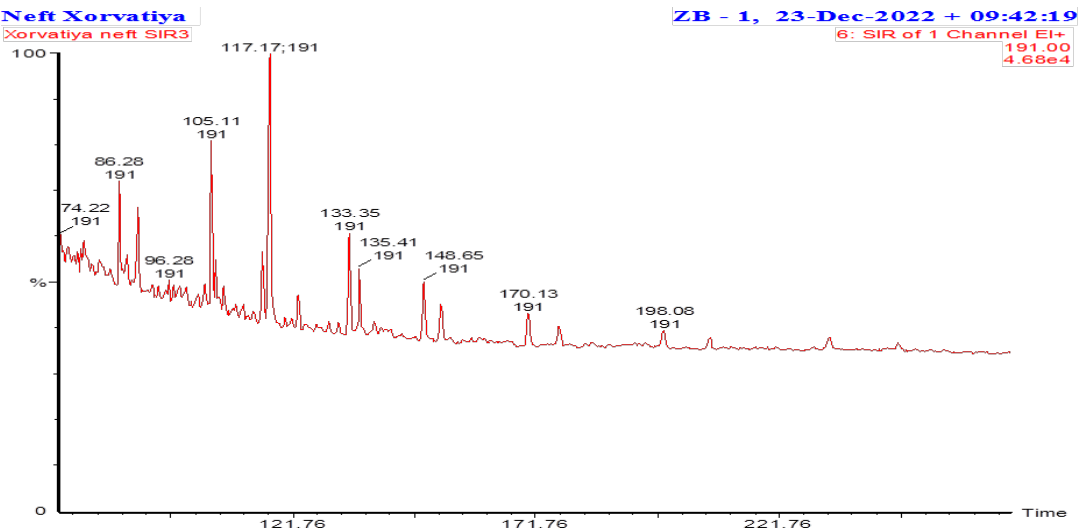


Fig. 3. Mass fragmentogram of hopanes m/z 191 of Croatian medicinal crude oil

Рис. 3. Массовая фрагментограмма hopanes m/z 191 хорватской лекарственной сырой нефти

Table 4 – Hopane content of medicinal oils

Таблица 4 – Содержание гопана в лекарственных маслах

Hopanes	Sample	Naftalan medicinal, %	Naftalan fuel, %	Croatian oil, %
Ts		4.09	4.21	5.43
Tm		4.02	3.46	5.70
H ₂₈ 17αH, 18αH,21βH bisnorhopane		0.77	1.02	1.59
H ₂₉ Nor- 25- hopane		1.96	1.83	1.90
Adiantane		14.84	10.85	12.20
Diahopane H ₃₀		2.2	2.04	2.07
Moretane H ₂₉		0.92	1.11	-
Oleanane		7.47	5.64	6.04
Hopane H ₃₀		19.19	24.52	25.22
Moretane H ₃₀		3.06	3.03	-
Homohopane Hh ₃₁		15.63	15.78	14.95
Bishomohopane H ₃₂		10.14	10.34	10.16
Trishomohopane Hh ₃₃		9.45	7.79	6.21
Tetrakishomohopane Hh ₃₄		4.8	5.67	3.9
Pentakishomohopane Hh ₃₅		3.35	2.73	2.75
Geochemical indicators				
Ts/Tm		1.01	1.22	0.95
Hh ₃₅ /(Hh ₃₁ -Hh ₃₅) Homohopane index		0.08	0.06	0.07
Oleanane/H30		0.4	0.23	0.24
Adiantane/H ₃₀		0.77	0.44	0.48

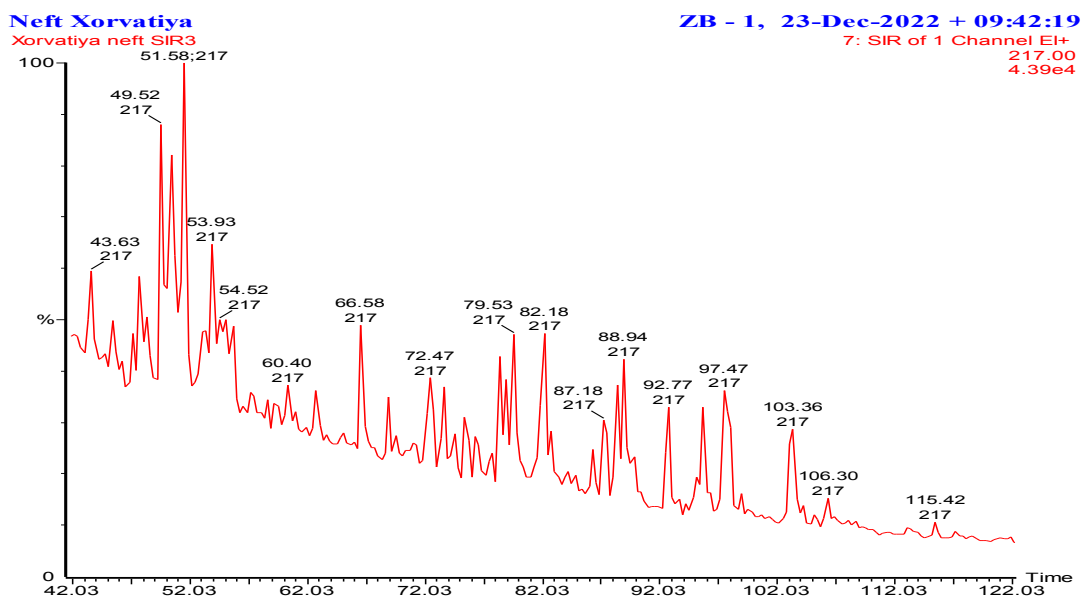


Fig. 4. Mass fragmentogram of steranes m/z 217 of Croatian medicinal oil sample

Рис. 4. Масс-фрагментограмма стеранов m/z 217 в образце хорватского лекарственного масла

Table 5 – Sterane content of Croatian crude oil

Таблица 5 – Содержание стерана в хорватской сырой нефти

Steranes	exit time	area	value %	Σ value
St 21 (A)	43.634	3485.785	3.65	Σ6.56
St 22 (B)	47.753	2781.651	2.91	
holane (C)	53.931	2854.25	2.99	
dia St (D)	66.582	3797.049	3.98	Σ 18.74
dia St (E)	68.936	1764.897	1.85	
dia St (F)	72.466	5013.369	5.25	
dia St (G)	73.643	2941.292	3.08	
dia St (H)	75.408	2444.316	2.56	
dia St (I)	76.291	1928.22	2.02	
St 27 S1	77.762	1036.209	1.09	Σ 24.13
St 27 R1	78.351	3718.918	3.90	
St 27 S2	78.939	3545.709	3.71	
St 27 S2	79.527	5970.619	6.26	
St 27 R2	82.175	6679.938	7.00	
St 27 R2	82.764	2069.057	2.17	
St 28 S1	86.294	1606.67	1.68	Σ 22.34
St 28 R1	87.177	3456.995	3.62	
St 28 S2	88.354	3760.058	3.94	
St 28 S2	88.942	5701.3	5.97	
St 28 S2	89.825	1686.384	1.77	
St 28 S2	90.119	109.591	0.11	
St 28 R2	92.767	4541.981	4.76	
St 28 R2	93.649	468.964	0.49	
St 29 S1	95.12	1536.747	1.61	Σ 20.96

St 29 R1	95.709	3161.488	3.31	
St 29 S2	97.474	8385.082	8.79	
St 29 S2	98.945	558.988	0.59	
St 29 S2	99.534	234.189	0.25	
St 29 R2	103.358	5524.308	5.79	
St 29 R2	104.241	595.996	0.62	
St 30 S1	105.123	379.826	0.40	Σ 4.28
St 30 R1	106.3	1020.512	1.07	
St 30 S2	108.066	201.035	0.21	
St 30 S2	108.654	184.878	0.19	
St 30 S2	109.242	247.187	0.26	
St 30 S2	113.067	1184.188	1.24	
St 30 R2	115.421	646.663	0.68	
St 30 R2	117.186	223.069	0.23	

Table 6 – Steranes content (m/z 217) in Naftalan oils and Croatian oil
Таблица 6 – Содержание стеранов (m/z 217) в нафталановой нефти и хорватской нефти

Sample	Naftalan medicinal, %	Naftalan fuel, %	Croatian crude oil, %
Steranes			
Diasterane	19.41	15.47	18.74
Sterane 27	22.31	22.79	24.13
Sterane 28	17.14	16.63	22.34
Sterane 29	21.6	20.55	20.96
Sterane 21+22	5.37	5.94	6.56
C ₂₇ :C ₂₈ :C ₂₉	22:17:22	23:17:21	24:22:21

The distribution of C₂₇, C₂₈, and C₂₉ sterane hydrocarbons is considered as an indicator of the type of organic matter (OM). The predominance of the C₂₉ homologue indicates a large contribution of terrestrial vegetation to the original organic matter, whereas the dominance of C₂₇ steranes indicates a significant contribution of zooplankton and algal, finally the dominance of C₂₈ indicates a lacustrine environment. These parameters can be used in correlation using a ternary diagram as shown in Fig. [8].

The studied oil samples showed a relatively equal content of all three components, which can be seen as an evidence of mixed types of organic matter [9].

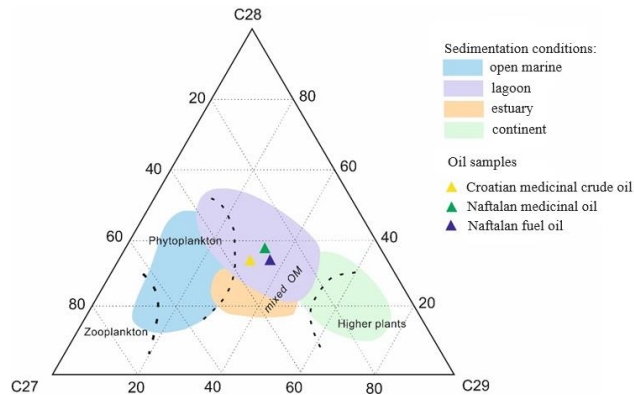


Fig. 5. Triangular diagram of regular steranes C27, C28 and C29 for medicinal oils

Рис. 5. Треугольная диаграмма обычных стеранов C27, C28 и C29 для лекарственных масел

According to the comparative star diagrams of the geochemical parameters of the Croatia medicinal crude and the Naftalan oils (Fig. 6), samples generally have almost the same biomarkers-geochemical features.

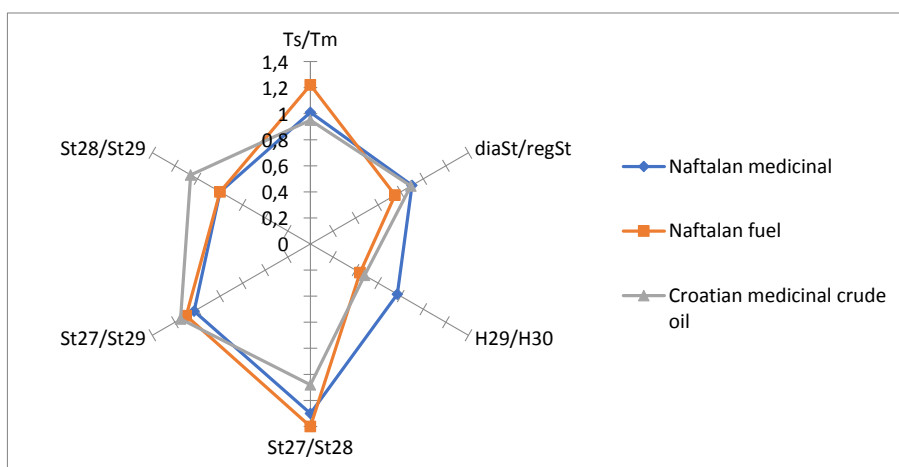
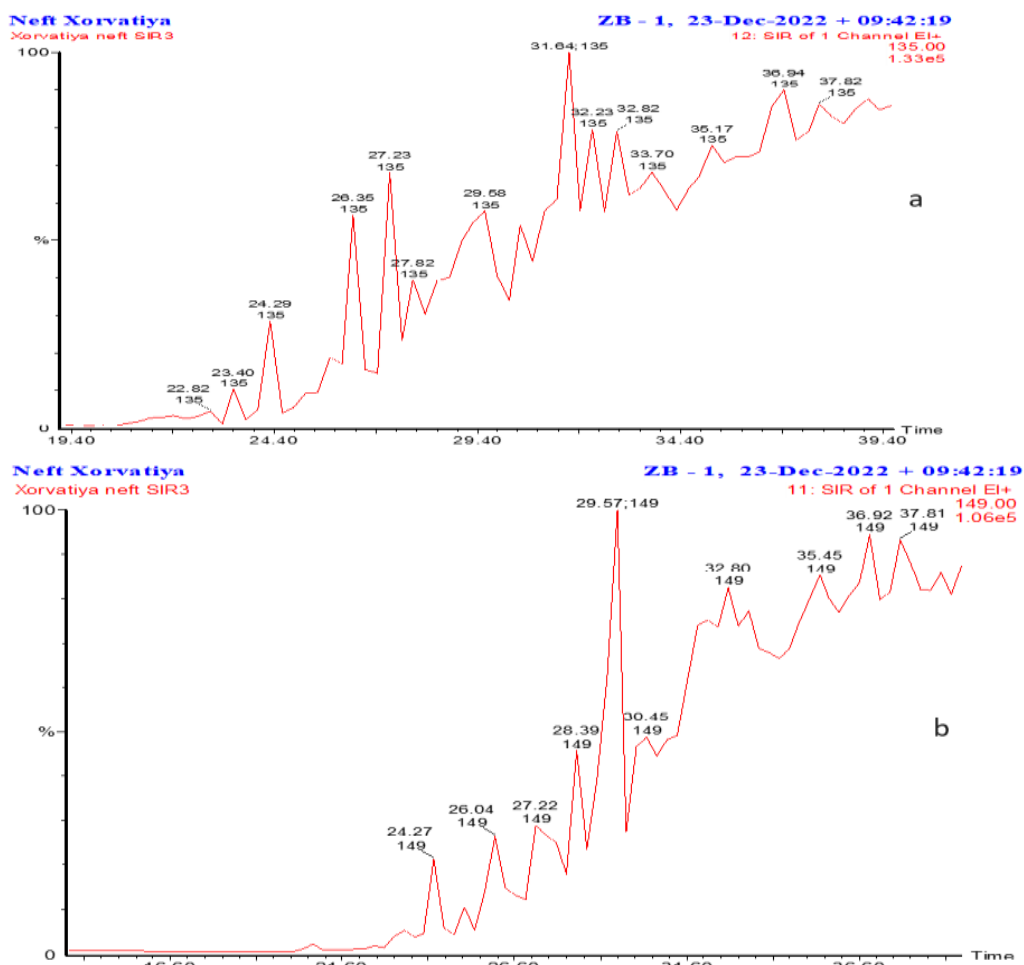


Fig. 6. Star diagram of several biomarker-geochemical parameters of Croatian and Naftalan oils

Рис. 6. Звездобразная диаграмма нескольких биомаркеров-геохимических параметров хорватской и нафталановой нефтей

The identification of adamantoids in samples of the Croatian oil was carried out by chromatography-mass spectrometry by m/z 135 – alkyladamantanes, m/z 149 – dialkyladamantanes and m/z 163 – trimethyladamantanes according to NIST (Fig. 7).



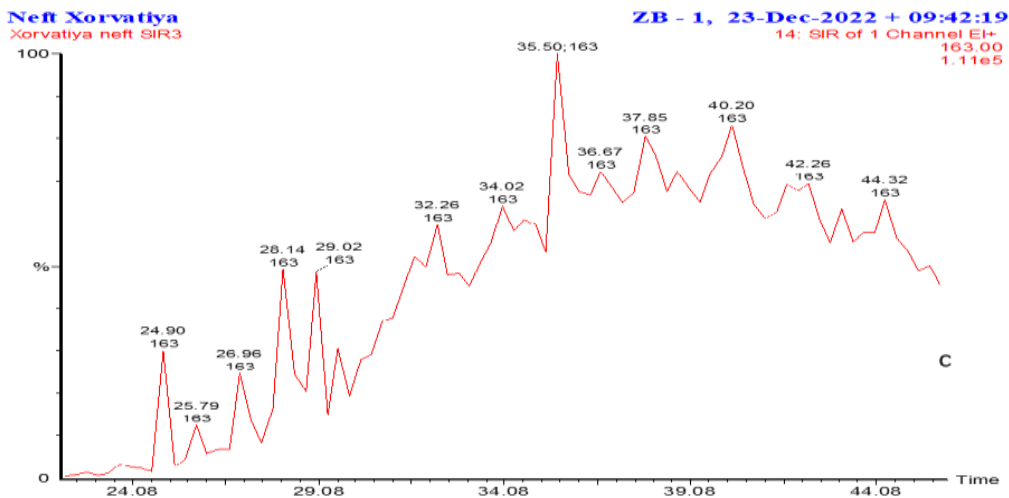


Fig. 7. Chromato-mass spectrum section of alkyladamantanes in Croatian oil
m/z 135 (a), m/z 149 (b) and m/z 163 (c)

Рис. 7. Хромато-масс-спектральный разрез алкиладамантанов в хорватской нефти
m/z 135 (a), m/z 149 (б) и m/z 163 (в)

Table 7 shows the total adamantoid content % in samples of the Croatian and Naftalan oils. The participation of adamantoids in the healing properties of Naftalan oil is already known to us [10]. For this reason, it is necessary to study adamantoids in the Croatian medicinal crude oil and compare it with the Naftalan oil. As can be seen from Table 6, dialkyladamantane is present in a higher percentage than other homologues. The alkyladamantane value of the Croatian medicinal crude oil is 2 times higher than that of the Naftalan oil; however trialkyladamantane is presented in the Naftalan oil in a 5 times higher percentage.

Table 7 – Content of adamantoids in Naftalan oils and Croatian medicinal crude oil

Таблица 7 – Содержание адамантуза в нафталановой нефти и хорватской лечебной сырой нефти

Adamantanes \ Sample	Naftalan Medicinal oil, %	Naftalan Fuel oil, %	Croatian crude oil, %
C11 (alkyladamantanes)	12.9	15.01	24.84
C12 (dialkyladamantane)	65.29	72.04	56.2
C13 (trialkyladamantane)	10.82	11.8	2.16

Table 8 presents the total quantitative content of biomarkers (%) in samples of Naftalan medicinal, Naftalan fuel and Croatian medicinal crude oil. The role of biomarkers in the therapeutic properties of Naftalan oil has already been established. Thus, the sharp difference in the biomarker content in fuel oil and the decrease in biomarker content in the oil used for therapeutic purposes for 1 year are proof of this [10]. As it is clearly seen that, the Croatian medicinal crude oil has 2.7 times less biomarker content than the medicinal Naftalan oil; however, the Croatian medicinal oil surpasses fuel oil in this indicator by almost 2 times. Based on the total percentage of hopanes, the Croatian medicinal crude oil and medicinal Naftalan oil are characterized by almost similar values. Yet the steranes of the Croatian medicinal crude oil are much higher than Naftalan oils.

Table 8 – The comparative content of biomarkers in Croatian crude oil and Naftalan oils
Таблица 8 – Сравнительное содержание биомаркеров в хорватской сырой нефти и нафталановой нефти

Samples	Triterpanes	Hopanes	Steranes	Adamantanes	Σ %, in oil
Naftalan medicinal	1.280	0.470	0.160	5.70	7.60
Naftalan fuel	0.250	0.040	1.07	0.020	1.60
Croatian crude oil	0.014	0.543	1.83	0.34	2.73

Using the ICP method, microelement data on the composition of Croatian medicinal crude oil and medicinal Naftalan oil was obtained, which is tabulated and shown in a histogram (Tab. 9, Fig. 8). As you can see, the Croatian medicinal crude oil is of the ferruginous type, and the Fe content is two times less than in the Naftalan medicinal oil. In second place is cobalt, the content of which is much higher than in the Naftalan medicinal oil. Next in quantitative content are strontium (Sr), titanium (Ti) and nickel (Ni). Comparing the quantitative content of microelements in the Croatian and Naftalan medicinal oils, their predominance in the Naftalan oil was noted (with the exception of cobalt).

Table 9 – Comparing the quantitative content of microelements in medicinal oils
Таблица 9 – Сравнение количественного содержания микроэлементов в лекарственных маслах

№	Sample	As g/t	Co g/t	Cr g/t	Cu g/t	Fe g/t	Mn g/t	Ni g/t	Pb g/t	V g/t	Zn g/t	Sr g/t	Ti g/t	Mo g/t	Cd g/t
1	Croatia oil	0,013	2,195	0,518	0,059	9,864	0,538	0,779	0,009	0,165	0,194	3,469	0,884	0,010	0,001
2	Naftalan medicinal	0	0,068	1,056	0,294	17,907	5,396	2,659	1,586	0,062	1,653	4,191	1,918	0,172	0

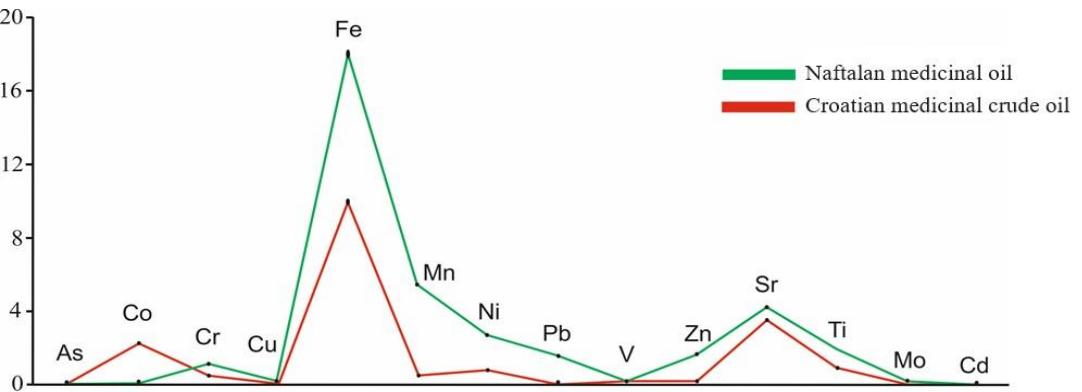


Fig. 8. Comparative diagram of the microelement composition of medicinal oils
Рис. 8. Сравнительная диаграмма микроэлементного состава лекарственных масел

Conclusion

Studies of the medicinal crude oils from Croatia and Azerbaijan using chromatography-mass spectrometry, inductively coupled plasma mass spectroscopy and combined thermal analysis showed that

- the medicinal oil from Naftalan field and the Croatian medicinal crude oil have a similar fractional and hydrocarbon composition
- as for the biomarker indicators, the studied oils generally have almost the same biomarkers-geochemical features
- the microelement composition of the medicinal oils showed that they belong to the ferruginous type
- a study of the genetic origin of organic matter showed that the medicinal oil samples demonstrate relatively equal contents of all three components C27 – cholestane, C28 –methylcholestane and C29 – ethylcholestane, which is evidence of mixed sedimentation.

Thus, despite the difference in genesis and geological structure of the medicinal oil fields in Croatia and Naftalan, Azerbaijan, the study of hydrocarbon, biomarker and microelement compositions showed an undoubted similarity of the studied medicinal oils. It can be suggested that the organic matter (OM) involved in the formation of oils have a similar origin. It is necessary to investigate the relationship between the healing properties and the received geochemical indicators with geological processes: sedimentation conditions, migration processes, and geological structure of the oil fields.

Литература

1. Кязимов, Г.А. Летопись Нафталан : монография / Г.А. Кязимов. – Баку: Элм, 2009. – 584 с. – Текст : непосредственный.
2. Шихмамедова, Т.Н. Уточнение геологического строения майкопской свиты на площади Нафталан на основе интерпретации 3D сейсморазведочных данных и результаты моделирования совместно с данными ГИС / Т.Н. Шихмамедова, Э.Г. Аллахвердиев, П.Д. Абасова. – Текст : непосредственный // АНХ. – 2014. – № 11. – С. 3-7.
3. Алиев, Н.Д. Новые экспериментальные данные о механизме действия нафталан : Автореферат диссертации доктора медицинских наук / Н.Д. Алиев. – Баку, 1969. – 44 с. – Текст : непосредственный.
4. Бабаев, Ф.Р. О составе уникальной нефти Нафталан / Ф.Р. Бабаев, Г.С. Мартынова, С.Г. Мамедова, О.П. Максакова, Р.Г. Нанаджанова, А.Э. Ализаде. – Текст: непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 3. – С. 36-42.
5. Бабаев, Ф.Р. Особенности нефти месторождения Нафталан / Ф.Р. Бабаев, Г.С. Мартынова, О.П. Максакова, Р.Г. Нанаджанова, А.Э. Ализаде. – Текст : непосредственный // Геология нефти и газа. – 2017. – № 2. – С. 71-75.
6. Бабаев, Ф.Р. Нефть месторождения Нафталан / Ф.Р. Бабаев, Г.С. Мартынова, О.П. Максакова, Р.Г. Нанаджанова. – Текст: непосредственный // Геология нефти и газа – 2018. – № 5. – С. 87-94.
7. Гулиев, И.С. Исследование нанодисперсности нафталанской нефти / И.С. Гулиев, Д.А. Гусейнов, Г.С. Мартынова, Ф. Р. Бабаев, О.П. Максакова. – Текст : непосредственный // East European Scientific Journal. – 2017. – № 3. – 90 с.
8. W.-Y. Huang and W. Meinschein, “Sterols as Ecological Indicators,” *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 43, No. 5, 1979, pp. 739-745. doi:10.1016/0016-7037(79)90257-6
9. Waples D.W., Machihara T. Biomarkers for Geologists: a practical guide to the application of steranes and triterpanes in petroleum exploration // Tulsa. AAPG. – 1991. – 91 p.
10. Guliyev İ.S., Huseynov D.A., Martimova G.S., Maksakova O.P., Zeinalov S.Q. Biomarkers of Naftalan Oil // *ANAS Transactions. Earth Sciences*. – 2024. – № 1. – p. 119-128. doi. org/10.33677/ggianas20240100113

References

1. Kjazimov, G.A. Letopis' Naftalana : monografija / G.A. Kjazimov. – Baku: Jel'm, 2009. – 584 s. – Tekst : neposredstvennyj.
2. Shihmamedova, T.N. Utochnenie geologicheskogo stroenija majkopskoj svity na ploshhadi Naftalan na osnove interpretacii 3D sejsmorazvedochnyh dannyh i rezul'taty modelirovaniya sovместno s dannymi GIS / T.N. Shihmamedova, Je.G. Allahverdiev, P.D. Abasova. – Tekst : neposredstvennyj // ANH. – 2014. – № 11. – S. 3-7.

3. Aliev, N.D. Novye jeksperimental'nye dannye o mehanizme dejstvija naftalana : Avtoreferat dissertacii doktora medicinskih nauk / N.D. Aliev. – Baku, 1969. – 44 s. – Tekst : neposredstvennyj.
4. Babaev, F.R. O costave unikal'noj nefti Naftalan / F.R. Babaev, G.S. Martynova, S.G. Mamedova, O.P. Maksakova, R.G. Nanadzhanova, A.Je. Alizade. – Tekst: neposredstvennyj // Geologija, geofizika i razrabotka neftjanyh i gazovyh mestorozhdenij. – 2015. – № 3. – S. 36-42.
5. Babaev, F.R. Osobennosti nefti mestorozhdenija Naftalan / F.R. Babaev, G.S. Martynova, O.P. Maksakova, R.G. Nanadzhanova, A.Je. Alizade. – Tekst : neposredstvennyj // Geologija nefti i gaza. – 2017. – № 2. – S. 71-75.
6. Babaev, F.R. Neft' mestorozhdenija Naftalan / F.R. Babaev, G.S. Martynova, O.P. Maksakova, R.G. Nanadzhanova. – Tekst: neposredstvennyj // Geologija nefti i gaza – 2018. – № 5. – S. 87-94.
7. Guliev, I.S. Issledovanie nanodispersnosti naftalanskoj nefti / I.S. Guliev, D.A. Gusejnov, G.S. Martynova, F. R. Babaev, O.P. Maksakova. – Tekst : neposredstvennyj // East European Scientific Journal. – 2017. – № 3. – 90 s.
8. W.-Y. Huang and W. Meinschein, “Sterols as Ecological Indicators,” *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 43, No. 5, 1979, pp. 739-745. doi:10.1016/0016-7037(79)90257-6
9. Waples D.W., Machihara T. Biomarkers for Geologists: a practical guide to the application of steranes and triterpanes in petroleum exploration // Tulsa. AAPG. – 1991. – 91 p.
10. Guliyev İ.S., Huseynov D.A., Martynova G.S., Maksakova O.P., Zeinalov S.Q. Biomarkers of Naftalan Oil // ANAS Transactions. Earth Sciences. – 2024. – № 1. – p. 119-128. doi. org/10.33677/ggianas20240100113

Сведения об авторах

GULIYEV Ibrahim Said oglu – Academician, Vice-President of ANAS, Baku, AZ, e-mail: ibrahim.guliyev@science.az

ГУЛИЕВ Ибрагим Саид оглы – академик, вице-президент НАНА, Баку, AZ, e-mail: ibrahim.guliyev@science.az

MARTYNOVA Galina S. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory of Petroleum Geochemistry, Institute of Geology and Geophysics, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku, e-mail: martgs@rambler.ru

МАРТЫНОВА Галина Сергеевна – доктор физ.-мат.наук, Зав. лабораторией «Геохимия нефти» Институт «Геологии и геофизики» Министерство науки и образования, Баку, AZ, e-mail: martgs@rambler.ru

MAKSAKOVA Olga P. – Senior Researcher, Laboratory of Petroleum Geochemistry, Institute of Geology and Geophysics, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku, AZ, e-mail: olya4747@mail.ru

МАКСАКОВА Ольга Петровна – старший научный сотрудник лаборатории «Геохимия нефти» Институт «Геологии и геофизики» Министерство науки и образования, Баку, AZ, e-mail: olya4747@mail.ru

NANAJANOVA Rahilya Gyulali gizi – Senior Researcher, Laboratory of Petroleum Geochemistry, Institute of Geology and Geophysics, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku, AZ, e-mail: raxile_skorpion@inbox.ru

НАНАДЖАНОВА Рахилия Гюльали гызы – старший научный сотрудник лаборатории «Геохимия нефти» Институт «Геологии и геофизики» Министерство науки и образования, Баку, AZ, e-mail: raxile_skorpion@inbox.ru

VELIMETOVA Naida Iskender – Engineer, Laboratory of Petroleum Geochemistry, Institute of Geology and Geophysics, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, e-mail: v.naida.v@gmail.com

ВЕЛИМЕТОВА Наида Искендер – инженер лаборатории «Геохимия нефти», Институт геологии и геофизики Министерство Науки и Образования Азербайджанской Республики, e-mail: v.naida.v@gmail.com

ZEYNALOV Samir Gadir oglu – PhD student, Junior Researcher, Laboratory of Petroleum Geochemistry, Institute of Geology and Geophysics, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, e-mail: zeynalov.samir.98@mail.ru

ЗЕЙНАЛОВ Самир Гадир оглу – докторант, м.н.с. лаборатории «Геохимия нефти», Институт геологии и геофизики Министерство Науки и Образования Азербайджанской Республики, e-mail: zeynalov.samir.98@mail.ru

УТОЧНЕНИЕ НОРМАТИВНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ НА УЧАСТКЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ «ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ «ГРОСС»

Н.Н. Гриб^{1,2}, И.И. Колодезников³, Г.В. Гриб¹*

¹Технический институт (ф) СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Нерюнгри, Россия

²Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия

³Академия наук Республики Саха (Якутия), Россия

*grib-n-n@yandex.ru

Аннотация. Район расположения реконструируемого горно-обогатительного комбината «Гросс» юго-западная Якутия, территория которой относится к сейсмоопасным. Согласно карте ОСР 2015 с индексами А, В, С, сейсмичность района строительства равна 9, 9, 10 баллам по шкале MSK-64, соответственно.

Несмотря на значительный опыт исследований по уточнению общего сейсмического районирования, вопросы интерпретации исходных материалов, а также полученные результаты могут быть неоднозначными. В подтверждение этому можно отметить, что за последние 25 лет сменилось 4 поколения карт общего сейсмического районирования: ОСР 97, ОСР 2012, ОСР 2015, ОСР 2016.

Следует отметить, что важность исследований определяется не только сейсмобезопасностью объектов строительства, но и экономической составляющей. Так, увеличение сейсмической опасности на 1 балл, влечет за собой удорожание стоимости строительства от 13 до 20 %.

Цель исследований – уточнение уровня исходной (нормативной) сейсмичности участков изыскания с использованием методологии вероятностного анализа сейсмической опасности с учетом региональных сеймотектонических условий района строительства горно-обогатительного комбината «Гросс».

В результате анализа материалов геодинамических активных неотектонических зон, установлено наличие активных структур способных генерировать землетрясения с магнитудами $M = 6,5 - 7,0$.

Выполнена вероятностная оценка параметров сейсмических воздействий: макросейсмической интенсивности (в баллах MSK-64), пиковых ускорений и спектров реакции, для случая возникновения землетрясений максимальной возможной магнитуды M_{max} , на минимально возможном расстоянии R от исследуемой территории проектируемого строительства объектов, проведена с использованием программного обеспечения «EAST-2016».

Уточненный уровень сейсмической опасности по периодам повторяемости 500, 1000 и 5000 лет составил соответственно: $I = 8$; $I = 8,3$ и $9,1$ балла по шкале MSK-64.

Ключевые слова: геодинамика, неотектоника, землетрясения, магнитуда, эпицентрально расстояние, нормативная сейсмичность, сеймотектонические модели, модели сейсмического эффекта, вероятностный анализ сейсмической опасности.

CLARIFYING BASELINE SEISMICITY FOR A GEOTECHNICAL SURVEY SITE AT GROSS MINING AND PROCESSING PLANT

N.N. Grib^{1,2}, I.I. Kolodeznikov³, G.V. Grib¹*

¹ Technical Institute (b) M. K. Ammosov NEFU, Neryungri, Russia

²Pacific National University, Khabarovsk, Russia

³The Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia)

*grib-n-n@yandex.ru

Abstract. The Gross mining and processing plant under reconstruction is located in southwestern Yakutia, within a territory classified as earthquake-prone. According to the OSR 2015 map with indices A, B, C, the seismicity of the construction area is 9, 9 and 10 points MSK-64 scale, respectively.

Despite significant research experience in clarifying the general seismic zoning, the issues of interpreting the source materials, as well as the results obtained, may be ambiguous. In confirmation of this, it can be noted that

over the past 25 years four generations of general seismic zoning maps (OSR 97, OSR 2012, OSR 2015, OSR 2016) followed one another.

The relevance of research is determined not only by the seismic safety of construction projects, but also by their economic component. Thus, 1-point seismic hazard increase entails 13 % to 20 % construction cost increase.

The aim of the research is to specify the level of baseline seismicity for survey areas using the methodology of probabilistic seismic hazard analysis with respect to the regional seismotectonic conditions of the Gross mining and processing plant construction area.

As a result of the analysis of materials from geodynamic active neotectonic zones, the presence of active structures capable of generating earthquakes with magnitudes $M = 6.5 - 7.0$ was established.

A probabilistic assessment of the parameters of seismic impacts was carried out: macroseismic intensity (in MSK-64 points), peak accelerations and response spectra, for the case of earthquakes of the maximum possible magnitude M_{max} , at the minimum possible distance R from the study area of the projected construction of objects, was carried out using the EAST-2016 software.

The specified level of seismic hazard for return periods of 500, 1000 and 5000 years are $I = 8$, $I = 8.3$ and 9.1 points MSK-64 scale, respectively.

Keywords: geodynamics, neotectonics, earthquakes, magnitude, distance of epicenter, baseline seismicity, seismotectonic models, seismic effect models, probabilistic seismic hazard analysis.

Введение

Горно-обогатительный комбинат (ГОК) «Гросс» – это одно из двух месторождений, разрабатываемых ведущим золотодобывающим предприятием Якутии, которое успешно работает более 20 лет. Золотоизвлекательная фабрика «Гросс» осуществляет полный цикл производства, от подготовки руд и пород к выемке с помощью буровзрывных работ, до получения финального продукта – слитков золота лигатурного (сплав Дорэ).

Промышленная площадка ГОКа и вахтовый поселок Таборный, расположены на юго-западе Республики Саха (Якутия).

Исследуемая площадь расположена в пределах юго-восточной части Олекмо-Чарского нагорья, в междуречье Токко и Чаруоды (рис. 1) и относится районам повышенной сейсмической активности.

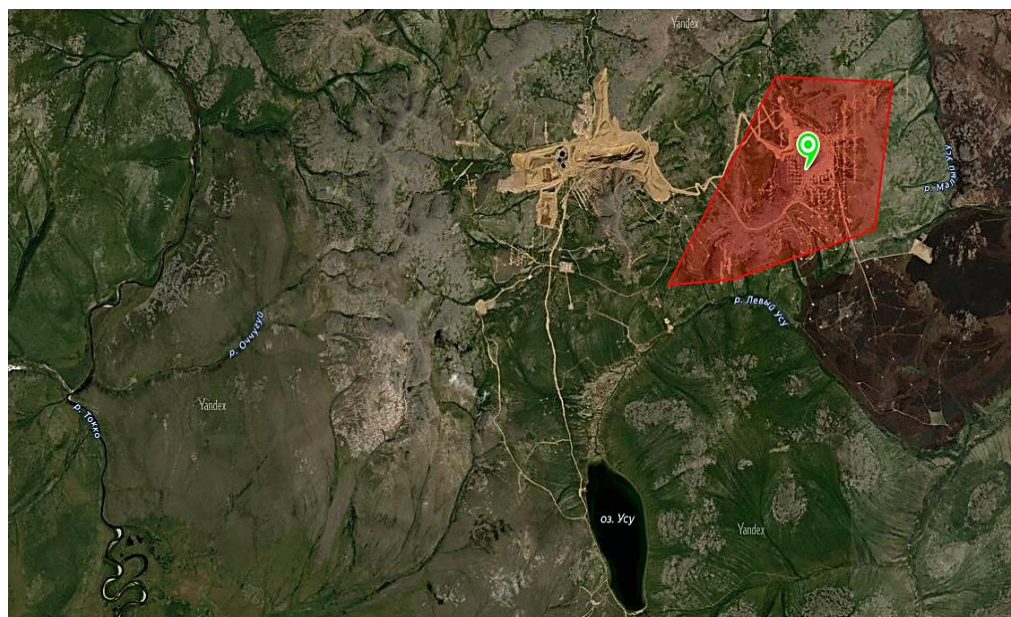


Рис. 1. Схема местоположения горно-обогатительный комбинат «Гросс» [<https://mapage.ru/sakha>]

Fig. 1. Location diagram of the Gross Mining and Processing plant [<https://mapage.ru/sakha>]

Уровень нормативной (фоновой) сейсмичности для территории Российской Федерации определяется СП 14.13330.2018 * [1] и комплектом карт общего сейсмического районирования ОСР-2015 (ОСР-97) [2]. Карты ОСР-2015 отображают сейсмическую опасность территории в баллах, которые являются основными для проведения сейсмического микрорайонирования (СМР). Изучаемый объект находится на границе 9-8 бальных зон (по карте ОСР-2015 В) и относится к повышенному уровню ответственности согласно [1] (п. 2 таблицы 4.2). Карты общего сейсмического районирования ОСР-2015 составлены в масштабе 1:8 000 000. При оценке фонового уровня сейсмической опасности расчеты выполняются с учетом региональных (генерализованных) сеймотектонических моделей. В связи с этим актуальна проблема перехода от карт ОСР к более крупномасштабным картам (1:500000–1:100000 и крупнее). Эти исследования условно называются уточнением исходной сейсмичности (УИС) [3]. В данной статье рассматривается уточнение уровня исходной (нормативной) сейсмичности участков изыскания с использованием методологии вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО), которая подробно изложена в публикациях [4-6].

Методология исследования

Сеймотектоническая обстановка изучаемой площади, где локализованы Олдонгсинский и Чаруодинский рои землетрясений, расположена на контакте трех крупных геоструктур: северо-восточного окончания Байкальского рифта, юго-западной окраины Алданского щита и западного фланга Становой складчатой системы [7].

Анализ материалов по изучению геодинамических активных неотектонических зон, развитых в окрестностях изучаемой территории, показывает наличие контрастных активных структур способных генерировать землетрясения с магнитудой $M=6,5$ близширотного простирания и два разлома образующих субдолготный клин, обладающие магнитудой $M=7,0$. Активные разломы – Чаруодинский, Темулякитский; Миелинский; Тунгурчинский; Хани-Кудулинский, Олёкма-Нюкжинский; Имангро-Чебаркассский; Тас-Юряхский; Становой; Токкинская впадина (рис. 2) [7, 8].

При расчетах уровня исходной (фоновой) сейсмичности площадки изыскания использована методология вероятностного анализа сейсмической опасности.

Входными данными для проведения ВАСО являлись параметры сеймотектонической модели, заложенной в разработку карт ОСР-97 и реализованные в пакете программ PRB-60 [9]. Актуализированное программное обеспечение в 2016 г. получило название «EAST-2016» и предназначено для расчетов вероятностных оценок сейсмической опасности [10]. В основу вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) положены две взаимосвязанные сейсмогеодинамические модели (рис. 3): модель зон возникновения очагов землетрясений (зон ВОЗ) и модель сейсмического эффекта (МСЭ) [2].

Применение ПО EAST-2016, при выполнении работ для оценки уровня исходной (фоновой) сейсмичности, можно считать обоснованным как наиболее адаптированного к требованиям национальных стандартов Российской Федерации и ориентированного на обеспечение технологической цепочки ОСР – УИС – СМР [11].

Обсуждение результатов

Уровень нормативной сейсмичности, на изучаемой площади, по картам ОСР-2015, в соответствии с СП 14.13330.2018 * (приложение А), значимо выше: Карта А ($T=500$ лет) интенсивность $I=9,0$ баллов; Карта В ($T=1000$ лет) интенсивность $I=9,0$ баллов; Карта С ($T=5000$ лет) интенсивность $I=10,0$ баллов.

На исследуемой площадке строительства горно-обогатительного комбината «Гросс» уточнение оценок исходной сейсмичности выполнено в программе EAST-2016 с использованием электронной базы ОСР-2016 и уравнения макроскопического поля (п.8.2, СП 286.1325800.2016), которые заложены в данную программу.

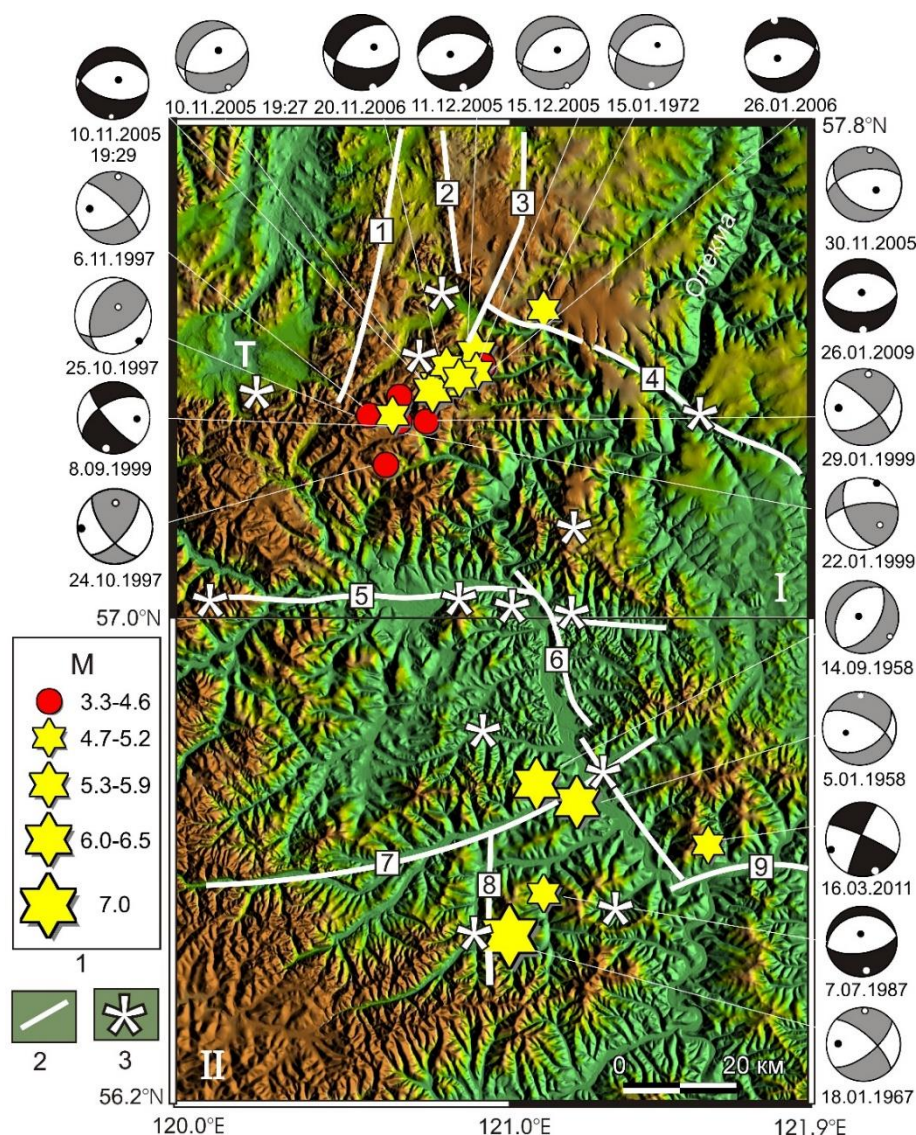


Рис. 2. Схема разломов, активизированных в кайнозое и механизмы очагов землетрясений Чароудинского (I) и Олёкминского (II) районов [8]:

1 – эпицентры землетрясений с $M \geq 3.3$, имеющих решения фокального механизма; 2 – кайнозойские разломы (обозначены арабскими цифрами в прямоугольниках); 3 – установленные палеосейсмодислокации; активные разломы: 1 – Чароудинский, 2 – Темулякитский; 3 – Миелинский; 4 – Тунгурчинский; 5 – Хани-Кудулинский; 6 – Олёкма-Нюкжинский; 7 – Имангро-Чебаркаасский; 8 – Тас-Юряхский; 9 – Становой; Т – Токкинская впадина

Примечание: стереограммы механизмов очагов землетрясений приведены в проекции нижней полусферы, области волн сжатия закрашены (черным цветом в случае решения СМТ, полученном в агентстве HRVD), темными и светлыми точками обозначены выходы осей напряжений сжатия и растяжения

Fig. 2. Diagram of faults activated in the Cenozoic and mechanisms of earthquake foci in the Charodinsky (I) and Olyokminsky (II) districts [8]:

1 – epicenters of earthquakes with $M \geq 3.3$ having solutions of the focal mechanism; 2 – Cenozoic faults (indicated by Arabic numerals in rectangles); 3 – established paleoseismodislocations; active faults: 1 – Charodinsky, 2 – Temulyakitsky; 3 – Mielinsky; 4 – Tungurchinsky; 5 – Khani-Kudulinsky; 6 – Olyokma-Nyukzhinsky; 7 – Imangro-Chebarkassky; 8 – Tas-Yuryakhsky; 9 – Stanovoy; T – Tokkin depression

Note: stereograms of the mechanisms of earthquake foci are shown in the projection of the lower hemisphere, the areas of compression waves are shaded (in black in the case of the CMT solution obtained by HRVD), dark and light dots indicate the outputs of the axes of compression and tension stresses



Рис. 3. Концепция методологии ОСП-97 (по В.И. Уломову) [2]

Fig. 3. The concept of the SRP-97 methodology (according to Ulomov) [2]

Параметры сейсмических воздействий оценивались: для периода повторяемости ожидаемых землетрясений $T=500$ лет, карта ОСП-2015-А, что соответствует нормальному уровню ответственности проектируемых сооружений, для периодов $T=1000$ лет (карта ОСП-2015-В) и периода $T=5000$ лет (карта ОСП-2015-С), что соответствует повышенному уровню ответственности проектируемых сооружений.

Сейсмическая опасность гидротехнических сооружений, оценивалась для $T=500$ лет (уровень проектного землетрясения ПЗ) и периода $T=5000$ лет (максимальное расчетное землетрясение МРЗ).

По результатам УИС, то есть при переходе от карт ОСП к более крупномасштабным, мы получаем более взвешенные значения сейсмической опасности изучаемой территории.

Результаты расчетов УИС для средних грунтов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Уточненная исходная фоновая сейсмическая интенсивность площадки

Table 1 – Refined initial background seismic intensity of the site

Координаты площадки		Уточненная исходная нормативная сейсмическая интенсивность по картам ОСП-2015		
Широта	Долгота	А	В	С
57.67	120.0	8.0	8.3	9.1

На первом этапе используются модели зон ВОЗ для генерирования каталога землетрясений определенного периода повторяемости: $T=500$ лет, $T=1000$ лет, $T=5000$ лет.

Были сгенерированы землетрясения со следующими параметрами: магнитудой, площадью очага землетрясения, азимутом, (определяющим простирание очага землетрясения), углом между горизонтальной плоскостью и площадью очага, координаты и глубина гипоцентра.

Далее рассчитывается сейсмический эффект от каталога землетрясений в расчётной точке с использованием модели сейсмического эффекта (МСЭ) и рассчитывается величина балльности для периодов повторяемости: $T=500$ лет, $T=1000$ лет, $T=5000$ лет.

Представленные в таблице 2 расчётные параметры являются уточненной исходной сейсмической опасностью для участка изысканий.

Таблица 2 – Сводные результаты оценки, уточненной исходной сейсмической опасности в параметрах макросейсмической интенсивности, длительности колебаний (сек) и пиковые горизонтальных ускорений (g) для периодов повторяемости 500, 1000 и 5000 лет

Table 2 – Summary results of the assessment of the refined initial seismic hazard in the parameters of macroseismic intensity, duration of oscillations (sec) and peak horizontal accelerations (g) for recurrence periods of 500, 1000 and 5000 years

Периоды T , лет	Интенсивность, I балл	Длительность колебаний, сек	Пиковые ускорения, PGA , g
500	8.0	8.79	0.24
1000	8.3	11.32	0.30
5000	9.1	29.91	0.45

Вероятностная оценка параметров сейсмических воздействий: макросейсмической интенсивности (в баллах MSK-64), пиковых ускорений и спектров реакции для случая возникновения землетрясений максимальной возможной магнитуды M_{max} , на минимально возможном расстоянии R от исследуемой территории проектируемого строительства объектов, проведена с использованием метода деагрегации.

Основной задачей полученного распределения – прогноз развития возможного сценария возникновения землетрясений, значений магнитуды и эпицентрального расстояния до землетрясения. В качестве расчетного землетрясения возможного сценария сейсмических событий рекомендуется выбор модального (т.е. имеющего наибольшую вероятность) землетрясения, которое может произойти в исследуемом районе.

Магнитуда и эпицентральное расстояние расчетного землетрясения использовались как основные характеристики при расчете акселерограмм землетрясений аналогов.

Расчеты деагрегации сейсмической опасности выполнялись по программе EAST-2016. Назначение деагрегационного анализа сейсмической опасности – оценка процентного вклада в расчетное воздействие землетрясений с шагом по магнитуде и гипоцентральному расстоянию; процентный вклад в расчетное воздействие зон ВОЗ [2].

В результате деагрегационного анализа сейсмической опасности установлено, что основной вклад в расчетную интенсивность, для периода 500 лет, вносят землетрясения с магнитудой $M_{LH}=5.0\pm0.5$ и гипоцентральной расстоянием 10 ± 5 км; для периода 1000 лет, с магнитудой $M_{LH}=5.0\pm0.5$ и гипоцентральной расстояниями 10 ± 5 км; для периода 5000 лет, с магнитудой $M_{LH}=5.5.0\pm0.5$ и гипоцентральной расстоянием 10 ± 5 (рис. 4 – 6).

При выборе параметров, синтезированных акселерограмм использовались результаты деагрегационного анализа сейсмической опасности, для периода повторяемости 1000 лет.

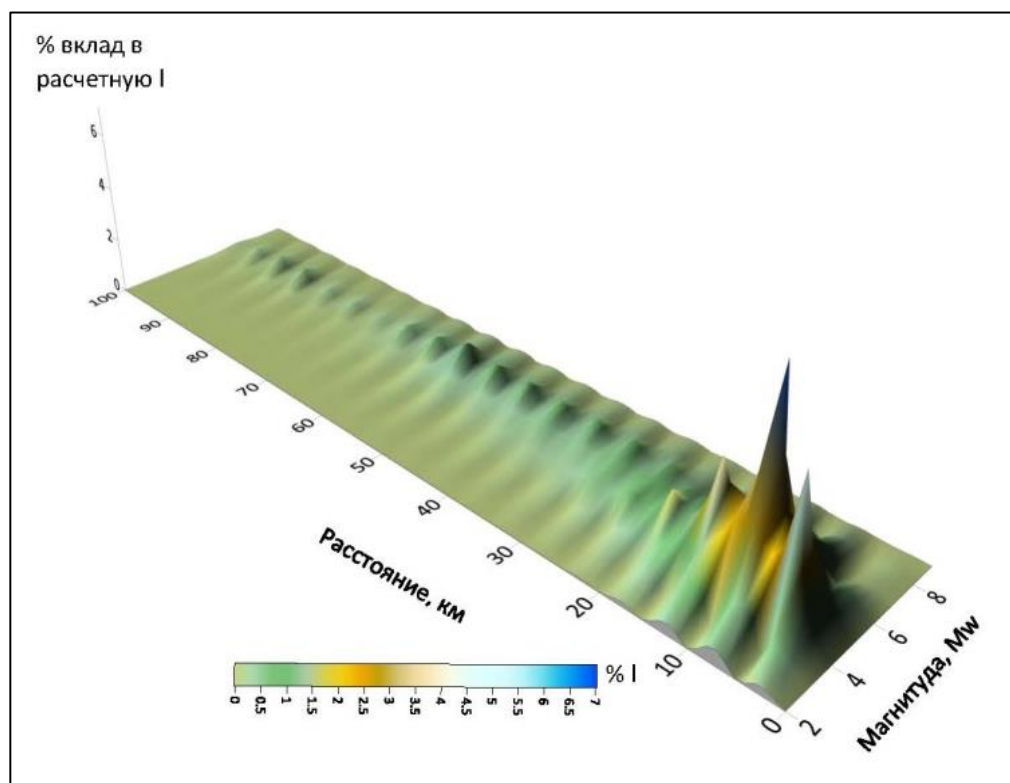


Рис. 4. Деагрегационный анализ сейсмической опасности для периода повторяемости 500 лет

Fig. 4. Segregational analysis of seismic hazard for a repeatability period of 500 years

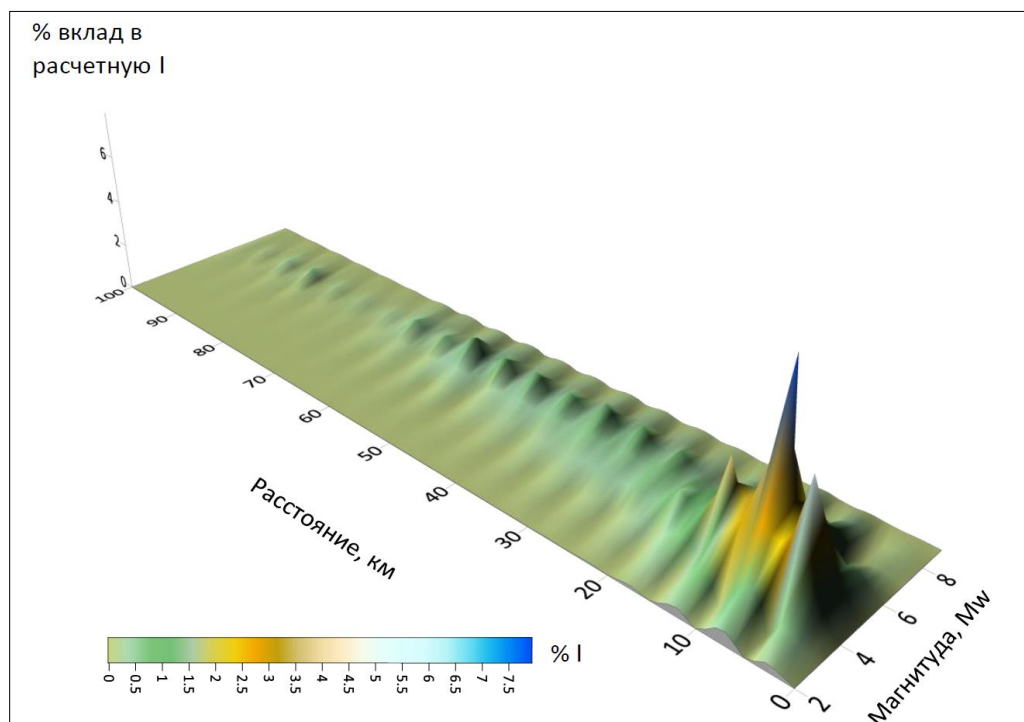


Рис. 5. Деагрегационный анализ сейсмической опасности для периода повторяемости 1000 лет

Fig. 5. Segregational analysis of seismic hazard for a repeatability period of 1000 years

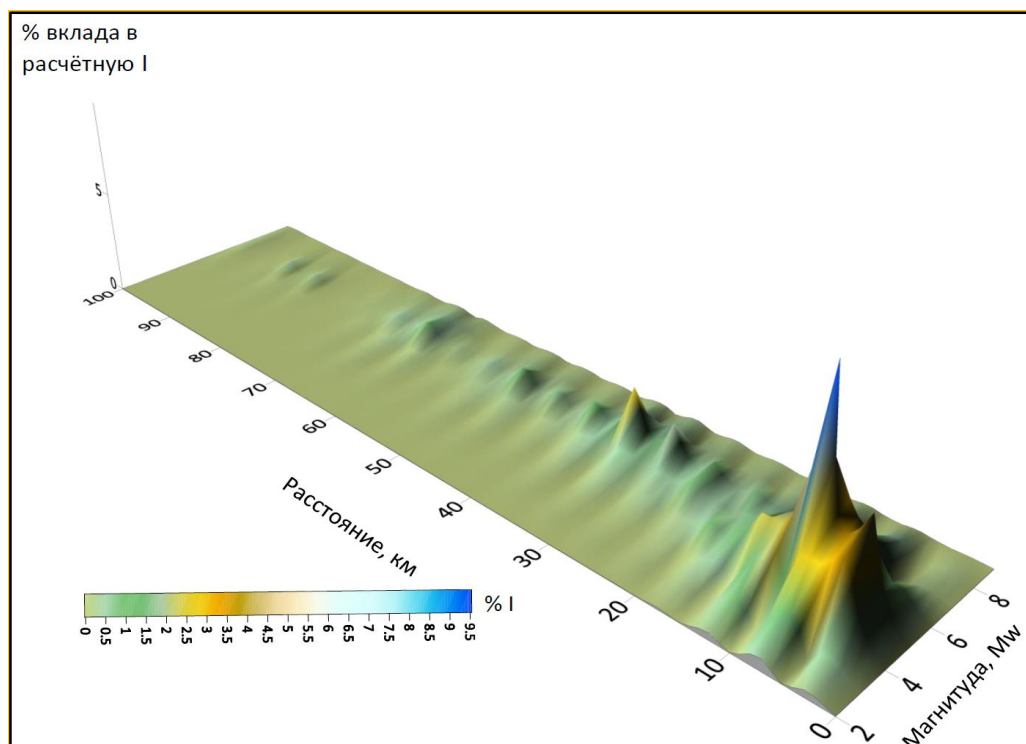
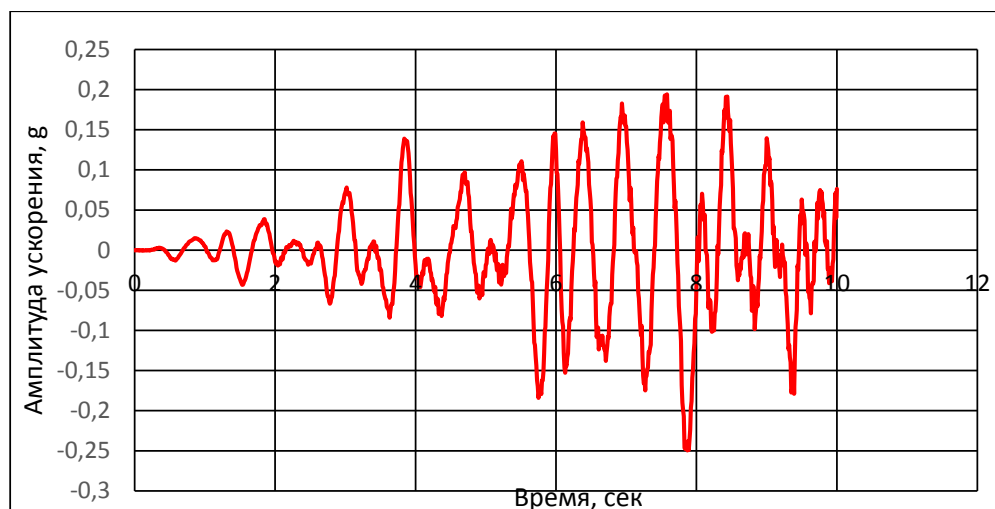


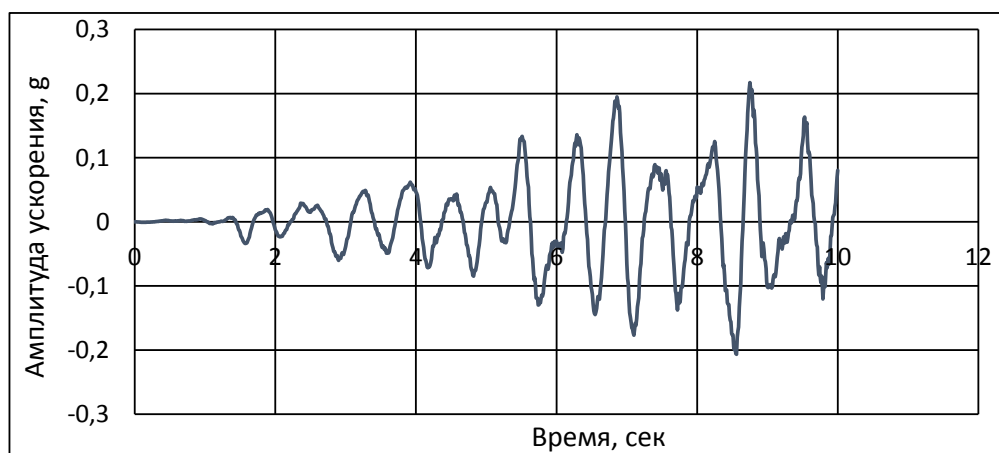
Рис. 6. Деагрегационный анализ сейсмической опасности для периода повторяемости 5000 лет

Fig. 6. Segregational analysis of seismic hazard for a repeatability period of 5000 years

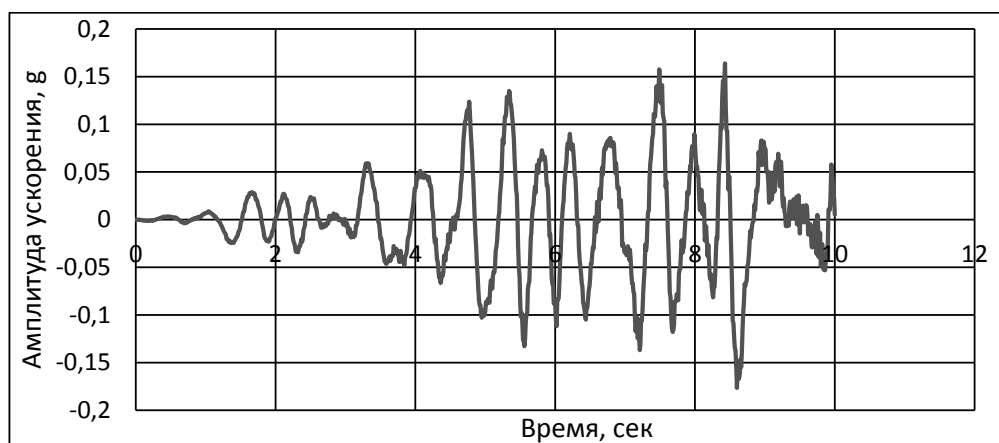
Набор синтезированных акселерограмм для прогнозируемой максимальной ожидаемой балльности сейсмического события 8,3 балла и средних грунтовых условий исследуемой территории был генерирован методами, основанными на «модели разлома» [12]. В результате расчётов были генерированы синтезированные акселерограммы – три составляющие (рис. 7, а-в). Максимальная амплитуда ускорения: горизонтальная компонента $X = -0,25g$, горизонтальная компонента $Y = 0,22g$, вертикальная компонента $Z = -0,18$. Синтезированные акселерограммы – аналоги, в дальнейшем используются для получения расчетных акселерограмм с учетом физико-механических и сейсмических свойств грунтов при сейсмическом микрорайонировании.



а



а



б

Рис. 7. Исходные акселерограммы для периода повторяемости 1000 лет
а – горизонтальная, X; б – горизонтальная, Y; в – вертикальная, Z

Fig. 7. Initial accelerograms for a repeatability period of 1000 years
a – horizontal, X; b – horizontal, Y; c – vertical, Z

Закключение

Таким образом, сейсмотектонический анализ позволил установить основные сейсмогенерирующие структуры в исследуемом регионе, способные продуцировать землетрясения с максимальными магнитудами 6,5-7. Применение методологии вероятностного анализа сейсмической опасности, реализованной в программе EAST-2016, позволило адекватно оценить уровень сейсмической опасности по периодам повторяемости 500, 1000 и 5000 лет соответственно, он составил: $I = 8$; $I = 8,3$ и $9,1$ балла по шкале MSK-64. В результате деагрегационного анализа сейсмической опасности установлено, что основной вклад в расчетную сейсмичность вносят землетрясения с магнитудой $M_{LH} = 5.0 \pm 0.5$ и гипоцентральной расстоянием 10 ± 5 км, для $T = 500$ и 1000 лет, для периода 5000 лет, с магнитудой $M_{LH} = 5.5.0 \pm 0.5$ и гипоцентральной расстоянием 10 ± 5 .

Полученные результаты будут являться основой в процессе проведения сейсмического микрорайонирования при реконструкции горно-обогатительного комбината «Гросс».

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 24-17-20031, <https://rscf.ru/project/24-17-20031> и Министерства образования и науки Хабаровского края (Соглашение № 124С/2024).

Литература

1. СП14.13330.2018*. Строительство в сейсмических районах. – М.: Стандартинформ, 2018. – 208 с. – Текст : непосредственный.
2. Уломов, В.И. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСП-97. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах / В.И. Уломов, Л.С. Шумилина : ОИФЗ, 1999–2000. Карта на 4-х листах (Главные редакторы В.Н. Страхов и В.И. Уломов). М.: ОИФЗ–РОСКАРТОГРАФИЯ. – 2000. – 57 стр. – Текст : непосредственный.
3. Соловьев, В.Н. Уточнение фоновой сейсмичности на участке изысканий «Сахалинская ГРЭС-2» (о. Сахалин) / В.Н. Соловьев, И.Н. Тихонов, А.И. Кожурин. – Текст : непосредственный // Вопросы инженерной сейсмологии. 2014. Т. 41. № 2. С. 60 – 76.
4. Kramer, S.L. Geotechnical earthquake engineering / Kramer, S.L. – Prentice Hall Inc., 1996. – 672 pp. Kramer, S.L. – Text : unmediated.
5. Gupta, I.D. Probabilistic seismic hazard analyses method for mapping of spectral amplitudes and other design-specific quantities to estimate the earthquake effects on manmade structures / I.D. Gupta – Text : unmediated // ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No. 480. 2007. V. 44. No. 1, March. p. 127–167.
6. McGuire, R.K. Seismic Hazard and Risk Analysis, Earthquake Engineering Research Institute Monograph MNO-10, 2004, 221 pp. – Text : unmediated
7. Гриб, Н.Н. Уточнение исходной сейсмичности района строительства горно-обогатительного комбината «Токинское» / Н.Н. Гриб, И.И. Колодезников, Г.В. Гриб // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 1 (139). – URL: <https://research-journal.org/archive/1-139-2024-january/10.23670/IRJ.2024.139.27> (дата обращения: 25.01.2024). – DOI: 10.23670/IRJ.2024.139.27
8. Имаева, Л.П. Эволюция сеймотектонических процессов восточного фланга Байкальской рифтовой зоны / Л.П. Имаева, В.И. Мельникова, В.С. Имаев [и др.] – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2012. – 202 с.
9. Уломов, В.И. О программно-математическом обеспечении построения карт вероятностного сейсмического районирования по методологии ОСП-97 / В.И. Уломов. – Текст: непосредственный // Геофизические исследования: сборник научных трудов Института физики Земли РАН. Выпуск 7. М.: Изд-во ИФЗ РАН, 2007. С. 29–52.
10. ПМОВОСТОК-2016 (EAST-2016) / [Электронный ресурс] – URL: <https://yadi.sk/d/XeEGf8jY8FswYQ>
11. Перетокин, С.А. Оценка исходной сейсмичности в задачах инженерно-сейсмологических исследований / С.А. Перетокин. – Текст : электронный // Материалы XVII Общероссийской научно-практической конференции и выставки «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации», г. Москва, 29 ноября – 2 декабря 2022 г. М.: ООО «Геомаркетинг». 2022. – 512 с. <https://doi.org/10.25296/978-5-6047951-5-6-2022-12-1-512>.
12. Руководства по ядерной и радиационной безопасности: “Определение исходных сейсмических колебаний грунта для проектных основ”. (РБ – 006 – 98). Нормативный документ. – М.: НТЦ ЯРБ 2000, 76с.

References

1. SP14.13330.2018*. Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonah. – M.: Standartinform, 2018. – 208 s. – Tekst : neposredstvennyj.
2. Ulomov, V.I. Komplekt kart obshhego sejsmicheskogo rajonirovaniya territorii Rossijskoj Federacii – OSR-97. Masshtab 1:8000000. Ob#jasnitel'naja zapiska i spisok gorodov i naselennykh punktov, raspolozhennykh v

sejsmoopasnyh rajonah / V.I. Ulomov, L.S. Shumilina : OIFZ, 1999–2000. Karta na 4-h listah (Glavnye redaktory V.N. Strahov i V.I. Ulomov). M.: OIFZ–ROSKARTOGRAFIJa. – 2000. – 57 str. – Tekst : neposredstvennyj.

3. Solov'ev, V.N. Utochnenie fonovoj sejsmichnosti na uchastke izyskanij «Sahalinskaja GRJeS-2» (o. Sahalin) / V.N. Solov'ev, I.N. Tihonov, A.I. Kozhurin. – Tekst : neposredstvennyj // Voprosy inzhenernoj sejsmologii. 2014. T. 41. № 2. S. 60 – 76.

4. Kramer, S.L. Geotechnical earthquake engineering / Kramer, S.L. – Prentice Hall Inc., 1996. – 672 rr. Kramer, S.L. – Text : unmediated.

5. Gupta, I.D. Probabilistic seismic hazard analyses method for mapping of spectral amplitudes and other designspecific quantities to estimate the earthquake effects on manmade structures / I.D. Gupta – Text : unmediated // ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No. 480. 2007. V. 44. No. 1, March. p. 127–167.

6. McGuire, R.K. Seismic Hazard and Risk Analysis, Earthquake Engineering Research Institute Monograph MNO-10, 2004, 221 pp. – Text : unmediated

7. Grib, N.N. Utochnenie ishodnoj sejsmichnosti rajona stroitel'stva gorno-obogatitel'nogo kombinata «Tokinskoe» / N.N. Grib, I.I. Kolodeznikov, G.V. Grib // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2024. – № 1 (139). – URL: <https://research-journal.org/archive/1-139-2024-january/10.23670/IRJ.2024.139.27> (data obrashhenija: 25.01.2024). – DOI: 10.23670/IRJ.2024.139.27

8. Imaeva, L.P. Jevoljucija sejsmotektonicheskikh processov vostochnogo flanga Bajkal'skoj riftovoj zony / L.P. Imaeva, V.I. Mel'nikova, V.S. Imaev [i dr.] – Irkutsk: Institut zemnoj kory SO RAN, 2012. – 202 s.

9. Ulomov, V.I. O programmno-matematicheskom obespechenii postroenija kart verojatnostnogo sejsmicheskogo rajonirovanija po metodologii OSR-97 / V.I. Ulomov. – Tekst: neposredstvennyj // Geofizicheskie issledovaniya: sbornik nauchnyh trudov Instituta fiziki Zemli RAN. Vypusk 7. M.: Izd-vo IFZ RAN, 2007. S. 29–52.

10. PMO VOSTOK-2016 (EAST-2016) / [Elektronnyj resurs] – URL: <https://yadi.sk/d/XeEGf8jY8FswYQ>

11. Peretokin, S.A. Ocenka ishodnoj sejsmichnosti v zadachah inzhenerno-sejsmologicheskikh issledovanij / S.A. Peretokin. – Tekst : jelektronnyj // Materialy XVII Obshherossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii i vystavki «Perspektivy razvitiya inzhenernyh izyskanij v stroitel'stve v Rossijskoj Federacii», g. Moskva, 29 nojabrja – 2 dekabrja 2022 g. M.: OOO «Geomarketing». 2022. – 512 s. <https://doi.org/10.25296/978-5-6047951-5-6-2022-12-1-512>.

12. Rukovodstva po jadernoj i radiacionnoj bezopasnosti: «Opredelenie ishodnyh sejsmicheskikh kolebanij grunta dlja proektnykh osnov». (RB – 006 – 98). Normativnyj dokument. – M.: NTC JaRB 2000, 76s.

Сведения об авторах

ГРИБ Николай Николаевич – д.т.н., профессор кафедры «Горное дело» Технического института (ф) СВФУ в г. Нерюнгри, в.н.с. Тихоокеанского государственного университета, e-mail: grib-n-n@yandex.ru

GRIB Nikolai – Doctor of Engineering. Neryungri Technical Institute (b) M.K. Ammosov NEFU, Mining Department Professor; Leading Researcher at Pacific National University, e-mail: grib-n-n@yandex.ru

ГРИБ Галина Владиславовна – к.г.-м.н., зав. лабораторией Технического института (ф) СВФУ в г. Нерюнгри, e-mail: n-grib@list.ru

GRIB Galina – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Neryungri Technical Institute (b) M.K. Ammosov NEFU, Laboratory Head, e-mail: n-grib@list.ru

КОЛОДЕЗНИКОВ Игорь Иннокентьевич – д.г.-м.н., профессор, советник Президента академии наук Республики Саха (Якутия), e-mail: i-i-kol@yandex.ru

KOLODEZNIKOV Igor – Doctor of Geological Mineralogical Sciences, Professor, Counselor to the President of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), e-mail: i-i-kol@yandex.ru

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 535.2; 538.3

DOI 10.25587/2587-8751-2024-3-29-37

ВОПРОСЫ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ АЛЬБЕДО ПОЧВЫ ПРИ ПОМОЩИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА

А.Дж. Алиева¹, М.Г. Ашрафов¹, Ю.Г. Данилов^{2}, А.А. Мельникова²*¹ Национальное Аэрокосмическое Агентство, г.Баку, Азербайджанская Республика² СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

*dan57sakha@mail.ru

Аннотация. Перераспределение солнечной радиации в географической оболочке играет важную климатообразующую роль. Отраженная земной поверхностью радиация (альбедо) является составляющей радиационного баланса Земли. Альбедо земной поверхности зависит, в первую очередь, от угла падения солнечных лучей, цвета подстилающей поверхности и ее неровности (шероховатости) относительно падающих лучей. Также оно зависит от степени зеркальности, так водная поверхность отражает почти зеркально падающие на нее лучи, практически вне зависимости от наличия на ней ряби или волн. В статье рассматривается зависимость альбедо, поверхности почвы не покрытой растительностью, от этих факторов. С учетом известной регрессионной зависимости альбедо земной поверхности почвы от индекса шероховатости или среднеквадратического отклонения высоты измеряемых точек на поверхности Земли сформулирована и решена задача достижения максимальной информативности проводимых измерений шероховатости земной поверхности и выявлена оптимальная зависимость зенитного угла Солнца от временной дискретности между двумя последовательными временными точками проведения измерений шероховатости. Исследовано влияние зенитного угла Солнца на проводимые альбедометрические измерения. На основе известного факта о том, что альбедо земной поверхности в диапазоне зенитного угла Солнца $\theta = 10^\circ - 60^\circ$ почти линейно растет в зависимости от него. Полученные таким образом значения зенитного угла Солнца названы наиболее информативными зенитными углами в смысле обеспечения максимальной информативности измерения земной поверхности, а соответствующие этим зенитным углам значения альбедо-оптимальными значениями альбедо при которых в интервале зенитного угла $10^\circ - 60^\circ$ могут быть проведены оптимальные (максимально информативные) измерения шероховатости.

Ключевые слова: альбедо земной поверхности, альбедометрия, шероховатость земной поверхности, широкополосное альбедо, альбедо почвы, летательный аппарат, зенитный угол, широкополосная аппаратура, информативность, оптимизация.

REMOTE MEASUREMENT OF SOIL ALBEDO ALONG AIRCRAFT FLIGHT PATHS

A.J. Alieva¹, M.G. Ashrafov¹, Yu.G. Danilov^{2}, A.A. Melnikov²*

¹ National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan

² M.K. Ammosov NEFU, Yakutsk, Russia

*dan57sakha@mail.ru

Abstract. The redistribution of solar radiation in the geographical envelope plays an important climate-forming role. The radiation reflected by the Earth's surface (albedo) is a component of the Earth's radiation balance. The albedo of the Earth's surface depends primarily on the angle of incidence of sunlight, the color of the underlying surface, and its roughness relative to the incident rays. It also depends on the degree of specularity, so the water surface reflects the rays falling on it almost mirror-like, almost regardless of the presence of ripples or waves on it. The article examines the dependence of albedo, the surface of the soil not covered with vegetation, on these factors. Taking into account the known regression dependence of the albedo of the earth's soil surface on the roughness index or the standard deviation of the height of the measured points on the Earth's surface, the problem of achieving maximum information content of the measurements of the roughness of the Earth's surface is formulated and solved, and the optimal dependence of the zenith angle of the Sun on the time interval between two consecutive time points of roughness measurements is revealed. The influence of the zenith angle of the Sun on the conducted albedometric measurements is investigated. Based on the well-known fact that the albedo of the Earth's surface in the range of the zenith angle of the Sun $\theta = 10^\circ - 60^\circ$ increases almost linearly depending on it. The values of the zenith angle of the Sun obtained in this way are called the most informative zenith angles in the sense of ensuring maximum informative measurement of the earth's surface, and the albedo values corresponding to these zenith angles are the optimal albedo values at which optimal (maximally informative) roughness measurements can be carried out in the zenith angle range of $10^\circ - 60^\circ$.

Keywords: albedo of the earth's surface, albedometry, roughness of the earth's surface, broadband albedo, soil albedo, aircraft, zenith angle, broadband equipment, informativeness, optimization.

Введение

Альbedo – это отраженная земной поверхностью радиация. Доля отраженного света определяется не только свойствами самой поверхности, но и спектральным и угловым распределением солнечного излучения, достигающего поверхности Земли. Эти факторы зависят от состава атмосферы, географического положения и времени [1].

Измерение альbedo земной поверхности регулярно производится с помощью спутниковых датчиков, таких как приборы HACA MODIS на борту спутников Terra и Aqua, а также прибором CERES на спутниках Suomi NPP и JPSS. Поскольку количество отраженного излучения измеряется спутником только в одном направлении, а не во всех направлениях, используется математическая модель для преобразования выборочного набора спутниковых измерений отражательной способности в оценки направленной полусферической отражательной способности и двунаправленной полусферической отражательной способности. Эти расчеты основаны на функции распределения двунаправленной отражательной способности (BRDF), которая описывает, как отражательная способность данной поверхности зависит от угла обзора наблюдателя и угла падения солнечных лучей. BRDF может облегчить перевод наблюдений за отражательной способностью в альbedo.

Альbedo – важное понятие в климатологии. Оно является составляющей радиационный, и соответственно тепловой, баланс Земли. Общеизвестно, что чем светлее поверхность, тем больше альbedo и наоборот. Темная поверхность активнее поглощает солнечную радиацию и быстрее нагревается, отдавая часть тепловой энергии окружению. Связь между альbedo Земли и изменением климата заключается в том, что с неизбежным таянием ледников в высоких широтах и в горах, уменьшением продолжительности залегания и площади снежного покрова,

количество солнечных лучей, возвращаемых в космическое пространство, уменьшается. Тающая часть меняет свой цвет со светлого на более темный, поэтому будет поглощено больше тепла, а температура Земли будет еще больше повышаться. В 2021 году ученые сообщили, что за последние два десятилетия (1998–2017) Земля потускнела примерно на 0,5 % по сравнению с 1998 годом, что было измерено с помощью современных фотометрических методов. Это могло быть вызвано как изменением климата, так и существенным увеличением глобального потепления. Однако связь с изменением климата до сих пор не изучена, и неясно, является ли это продолжающейся тенденцией или нет.

В общем случае, альbedo Земли определяется как отношение солнечного излучения в спектральном диапазоне 0,3 – 3 мкм попадающего на её поверхность к отраженной от Земли радиации во всех направлениях [2]. Согласно [3], следует различать узкополосное и широкополосное альbedo в зависимости от ширины используемого спектрального диапазона. Широкополосное альbedo земной поверхности зависит от таких показателей, как шероховатость, яркость и влажность почвы.

Альbedo не заросшей растительностью, голой почвы в основном зависит от влажности и шероховатости поверхностного слоя. С увеличением влажности спектральное отражение почвы уменьшается [4]. С увеличением шероховатости поверхности альbedo почвы уменьшается, так как происходит поглощение исходно отраженной радиации самой же почвой [5–7]. Широкополосное альbedo также зависит от зенитного угла Солнца. Согласно [8], при увеличении зенитного угла от 30° до 70° альbedo увеличивается от 0,16 до 0,19.

Целью данного исследования является определение оптимальных значений альbedo земной поверхности, при которых временные измерения шероховатости почвенной поверхности оказываются максимально информативными.

Исследования, проведенные в работах [8,9] показали, что зависимость между широкополосным альbedo земной поверхности (α) и зенитным углом Солнца (θ) имеет следующий вид

$$\alpha = \exp\left(\frac{a_1 + a_2\theta}{1 + a_3\theta + a_4\theta^2}\right) \quad (1)$$

где $a_i; i = \overline{1,5}$; – коэффициенты, зависящие от некоторых показателей почвы (цвет, шероховатость). Графики зависимости (1) для двух типов почвы показаны на рис. 1. Как видно из графиков на этом рисунке, с увеличением степени разрыхленности (кривые 5,6 относятся к более разрыхленным почвам, чем кривые 3,4; а кривые 1,2 – к менее разрыхленным почвам) альbedo земной поверхности уменьшается.

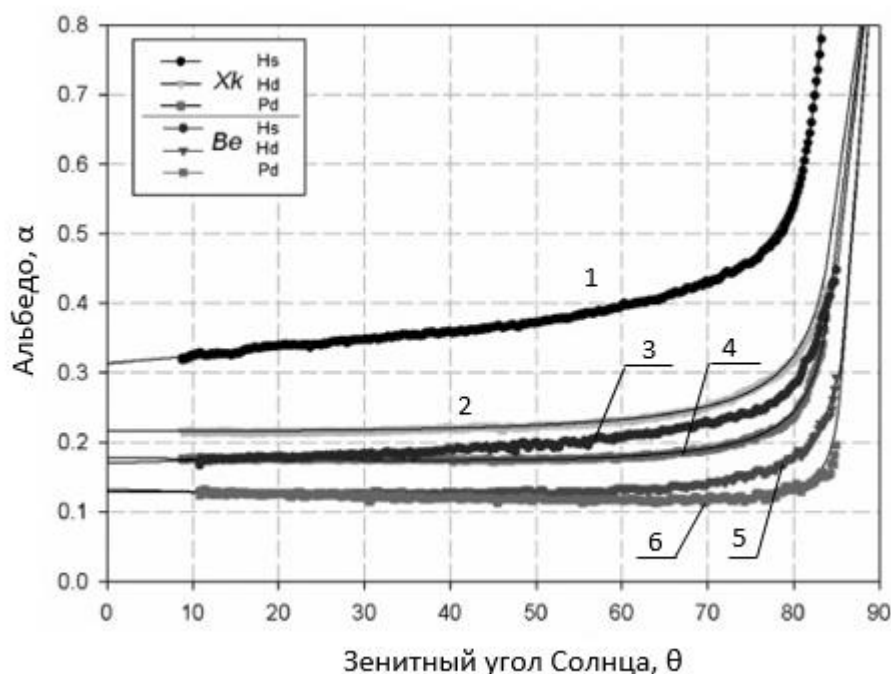


Рис. 1. Кривые зависимости (1) для почвы типа «Темный», «Eutric Cambisols» (обозначены цифрами 1,3,5) и светлый «Calcic Xerosols» (обозначены цифрами 2,4,6) при различных способах предобработки почвы методом разрыхления [9]

Fig. 1. Dependence curves (1) for soils of the type “Dark”, “Eutric Cambisols” (indicated by numbers 1,3,5) and light “Calcic Aerosols” (indicated by numbers 2,4,6) with various methods of soil pretreatment by loosening [9]

В работе [8] приведены результаты исследований зависимости альbedo Земли от таких показателей почвы как индекс шероховатости T_1 и среднеквадратическое отклонение высоты почвы T_2 , тип почвы.

В частности, получено следующее регрессионное уравнение зависимости α от T_1

$$\alpha = b_1 + b_2 T_1^{-b_3} \quad (2)$$

где b_1, b_2, b_3 – параметры, зависящие от θ и типа почвы

$$\alpha = d_1 + d_2 T_2^{-d_3} \quad (3)$$

где d_1 и d_2 – параметры, зависящие от θ и типа почвы.

Далее, в настоящей статье рассматривается сценарий измерений альbedo земной поверхности по курсу следования летательного аппарата т.е. по траектории полета в течение дневных часов.

Материалы и методы

Допустим, что летательный аппарат, оборудованный приемной широкополосной аппаратурой, осуществляет измерение альbedo в течение дневных часов, т.е. в течение времени $t = t_1 - t_2$, в течение которого альbedo земной поверхности изменяется почти по линейному закону. Это соответствует изменению Солнечного зенитного угла в диапазоне $10^\circ - 60^\circ$. Как видно из кривых, представленных на рис. 1, в указанном диапазоне зенитного угла резкого изменения альbedo не наблюдается. Указанное обстоятельство позволяет нам аппроксимировать регрессионную формулу (1) в диапазоне $\theta = 10^\circ - 60^\circ$ прямой линией в виде

$$\alpha = C_1 + C_2 \theta \quad (4)$$

В этом случае, с учетом выражений (2) и (4) получим

$$b_1 + b_2 T_1^{-b_3} = C_1 + C_2 \theta \quad (5)$$

Из выражения (5) находим

$$T_1^{-b_3} = \frac{C_1 + C_2 \theta - b_1}{b_2} \quad (6)$$

Из выражения (6) получаем

$$T_1 = \sqrt[b_3]{\frac{b_2}{C_1 + C_2 \theta - b_1}} \quad (7)$$

Таким образом, выявляется обратная нелинейная зависимость T_1 от θ в указанном диапазоне зенитного угла Солнца.

Аналогично вышеприведенному, выясним зависимость T_2 от θ . С учетом выражений (3) и (4) получается

$$d_1 + d_2 T_2^{-d_3} = C_1 + C_2 \theta \quad (8)$$

Из выражения по аналогии с (7) получим

$$T_2 = \sqrt[d_3]{\frac{d_2}{C_1 + C_2 \theta - d_1}} \quad (9)$$

Таким образом, в диапазоне зенитного угла Солнца $10^\circ - 60^\circ$ как индекс шероховатости T_1 , так и среднеквадратическое отклонение высоты деталей поверхности почв ослабевают по обратному нелинейному закону.

Рассмотрим вопрос об информативности бортовых измерений шероховатости в течение времени $\Delta t = t_1 - t_2$ где t_1 является временным моментом, когда $\theta = 10^\circ$; и t_2 является временным моментом, когда $\theta = 60^\circ$. Далее учитываем физическую аналогию показателей T_1 и T_2 .

Количество информации, полученной в результате бортовых измерений M_1 определим как

$$M_1 = \frac{t_1 - t_2}{\Delta t} \log_2 \left[\frac{U_{max}}{\sqrt[d_3]{\frac{d_2}{C_1 + C_2 \theta - d_1}}} \right] \quad (10)$$

где U_{max} – максимально возможный сигнал на выходе измерителя.

Выражение (10) перепишем как

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{t_1 - t_2}{\Delta t} \log_2 \frac{(C_1 + C_2 \theta - d_1)^{1/d_3} U_{max}}{d_2^{1/d_3}} \\ &= \frac{\left(\frac{t_1 - t_2}{\Delta t}\right) 1}{d_3} \log_2 \frac{C_1 + C_2 \theta - d_1}{d_2} + \frac{t_1 - t_2}{\Delta t} \log_2 U_{max} \end{aligned} \quad (11)$$

Проанализируем оптимальную зависимость между θ и Δt введя на рассмотрение функцию связи

$$\theta = \psi(\Delta t) \quad (12)$$

обозначим

$$\frac{t_1 - t_2}{\Delta t} \log_2 U_{max} = C_3; C_3 = const; t_1 - t_2 = -T_0 \quad (13)$$

С учетом выражений (11) и (12) составим целевой функционал F_1 , где

$$F_1 = \int_{\Delta t_{min}}^{\Delta t_{max}} \left[\frac{-T_0}{\Delta t} \log_2 \frac{C_1 + C_2 \psi(\Delta t) - d_1}{d_2} \right] d\Delta t \quad (14)$$

Для вычисления оптимальной функции $\psi(\Delta t)$, наложим на эту функцию следующее ограничительное условие

$$\int_{\Delta t_{min}}^{\Delta t_{max}} \psi(\Delta t) d\Delta t = C_4; C_4 = const \quad (15)$$

Некоторые возможные виды функции $\psi(\Delta t)$ показаны на рис. 2.

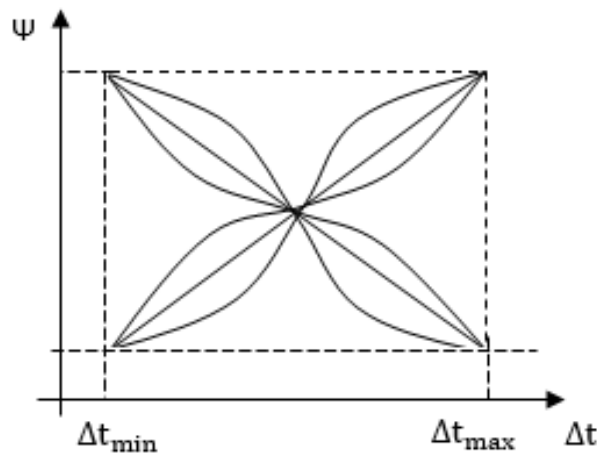


Рис. 2. Общий вид некоторых функций $\psi(\Delta t)$ удовлетворяющих условию (15)

Fig. 2. General view of some functions $\psi(\Delta t)$ satisfying condition (15)

С учетом выражений (14) и (15) составим целевой функционал безусловной вариационной оптимизации F_0

$$F_0 = \int_{\Delta t_{min}}^{\Delta t_{max}} \left[\frac{-T_0}{\Delta t} \log_2 \frac{C_1 + C_2 \psi(\Delta t) - d_1}{d_2} \right] d\Delta t + \lambda \left[\int_{\Delta t_{min}}^{\Delta t_{max}} \psi(\Delta t) d\Delta t - C_4 \right] \quad (16)$$

где $C_0 = C_1 - d_1$; λ – множитель Лагранжа.

Согласно (9) решение задачи (16) удовлетворяет условию

$$\frac{d \left\{ \frac{-T_0}{\Delta t} \log_2 \frac{C_0 + C_2 \psi(\Delta t)}{d_2} + \lambda \psi(\Delta t) \right\}}{d\psi(\Delta t)} = 0 \quad (17)$$

Из условия (17) получаем

$$\frac{-T_0}{\Delta t} \cdot \frac{\frac{C_2}{d_2}}{\left(\frac{C_0 + C_2 \psi(\Delta t)}{d_2} \right) \ln 2} + \lambda = 0 \quad (18)$$

или

$$\frac{C_2}{C_0 + C_2 \psi(\Delta t)} = \frac{\lambda \ln 2 \Delta t}{T_0} \quad (19)$$

Из выражения (19) находим

$$C_0 + C_2 \psi(\Delta t) = \frac{T_0 C_2}{\lambda \ln 2 \Delta t}$$

или

$$\psi(\Delta t)_{opt} = \frac{T_0}{\lambda \ln 2 (\Delta t)} - \frac{C_0}{C_2} \quad (20)$$

При решении (20) функционал (16) достигает максимума, т.к. производная (18) по $\Psi(\Delta t)$ всегда является отрицательной величиной.

С учетом выражений (4), (12) и (20) напомним

$$\alpha_{opt} = C_1 + C_2 \left[\frac{T_0}{\lambda \ln 2 (\Delta t)} - \frac{C_0}{2} \right] \quad (21)$$

При этом, $\Psi(\Delta t)$ можно назвать максимально информативными значениями θ при выбранных Δt , при которых функционал информативности измерений шероховатости достиг бы максимума. Показатель α_{opt} определяемый выражением (21) определяет оптимальные значения альбедо, которые соответствуют тем значениям зенитного угла Солнца $\theta = \Psi(\Delta t)_{opt}$ при которых проводимые измерения шероховатости максимально информативны в диапазоне $\theta = 10^\circ - 60^\circ$.

Обсуждение

Исследования, проводимые на основе известного факта о том, что альбедо земной поверхности в диапазоне зенитного угла Солнца $\theta = 10^\circ - 60^\circ$ почти линейно растет от θ . Наши многочисленные измерения альбедо в течение дневных часов подтверждают, что альбедо земной поверхности изменяется почти по линейному закону. Также изучено влияние зенитного угла Солнца на проводимые альбедометрические измерения. Использован известный факт регрессионной зависимости альбедо поверхности почвы от индекса шероховатости или среднеквадратического отклонения высоты измеряемых точек на поверхности Земли. С учетом вышесказанных положений сформулирована и решена задача достижения максимальной информативности проводимых измерений шероховатости земной поверхности и выявлена оптимальная зависимость зенитного угла Солнца от временной дискреты между двумя последовательными временными точками проведения измерений шероховатости. Полученные таким образом значения зенитно-

го угла Солнца названы наиболее информативными зенитными углами в смысле обеспечения максимальной информативности измерения альбедо земной поверхности, а соответствующие этим зенитным углам значения альбедо – оптимальными значениями альбедо, при которых в интервале зенитного угла $10^\circ - 60^\circ$ могут быть проведены оптимальные (максимально информативные) измерения шероховатости.

Заключение

1. Сформулирована и решена задача оптимизации альбедометрических измерений, учитывающая известные положения о том, что (а) альбедо земной поверхности почвы в диапазоне зенитного угла Солнца $\theta = 10^\circ - 60^\circ$ линейно зависит от θ (b) существует степенная регрессионная зависимость между альбедо и шероховатостью земной поверхности.

2. Сформулирована и решена задача выявления оптимального соотношения (функциональной связи) между зенитным углом Солнца θ и временной дискретой проведения последовательных во времени измерений шероховатости земной поверхности, при котором достигается максимальная информативность таких измерений.

3. Определены оптимальные значения альбедо земной почвенной поверхности, при которых временные измерения шероховатости почвенной поверхности оказываются максимально информативными.

Литература

1. Мустель, Э.Р. «Солнце и атмосфера Земли» / Э.Р. Мустель. – Москва : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 2007. – 103 с. – Текст : непосредственный.
2. Schaepman-Strub, G. Reflectance quantities in optical remote sensing – definitions and case studies / G. Schaepman-Strub, M. E. Schaepman, T. H. Painter, S. Dangel, J. V. Martonchik. – Text : unmediated // Remote Sensing of Environment. – 2006. – vol. 45. – pp. 15 – 27.
3. Martonchik, J.V. A review of reflectance nomenclature used in remote sensing / J.V. Martonchik, C.J. Brugge, A. Strahler. – Text : unmediated // Remote Sensing of Environment. – 2000. – vol. 19. – pp. 9 – 20.
4. Baumgardner, M.F. Reflectance properties of soils / M.F. Baumgardner, L.F. Silva, L.L. Biehl, E.R. Stoner. – Text : unmediated // Adv. Agron. – 1985. – vol. 38. – pp. 1 – 44.
5. Михайлова, Н.А. Оптические свойства почв и почвенных компонентов / Н.А. Михайлова, Д.С. Орлов. – Текст : непосредственный. – Москва : Наука, 1986, С. 35 – 38.
6. Mikhajlova, N.A. Opticheskie svoystva pochv i pochvennykh komponentov / N.A. Mikhajlova, and D.S. Orlov. – Text : unmediated. Moskva : Nauka, 1986, pp. 35 – 38.
7. Cierniewski, J. Geometrical modelling of soil bi-directional reflectance in the optical domain. Poznań: Bogucki Scientific Publ., 1999.
8. Обухов, А.И. Спектральная отражательная способность главнейших типов почв и возможность использования диффузного отражения при почвенных исследованиях / А.И. Обухов, Д. С. Орлов. – Текст : непосредственный // Почвовед. – 1964. – № 28. – С. 83 – 94.
9. Cierniewski, J. Effects of soil surface irregularities on the Diurnal variation of soil broadband blue-sky albedo / J. Cierniewski, A. Karnieli, C. Kazmierowski [Et al]. – Text : unmediated // IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing – 2015. – Vol. 8. No. 2. – PP. 493-502
10. Cierniewski, J. Predicting the diurnal blue-sky albedo of soils using their laboratory reflectance spectra and roughness indices / J. Cierniewski, J. Ceglarek, A. Karnieli, S. Krolewicz, C. Kazmierowski, B. Zagajewski. – Text : unmediated // Journal of quantitative spectroscopy & radiative transfer. 200. – 2017. PP. 25 – 31.
11. Эльсгольц, Л.Е. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление / Л.Е.Эльсгольц. – Москва : Наука, 2000. – 424 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Mustel', Je.R. «Solnce i atmosfera Zemli» / Je.R. Mustel'. – Moskva : Gosudarstvennoe izdatel'stvo tekhniko-teoreticheskoy literatury, 2007. – 103 s. – Tekst : neposredstvennyj.
2. Schaepman-Strub, G. Reflectance quantities in optical remote sensing – definitions and case studies / G. Schaepman-Strub, M. E. Schaepman, T. H. Painter, S. Dangel, J. V. Martonchik. – Text : unmediated // Remote Sensing of Environment. – 2006. – vol. 45. – pp. 15 – 27.
3. Martonchik, J.V. A review of reflectance nomenclature used in remote sensing / J.V. Martonchik, C.J. Brugge, A. Strahler. – Text : unmediated // Remote Sensing of Environment. – 2000. – vol. 19. – pp. 9 – 20.
4. Baumgardner, M.F. Reflectance properties of soils / M.F. Baumgardner, L.F. Silva, L.L. Biehl, E.R. Stoner. – Text : unmediated // Adv. Agron. – 1985. – vol. 38. – pp. 1 – 44.
5. Mihajlova, N.A. Opticheskie svojstva pochv i pochvennykh komponentov / N. A. Mihajlova, D. S. Orlov. – Tekst : neposredstvennyj. – Moskva : Nauka, 1986, S. 35 – 38.
6. Mikhajlova, N.A. Opticheskie svojstva pochv i pochvennykh komponentov / N. A. Mikhajlova, and D. S. Orlov. – Text : unmediated. Moskva : Nauka, 1986, pp. 35 – 38.
7. Cierniewski, J. Geometrical modelling of soil bi-directional reflectance in the optical domain. Poznań: Bogucki Scientific Publ., 1999.
8. Obuhov, A.I. Spektral'naja otrazhatel'naja sposobnost' glavnejshih tipov pochv i vozmozhnost' ispol'zovaniya diffuznogo otrazheniya pri pochvennykh issledovaniyakh / A.I. Obuhov, D. S. Orlov. – Tekst : neposredstvennyj // Pochvoved. – 1964. – № 28. – S. 83 – 94.
9. Cierniewski, J. Effects of soil surface irregularities on the Diurnal variation of soil broadband blue-sky albedo / J. Cierniewski, A. Karnieli, C. Kazmierowski [Et al]. – Text : unmediated // IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing – 2015. – Vol. 8. No. 2. – PP. 493-502
10. Cierniewski, J. Predicting the diurnal blue-sky albedo of soils using their laboratory reflectance spectra and roughness indices / J. Cierniewski, J. Ceglarek, A. Karnieli, S. Krolewicz, C. Kazmierowski, B. Zagajewski. – Text : unmediated // Journal of quantitative spectroscopy & radiative transfer. 200. – 2017. PP. 25 – 31.
11. Jel'sgol's, L.E. Differencial'nye uravneniya i variacionnoe ischislenie / L.E.Jel'sgol's. – Moskva : Nauka, 2000. – 424 s. – Tekst : neposredstvennyj.

Сведения об авторах

АЛИЕВА Амида Джабраиль гызы – к.т.н., гл. спец. отдела докторантуры, ученый секретарь диссертационного совета Национального Аэрокосмического Агентства, e-mail: amidec.b@gmail.com

ALIYEVA Amida Jabrail gizi – Candidat of Technical Sciences, Chief Specialist of the Doctoral Studies Department, Scientific Secretary of the Dissertation Council, National Aerospace Agency, e-mail: amidec.b@gmail.com

АШРАФОВ Мурад Горхмаз оглы – докторант Национального Аэрокосмического Агентства, e-mail: esrefov995544@gmail.com

ASHRAFOV Murad Gorkhmaz oglu – Doctoral student at the National Aerospace Agency, e-mail: esrefov995544@gmail.com

ДАНИЛОВ Юрий Георгиевич – к.г.н., доцент, профессор эколого-географического отделения ИЕН СВФУ, e-mail: dan57sakha@mail.ru

DANILOV Yuri G. – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Professor of the Ecological and Geographical Department of the Institute of Natural Sciences M.K. Ammosov NEFU, e-mail: dan57sakha@mail.ru

МЕЛЬНИКОВА Алиса Александровна – аспирант 2 года обучения эколого-географического отделения ИЕН СВФУ, e-mail: degalisa@yandex.ru

MELNIKOVA Alisa A. – 2-year postgraduate student of the Ecological and Geographical Department of the Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov NEFU, e-mail: degalisa@yandex.ru

ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА NDVI РАСТИТЕЛЬНОСТИ БАШКИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Е.А. Богдан^{1,2}, Л.Н. Белан^{1,2}, А.Ю. Витценко¹, И.О. Туктарова¹, Р.Д. Шагалиев¹*

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

²Уфимский университет науки и технологии, г. Уфа, Россия

*eavolkova@bk.ru

Аннотация. Изменение климата влияет на особенности продуктивности растительности. Для севера России и запада Сибири отмечено увеличение продуктивности и показателя NDVI в связи с увеличением значения средней аобратный эффект: увеличение температуры воздуха приводит к снижению значений NDVI. Башкирский государственный природный заповедник (БГПЗ) находится в переходной зоне и представляет собой фоновую территорию, лишённую антропогенного воздействия. Для получения цельной картины по всей территории заповедника использованы методы анализа данных дистанционного зондирования Земли. Используя данные сенсора MODIS, скорректированные по данным метеостанции Уфа-Дёма построены карты распределения ночных и дневных температур воздуха. Также определены средние значения NDVI. Выявлено значимое влияние дневных температур на показатель NDVI: $r = 0,87$, $R^2 = 0,75$.

Для оценки территориального распределения взаимосвязей температуры воздуха и NDVI в программе SAGA GIS с использованием инструмента Regression: Multiply Regression Analysis (Grid and Predictor Grids) построена карта пространственного распределения коэффициента детерминации (R^2) для территории БГПЗ.

Анализ территориального распределения влияния температуры воздуха на NDVI за период 2019-2023 гг. показал, что наибольшие корреляционные связи демонстрируют древостои хребта Урмантау ($R^2 = 0,82$), в то время как остепенённые участки хребта Южный Крак показывают более слабые связи с температурой воздуха ($R^2 = 0,62$). Таким образом, наблюдается большая устойчивость степных сообществ БГПЗ к повышению температур воздуха, нежели сосново-берёзовых древостоев. Растительность БГПЗ демонстрирует переходное состояние между условиями Казахстана и более северными территориями России, при котором растительность лесов заповедника находится в большем угнетении от повышения температур, чем растительность степей.

Ключевые слова: изменение климата, геоинформационная система, дистанционное зондирование Земли, природный заповедник, среднегодовые температуры, дневные температуры, ночные температуры, среднесуточные температуры, NDVI.

REMOTE ASSESSMENT OF THE TEMPERATURE REGIME IMPACT ON THE VEGETATION NDVI AT THE BASHKIR STATE NATURE RESERVE

E.A. Bogdan^{1,2}, L.N. Belan^{1,2}, A.Y. Vitsenko¹, I.O. Tuktarov¹, R.D. Shagaliyev¹*

¹Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

²Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

*eavolkova@bk.ru

Abstract. Climate change affects the characteristics of vegetation productivity. For the north of Russia and west Siberia, an increase in productivity and NDVI index was noted due to an increase in temperature. For Kazakhstan and southeast Russia, the opposite effect is observed: an increase in temperature leads to a decrease in the NDVI value. The Bashkir State Nature Reserve (BSNR) is located in the transition zone and is a background area devoid of anthropogenic impact. To obtain a complete picture of the entire for territory of the reserve, methods of analyzing Earth remote sensing data were used. Using data from the MODIS sensor, adjusted according to data from the Ufa weather

station, maps of the distribution of night and daytime temperatures were built. The average NDVI values were also determined. A significant influence of daytime temperatures on the NDVI index was revealed: $r = 0.87$, $R^2 = 0.75$.

To assess the territorial distribution of temperature and NDVI relationships in the SAGA GIS program using the Regression: Multiply Regression Analysis (Grid and Predictor Grids) tool, a map of the spatial distribution of the coefficient of determination (R^2) for the territory of the BPPZ was built.

An analysis of the territorial distribution of the temperature effect on NDVI showed that the stands of the Urmantau ridge demonstrate the greatest correlations ($R^2 = 0.82$), while the settled sections of the Southern Kraka ridge show weaker links with temperature ($R^2 = 0.62$). Thus, there is a greater resistance of the steppe communities of the BSNR to temperature increases than pine-birch stands. Thus, the vegetation of the BSNR demonstrates a transitional state between the conditions of Kazakhstan and the more northern territories of Russia, in which the vegetation of forests of the reserve is more oppressed by rising temperatures than the vegetation of the steppes.

Keywords: climate change, geoinformation system, remote sensing of the Earth, nature reserve, daytime temperatures, night temperatures, average daily temperatures, NDVI.

Введение

Многочисленные исследования показывают связь температуры воздуха и продуктивности растительности. За последние 30 лет изменения температуры воздуха и атмосферных осадков способствуют увеличению продуктивности растительности примерно на 88 % территории России [1]. Отмечается интенсивная экспансия лесной растительности в XX веке, которая обусловлена повышением температуры воздуха в летний и зимний периоды, и как следствие, увеличение сроков вегетации. В частности, для зоны тундры отмечен рост средних температур воздуха мая в 1883-1920 гг. – на 2,4 °C, в 1920-2004 гг. – на 1,1 °C [2]. С 60-х годов прошлого столетия граница прямостоячих кустарничков на Ямале продвинулась на север на 19,5 % [3]. Сказывается изменение температур и на показателях вегетационной активности растительности, оцениваемой в значениях вегетационных индексов. Для Западной Сибири значение нормализованного дифференцированного вегетационного индекса (Normalized difference vegetation index – NDVI) в мае в зоне тайги формируется под воздействием температур апреля–мая, а в июне в зоне тундры – под воздействием температур июня, однако, в последние годы в связи с потеплением вклад температур воздуха мая в формирование растительного покрова тундры увеличивается. Значимые коэффициенты корреляции NDVI с осредненной температурой воздуха апреля–мая и мая–июня характерны практически для всей территории региона [4, 5]. Для Южного Урала отмечено, что температура и осадки оказывают значимое влияние на лесные растительные сообщества [6].

Так же обратная связь растительности и температурного режима подтверждается многими исследованиями, результаты которых бывают весьма тревожны. Так для Западных областей Северной Кореи сохранение нынешних темпов обезлесения приведет к повышению летней температуры воздуха на 0,5 °C к концу этого столетия [7].

Вместе с тем, уровень антропогенного воздействия растет во всем мире, и это приводит к дополнительному тепловому загрязнению. В этой связи актуально исследование на фоновой территории, не подвергающейся длительному антропогенному воздействию. В Республике Башкортостан такой территорией является Башкирский государственный природный заповедник.

Башкирский заповедник образован 3 сентября 1929 г. Это второй по времени организации заповедник на Южном Урале. Западная часть заповедника относится к массиву Южного Крака (рис. 1). Меридиональным участком р. Южный Узян Южный Крака отделяется от хребта Уралтау, составляющего восточную половину территории заповедника. В заповедник входит западный склон Уралтау, восточный – частично [8].

В низкорослые Южного Крака преобладают широколиственно-злаковые сосняки с примесью лиственницы, а также вторичные березовые леса. Леса Южного Крака соседствуют со степным редколесьем и горными степями. Редко встречаются осинники. На Уралтау сосняков меньше, здесь преобладают березовые и осиновые леса [9, 10].

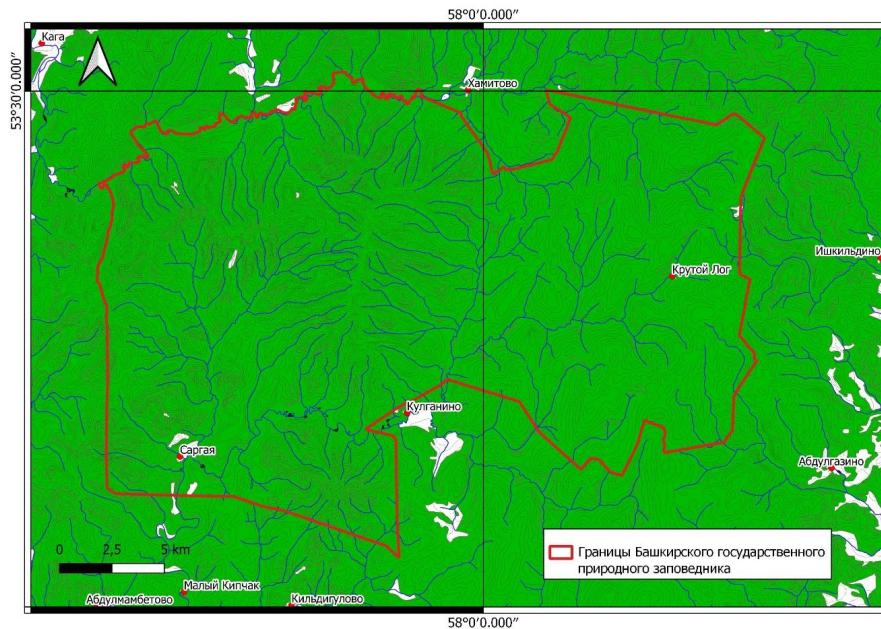


Рис. 1. Местоположение Башкирского государственного природного заповедника

Fig. 1. Location of the Bashkir State Nature Reserve

Материалы и методы исследования

Анализ современных опубликованных статей по дистанционной оценке температуры поверхности показал, что самыми популярными продуктами для определения распределения и динамики температур поверхности являются Landsat и MODIS [11, 12]. Главное отличие их заключается в особенностях пространственного и временного разрешения. Регулярность съемки MODIS позволяет получать снимки каждые 2 дня, в то время как Landsat проводит съемку только 1 раз в 16 дней [13]. Однако пространственное разрешение для температурных каналов MODIS составляет 1000 м на пиксель, в то время как для Landsat – 100 м на пиксель.

Вторым важным вопросом является коррекция данных, полученных со снимка. Во-первых, необходимо перевести данные об отражательной способности в температурном диапазоне в градусы °C. Обычно для этого применяются метаданные к соответствующим изображениям, и используется коэффициент излучения земной поверхности [14]. Во-вторых, необходимо перевести полученные значения яркостной температуры в значение термодинамической температуры. В ряде исследований для такой корректировки применяется NDVI [15], в других работах, как и в нашем случае, проводится подтверждение наземными данными, чаще всего данными метеостанций, а следовательно, значениями температур воздуха [16, 17]. При этом наблюдается достаточно высокая корреляция. Так, в работе Li и др. (2021) для территории провинции Гансу (Китай) коэффициент детерминации (R^2) для данных Landsat и данных метеорологических станций составил 0,95 [17].

В связи с высоким временным разрешением нами были использованы данные сенсора MODIS. На сайте геологической службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) уже выложены обработанные данные съемки с исключением облаков, проведенной атмосферной коррекцией и пересчитанными температурами в К. Далее мы отобрали безоблачные изображения для периода 2019-2023 гг. и соотнесли их с данными метеостанции. Съемка производится днем в период с 10 до 12 часов, вечером с 20 до 23 часов местного времени. Для этих промежутков были отобраны данные метеостанции Уфа-Дёма, поскольку для данной метеостанции есть открытые данные. Всего для анализа было отобрано более 100 изображений дневной и ночной съемки.

Как видно на рис. 2 и 3, данные метеостанции и сенсора демонстрируют значимую связь, коэффициент корреляции Пирсона для дневных температур равен 0,91, для ночных – 0,95. Большая корреляция ночных температур, по-видимому, объясняется наличием меньшего шума, вызванного другими видами электромагнитного излучения.

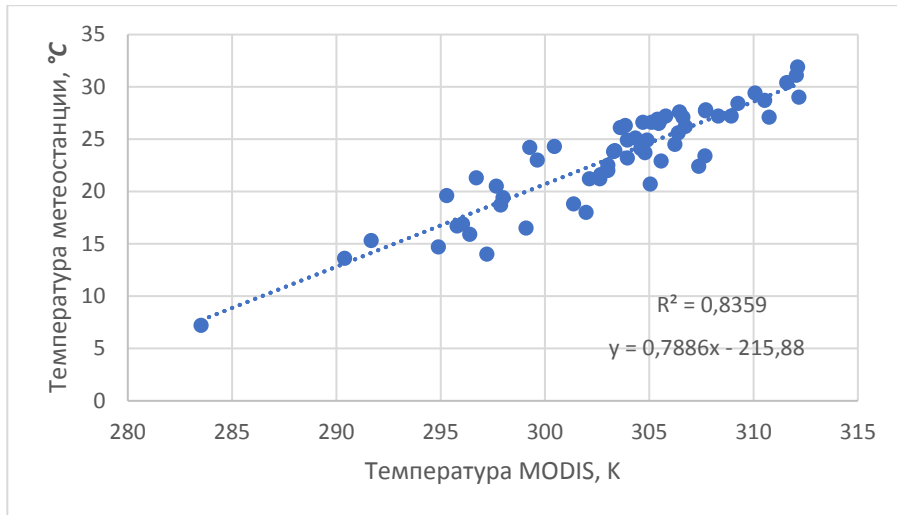


Рис. 2. Корреляционные связи между дневной температурой воздуха по данным метеостанции Уфа-Дёма и данным сенсора MODIS

Fig. 2. Correlations between daytime air temperature according to data from the Ufa-Dem weather station and data from the MODIS sensor

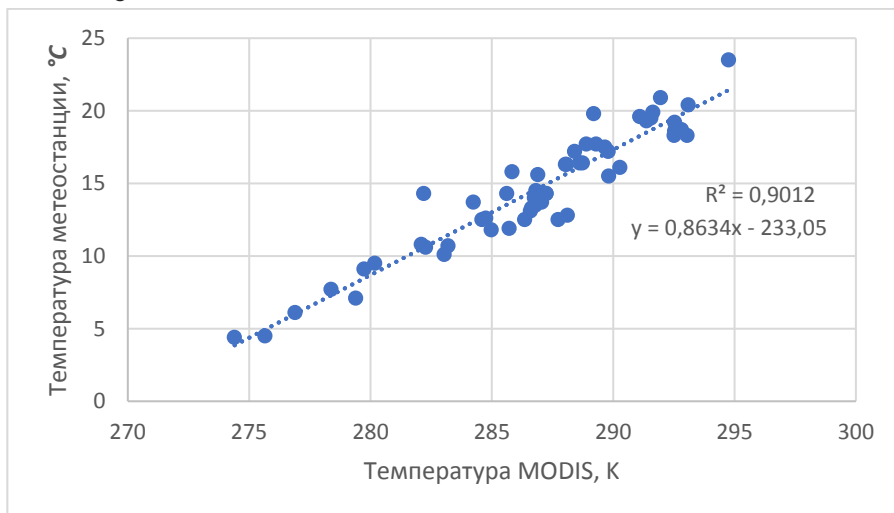


Рис. 3. Корреляционные связи между ночной температурой воздуха по данным метеостанции Уфа-Дёма и данным сенсора MODIS

Fig. 3. Correlations between night air temperature according to data from the Ufa-Dem weather station and data from the MODIS sensor

Далее, имея полученные регрессионные модели, с помощью калькулятора растров в программе QGIS-3.34 были построены изображения градиентов распределения дневных (рис. 4), ночных (рис. 5) и среднесуточных температур (рис. 6) на территории БГПЗ.

Для построения распределения среднесезонного значения температуры поверхности были использованы обработанные изображения MODIS MYD13A3 с пространственным разрешени-

ем в 1000 м. Были отобраны 27 изображений с 2019 по 2023 год (с мая по сентябрь). Далее была проведена корректировка изображений по данным метеостанции Уфа-Дёма.

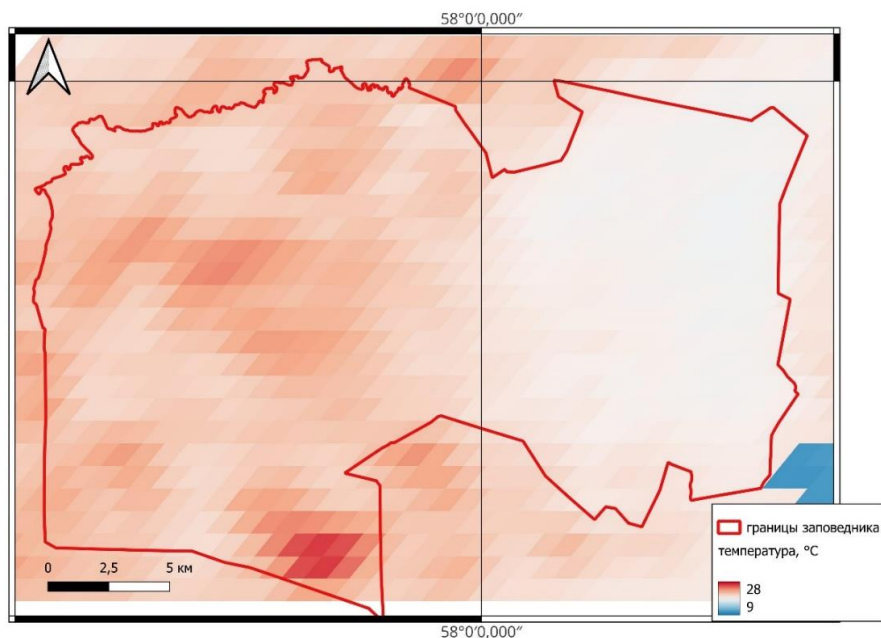


Рис. 4. Средняя дневная температура теплого периода на территории Башкирского государственного природного заповедника

Fig. 4. Average daytime temperature of the warm period on the territory of the Bashkir State Nature Reserve

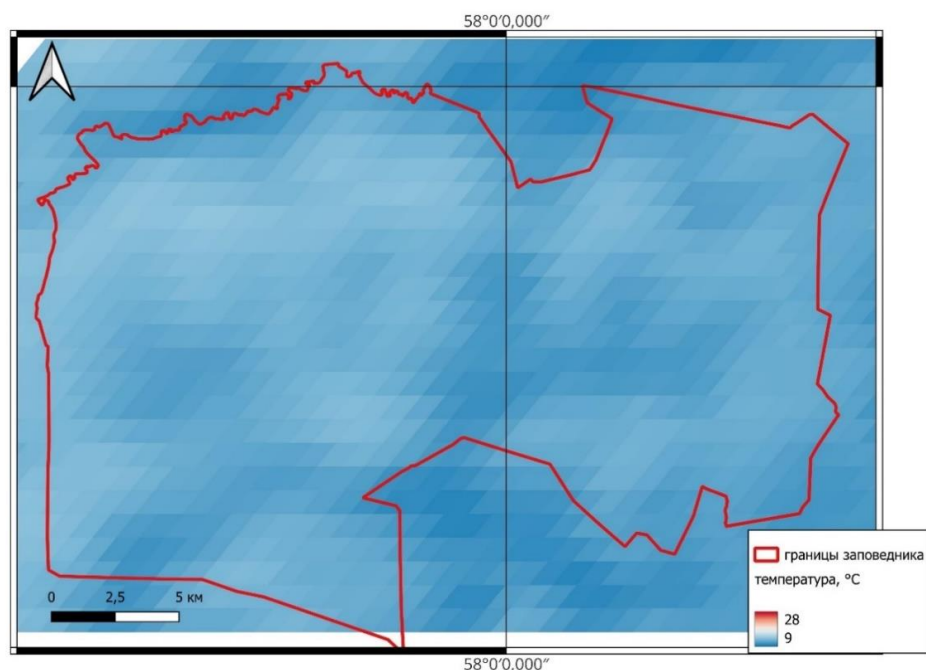


Рис. 5. Средняя ночная температура теплого периода на территории Башкирского государственного природного заповедника

Fig. 5. The average night temperature of the warm period on the territory of the Bashkir State Nature Reserve

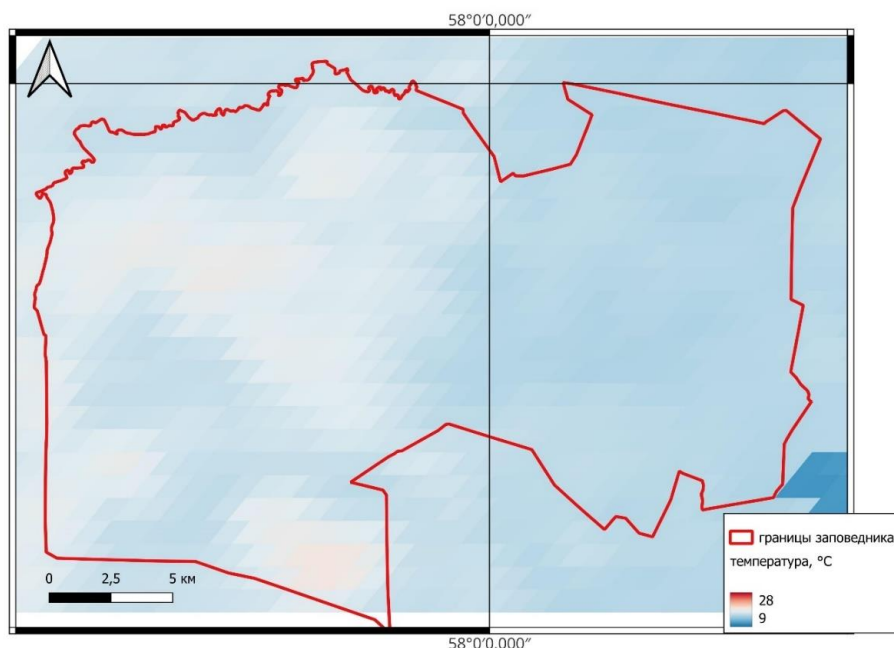


Рис. 6. Средняя суточная температура теплого периода на территории Башкирского государственного природного заповедника

Fig. 6. Average daily temperature of the warm period on the territory of the Bashkir State Nature Reserve

Вместе с тем, температурный режим по-разному влияет на разные типы растительности. NDVI зависит как от температуры, так и от условий увлажнения и рельефа. Для выявления наиболее зависимых от температуры воздуха участков древостоя были проанализированы изображения со значениями NDVI и температурой воздуха. В программе SAGA GIS с помощью инструмента Scatterplot построенные графики линейной зависимости (рис. 7-9).

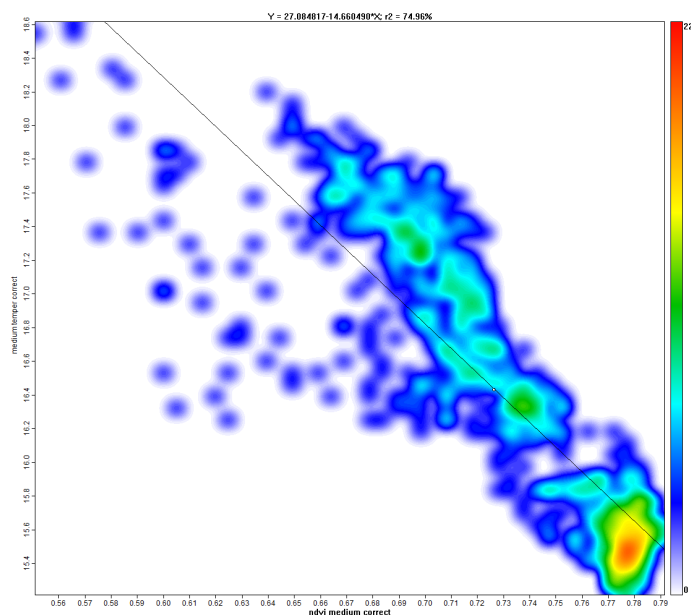


Рис. 7. Связь средней суточной температуры воздуха и NDVI

Fig. 7. The relationship between the average daily air temperature and NDVI

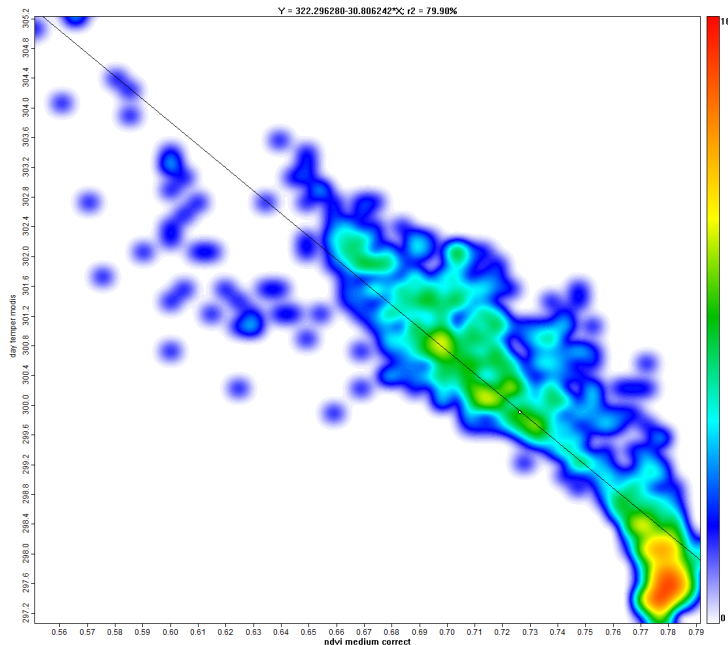


Рис. 8. Связь средней дневной температуры воздуха и NDVI

Fig. 8. The relationship between the average daytime air temperature and NDVI

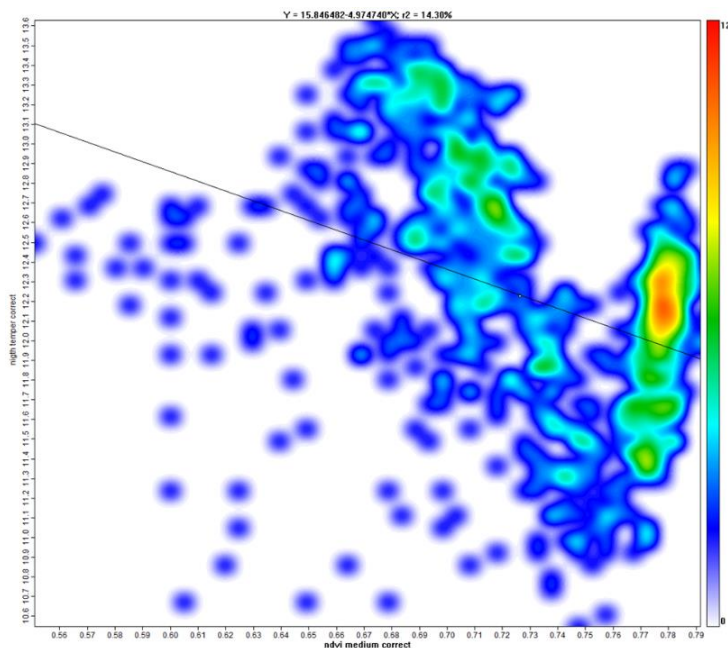


Рис. 9. Связь средней ночной температуры воздуха и NDVI

Fig. 9. The relationship between the average night air temperature and NDVI

Далее была построена карта пространственного распределения коэффициента детерминации (R^2), отображающего связь температуры воздуха и NDVI на территории БГПЗ (рис. 10). Для этого использовался инструмент Regression: Multiply Regression Analysis (Grid and Predictor Grids) программы SAGA GIS.

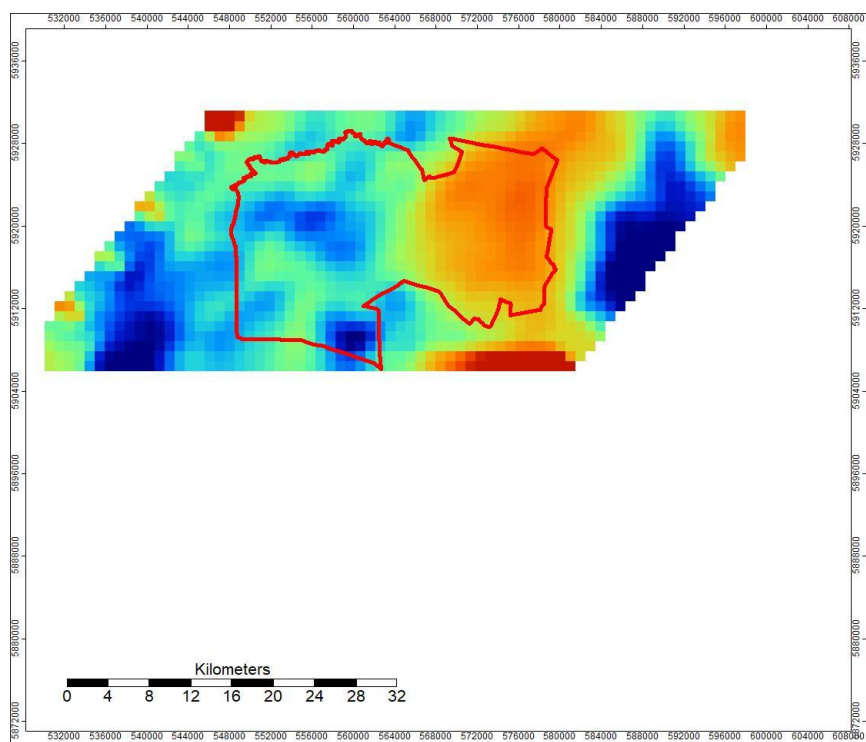


Рис. 10. Географическое распределение связи (R^2) средней дневной температуры воздуха и NDVI на территории Башкирского государственного природного заповедника

Fig. 10. Geographical distribution of the relationship (R^2) of the average daily air temperature and NDVI on the territory of the Bashkir State Nature Reserve

Результаты исследования

Пространственное распределение среднесуточных и дневных температур показывает большую прогреваемость хребта Южный Крак, особенно различия отмечаются в дневной период. Вместе с тем, ночная съемка значительных различий между хребтами не продемонстрировала. В целом в период с мая по сентябрь среднесуточные температуры воздуха распределяются в диапазоне от 9 до 28 °C.

На рис. 7-9 и в табл. отмечается обратная связь температуры и NDVI. При этом наибольшая связь характерна для дневной температуры, в то время как для влияние ночной температуры недостаточно достоверно.

Также интересно территориальное распределение влияния температуры на NDVI (рис. 9). Как видно из рис. 9, наибольшие корреляционные связи демонстрируют древостои хребта Урмантау, в то время как остепенённые участки хребта Южный Крак показывают более слабые связи с температурой воздуха. Таким образом, можно говорить о большей устойчивости степных сообществ БГПЗ к повышению температур, нежели сосново-березовых древостоев.

Таблица – Корреляционный анализ связи NDVI и температуры воздуха за период 2019-2023 гг.

Table – Correlation analysis of the relationship between NDVI and air temperature for the period 2019-2023

Температура	r	R^2	Стандартная ошибка
Среднесуточная	-0,868029	0,753424	0,001130
Дневная	-0,896751	0,804162	0,000495
Ночная	-0,390166	0,152230	0,002277

Обсуждение результатов

Как показали исследования для северной части России и Западной Сибири, увеличение температуры воздуха приводит к повышению продуктивности растительности, а следовательно, и NDVI [1, 3, 5].

Исследования Адамовича и др. [18, 19] выявили для заповедника «Нургуш» низкие значения NDVI для растительных объектов при анализе снимков за 18 июля 1994 года и 7 августа 2010 года по сравнению со значениями индекса за другие годы съёмки. Это связано с низкой среднемесячной температурой воздуха (14,2 °C) и небольшим количеством осадков в 1994 году и относительно засушливым и жарким летом 2010 года (средняя температура в летний период составила 24,7 °C).

Таким образом, для заповедника «Нургуш» отмечена как прямая, так и обратная связь температуры и NDVI, при этом обратная связь проявилась в 2010 году.

При оценке взаимосвязи NDVI ленточных боров и температурно-влажностного режима Алтайского края корреляционный анализ показал значимость температуры июня и осадков июля. Как и для БГПЗ отмечены отрицательные связи температуры воздуха июня и NDVI (коэффициент корреляции (r) от -0,61 до -0,67) [20].

Наше исследование продемонстрировало отрицательную связь температуры и NDVI. Мы можем предположить, что данная ситуация связана с разной степенью континентальности. Также важную роль играет режим увлажнения. По данным Третьего оценочного доклада Росгидромета [21], территория Республики Башкортостан попадает в вододефицитную зону. Также анализ агроклиматических индексов и климатических моделей для Республики Башкортостан показал тенденцию к увеличению температур воздуха в сочетании с засухами [22]. Сочетание высоких температур с длительным отсутствием осадков приводит к снижению продуктивности древостоев.

Так, анализ снимков MODIS выявил негативное воздействие высоких температур воздуха для территории пастбищ юго-востока Европейской России и Западного Казахстана: для 44,5 % пастбищ – наиболее сильная отрицательная корреляция с температурами воздуха [23]. Обратная корреляция также выявлена для степей Казахстана в летний и вегетационный периоды ($r = -0,51$ и $-0,65$ соответственно) [24].

Таким образом, в отличие от севера России и Сибири, где с повышением температуры растёт продуктивность растительности, для БГПЗ и южных регионов России и Казахстана отмечена обратная ситуация.

Заключение

Результаты исследования показали, что растительность БГПЗ демонстрирует отрицательную связь с температурой воздуха в вегетационный период. Наибольшая связь с NDVI характерна для дневной температуры воздуха, в то время как влияние ночной температуры воздуха на значение NDVI недостаточно достоверно. Большие корреляционные связи демонстрируют древостои хребта Урмантау, в то время как остепенённые участки хребта Южный Крак показывают более слабые связи с температурой воздуха.

Анализ аналогичных исследований показал прямые корреляционные связи NDVI и температуры воздуха для северной части России и Западной Сибири. Для Казахстана и юго-востока Европейской части России отмечены отрицательные связи.

Оценка влияния температуры на NDVI на всей территории заповедника показала большую зависимость берёзовых древостоев от температуры воздуха, в то время как степные сообщества демонстрируют большую устойчивость к изменению температуры воздуха. Исходя из этих фактов мы можем предположить, что растительность БГПЗ демонстрирует переходное состояние между условиями Казахстана и более северными территориями России.

Литература

1. Sirotenko, O.D. Current Climate Change In Biosphere Productivity In Russia And Adjacent Countries / O.D. Sirotenko, E.V. Abashina. – Text : unmediated // Russ. Meteorol. Hydrol. – 2008. – Vol. 4. – P. 101-107.
2. Шиятов, С.Г. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации / С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов. – Красноярск: КрасГУ, 2000. – 80 с.
3. Frost, G.V. Regional and landscape-scale variability of Landsat- observed vegetation dynamics in northern Siberian tundra / G.V. Frost, H.E. Epstein, D.A. Walker. – Text : unmediated // Environ. Res. Lett. – 2014. – Vol. 9.
4. Зуев, В.В. Комплексные исследования отклика фотосинтетического аппарата ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) на воздействие УФ-В-радиации / В.В. Зуев, Н.Е. Зуева, А.П. Зотикова, О.Г. Бендер, В.Л. Правдин // Журнал Сибирского федерального университета. – 2010. – № 3(4). – С. 391-406.
5. Зуев, В.В. Климатически обусловленные изменения растительного покрова тайги и тундры Западной Сибири в 1982-2015 гг. по данным спутниковых наблюдений / В.В. Зуев, Е.М. Короткова, А.В. Павлинский // Исследование Земли из космоса. – 2019. – № 6. – С. 66-76.
6. Широких, П.С. Закономерности лесовосстановительных сукцессий на заброшенных сельскохозяйственных землях Башкирского Предуралья / П.С. Широких, Н.И. Федоров, И.Р. Туктамышев, И.Г. Бикбаев, В.Б. Мартыненко // Экобиотех. – 2023. – № 3. – С. 179-187.
7. Oh, J. Competing effects of vegetation on summer temperature in North Korea / J. Oh, E. Lee. – Text : unmediated // Theor. Appl. Climatol. Springer Vienna. – 2023. – Vol. 152(3-4). – P. 913-931.
8. Реестр особо охраняемых природных территорий Республики Башкортостан / А.М. Волков, Л.А. Едренкина, А.А. Мулдашев и др. – Уфа: Издательство «Гилем», 2006. – 414 с.
9. Мартыненко, В.Б. Леса Башкирского государственного природного заповедника: синтаксономия и природоохранная значимость / В.Б. Мартыненко, А.И. Соломещ, Т.В. Жирнова // Институт биологии Уфимского научного центра РАН, Отделение биологических наук Академии наук Республики Башкортостан. – Уфа: Издательство «Гилем», 2003. – 203 с.
10. Мартыненко, В.Б. Синтаксономический анализ лесов Башкирского государственного природного заповедника: специальность 03.00.05: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Мартыненко Василий Борисович. – Уфа, 1999. – 16 с.
11. Zhang, P. Using enhanced vegetation index and land surface temperature to reconstruct the solar-induced chlorophyll fluorescence of forests and grasslands across latitude and phenology / P. Zhang [et al.]. – Text : unmediated // Front. For. Glob. Chang. – 2023. – Vol. 6. – P. 1257287.
12. Abubakar, I.M. MODIS data assessment of the relationship between vegetation and land surface temperature for central vegetation zone of Adamawa State, Nigeria / I.M. Abubakar, B.Y. Idi. – Text : unmediated // Dutse J. Pure Appl. Sci. – 2023. – Vol. 9(2a). – P. 332-343.
13. Ajay, K. Literature Survey for Land Surface Temperature Using Parameters that Include the Normalised Differential Vegetation Index and the Impervious Surface Area / K. Ajay, N. Bikaram, K.R. Rupesh. – Text : unmediated // Am. J. Sci. Learn. Dev. – 2023. – Vol. 2(8). – P. 221-223.
14. Wang, B. Dryness limits vegetation pace to cope with temperature change in warm regions / B. Wang [et al.]. – Text : unmediated // Glob. Chang. Biol. – 2023. – Vol. 29(17). – P. 4750-4757.
15. Zhou, S. Identifying the Effects of Vegetation on Urban Surface Temperatures Based on Urban-Rural Local Climate Zones in a Subtropical Metropolis / S. Zhou [et al.]. – Text : unmediated // Remote Sens. – 2023. – Vol. 15(19).
16. Arabi Aliabad F. Improving the Accuracy of Landsat 8 Land Surface Temperature in Arid Regions by MODIS Water Vapor Imagery / F. Arabi Aliabad [et al.]. – Text : unmediated // Atmosphere (Basel). – 2023. – Vol. 14(10).
17. Li, S. Evaluation of Landsat 8-like land surface temperature by fusing Landsat 8 and Modis land surface temperature product / Li, S. et al. – Text : unmediated // Processes. – 2021. – Vol. 9(12). – P. 1-19.
18. Адамович, Т.А. Использование различных комбинаций спектральных каналов космических снимков спутника Landsat 8 для оценки природных сред и объектов (обзор) / Т.А. Адамович, Т.Я. Ашихмина, Г.Я. Кантор. – Текст : непосредственный // Теоретическая и прикладная экология. – 2017. – № 2. – С. 9-18.

19. Адамович, Т.А. Анализ сезонной и многолетней динамики вегетационного индекса NDVI на территории государственного природного заповедника «Нургуш» / Т.А. Адамович, Г.Я. Кантор, Т.Я. Ашихмина, В.П. Савиных. – Текст : непосредственный // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – № 1. – С. 18-24.
20. Рыгалова, Н.В. Связь вегетационного индекса степных сообществ и радиального прироста сосны ленточных боров Юга Западной Сибири / Н.В. Рыгалова, Т.Г. Плуталова, Я.В. Мартынова. – Текст : непосредственный // Степи Северной Евразии: материалы девятого международного симпозиума, Оренбург, 07-11 июня 2021 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет. – 2021. – С. 685-690.
21. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: общее резюме / Е.М. Аментьева, О.А. Анисимов, М.Ю. Бардин и др. – Санкт-Петербург: Издательство «Наукоемкие технологии». – 2022. – 124 с. – Текст : непосредственный.
22. Kamalova, R. Assessment of Changes in Agroclimatic Resources of the Republic of Bashkortostan (Russia) under the Context of Global Warming / R. Kamalova, E. Bogdan, L. Belan [et al.]. – Text : unmediated // Climate. – 2024. – vol. 12(1). – P. 11.
23. Шинкаренко, С.С. Многолетняя динамика NDVI аридных пастбищных ландшафтов Европейской России и сопредельных территорий / С.С. Шинкаренко, С.А. Баргалева. – Текст : непосредственный // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19. – № 6. – С. 108-123.
24. Пропастин, П.А. Анализ многолетних рядов NOAA/AVHRR/NDVI и гидрометрических условий южной части Казахского мелкосопочника / П.А. Пропастин, Н.Р. Муратова. – Текст : непосредственный // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2006. – Т. 3. – № 2. – С. 366-374.

References

- Sirotenko, O.D. Current Climate Change In Biosphere Productivity In Russia And Adjacent Countries / O.D. Sirotenko, E.V. Abashina. – Text : unmediated // Russ. Meteorol. Hydrol. – 2008. – Vol. 4. – P. 101-107.
2. Shijatov, S.G. Osnovy dendrokhronologii. Sbor i poluchenie drevesno-kol'cevoj informacii / S.G. Shijatov, E.A. Vaganov. – Krasnojarsk: KrasGU, 2000. – 80 s.
3. Frost, G.V. Regional and landscape-scale variability of Landsat- observed vegetation dynamics in northern Siberian tundra / G.V. Frost, H.E. Epstein, D.A. Walker. – Text : unmediated // Environ. Res. Lett. – 2014. – Vol. 9.
4. Zuev, V.V. Kompleksnye issledovaniya otklika fotosinteticheskogo apparata eli sibirskoj (Picea obovata Ledeb.) na vozdejstvie UF-V-radiacii / V.V. Zuev, N.E. Zueva, A.P. Zotikova, O.G. Bender, V.L. Pravdin // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. – 2010. – № 3(4). – S. 391-406.
5. Zuev, V.V. Klimaticheski obuslovlennye izmeneniya rastitel'nogo pokrova tajgi i tundry Zapadnoj Sibiri v 1982-2015 gg. po dannym sputnikovyh nabljudenij / V.V. Zuev, E.M. Korotkova, A.V. Pavlinskij // Issledovanie Zemli iz kosmosa. – 2019. – № 6. – S. 66-76.
6. Shirokih, P.S. Zakonomernosti lesovosstanovitel'nyh sukcesij na zabroshennyh sel'skohozjajstvennyh zemljah Bashkirskogo Predural'ja / P.S. Shirokih, N.I. Fedorov, I.R. Tukhtamyshev, I.G. Bikbaev, V.B. Martynenko // Jekobioteh. – 2023. – № 3. – S. 179-187.
7. Oh, J. Competing effects of vegetation on summer temperature in North Korea / J. Oh, E. Lee. – Text : unmediated // Theor. Appl. Climatol. Springer Vienna. – 2023. – Vol. 152(3-4). – P. 913-931.
8. Reestr osobo ohranjaemyh prirodnyh territorij Respubliki Bashkortostan / A.M. Volkov, L.A. Edrenkina, A.A. Muldashev i dr. – Ufa: Izdatel'stvo «Gilem», 2006. – 414 s.
9. Martynenko, V.B. Lesa Bashkirskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika: sintaksonomija i prirodohrannaja znachimost' / V.B. Martynenko, A.I. Solomeshh, T.V. Zhirmova // Institut biologii Ufimskogo nauchnogo centra RAN, Otdelenie biologicheskikh nauk Akademii nauk Respubliki Bashkortostan. – Ufa: Izdatel'stvo «Gilem», 2003. – 203 s.
10. Martynenko, V.B. Sintaksonomicheskij analiz lesov Bashkirskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika: special'nost' 03.00.05: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata biologicheskikh nauk / Martynenko Vasilij Borisovich. – Ufa, 1999. – 16 s.

11. Zhang, P. Using enhanced vegetation index and land surface temperature to reconstruct the solar-induced chlorophyll fluorescence of forests and grasslands across latitude and phenology / P. Zhang [et al.]. – Text : unmediated // *Front. For. Glob. Chang.* – 2023. – Vol. 6. – P. 1257287.
12. Abubakar, I.M. MODIS data assessment of the relationship between vegetation and land surface temperature for central vegetation zone of Adamawa State, Nigeria / I.M. Abubakar, B.Y. Idi. – Text : unmediated // *Dutse J. Pure Appl. Sci.* – 2023. – Vol. 9(2a). – P. 332-343.
13. Ajay, K. Literature Survey for Land Surface Temperature Using Parameters that Include the Normalised Differential Vegetation Index and the Impervious Surface Area / K. Ajay, N. Bikaram, K.R. Rupesh. – Text : unmediated // *Am. J. Sci. Learn. Dev.* – 2023. – Vol. 2(8). – P. 221-223.
14. Wang, B. Dryness limits vegetation pace to cope with temperature change in warm regions / B. Wang [et al.]. – Text : unmediated // *Glob. Chang. Biol.* – 2023. – Vol. 29(17). – P. 4750-4757.
15. Zhou, S. Identifying the Effects of Vegetation on Urban Surface Temperatures Based on Urban-Rural Local Climate Zones in a Subtropical Metropolis / S. Zhou [et al.]. – Text : unmediated // *Remote Sens.* – 2023. – Vol. 15(19).
16. Arabi Aliabad F. Improving the Accuracy of Landsat 8 Land Surface Temperature in Arid Regions by MODIS Water Vapor Imagery / F. Arabi Aliabad [et al.]. – Text : unmediated // *Atmosphere (Basel)*. – 2023. – Vol. 14(10).
17. Li, S. Evaluation of Landsat 8-like land surface temperature by fusing Landsat 8 and Modis land surface temperature product / Li, S. et al. – Text : unmediated // *Processes*. – 2021. – Vol. 9(12). – P. 1-19.
18. Adamovich, T.A. Ispol'zovanie razlichnyh kombinacij spektral'nyh kanalov kosmicheskikh snimkov sputnika Landsat 8 dlja ocenki prirodnyh sred i ob'ektov (obzor) / T.A. Adamovich, T.Ja. Ashihmina, G.Ja. Kantor. – Tekst : neposredstvennyj // *Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija*. – 2017. – № 2. – S. 9-18.
19. Adamovich, T.A. Analiz sezonnoj i mnogoletnej dinamiki vegetacionnogo indeksa NDVI na territorii gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Nurgush» / T.A. Adamovich, G.Ja. Kantor, T.Ja. Ashihmina, V.P. Savinyh. – Tekst : neposredstvennyj // *Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija*. – 2018. – № 1. – S. 18-24.
20. Rygalova, N.V. Svjaz' vegetacionnogo indeksa stepnyh soobshhestv i radial'nogo prirosta sosny lentochnyh borov Juga Zapadnoj Sibiri / N.V. Rygalova, T.G. Plutalova, Ja.V. Martynova. – Tekst : neposredstvennyj // *Stepi Severnoj Evrazii: materialy devjatogo mezhdunarodnogo simpoziuma, Orenburg, 07-11 ijunya 2021 goda*. – Orenburg: Orenburgskij gosudarstvennyj universitet. – 2021. – S. 685-690.
21. Tretij ocenочnyj doklad ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii: obshhee rezjume / E.M. Akent'eva, O.A. Anisimov, M.Ju. Bardin i dr. – Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo «Naukoemkie tehnologii». – 2022. – 124 s. – Tekst : neposredstvennyj.
22. Kamalova, R. Assessment of Changes in Agroclimatic Resources of the Republic of Bashkortostan (Russia) under the Context of Global Warming / R. Kamalova, E. Bogdan, L. Belan [et al.]. – Text : unmediated // *Climate*. – 2024. – vol. 12(1). – P. 11.
23. Shinkarenko, S.S. mnogoletnjaja dinamika NDVI aridnyh pastbishhnyh landshaftov Evropejskoj Rossii i sopredel'nyh territorij / S.S. Shinkarenko, S.A. Bartalev. – Tekst : neposredstvennyj // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa*. – 2022. – T. 19. – № 6. – S. 108-123.
24. Propastin, P.A. Analiz mnogoletnih rjadov NOAA/AVHRR/NDVI i gidrometricheskikh uslovij juzhnoj chasti Kazahskogo melkosopochnika / P.A. Propastin, N.P. Muratova. – Tekst : neposredstvennyj // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa*. – 2006. – T. 3. – № 2. – S. 366-374.

Сведения об авторах

БОГДАН Екатерина Александровна – к.э.н., в.н.с., Уфимский государственный нефтяной технический университет; доцент Уфимского университета науки и технологии, e-mail: eavolkova@bk.ru

BOGDAN Ekaterina A. – Candidate of Economic Sciences, leading researcher, Ufa State Petroleum Technological University; Associate Professor, Ufa University of Science and Technology, e-mail: eavolkova@bk.ru

БЕЛАН Лариса Николаевна – д.г.-м.н., директор Центра технологий декарбонизации, Уфимский государственный нефтяной технический университет; профессор Уфимского университета науки и технологии, e-mail: belan77767@mail.ru

BELAN Larisa N. – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Ufa State Petroleum Technological University, Director of the Center for Decarbonization Technologies, Ufa University of Science and Technology, Professor, e-mail: belan77767@mail.ru

ВИТЦЕНКО Анастасия Юрьевна – лаборант, Уфимский государственный нефтяной технический университет, e-mail: nastya-vitcenko@mail.ru

VITSENKO Anastasia Y. – laboratory assistant, Ufa State Petroleum Technological University, e-mail: nastya-vitcenko@mail.ru

ТУКТАРОВА Ирен Ольвертовна – к.т.н., доцент Уфимского государственного нефтяного технического университета, заведующий кафедрой, e-mail: umrko@mail.ru

TUKTAROVA Iren O. – Candidate of Technical Sciences, Docent, Ufa State Petroleum Technological University, Head of department, Docent, e-mail: umrko@mail.ru

ШАГАЛИЕВ Руслан Данифович – к.т.н., Уфимский государственный нефтяной технический университет, начальник межвузовской лаборатории, e-mail: shagaliev@rambler.ru.

SHAGALIEV Ruslan D. – Candidate of Technical Sciences, Ufa State Petroleum Technological University, Head of the Interuniversity, e-mail: shagaliev@rambler.ru.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ МЕРЗЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ (НА ПРИМЕРЕ ЯКУТИИ)

*С. В. Калиничева**

Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Россия

*ikoveta@rambler.ru

Аннотация. В статье приводится оценка устойчивости мерзлотных ландшафтов по двум критериям – температуре и льдистости пород. Представлены методики оценки устойчивости ландшафтов – шкала Пармузина С.Ю., разработанная им при районировании севера Западной Сибири по потенциальной возможности развития термокарста и принцип Граве Н.А., на основе которого ранее была составлена картосхема Якутской АССР по степени чувствительности поверхности к техногенным воздействиям. С применением двух представленных методик Пармузина С.Ю. и Граве Н.А. на основе Мерзлотно-ландшафтной карты Республики Саха (Якутия) масштаба 1: 1 500 000, а также карт температуры грунтов Республики Саха (Якутия) на глубине слоя годовых колебаний и льдистости поверхностных отложений были составлены карты устойчивости ландшафтов – проведено районирование территории Якутии по степени устойчивости к техногенным воздействиям. На карте, составленной по методике Пармузина С.Ю. ландшафты по степени устойчивости к техногенным воздействиям дифференцированы на четыре градации: неустойчивые, относительно неустойчивые, относительно устойчивые и устойчивые. Так, по данной методике неустойчивые ландшафты занимают наименьшую площадь территории исследования и распространены в основном в районе с островным и прерывистым распространением мерзлоты. Ландшафты районов Центрально-якутской равнины, Приленского плато и других низменностей со сплошным распространением мерзлоты характеризуются как относительно неустойчивые. Ландшафты относительно устойчивые занимают преобладающую часть Якутии. Ландшафты горных областей характеризуются как устойчивые. По методике Граве Н.А. ландшафты на карте разделены по трем градациям: относительно неустойчивые, относительно устойчивые и устойчивые. По вышеупомянутой методике, территория Центральной Якутии, располагающаяся в районе сильнольдистых грунтов и прибрежные арктические зоны, характеризуются как относительно неустойчивые. Вся остальная территория оценивается как относительно устойчивая и устойчивая.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, мерзлотный ландшафт, льдистость пород, устойчивость ландшафтов, чувствительность поверхности, природно-территориальный комплекс, картографирование, техногенное воздействие, термокарст, термоэрозия.

ASSESSMENT OF THE PERMAFROST LANDSCAPES STABILITY IN EASTERN SIBERIA: THE CASE OF YAKUTIA

*S.V. Kalinicheva**

Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

*ikoveta@rambler.ru

Abstract. The article provides an assessment of the stability of permafrost landscapes by two criteria: temperature and ice content of ground. The methods of assessing the stability of landscapes are presented: the Parmuzin scale, developed by him during the zoning of the north of Western Siberia by the potential possibility of thermokarst development and the Grave principle, on the basis of which a map scheme of the Yakut ASSR was previously compiled by the degree of surface sensitivity to technogenic impacts. Using the two presented methods of Parmuzin and Grave, based on the Permafrost-landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia) on a scale of 1: 1,500,000, as well as maps of ground temperature of the Republic of Sakha (Yakutia) at the depth of the layer of annual fluctuations and ice content of surface deposits, landscape stability maps were compiled, the territory of Yakutia was divided into zones according to the degree of resistance to technogenic impacts. On the map compiled

according to the Parmuzin method, landscapes according to the degree of resistance to technogenic impacts are differentiated into four gradations: unstable, relatively unstable, relatively stable and stable. Thus, according to this method, unstable landscapes occupy the smallest area of the study territory and are distributed mainly in the region with insular and discontinuous distribution of permafrost. Landscapes of the Central Yakut Plain, Prilenskoye Plateau and other lowlands with continuous permafrost distribution are characterized as relatively unstable. Relatively stable landscapes occupy the predominant part of Yakutia. Landscapes of mountainous regions are characterized as stable. According to the Grave method, landscapes on the map are divided into three gradations: relatively unstable, relatively stable and stable. According to the above-mentioned method, the territory of Central Yakutia, located in the area of highly icy soils and coastal arctic zones, is characterized as relatively unstable. The rest of the territory is assessed as relatively stable and stable.

Keywords: permafrost, permafrost landscape, ice content of ground, landscape stability, surface sensitivity, natural territorial complex, mapping, man-made impact, thermokarst, thermal erosion.

Введение

Территории, располагающиеся в зоне подстилки многолетнемерзлых пород (ММП), считаются легкоранимыми и характеризуются значительным периодом восстановления нарушенных компонентов природы вследствие замедленных процессов воспроизводства северных экосистем. Еще с начала 1980-х годов разные исследователи Н.А. Граве [1, 2, 3], С.Ю. Пармузин, С.Е. Суходольский [4], Дж. Браун [5], Н.А. Граве [1981], А.И. Сташенко [6], Н.П. Босиков и др. [7] и др. отмечали, что необходимо уделять особое внимание комплексному изучению состояния, динамики и эволюции мерзлотных ландшафтов. В последние десятилетия происходит существенное изменение мерзлотных ландшафтов. Нарушение природного равновесия, связанное с современным потеплением климата и антропогенными нарушениями, вызывает развитие криогенных процессов в незащищенных криогенных ландшафтах. В виду этого, оценка и картографирование устойчивости территории к техногенному воздействию является одной из актуальных задач на сегодняшний день. Хотя изучение вопроса устойчивости геосистем является одной из важнейших проблем, однако, до сих пор теория устойчивости, особенно геосистем Севера, находится в стадии становления. Разрабатываются новые методики оценки устойчивости и их пространственного представления. При сложившихся условиях оценки устойчивости территории необходимо давать пространственно-координированную информацию о ее состоянии посредством картографирования с использованием геоинформационных технологий.

Цель настоящей работы – оценка устойчивости ландшафтов территории Якутии по температуре и льдистости пород по методикам Пармузина С.Ю. и Граве Н.А.

Природные условия исследуемых участков

Якутия характеризуется многообразием природных условий и ресурсов. Рельеф в Якутии очень сложный. В основном это страна гор, плоскогорий и плато, которые занимают более 70 % ее территории. Так, на западе простирается Среднесибирское плоскогорье, ограниченное на севере Северо-Сибирской низменностью, на востоке Центрально-якутской низменностью. К востоку от долины р. Лена расположена система высокогорных хребтов: Верхоянский хребет, Сетте-Дабан, Сунтар-Хаята, хребет Черского, Момский хребет, между которыми простираются Янское, Эльгинское и Нерское плоскогорья, а также Оймяконское нагорье. Северо-восток Якутии в рельефе представлен в основном низменностями – Яно-Индигирской, Колымской и Абыйской, а также Юкагирским плоскогорьем. В южной части данной территории простираются Приленское плато, Олекмо-Чарское и Алданское нагорья. На крайнем юге возвышается Становой хребет [8].

В геологическом отношении территория Якутии принадлежит преимущественно к двум крупнейшим тектоническим структурам – Сибирской платформе и Верхояно-Чукотской области мезозойской складчатости [8].

Климат территории Якутии (за исключением побережья Северного Ледовитого океана) резко континентальный с очень холодной зимой и относительно жарким летом, малой облачностью, большим количеством штилей и слабыми, особенно в зимний период, ветрами. Средняя температура воздуха в Якутии: в июле $+20^{\circ}\text{C}$, в январе -39°C . Годовые суммы осадков для большей части территории составляют 200-250 мм, на юге и юго-западе – 350-500 мм. В течение года осадки распределяются неравномерно, в холодный период (с ноября по март) выпадает всего 15-20 % от общего количества, в теплый (с апреля по октябрь) – 75-80 %. Ввиду незначительного количества осадков, выпадающих зимой, снежный покров на подавляющей территории имеет небольшую мощность. Число дней со снежным покровом на территории колеблется в пределах от 220-225 на юге Якутии до 295 на побережьях и островах [9, 10].

Территория Якутии располагается в пределах трех ландшафтных зон: арктических пустынь (или ледяной), тундровой и таежной зон. Зона арктических пустынь характеризуется очень бедной растительностью, местами произрастают листовые лишайники и мхи, а на склонах теплых южных экспозиций встречаются кустарнички и некоторые цветковые травянистые растения. Растительность тундровой зоны представлена в основном мхами, лишайниками, кустарниками, карликовыми березами и ивами. В тайге преобладает даурская лиственница (85 % лесной площади), также повсеместно распространены сосна, кедровый стланик, ель, берёза, осина, в южных районах – кедр сибирский, в горных – душистый тополь и чозения. Помимо зональных типов ландшафтов на территории Якутии, имеют распространение аazonальные и интразональные ландшафты. [11].

Почти вся континентальная территория Якутии представляет собой зону сплошной многолетней мерзлоты, которая только на крайнем юго-западе переходит в зону её прерывистого распространения. Среднегодовая температура пород изменяется от $+5$ до -15°C . Глубина сезонного протаивания (промерзания) варьирует от 0,2 до 3,5 м, достигая в горных областях и предгорьях 6,0 метров. Средняя мощность мёрзлого слоя составляет 300–400 м, а в бассейне реки Вилюй достигает до 1500 м [12].

Материалы и методы исследования

В условиях вечной мерзлоты развитие ландшафтов, их трансформация или восстановление после нарушения во многом зависит от свойств ММП – температурного режима, криогенного строения и льдистости, мощности сезонно-талого слоя (СТС) и сезонно-мерзлого слоя (СМС). Ведущий характер криогенного фактора в ландшафтообразовании определяется спецификой природной среды северных регионов, наличием льда в литогенной основе и фазовыми переходами при его оттаивании и промерзании. Именно с последним связано, в каком направлении пойдет развитие ландшафта после нарушения. Поэтому для оценки устойчивости природно-территориальных комплексов (ПТК) к воздействиям, в качестве одного из ведущих критериев в дифференциации ландшафтов в области вечной мерзлоты, необходимо использовать свойства ММП [13]. Ввиду этого, в рамках настоящей работы для оценки устойчивости ландшафтов нами выбраны два общепринятых критерия: льдистость и температура пород.

Так, первый критерий – *температура* мерзлых пород поддерживает термодинамическую устойчивость ландшафтов. Любое нарушение теплового баланса мерзлых пород ведет к изменению их термодинамической устойчивости. И далее, в зависимости от направления изменения теплового потока в грунт на поверхности развиваются деструктивные процессы – термокараст, термоэрозия, солифлюкция и пучение, морозобойное растрескивание, образование грунтовых наледей [2]. В данном случае (относительно данного критерия) устойчивость ландшафта можно определить, как способность ее противостоять появлению или активизации криогенных процессов (пучение, морозобойное растрескивание, тепловые просадки грунтов, термокараст, солифлюкция) при техногенных воздействиях на поверхность осваиваемых территорий области вечной мерзлоты [2].

Второй критерий – *льдистость* мерзлых пород определяет насколько при нарушении теплового баланса произойдет деградация. Относительно этого критерия, устойчивость по Н.А. Граве [2], трактуется так: «Устойчивость поверхности в области многолетнемерзлых пород определяется наличием и условиями залегания подземного льда и льдистых пород, их температурным режимом, динамикой сезонного протаивания и промерзания, а также водным режимом поверхности».

Выделение типов мерзлых толщ, наиболее и наименее предрасположенных к развитию термокарста (перехода в неустойчивое состояние) не представляет сложности. К первым относятся участки, сложенные высокотемпературными сильнольдистыми отложениями, ко второму – участки распространения низкотемпературных слабольдистых грунтов. Другие типы ММП, характеризующиеся различным сочетанием среднегодовой температуры грунтов и объемной льдистости, занимают промежуточное положение между указанными экстремальными вариантами.

Исходя из вышеуказанного, можно сказать, что чем выше температура и сильнее льдистость мерзлых пород, тем неустойчивее данный ландшафт, и, наоборот, чем ниже температура пород и слабее льдистость, тем устойчивее данная территория.

Для оценки устойчивости мерзлотных ландшафтов Якутии, учитывающие вышеприведенные критерии, нами были выбраны 2 наиболее оптимальные на наш взгляд методики: 1. Шкала оценки устойчивости территории Пармузина С.Ю., разработанная им при районировании севера Западной Сибири по потенциальной возможности развития термокарста [14]; 2. Принцип Граве Н.А. (оценка устойчивости по льдистости) [2].

Результаты исследований

Для оценки устойчивости ландшафтов по указанным критериям и для составления карт устойчивости ландшафтов по двум вышеуказанным методикам были использованы такие карты, как Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия) (РС (Я)) [15] и составленные на ее основе – карта температуры грунтов РС (Я) на глубине слоя годовых колебаний и карта льдистости поверхностных отложений. Тематическое содержание перечисленных карт в геоинформационных системах представлено в виде электронных слоев.

Первый слой – ландшафтная карта, представлена 145 типами мерзлотных ландшафтов, полученных при наложении 20 типов местности и 36 группировок растительности. Во втором слое – на карте температуры грунтов на глубине слоя годовых колебаний отражены преобладающие температуры современного состояния многолетнемерзлых пород в интервале от -12 до -1 (°C). В третьем слое – на карте льдистости поверхностных отложений представлены преобладающие величины льдистости, которые представлены в основном пятью градациями меньше 0,2; 0,2 – 0,4; 0,4 – 0,6; 0,6-0,8; выше 0,8.

Использование вышеприведенных исходных слоев послужило основой для создания карт и оценки устойчивости мерзлотных ландшафтов Якутии по двум методикам – Пармузина С.Ю. и Граве Н.А.

Шкала устойчивости территории по Пармузину С.Ю.

Шкала устойчивости территории была разработана Пармузиным С.Ю. при районировании севера Западной Сибири по потенциальной возможности развития термокарста [14], где при оценке учитываются оба параметра мерзлых пород – температура и льдистость (табл.).

Таблица – Шкала устойчивости территории по температуре и льдистости ММП
 Table – Scale of stability of the territory by temperature and ice content of the permafrost

Льдистость доли единиц	Температура, °C			
	-1	-1... -3	-3... -5	> -5
< 0,2	2	4	4	5
0,2 – 0,4	1	2	3	4
> 0,4	1	1	2	3

1 – неустойчивые, 2,3 – относительно неустойчивые, 4 – относительно устойчивые, 5 – устойчивые.

Приведенная балльная шкала значительно облегчает определение устойчивости территории. Для этого на каждый тип ПТК (системе «тип местности – тип ландшафта») нами по легенде мерзлотно-ландшафтной карты РС (Я) была определена температура и льдистость пород, которые были включены в атрибутивную базу данных. Далее, когда были получены необходимые данные по двум показателям – температуре и льдистости, по шкале Пармузина С.Ю. была определена степень устойчивости и как результат составлена карта устойчивости мерзлотных ландшафтов РС (Я) по данной методике (рис. 1).

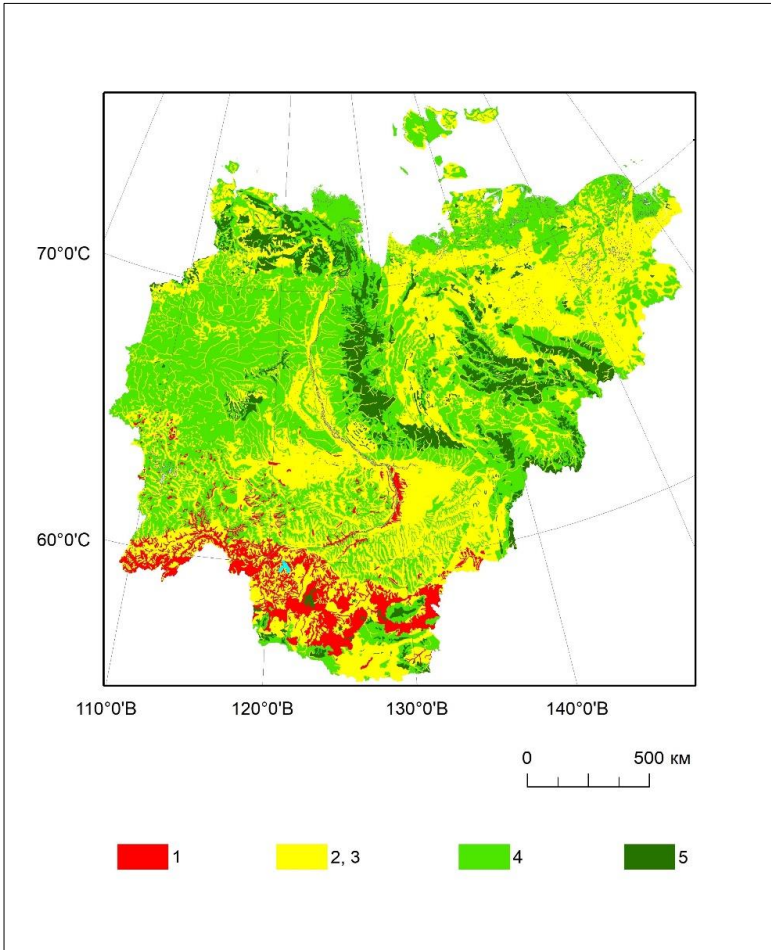


Рис. 1. Степень устойчивости ландшафтов РС (Я) (по Пармузину С.Ю., 1986):
 1 – Неустойчивые; 2,3 – Относительно неустойчивые; 4 – Относительно устойчивые; 5 – Устойчивые
Fig. 1. The degree of stability of the landscapes of the RS (Ya) (according to Parmuzin S.Yu., 1986):
 1 – Unstable; 2.3 – Relatively unstable; 4 – Relatively stable; 5 – Stable

Всего на карте выделено четыре градации, каждая из которых отображает ту или иную степень устойчивости ландшафта: красный цвет – неустойчивые, желтый цвет – относительно неустойчивые, светло-зеленый – относительно устойчивые и темно-зеленый – устойчивые.

По методике С.Ю. Пармузина неустойчивые ландшафты занимают наименьшую площадь территории исследования и распространены в основном в районе с островным и прерывистым распространением мерзлоты. Ландшафты районов Центрально-якутской равнины, Приленского плато, Северо-Сибирской, Яно-Индибирской, Абыйской и Колымской низменностей со сплошным распространением мерзлоты характеризуются как относительно неустойчивые. Ландшафты относительно устойчивые занимают преобладающую часть Якутии. Это в основном районы долин рек, прибрежных арктических районов, западная часть Алданского нагорья, участок междуречья Лены и Оленек со сплошным распространением мерзлоты в большей части выделенной территории и с прерывистым распространением на юге (западная часть Алданского нагорья). Ландшафты горных областей характеризуются как устойчивые.

Выделенные степени устойчивости показывают, насколько территория предрасположена к разрушению поверхности при минимальности ее нарушения.

Так, при *неустойчивости ландшафта*, даже разрывы растительного покрова могут вызвать интенсивный термокарст и термоэрозию, быстро распространяющиеся по площади и сильно преобразующие природный ландшафт. При *относительной неустойчивости* появление этих процессов при нарушениях растительного покрова вызывает подобное разрушение поверхности только на площадях, ограниченных в основном участками нарушений. При *относительной устойчивости* криогенные геоморфологические процессы при нарушении покрова интенсивно не развиваются. Только экскавация грунта и горные выработки, а также насыпи приводят здесь к значительному разрушению поверхности, но обычно ограниченному по площади контурами нарушения [14].

Принцип Граве Н.А.:

оценка устойчивости ландшафтов по льдистости

По принципу Н.А. Граве оценка устойчивости ландшафтов производится по одному критерию – льдистости мерзлых пород. Данный принцип вкратце можно сформулировать так: «Чем льдистее ландшафт, тем он неустойчивее».

Граве Н.А. в 1979 г. по этому принципу составил картосхему Якутской АССР по степени чувствительности поверхности к техногенным воздействиям [2]. Составленная по данному критерию карта устойчивости ландшафтов является более детальной вышеупомянутой картосхемы и показывает современное состояние льдистости ММП (рис. 2).

По данной методике оценки устойчивости территория Центральной Якутии, в т.ч. Лено-Алданского междуречья, располагающаяся в районе сильнольдистых грунтов и прибрежные арктические зоны характеризуются как относительно неустойчивые. Вся остальная территория оценивается как относительно устойчивая и устойчивая.

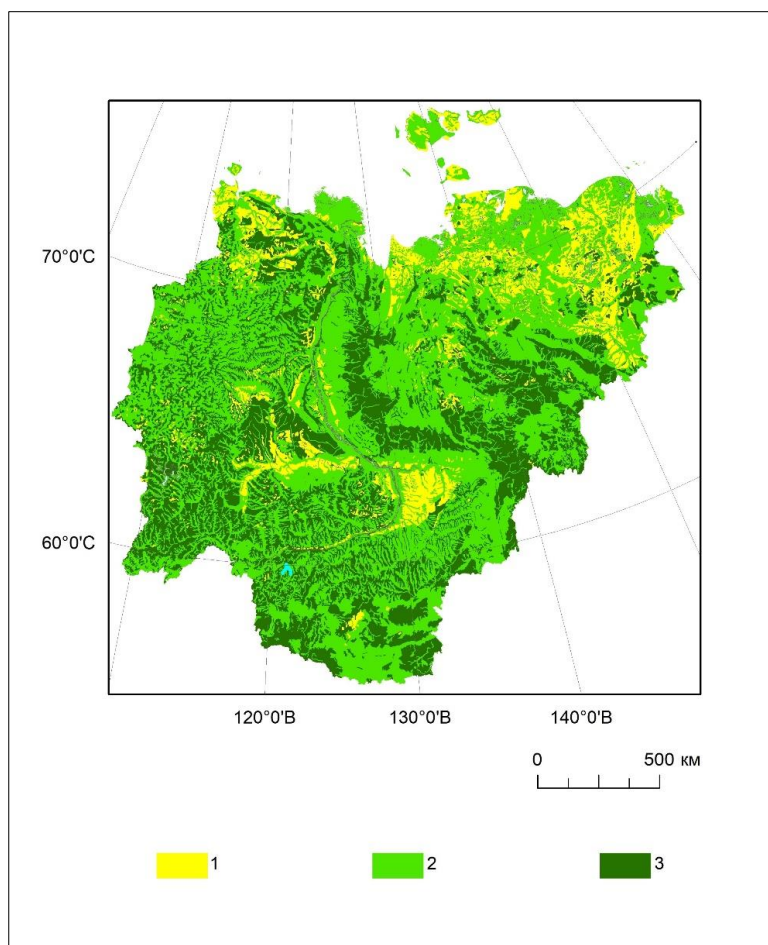


Рис. 2. Степень устойчивости ландшафтов Якутии по льдистости поверхностных отложений (по Граве Н.А., 1979):

1 – Относительно неустойчивые; 2 – Относительно устойчивые; 3 – Устойчивые

Fig. 2. The degree of stability of the landscapes of Yakutia in terms of the iciness of surface sediments (according to N.A. Grave, 1979):

1 – Relatively unstable; 2 – Relatively stable; 3 – Stable

Закключение

Оценка устойчивости ландшафта является весьма неоднозначной задачей. Сложность ее состоит в том, что ландшафт – объект очень емкий и многогранный, многокомпонентный, в виду этого, оценка ее устойчивости зависит от того, с какой стороны и как «глубоко» исследовать объект оценки. В данной работе устойчивость ландшафта определена с использованием усеченных параметров оценки только по основным природным критериям – температуре и льдистости.

Картографирование мерзлотных ландшафтов по степени устойчивости к внешним воздействиям позволяет выявить проблемные участки при техногенном воздействии и изменениям климата и в дальнейшем разработать природоохранные мероприятия с учетом изменений мерзлотных ландшафтов.

Выявление наиболее уязвимых и относительно устойчивых территорий послужит в дальнейшем основой для текущей оценки состояния природной среды в целях охраны природы и рационального природопользования в Республике Саха (Якутия).

Подобные геоинформационные модели могут быть применены для текущего и стратегического планирования социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) с учетом изменений мерзлотных ландшафтов, а также для дальнейшей реализации республиканского Закона о защите вечной мерзлоты (в части разработки нормативных актов).

Литература

1. Граве, Н.А. Чувствительность поверхности к техногенному воздействию в области вечной мерзлоты, приемы и методы отражения ее на картах / Н.А. Граве. – Текст : непосредственный // Методика инженерно-геологических исследований и картирования области вечной мерзлоты. – Якутск: ИМЗ СО РАН, 1978. – С. 16–33.
2. Граве, Н.А. Принципы оценки чувствительности поверхности к техногенным воздействиям (на примере территории Якутии) / Н.А. Граве. – Текст : непосредственный // Охрана природы Якутии. – Якутск, 1979. – С. 91–94.
3. Граве, Н.А. Место и направление геокриологических исследований в проблеме охраны Среды и рационального природопользования в области вечной мерзлоты / Н.А. Граве. – Текст : непосредственный // Устойчивость поверхности к техногенным воздействиям в области вечной мерзлоты. – Якутск, 1980. – С. 6–12.
4. Пармузин, С.Ю. Опыт районирования территории с сильнольдистыми породами по устойчивости к техногенным воздействиям (на примере Среднего Ямала) / С.Ю. Пармузин, С.Е. Суходольский. – Текст : непосредственный // Устойчивость поверхности к техногенным воздействиям в области вечной мерзлоты. – Якутск, 1980. – С. 108–127.
5. Браун, Дж. Нарушение поверхности и ее защита при освоении Севера / Дж. Браун, Н.А. Граве. – Новосибирск: Наука, 1981. – 88 с. – Текст : непосредственный.
6. Стащенко, А.И. Устойчивость природных комплексов котловин Станового нагорья к техногенным нарушениям / А.И. Стащенко – Текст : непосредственный // Изв. ВГО. – 1983. – Т.115, вып.4. – С.294–300.
7. Босиков, Н.П. Мерзлотные ландшафты зоны освоения Лено-Алданского междуречья / Н.П. Босиков, И.С. Васильев, А.Н. Федоров. – Якутск, 1985. – 124 с. – Текст : непосредственный.
8. Якутия [Под ред. С.С. Коржуева]. – М.: Наука, 1965. – 467 с. – Текст : непосредственный.
9. Агроклиматические ресурсы Якутской АССР [Отв. ред. Мозолевская А.К.] – Л.: Гидрометеиздат, 1973 – 112 с. – Текст : непосредственный.
10. Климат России [Под. ред. Н.В. Кобышевой]. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 654 с. – Текст : непосредственный.
11. Данилов, Ю.Г. Ландшафты Якутии / Ю. Г. Данилов, А. Н. Федоров, Ж. Ф. Дегтева и др. – Якутск: Издательский дом Сев.-Вост. федерального ун-та, 2016. – 75 с. – Текст : непосредственный.
12. Мерзлота в наше время [Под ред. К. Йошикава] – Якутск : Центр социогуманитарных исследований, 2021. – 280 с. – Текст : непосредственный.
13. Федоров, А.Н. Мерзлотные ландшафты Якутии: методика выделения и вопросы картографирования / А.Н. Федоров. – Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1991. – 140 с. – Текст : непосредственный.
14. Пармузин, С.Ю. Районирование севера Западной Сибири по потенциальной возможности развития термокарста // Вопросы геокриологического картирования. – Якутск, 1986. – 78–85.
15. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / Федоров А.Н. [и др.]; [ред. М.Н. Железняк]. – Якутск.: ИМ СО РАН, 2017. – 2 л.

References

1. Grave, N.A. Chuvstvitel'nost' poverhnosti k tehnogennomu vozdeystviyu v oblasti vечноj merzloty, priemy i metody otrazhenija ee na kartah / N.A. Grave. – Tekst : neposredstvennyj // Metodika inženerno-geologicheskikh issledovanij i kartirovanija oblasti vечноj merzloty. – Jakutsk: IMZ SO RAN, 1978. – S. 16–33.
2. Grave, N.A. Principy ocenki chuvstvitel'nosti poverhnosti k tehnogennym vozdeystvijam (na primere territorii Jakutii) / N.A. Grave. – Tekst : neposredstvennyj // Ohrana prirody Jakutii. – Jakutsk, 1979. – S. 91–94.
3. Grave, N.A. Mesto i napravlenie geokriologicheskikh issledovanij v probleme ohrany Sredy i racional'nogo prirodopol'zovanija v oblasti vечноj merzloty / N.A. Grave. – Tekst : neposredstvennyj // Ustojchivost' poverhnosti k tehnogennym vozdeystvijam v oblasti vечноj merzloty. – Jakutsk, 1980. – S. 6–12.
4. Parmuzin, S.Ju. Opyt rajonirovanija territorii s sil'nol'distymi porodami po ustojchivosti k tehnogennym vozdeystvijam (na primere Srednego Jamala) / S.Ju. Parmuzin, S.E. Suhodol'skij. – Tekst : neposredstvennyj // Ustojchivost' poverhnosti k tehnogennym vozdeystvijam v oblasti vечноj merzloty. – Jakutsk, 1980. – S. 108–127.
5. Braun, Dzh. Narushenie poverhnosti i ee zashhita pri osvoenii Severa / Dzh. Braun, N. A. Grave. – Novosibirsk: Nauka, 1981. – 88 s. – Tekst : neposredstvennyj.
6. Stashenko, A.I. Ustojchivost' prirodnykh kompleksov kotlovin Stanovogo nagor'ja k tehnogennym narushenijam / A.I. Stashenko – Tekst : neposredstvennyj // Izv. VGO. – 1983. – T. 115, vyp. 4. – S. 294–300.
7. Bosikov, N.P. Merzlotnye landshafty zony osvoenija Leno-Aldanskogo mezhdurech'ja / N.P. Bosikov, I.S. Vasil'ev, A.N. Fedorov. – Jakutsk, 1985. – 124 s. – Tekst : neposredstvennyj.
8. Jakutija [Pod red. S.S. Korzhueva]. – M.: Nauka, 1965. – 467 s. – Tekst : neposredstvennyj.
9. Agroklimaticheskie resursy Jakutskoj ASSR [Otv. red. Mozolevskaja A.K.] – L.: Gidrometeoizdat, 1973 – 112 s. – Tekst : neposredstvennyj.
10. Klimat Rossii [Pod. red. N.V. Kobyshevoj]. – SPb.: Gidrometeoizdat, 2001. – 654 s. – Tekst : neposredstvennyj.
11. Danilov, Ju.G. Landshafty Jakutii / Ju. G. Danilov, A. N. Fedorov, Zh. F. Degteva i dr. – Jakutsk: Izdatel'skij dom Sev.-Vost. federal'nogo un-ta, 2016. – 75 s. – Tekst : neposredstvennyj.
12. Merzlota v nashe vremja [Pod red. K. Joshikava] – Jakutsk : Centr sociogumanitarnykh issledovanij, 2021. – 280 s. – Tekst : neposredstvennyj.
13. Fedorov, A.N. Merzlotnye landshafty Jakutii: metodika vydelenija i voprosy kartografirovanija / A.N. Fedorov. – Jakutsk: In-t merzlotovedenija SO AN SSSR, 1991. – 140 s. – Tekst : neposredstvennyj.
14. Parmuzin, S.Ju. Rajonirovanie severa Zapadnoj Sibiri po potencial'noj vozmozhnosti razvitija termokarsta // Voprosy geokriologicheskogo kartirovanija. – Jakutsk, 1986. – 78–85.
15. Merzlotno-landshaftnaja karta Respubliki Saha (Jakutija). Masshtab 1: 1 500 000 / Fedorov A.N. [i dr.]; [red. M.N. Zheleznyak]. – Jakutsk.: IM SO RAN, 2017. – 2 l.

Сведения об авторах

КАЛИНИЧЕВА Светлана Вячеславовна – к.г.н., лаб. ГИС и картографирования криолитозон, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, e-mail: ikoveta@rambler.ru

KALINICHEVA Svetlana V. – Candidate of Geographical Sciences, Laboratory of GIS and permafrost mapping, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, e-mail: ikoveta@rambler.ru

РАСПРОСТРАНЕНИЕ УНИКАЛЬНЫХ ОЗЕР НА ТЕРРИТОРИИ ЯКУТИИ

*Л.С. Пахомова**

СВФУ им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

*lsp0803@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрено распространение уникальных озер на территории Якутии. Республика Саха (Якутия) – один из самых озёрных регионов России. Вопросами научных исследований озер Якутии, начиная с 1978 года, много лет занимается Лаборатория озероведения Якутского государственного университета, позже Северо-Восточного федерального университета под научным руководством известного географа-лимнолога, к.г.н., профессора И.И. Жиркова, которая среди озероведов России и мира известна как якутская школа лимнологии. В результате составлена ландшафтно – лимногенетическая классификация озер по типам происхождения котловин, выявлены гидролого-морфометрические параметры, определены ресурсы озер, в том числе исследованы «уникальные озера» [1]. Уникальные озера – группа особо охраняемых озер, представляющих большую экономическую, социальную и эстетическую ценность для современных и будущих поколений. Список 26 уникальных озер был определен Указом Президента РС (Я) от 16.08. 1994 № 836 [2].

Уникальные озера Якутии в основном рассматриваются в экологическом аспекте как особо охраняемые природные объекты. Актуальность данной статьи заключается в географическом подходе для выявления уникальности, природных особенностей уникальных озер Якутии. Комплексное географическое описание дает общую физико-географическую характеристику каждого уникального озера от географического положения, природных особенностей, доступности, природно-хозяйственного значения для экономики, населения, статуса охраняемости и др. Ландшафтный подход к пространственному анализу распространения озер отразился в рассмотрении распределения уникальных озер по физико-географическим провинциям Якутии.

Ключевые слова: Якутия, уникальные озера, Ниджили, Большое Токо, ландшафтно – лимногенетическая классификация И.И. Жиркова, физико-географические провинции Якутии.

SPREAD OF UNIQUE LAKES IN THE TERRITORY OF YAKUTIA

*L.S. Pakhomova**

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

*lsp0803@mail.ru

Abstract. The article considers the distribution of unique lakes in the territory of Yakutia. The Republic of Sakha (Yakutia) is one of the most lake regions in Russia. Since 1978, the Laboratory of Lake Science of the Yakut State University, later North-Eastern Federal University, has been engaged in scientific research of the lakes of Yakutia for many years under the scientific supervision of the famous geographer-limnologist, Ph.D., Professor I.I. Zhirkov, which is known among lake scientists of Russia and the world as the Yakut school of Limnology. As a result, a landscape-limnogenetic classification of lakes by types of basin origin was compiled, hydrological and morphometric parameters were identified, lake resources were determined, including “unique lakes” [1]. Unique lakes are a group of specially protected lakes that represent great economic, social and aesthetic value for current and future generations. The list of 26 unique lakes was determined by Decree of the President of the RS (Ya) dated 08/16/2004 No. 836 [2].

The unique lakes of Yakutia are mainly considered in the ecological aspect as specially protected natural objects. The relevance of this article lies in the geographical approach to identify the uniqueness, natural features of the unique lakes of Yakutia. A comprehensive geographical description provides a general physical and geographical characteristic of each unique lake, depending on its geographical location, natural features, accessibility, natural and economic significance for the economy, population, conservation status, etc.

The landscape approach to the spatial analysis of the distribution of lakes was reflected in the consideration of the distribution of unique lakes across the physico-geographical provinces of Yakutia.

Keywords: Yakutia, unique lakes, Nijili, Bolshoe Toko, I.I. Zhirkov's landscape-limnogenetic classification, physical and geographical provinces of Yakutia.

Введение

Якутия – озерный край. На ее территории насчитывается более 723 тысяч озёр с площадью более 1 га [1]. Распространенность озер по территории Якутии весьма неравномерная. Озера в основном занимают ландшафты Центральная Якутская равнины, арктических территорий Яно-Индигирской, Колымской и Абыйской низменностей. Также на горных ландшафтах Якутии имеются многочисленные озера, которые по сравнению с равнинными озерами мало изучены.

Цель: изучить распространение уникальных озер в разных природных комплексах (ландшафтах) Якутии для определения их уникальности и особенностей.

Методы и материалы

Для раскрытия темы применены следующие методы: исторический, анализа и обобщения, сравнительный, картографический, физико-географического районирования. Географический подход позволил определить распространение уникальных озер в разных природных ландшафтах Якутии и их природные особенности. Историко-аналитический подход основан на материалах изученности уникальных озер, которые обобщены по научным трудам экспедиций XVIII – XX вв. Пространственный анализ распространения уникальных озер на территории Якутии обоснован по мерзлотно-ландшафтной карте А.Н. Федорова и др.

Первоначальные сведения об уникальных озерах Якутии. Как известно, общие сведения и научные исследования о Якутии связаны с деятельностью землепроходцев, отдельных путешественников, исследователей и экспедиций начиная с XVIII в. Тогда перед ними ставилась задача исследовать Якутию всесторонне в «историческом, географическом, этнографическом отношениях», при этом путешественники, исследователи не могли обойти вниманием озера Якутии, отмечая изобилие озер по всей огромной территории – и в центральной части, и на севере, и в горах.

Более подробные исследования озер Якутии, частично научные, были получены во время Второй Камчатской экспедиции (1733-1743 г), поведенные по возможностям того времени – описательными и картографическими методами.

В научных трудах, отчётах исследователей, экспедиций встречаются сведения об озерах, которые в настоящее время включены в список уникальных озер Якутии. Первые сведения об озерах были собраны участником экспедиции Второй Камчатской экспедиции С.П. Крашенинниковым. Он был направлен из Якутска для изучения Кемпендйских соляных источников, по пути подробно отмечая озера и реки. К примеру, составил описание озера Мунду на р. Кучюгуй, в бассейне р. Кемпендй [3]. После этой поездки он был направлен на Камчатку. Из Якутска до Охотского острога составил описание множества рек, озер, наледей и гор, так в своем путевом дневнике записал: «Чурапчи – озеро, на котором имеется Тацкая станция».

Обширные сведения об озерах Якутии составил Р.К. Маак – известный исследователь Сибири и Дальнего Востока, начальник Вилюйской экспедиции (1854-1855 гг.). За время Вилюйской экспедиции им изучено и описано множество озер Лено-Вилюйского междуречья. В пути на р. Вилюй он составил описание группы озер – «Дёбётёй Бёрё и озеро Ирюнь Кёль (Белое), имеющее по 20 верст длины» [4]. И чем дальше продвигался отряд на север, между Ирюнь Кёль и рекой Ситтэ, тем чаще встречались озера, названия которых Маак записал почти точно, а некоторые названия озер в переводе с якутского на русский (оз. Ымыяхтах от ымыа – большой деревянный сосуд). Он отметил, что левобережье р. Вилюй, от устья до Вилюйска, представляет «усеянную множеством озер низменность». Так упоминает озеро Уняджели и пишет «озеро это в настоящее время носит название Неджели на границе Вилюйского округа» [4].

Когда добрался до урочища Нюрба на левом берегу Вилюя, им было исследовано озеро Нюрба, история его осушения, состояние воды и топографом составлена его карта. Кроме этого, составлено подробное описание озер Сюрюнда и Жессей (ныне Ессей) – место для торговых сношений вилюйских и енисейских инородцев [4]. В своих сведениях В.Л. Серошевский отмечает, что озера разбросаны, главным образом по плоскогорьям, что смело, может соперничать с Обь-Енисейской низменностью. Количество озер возрастает к северу и более всего их находится на части плоскогорья, прилегающей к нижнему течению Вилюя, также в северной части Амгинско-Ленского плоскогорья, в улусах Дюпсунском, Борогонском, Баягантайском. Плоскую низменность между низовьями Колымы и Индигирки назвал «классической страной озер, которые поражают не столько величиной, сколько количеством» [5]. Примечательно то, что в сведениях В.Л. Серошевского не указано название ни одного озера в отличие от сведений Р.К. Маака.

В 1925-1930 гг. в Якутской АССР по инициативе М.К. Аммосова была создана комплексная Якутская экспедиция Академии наук СССР. Результатом обоюдных и согласованных усилий стало принятие пятилетнего плана изучения производительных сил Якутии и учреждение Комиссии Академии наук по изучению ЯАССР (КЯР). В итоге были подготовлены отчеты 10 отрядов по изучению естественно-производительных сил Якутии и потенциальных возможностей их использования [6].

В работе экспедиции принял участие географ – геоморфолог А.А. Григорьев и в материалах Якутской комиссии подготовил «Геоморфологический очерк Якутии», где он отмечает, что отличительной чертой рельефа центральной части Вилюйско-Якутской котловины является чрезвычайное изобилие сравнительно небольших замкнутых и полужамкнутых впадин с озерами, отделенных друг от друга более или менее широкими плосковерхими водоразделами. Пространства междуречий представляют районы бессточных или полубессточных впадин с озерами [6]. В очерке он приводит сведения исследователей предыдущих времен: К.А. Воллосовича, И.П. Толмачева, Н.И. Прохорова и др. Так, К.А. Воллосович, рельеф тундры характеризует как «впадины прибрежных хребтов со сложной системой речек и, главным образом, многочисленных озёр, часто образующих цепочки, где расстилается плоская тундра, усыпанная бесчисленными небольшими озерами» [7]. Н.И. Прохоров, пересекший Становую горную страну от верховьев, р. Зей до озер Большое Токо и Малое Токо, описывает эту территорию как озерный «плоскогорно-водораздельный район», где размещено довольно значительное количество озер [8]. Ими составлены описания множества озер, которые встречались им по маршруту, также полевой материал дополнен сведениями об особенностях и значении топонимов озёр у местного населения Якутии.

Эти сведения дают понять, что путешественники и исследователи во время экспедиций никак не могли обойти вниманием озера в разных ландшафтах Якутии, которые изобилуют озерами. Данный краткий обзор сведений об озерах приведен, чтобы дать представление об уникальных озёрах Якутии, известных издревле своими размерами, особенностями и величием.

Лимнологические исследования. Научные исследования озер Якутии были заложены в Якутском государственном университете в 1978 г, продолжаясь в Северо-Восточном федеральном университете. Изучением озер Якутии начали заниматься сотрудники Лаборатории озераведения под научным руководством к.г.н., проф. Иннокентия Иннокентьевича Жиркова, который основал якутскую школу лимнологии. Существенным научным вкладом И.И. Жиркова в науку лимнология является ландшафтно-лимногенетическая классификация озёр Якутии, разработанная на материалах многолетних полевых исследований, полученных в основном в период летней стагнации (июнь–август). Поэтому сравнимость всех приведенных типологических показателей озер вполне приемлема. Согласно лимно-генетической классификации им выделено 14 типов, 29 подтипов, 64 вида и целый ряд подвидов и разновидностей озер Якутии [9].

По данной классификации определены следующие типы озёр: термокарстовые, водно-эрозийные, эрозийно-термокарстовые, тукулановые, карстовые, трапповые, антропогенные, дель-

товые ледниково-зандровые, нагорно-плоскогорные, тектонические, лагунные, вулканогенные, космогенные. Из 14 типов озер, на территории Якутии наиболее широко распространены 4 типа озёр – термокарстовые, водно-эрозионные, эрозионно-термокарстовые и тукулановые [9].

Якутия – озёрный край. Озёрно-аласные ландшафты в Якутии широко используются в хозяйственной деятельности жителей: для питья, водопоя скота, водоемы круглогодично обеспечивают население рыбой. Природные ресурсы озер Якутии составляют питьевые, земельные ресурсы озер и приозерных ландшафтов, рыбохозяйственные, сапропелевые, охотничьи-промысловые, рекреационные и бальнеологические ресурсы [1].

Среди огромного количества и многообразия озёр на ландшафтах Якутии жители, охотники, скотоводы всегда обращали внимание на необычные озера, которые отличаются от общей массы озёр уникальностью и своеобразием: размерами; разнообразными природными ресурсами (особенно питьевым составом озерных вод) и целебными свойствами; способами и формами использования озерных ресурсов; историко-этнографическими особенностями (легендами, преданиями, историей освоения), которые были известны якутам – скотоводам, коневодам с давних времен.

Озероведы Якутии внесли существенный научно-практический вклад в исследования уникальных озер, особенно значимые экспедиционные исследования были проведены на озерах Лабынкыр, Ниджили, Большое Токо, Улахан – Кюёль, Сизгемде и др.

География уникальных озер Якутии. В реестр уникальных озер Якутии включены следующие водоемы: Абалах, Тюнгиюлю (Мегино-Кангаласский), Себян-Кюёль, Ниджили, Быранатталах, Сылах (Кобяйский), Чабыда (Горный), Ожогоино (Абыйский), Буустаах (Усть-Янский), Кемпендай (Мохсоголлох), Муосааны (Сунтарский), Дьенкюдя (Нюрбинский), Чурапча (Чурапчинский), Чукочы, Большое Морское (Нижнеколымский), Улахан-Кюёль (Анабарский), Моготоево (Аллаиховский), Джелинде (Усть-Майский), Улахан-Кюёль, Сизгэмдэ (Жиганский), Большое Токко (Нерюнгринский), Лабынкыр (Оймяконский), Мастах (Вилуйский), Мюрю (Усть-Алданский), Белое, Лаабыда (Намский), Сайсары (г. Якутск) [1, 2, 11]. Уникальные озера Якутии относятся к особо охраняемым природным территориям республиканского (регионального) значения (ООПТ) и имеют разный статус охраняемости: (Ытык Кэрэ сирдэр), некоторые находятся в ресурсных резерватах (Эркээйи сирдэр) республиканского или местного значения, заказниках и охраняемых ландшафтах (Түөлбэ сирдэр), в пределах которых они расположены [11].

Согласно ландшафтному подходу А.Н. Федорова уникальные озера распределены по физико-географическим провинциям Якутии: Лено-Амгинская аласная, Вилуйская аласная, Нижнеленская северно-термокарстовая, Орулганская среднегорная, Нижнеянская северо-термокарстовая провинция, Абыйская озерно-термокарстовая, Алазее-Колымская озёрно-термокарстовая, Становая среднегорная, Оймяконская плоскогорная, Анабаро-Оленёкская озёрно-термокарстовая [12].

Пространственный анализ распространения уникальных озер основан на изучении 27 уникальных водоемов (табл. 1). В анализ включено озеро Сайсары – уникальное историческое и почитаемое озеро у народа саха, не входящее в официальный список уникальных озер Якутии из 26 наименований [2, 11]. Но И. И. Жирков включил его в состав 26 уникальных озер Якутии, куда не входит озеро Большое Токко, которое имеет статус уникального с 1994 г. Таким образом, учитывая предыдущие сведения, в анализ включено 27 уникальных озер Якутии, в том числе озеро Сайсары. В перспективе возможно увеличение количества уникальных озер Якутии.

Физико-географическая характеристика уникальных озер Якутии дает возможность получить информацию об особенностях каждого уникального водоема, которые все имеют особое природоохранное, научно-исследовательское, геологическое, рекреационное, оздоровительное, эстетическое и историческое значение. Некоторые из них издавна были обжиты и освоены нашими предками и представляют важное значение для жителей, социально-экономическая и историческая ценность, которых не утрачена и в наше время для современных жителей.

Таблица – Физико-географическая характеристика уникальных озер Якутии
Table – Physical and geographical characteristics of unique lakes of Yakutia

Название и тип озера	Географическое положение	Физико-географическая характеристика и статус охраняемости	Хозяйственное значение и доступность
Средняя Сибирь			
Лено-Амгинская аласная провинция (А.IV.5)			
Абалах, термокарстовое озеро	Лено-Амгинское междуречье, правобережье р. Лены. Расположено в 96 км от Якутска, от улусного центра с. Майя в 47 км на востоке, от пос. Нижний Бестях в 77 км, Мегино-Кангаласский улус.	Минерализованное, уникально своими лечебными свойствами. Состав лечебной рапы хлоридно-гидрокарбонатная натриевая рапа и сульфидная иловая грязь. Длина – 3 км. Лечебные грязи издавна используются в народной медицине саха. Охраняемый ландшафт.	Бальнеологические ресурсы. В Нижнем Бестяхе действует Абалахский многопрофильный реабилитационный центр. Доступный.
Тюнгюлю, термокарстовое озеро	Лено-Амгинское междуречье, правобережье р. Лены. Расположено в 57 км к северу от улусного центра с. Майя, Мегино-Кангаласский улус.	Состоит из группы озер: Хотун Тюнгюлю, Тойон Тюнгюлю и Нал. Длина – 4,9 км. На аласных угодьях озер распространены обширные сенокосы. Охраняемый ландшафт.	Сенокосное угодье. Историческое место заселения саха – мегинцев. Доступный.
Чурапча, озеро термокарстово-эрозионное, антропогенно-преобразованное.	Лено-Амгинское междуречье, правобережье р. Лены, в бассейне р. Татты. От Якутска находится в 178 км к востоку. Расположено в улусном центре с. Чурапча, Чурапчинский улус.	Длина – 4,4 км. Озеро имеет лопастно-овальную форму. Под озером расположен возрастающий талик. Береговая линия сильно изрезана, длина более 15 км – имеется много полуостровов и мысов, которые имеют собственные названия (микротопонимы). Вода в озеро с юга поступает через искусственные каналы от плотины р. Татта, с запада впадает р. Куохара, протекая через село. Охраняемый ландшафт.	Историческое место заселения саха – ботурусцев. Богато рыбой. В 2001 г. озеро было заполнено водами р. Татты по водоводу «Лена-Туора-Кюель». Доступный.
Мюрю, термокарстовое озеро.	Лено-Амгинское междуречье, правобережье р. Лены. Расположено в 100 м к югу от с. Борогонцы, Усть-Алданский улус.	Длина – 12,3 км. Озеро сложно-лопастной формы как результат слияния нескольких аласных озер. Озеро имеет усыхающие притоки и истоки. Некоторая часть заболочена. Охраняемый ландшафт.	Историческое место заселения саха – борогонцев. Сенокосное угодье. Доступный.
Виллюйская аласная провинция (А.IV.3)			
Ниджили (Неджели), эрозионно-термокарстовое озеро	Лено-Виллюйское междуречье, правобережье р. Чорон-Юрях, бассейн р. Виллюй. Расположено в 117 км к западу от пос. Сангар. На западном берегу озера расположено с. Арыктах Арыктахского наслега. Кобяйский улус.	Длина – 32,4 км. Имеет два острова. Впадают 12 рек, более крупные р. Кюнкей, Харыйа-Юрях, вытекает р. Сиэн-Юрях. Недалеко от озера находятся три больших песчаных дюнно-грядовых массива – тукуланы, где образовались тукулановые озера. Охраняемый ландшафт.	Круглогодичный улов карасей. Знаменит крупными карасями, размером 30 см и выше. По программе зарыбления, ниджиллинский карась был запущен в 20 соседних озер. Действует музей рыболовства. С 2010 г. ежегодно проводится республиканский фестиваль «Тойон Мунха» по ловле карася неводом. Доступный.

Лаабыда, эрозионно-термокарстовое озеро	Лено-Вилуйское междуречье, левобережье р. Лены, бассейн р. Кенкеме. Расположено в 61 км к югу от пос. Сангар, Кобяйский улус.	Длина – 3,3 км. Вытекает р. Чирийэ. Создано для сохранения некоторых редких видов растений и животных, занесённых в Красную книгу Якутии. Охраняемый ландшафт.	Богато рыбой. Доступный.
Быра-натталах, эрозионно-термокарстовое проточное озеро.	Лено-Вилуйское междуречье, правобережье р. Вилуй. Находится в бассейне р. Баппагай. Расположено в 152 км к востоку от пос. Сангар и в 10 км к востоку от с. Мастах, Кобяйский улус.	Длина – 14,6 км. Через протоку Тарын-Юрях имеет временный сток на р. Баппагай. На северо-восточной части озера вплотную подступают тукуланы – наносные песчаные гривы. Рядом находятся тукулановые озера. Охраняемый ландшафт.	Богато рыбой. Доступный.
Сылах, водно-эрозионное	Лено-Вилуйское междуречье, левобережье р. Вилуй. Расположено в 24,5 км к востоку от с. Хатырык-Хомо, Кобяйский улус.	Длина – 8,4 км. Создано для сохранения естественной среды обитания биологического многообразия, занесенного в Красную книгу РС (Я). Охраняемый ландшафт.	Доступный. Богато рыбой
Чабыда, эрозионно-термокарстовое озеро	Лено-Вилуйское междуречье, левобережье р. Лены, бассейн р. Кенкеме. Расположено в 73 км к северо-западу от с. Бердигестях и в 25 км к северу от с. Магарас, Горный улус.	Длина озера 4,7 км. Создано для сохранения естественной среды обитания биологического многообразия, занесенного в Красные книги РФ и РС (Я). Охраняемый ландшафт.	Доступный. Богато рыбой
Мохсо-голлох (Кемпендй), водно-эрозионное озеро	Лено-Вилуйское междуречье, правобережье р. Кемпендй, басс. р. Вилуй. Расположено в 57 км от улусного центра с. Сунтар, Сунтарский улус.	Имеет подковообразную форму. Длина – 2 км. Соленое минерализованное озеро богато лечебными грязями чёрного цвета, обладающими целебными качествами. В питании озера участвуют многочисленные солевые источники. На юго-востоке озеро соединяется с р. Кемпендй небольшой протокой. Через нее из озера сбрасываются излишки воды, поступающие из многочисленных источников на дне озера. Ресурсный резерват «Кемпендй» республиканского значения.	Используются как бальнеологические ресурсы, действует санаторий-профилакторий им. Г.Е. Чолбодукова. Доступный.
Муосааны, карстовое озеро	Лено-Вилуйское междуречье, правобережье р.р. Кемпендй, басс. р. Вилуй. Расположено в 50 км к северо-востоку от с. Кемпендй, от с. Сунтар в 95 км, Сунтарский улус.	Самое глубокое равнинное озеро Якутии, глубина – 64 м. Длина – 4 км. Создано для сохранения биологического разнообразия, занесенного в Красные книги РФ и РС (Я). Ресурсный резерват «Кемпендй» республиканского значения.	Доступный. Богато рыбой
Дьенкюдя (Дженкюде), термокарстовое озеро	Лено-Вилуйское междуречье, левобережье р. Вилуй, устье р. Марха. Расположено в 39 км к северо-востоку от г. Нюрба, в 200 м от с. Акана, Нюрбинский улус (район).	Длина – 14,7 км. Создано для сохранения естественной среды обитания биологического многообразия. Берега служат сенокосным угодьем для 3-х наслегов. Охраняемый ландшафт.	Сенокосное угодье. Доступный.

Мастах, эрозионно-термокарстовое озеро.	Тюнг-Вилуйское междуречье, левобережье нижнего течения р. Виллой. Междуречье р. Диппа – Тымпылыкан. Расположено в 88 км к северу от центра г. Вилуйск и в 7 км к западу от с. Сатагай, Вилуйский улус.	Длина озера 5,8 км. Озеро усыхающее, представлено системой озер (более 30 озер и озерцов). Создано для сохранения естественной среды биологического многообразия, занесенного в Красную книгу Якутии. Охраняемый ландшафт.	Сенокосное угодье. Доступный.
Белое, эрозионно-термокарстовое озеро,	Средняя Лена, расположено на левобережье, басс.р. Кенкеме. Находится в 80 км к северу от с. Намцы, Намский улус.	Длина – 7,8 км. Озеро богато крупными карасями, где проводятся мунгха – подлёдная рыбалка неводом. Ресурсный резерват «Белоозерский» республиканского значения.	Озеро богато крупными карасями. Доступный.
Сайсары, эрозионно-термокарстовое озеро	Средняя Лена. Находится в долине Туймаада на I надпойменной террасе, в самом центре г. Якутска – столицы Республики Саха (Якутия).	Длина – 1,4 км. Берега сложной формы, береговая линия – 5,4 км. Через сеть труб имеет связь с озерами Теплое и Лог, с южной стороны – попадает сток с озера Сергелях. Обитают карась, ондатра, утки. Буйно растёт тростник обыкновенный. Зона рекреации. Место отдыха горожан по набережной и в сквере Матери.	Историческое место заселения саха, начиная с Эллай Боотура, Омогой Бая, позже Тыгына. Доступный.
Нижнеленская северно-термокарстовая (А.П.4)			
Улахан-Кюёль, термокарстовое озеро	Нижняя Лена, правобережье р. Лены. Находится на правом берегу р. Мэнкэрэ. Расположено в 115,5 км к северо-востоку от улусного центра с. Жиганск, Жиганский улус.	Длина – 12,8 км. Самое крупное озеро улуса. Создано для сохранения естественной среды обитания для сохранения в ней биологического многообразия. Охраняемый ландшафт.	Богато рыбой. Труднодоступный.
Сизгэмдэ, эрозионно-термокарстовое	Нижняя Лена, правобережье р. Лены. Находится на левом берегу р. Ундюлюнг, в ее верховьях. Расположен на юге Жиганского улуса.	Сохраняется биологическое разнообразие, в том числе исчезающих видов животных, занесенных в Красные книги РФ и РС (Я). Ресурсный резерват «Ундюлюнг» республиканского значения.	Богато рыбой. Труднодоступный.
Анабаро-Оленекская озерно-термокарстовая (А.П.1)			
Улахан-Кюёль, термокарстовое озеро	Юго-восточные предгорья кряжа Прончищева. Находится на правобережье р. Уэле, в верховьях, бассейна р. Анабар. Расположено в 160 км к востоку от с. Саскылах, Анабарский улус.	Озеро за Полярным кругом, в зоне тундры. Длина озера 12 км. Создано для сохранения среды обитания биологического многообразия. Ресурсный резерват «Буфер Терпей-Тумус» местного значения.	Труднодоступный. Богато рыбой.

Южная Сибирь			
Становая среднегорная (Б.П.1)			
Большое Токо, тектоническое озеро (рис.3).	Расположено на северном склоне хребта Токинский Становик, в бассейне р. Мулам, левый приток р. Идум ситемы Алгама. Нерюнгринский район.	Самое глубокое озеро Якутии – 78,2 м, высота 903,8 м над уровнем моря. Самое крупное озеро Южной Якутии. Имеет форму округлого, вытянутого в северном направлении водоема с небольшими заливами ледникового происхождения. Длина – 15 км. В озеро впадает р. Утук, который имеет связь с озером Малое Токо. вытекает р.Мулам. Озеро существовало еще во время ледникового периода. Ресурсный резерват «Большое Токо» республиканского значения.	Обитают 3 вида животных, занесенных в Красную книгу России и Якутии: горный баран чубуку, черный аист, дикуша. В озере обитают ценные виды рыб. Недалеко находится Эльгинское месторождение угля.
Северо-Восточная Сибирь			
Орулганская среднегорная (В.П.2)			
Себян-Кюёль, тектоническое озеро	Расположено на западных склонах хр. Орулган, в бассейне р. Суланычан, в 142 км к северу от с. Себян-Кюёль и в 198 км к северо-востоку от райцентра пос. Сангар, Кобяйский улус.	Горное озеро. Высота 781 м над уровнем моря. Длина – 8,4 км. Создано для сохранения в ней биологического многообразия. Охраняемый ландшафт.	Труднодоступный. Богато рыбой
Нижнеянская северо-термокарстовая провинция (В.П.2)			
Буустаах, термокарстовое озеро	Расположено на севере Янской низменности. Вытекает р. Сюрюктях, которая впадает в Эбеляхскую губу. Усть-Янский улус (район).	Озеро за Полярным кругом, высота над уровнем моря 1 м. Длина – 23 км. Находится на территории ресурсного резервата «Буустаах» местного значения в зоне тундры.	Труднодоступный. Богато рыбой
Абыйская озерно-термокарстовая (В.П.1)			
Ожогоино, термокарстовое озеро	Север Абыйской (Среднеиндигирской) низменности, у юго-восточных склонов Полоусного кряжа. расположено в 80 км от п. Белая Гора, Абыйский улус (район).	Самое крупное по площади озеро Якутии в зоне тундры. Озеро за Полярным кругом, на высоте 31 м над уровнем моря. Длина – 32,1 км. Проточное. Вытекает левый приток р. Индигирка – р. Урюнг-Дяр. Создано для сохранения среды обитания сиговых рыб. Ресурсный резерват «Озеро Ожогоино» республиканского значения.	По протоке Ожогоино-Сээн из р. Индигирка на нерест поднимаются сиговые – муксун, чир, омуль и др.
Моготоево, лагунное озеро.	Расположено на северо-западе Яно-Индигирской низменности, севернее губы Гусиная на п-ве Лопатка, Аллаиховский улус.	Солёное озеро за Полярным кругом, в зоне тундры. Длина –27 км. Проточное. Короткой протокой впадает в Гусиную губу. В озеро впадает р. Бол.Мелкая, вытекает р. Мелкая. Ресурсный резерват «Кыталык» республиканского значения.	Труднодоступный. Богато рыбой муксун, чир, омуль, нельма и др.

Алазее -Колымская озерно-термокарстовая (B.II.4)			
Чукочье, лагунное озеро	Колымская низменность. Находится на левобережье протоки р. Б.Чукочья в дельте р. Колыма. Нижнеколымский улус (район).	Солёное равнинное озеро за Полярным кругом, в зоне тундры. Длина – 22 км. Проточное. Ресурсный резерват «Чайгургино» республиканского значения.	Труднодоступный. Богато рыбой
Большое Морское, лагунное озеро	Северо-восток Колымской низменности, на левобережье р. Б. Чукочья басс. р. Колыма. Ближайший населенный пункт – Походск, в 130 км к юго-востоку. Нижнеколымский улус (район).	Солёное озеро в тундре, расположено на высоте 5 м над уровнем моря. Длина 18 км. Из озера вытекает р. Анкаваам, которая впадает в р.Чукочья. Сохраняет естественную среду обитания биологического многообразия. Ресурсный резерват «Чайгургино» республиканского значения.	Труднодоступный. Богато рыбой
Оймяконская плоскогорная (B.V.4)			
Лабынкыр, тектоническое озеро.	Сордоннохское плато. Находится в долине р. Лабынкыр (левый приток р. Туора-Юрях), басс. р. Индигирки. Расположено в 226 км к югу от райцентра Усть-Нера, в 124 км от с. Оймякон, в 105 км от с. Томтор, Оймяконский улус (район).	Глубина – 52 м. Длина озера 14,4 км, на высоте 1020 м над уровнем моря. Образовалось на месте центрального моренного амфитеатра – в Лабынкырской котловине. В озеро впадает р. Лабынкыр, вытекает Нижний Лабынкыр, приток р. р.Туора -Юрях. В озере есть 3 острова. Находится в пределах Полюса Холода северного полушария. Ресурсный резерват «Верхнеиндигирский» республиканского значения.	Труднодоступный, но можно добраться от с. Томтор пешком, на вездеходе и вертолёте. По преданиям эвенов, в нем обитает Лабынкырское «чудовище», похожее на доисторическое земноводное. Труднодоступный. Богат рыбой.
Сетте-Дабанская (B.VI.3)			
Джелинде, ледниковое озеро	Юдомо-Майское нагорье, северо-западная окраина. Находится в долине р. Джелинде, басс. р. Аллах-Юнь. Расположено в 268 км к северо-востоку от райцентра Усть-Мая, Усть-Майский улус (район).	Длина – 1,6 км, ширина – 1 км. Озеро горное. Создано для сохранения естественной среды обитания биологического многообразия. Ресурсный резерват «Аллах-Юньский» республиканского значения.	Богато рыбой. Труднодоступный.

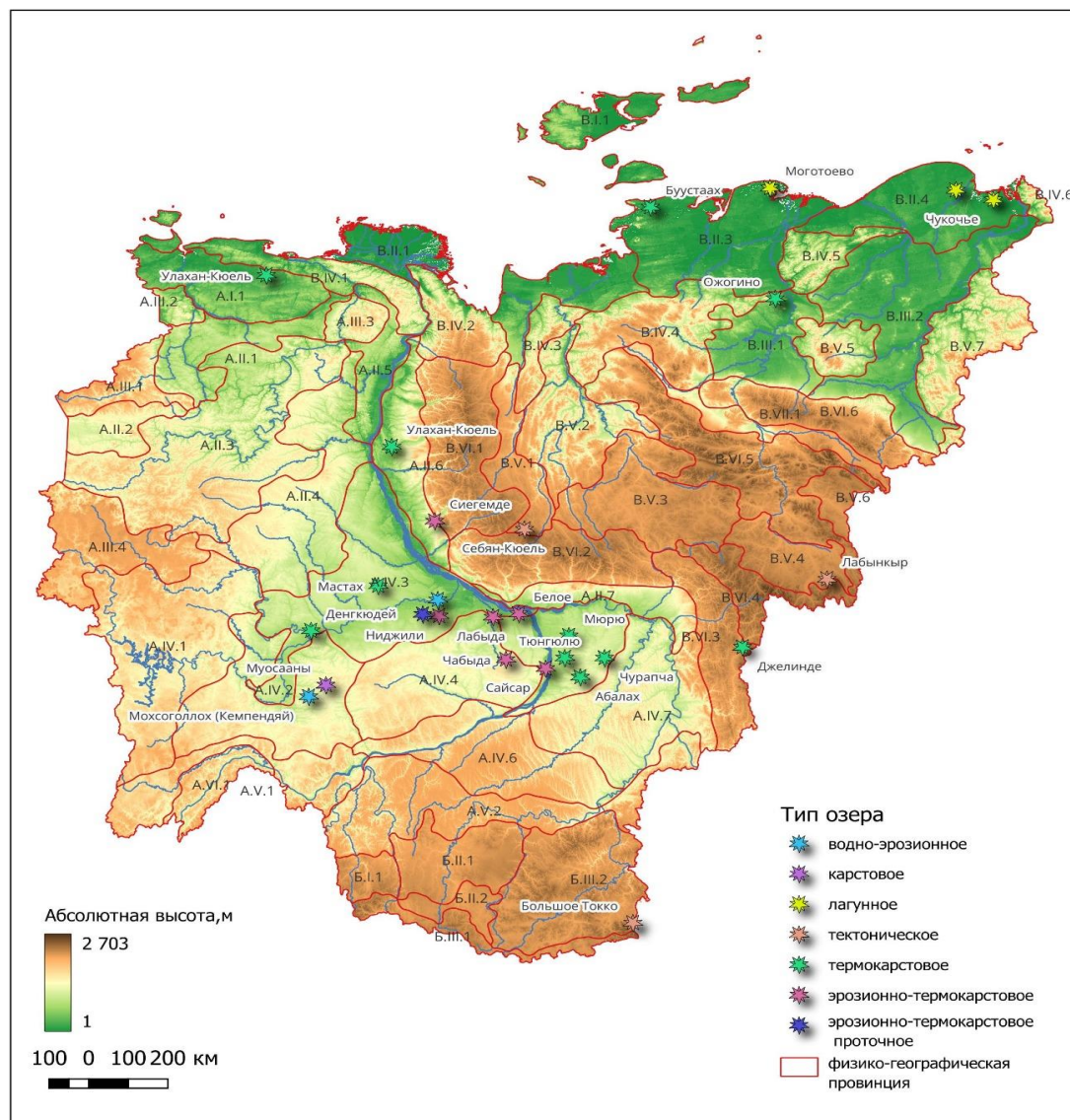
Анализ составленной автором таблицы подводит к следующим результатам и выводам:

1. Изучена физико-географическая характеристика уникальных озёр Якутии;
2. Разработана карта «Физико-географическое районирование уникальных озёр Якутии»;
3. Исходя из уникальности каждого озера, выявлены «Географические рекорды уникальных озёр Якутии».

Выводы

Уникальные озера охватывают довольно большое пространство Якутии, занимая умеренный и субарктический климатические пояса. Озера занимают горные и равнинные территории и расположены на 10 физико-географических провинциях Якутии (рис. 1). В природных комплексах равнин уникальные озера встречаются в зоне тундры, лесотундры и таежной зоне (среднетаёжных лиственных лесов). В природных комплексах гор, где наблюдается высот-

ная поясность, озера находятся в горной тундре Южной Якутии и горных лиственных и подгольцовых редколесьях Северо-Востока Сибири (хребет Орулган, Сордоннохское плато, Юдомо-Майское нагорье). Уникальные горные озера находятся в активных областях Якутии – в восточном фланге Байкало-Станового сейсмического пояса Олекмо-Становой сейсмотектонической зоны и Арктико-Азиатском поясе Черско-Верхоянской сейсмических зон [18].



ресурсных резерватов (Эркээйи Сирдэр) республиканского значения как «Чайгургино», «Озеро Ожогоино», «Большое Токко», «Аллах-Юньский», «Ундюлюнг», «Кемпендяй», «Белоозерский», «Верхнеиндигирский», «Кыталык», также на ресурсных резерватах «Буфер Терпей-Тумус» и «Буустаах» местного значения, всего 13 озер. Остальные уникальные озера являются охраняемыми ландшафтами (Түөлбэ сирдэр);

- По происхождению типов озерных котловин уникальные озера представлены 6 типами по ландшафтно-лимногенетической классификации И. И. Жиркова: термокарстовые, эрозионно-термокарстовые, водно-эрозионные, лагунные, тектонические, карстовые и ледниковые озера.

К термокарстовым относятся десять озер: Абалах, Тюнгилю, Мюрю, Чурапча (термокарстово-эрозионное, антропогенно-преобразованное), Джелинде, Ожогоино, Буустаах, Улахан – Кюёль, Улахан – Кюёль, Дьенкюдэ. Восемь озер относятся к эрозионно-термокарстовым: Белое, Ниджили, Лаабыда, Быранатталах, Чабыда, Мастах, Сайсары, Сиэгэмдэ. Водно-эрозионными являются озера Мохсоголлох (Кемпендяй) и Сыалах. Тектоническими озерами являются три озера: Большое Токо, Себян-Кюель, Лабынкыр. На побережьях моря Лаптевых и Восточно-Сибирского морей 3 лагунных озера – Б. Морское, Моготоево, Чукочье, 1 карстовое озеро – Муосааны и 1 ледниковое озеро – Джелинде;

- Каждое уникальное озеро является памятником природы республиканского и муниципального значения;

- 12 озер являются труднодоступными, остальные находятся в пределах доступности.

Все уникальные озера обладают самыми интересными природными особенностями, географическими, историческими свойствами, морфометрическими параметрами, присущими только каждому из этих озер. В этой связи выявлены особенности уникальных озер и сведены к категории уникальности как географические рекорды уникальных озер Якутии.

Географические рекорды уникальных озер Якутии:

- Самое крупное озеро – Моготоево, площадью 296 км².
- Самое крупное термокарстовое озеро – Ожогоино, площадью 157 км².
- Самое длинное термокарстовое озеро – Ниджили (32,1 км).
- Самое глубокое горное озеро – Большое Токко (82, 6 м).
- Самое глубокое равнинное озеро – Муосааны (64 м).
- Муосааны – самое глубокое карстовое озеро.
- Самое длинное горное озеро – Большое Токо (15 км).
- Большое Токо расположено выше всех, на отметке 903,2 м над уровнем моря.
- Большое Токо – самое крупное озеро Южной Якутии.
- Лабынкыр – загадочное озеро с этнографической легендой.
- Тектонические озера: Большой Токо, Лабынкыр, Себян – Кюель.
- Озера в активных сейсмических зонах: Большой Токо, Лабынкыр, Себян – Кюель, Джелинде.

- Лечебно-минерализованное термокарстовое озеро Абалах в Центральной Якутии.
- Солёные озера: Моготоево, Буустаах, Чукочье, Кемпендяй (Мохголлох).
- Мохсоголлох (Кемпендяй) – минерализованное, солёное озеро в бассейне р. Вилуй.
- Озера за Полярным кругом (Буустаах, Чукочье, Ожогоино, Улахан-Кюёль (Жиганский улус), Улахан-Кюёль (Анабарский улус).

- Арктические озера: Буустаах, Чукочье, Ожогоино, Моготоево, Улахан-Кюёль (Жиганский улус), Улахан-Кюёль (Анабарский улус).

- Лагунные озера – Моготоево, Буустаах, Чукочье.
- Самое крупное лагунное озеро – Моготоево.
- Ниджили и Белое озера с самыми крупными карасями.
- Мюрю, Чурапча – в самой середине улусных центров.
- Мюрю, Тюнгилю Чурапча – крупные аласные озера, исторические места проживания саха.
- Сайсары – самое историческое озеро г. Якутска и Якутии.

Данная, составленная автором подборка географических рекордов уникальных озер Якутии и подчеркивает уникальность, особенность и специфичность каждого озера.

Заключение

Уникальные озёра Якутии – достояние Республики Саха (Якутия). Изучение уникальных озер Якутии имеет перспективы еще более детальных, углубленных исследований для научного, научно-практического и туристско-рекреационного использования. Озера – это неповторимые и очень хрупкие экосистемы. Научно-практические исследования всегда актуальны для всех уникальных озер Якутии. Многие озера испытывают не только изменения природных режимов, также испытывают антропогенное воздействие независимо от доступности. Сильнее это отражается на уникальных термокарстовых озерах Центральной Якутии, которое связано с потеплением климата, усилением термокарстовых процессов и антропогенного воздействия, в частности, в критическом положении находится озеро Чурапча. Влияние негативного антропогенного воздействия ожидает труднодоступное озеро Большое Токко из-за близости к центру угольных разработок Эльгинского месторождения.

Уникальные озера Якутии как памятники природы являются природной достопримечательностью нашей республики. Озера эти имеют важную социально-экономическую и историческую ценность, особенно озера Центральная Якутская равнины, на Лено-Вилуйском и Лено-Амгинском междуречьях. Уникальные озера Якутии как объекты особо охраняемых природных территорий (ООПТ), как памятники природы, как природные достопримечательности требуют к себе очень внимательного отношения для сохранения неповторимой природы и биологического разнообразия.

Литература

1. Реки и озера Якутии : краткий справочник / С. К. Аржакова, И. И. Жирков [и др.] Министерство образования и науки РФ, Якутский государственный университет им. М.К. Аммосова. – Якутск : Бичик, 2007. – С.44 – 53.
2. Уникальные озера / Энциклопедический словарь Якутии / Академия Наук Республика Саха (Якутия) : [главный редактор доктор экон. наук Е. А. Борисов, зам. главного редактора доктор истор. наук А. И. Гоголев [и др.]. – Новосибирск : Наука, 2018. – С. 444.
3. Мостахов, С. Е. История географического изучения Северо-Востока Сибири (XVII – начало XX в.) : избранные труды. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2013. – С. 335.
4. Маак, Р. К. Вилуйский округ. – 2 издание. – Москва : «Яна», 1994. – С. 19, 57, 92, 93, 109, 110, 112, 127.
5. Серошевский, В. Л. Географический очерк / Якуты. Опыт этнографического исследования. – 2 издание. – Москва, 1993. – С. 17–18, 54.
6. Григорьев, А. А. Геоморфологический очерк Якутии. Вилуйско – Якутская котловина / Якутия. Сб. статей. Репринтное издание / Под редакцией П.В. Виттенбурга. – Ленинград: Издательство Академии Наук СССР, 1927. – С.41 – 48.
7. Григорьев, А. А. Геоморфологический очерк Якутии. Северо-восточный район горных поднятий / Якутия. Сб. статей. Репринтное издание / Под редакцией П.В. Виттенбурга. – Ленинград: Издательство Академии Наук СССР, 1927. – С. 80 – 82.
8. Григорьев, А. А. Геоморфологический очерк Якутии. Система Южно-Якутских горных поднятий / Якутия. Сб. статей. Репринтное издание / Под редакцией П.В. Виттенбурга. – Ленинград: Издательство Академии Наук СССР, 1927. – С. 62 – 63.
9. Жирков, И. И. Схема лимногенетической классификации озёр Северо-Востока России // Учёные записки РГГУ. В 34 выпусках. – Санкт-Петербург, 2014. – С. 18 – 26.
10. Кобяйский улус : история, культура, фольклор / Администрация муниципального р-на «Кобяйский улус (район)», Институт гуманитарных исследований АН РС (Я) ; [составители: Е. Н. Романов, Е. П. Антонов, Т. А. Новгородова; редколлегия: Е. Н. Романова [и др.]. – Якутск : Бичик, 2007. – С. 314 – 316.

11. Уникальные озера Якутии. URL :<https://minpriroda.sakha.gov.ru/unikalnye-ozera> (дата обращения: 28.07.2024).- Загл. с. титул. экрана. – Текст : электронный.
12. Ландшафты Якутии : монография / Ю. Г. Данилов, А. Н. Федоров [и др.] ; отв. редактор Ю. Г. Данилов. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2016. – С. 29.
13. Словарь географических названий Якутской АССР. Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР. – Москва, 1987. – С. 45, 54, 56, 74, 132, 144, 148, 153, 159, 200
14. Глушков, А. В. По рекам и горам Якутии / А. В. Глушков, В. Г. Осадчий. – Якутск: Якутское книжное издательство, 1990. – С.31 – 32, 172.
15. Лабынкыр – сердце Оймяконья / [составители: С. С. Слепцов, С. М. Егоров]. – 3-е изд. испр. и доп. – Якутск, 2015. – С. 184.
16. Якутская АССР : словарь – справочник / С.Е. Мостахов, И.А. Некрасов, З.М. Дмитриева, А.И. Калмыкова. – Якутск : Якутское книжное издательство, 1980. – С. 101, 116, .
17. Физическая карта / Атлас сельского хозяйства Якутской АССР : [редакционная коллегия И. А. Матвеев, М. Е. Николаев, Т. Д. Сивцев, Г. В. Бочаров и [и др.]. – Москва : Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР, 1989. – С.18 – 19.
18. Макаров, А. А., Козьмин, Б. М. Пространственно-статистический анализ распределения сейсмической энергии Олекмо-Становой сейсмоструктурной зоны (Южная Якутия Природы и ресурсы Арктики и Субарктики. Том 29. – 2024. – № 2. – С. 216. – URL : <https://resar.elpub.ru/jour/article/view/404>, (дата обращения: 15.08.2024).- Загл. с. титул. экрана. – Текст : электронный.

Reference

1. Reki i ozera Yakutii : kratkij spravochnik / S. K. Arzhakova, I. I. Zhirkov [i dr.] Ministerstvo obrazovaniya i nauki RF, Yakutskij gosudarstvennyj universitet im. M.K. Ammosova. – Yakutsk : Bichik, 2007. – S.44 – 53.
2. Unikal'nye ozera / Enciklopedicheskij slovar' Yakutii / Akademia Nauk. Respublika Saha (Yakutiya) : [glavnyj redaktor doktor ekon. nauk E. A. Borisov, zam.glavnogo redaktora doktor istor. nauk A. I. Gogolev [i dr.]. – Novosibirsk : Nauka, 2018. – S. 444.
3. Mostahov, S. E. Istoriya geograficheskogo izucheniya Severe – Vostoka Sibiri (XVII – nachalo XX v.) : izbrannye trudy. – Yakutsk : Izdatel'skij dom SVFU, 2013. – S. 335.
4. Maak, R. K. Vilyujskij okrug. – 2 izdanie. – Moskva : «Yana», 1994. – S. 19, 57, 92, 93, 109, 110, 112, 127.
5. Seroshevskij, V. L. Geograficheskij ocherk / Yakuty. Opyt etnograficheskogo issledovaniya. – 2 izdanie. – Moskva, 1993. – S. 17–18, 54.
6. Grigor'ev, A. A. Geomorfologicheskij ocherk Yakutii. Vilyujsko – Yakutskaya kotlovina / Yakutiya. Sb. statej. Reprintnoe izdanie / Pod redakciej P. V. Vittenburga. – Leningrad: Izdatel'stvo Akademii Nauk SSSR, 1927. – S. 41 – 48.
7. Grigor'ev, A. A. Geomorfologicheskij ocherk Yakutii. Severo-vostochnyj rajon gornyh podnyatij / Yakutiya. Sb. statej. Reprintnoe izdanie / Pod redakciej P. V. Vittenburga. – Leningrad: Izdatel'stvo Akademii Nauk SSSR, 1927. – S. 80 – 82.
8. Grigor'ev, A. A. Geomorfologicheskij ocherk Yakutii. Sistema Yuzhno-Yakutskih gornyh podnyatij / Yakutiya. Sb. statej. Reprintnoe izdanie / Pod redakciej P. V. Vittenburga. – Leningrad: Izdatel'stvo Akademii Nauk SSSR, 1927. – S. 62 – 63.
9. Zhirkov, I. I. Skhema limnogeneticheskoy klassifikacii ozyor Severo-Vostoka Rossii // Uchyonye zapiski RGGU. V 34 vypuskah. – Sankt- Peterburg, 2014. – S. 18 – 26.
10. Kobyajskij ulus : istoriya, kul'tura, fol'klor / Administraciya municipal'nogo r-na / »Kobyajskij ulus (rajon)», Institut gumanitarnyh issledovanij AN RS(Ya) ; [sostaviteli: E. N. Romanov, E. P. Antonov, T. A. Novgorodova; redkollegiya: E. N. Romanova [i dr.]. – Yakutsk : Bichik, 2007. – S. 314 – 316.
11. Unikal'nye ozera Yakutii. URL :<https://minpriroda.sakha.gov.ru/unikalnye-ozera> (data obrashcheniya: 28.07.2024).- Zagl. s. titul. ekrana. – Tekst : elektronnyj.

12. Landshafty Yakutii : monografiya / Yu.G. Danilov, A.N. Fedorov [i dr.] ; otv. redaktor Yu.G. Danilov . – Yakutsk : Izdatel'skij dom SVFU, 2016. – S. 29.
13. Slovar' geograficheskikh nazvanij Yakutskoj ASSR. Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii pri Sovete ministrov SSSR. – Moskva, 1987. – S. 45, 54, 56,74, 132, 144, 148, 153,159,200
14. Glushkov, A. V. Po rekam i goram Yakutii / A.V.Glushkov, V. G.Osadchij, – Yakutsk: Yakutskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1990. – S.31 – 32, 172.
15. Labyntyr – serdce Ojmyakon'ya / [costaviteli: C.C. Clepcov, C.M. Egorov].– 3-e izd. ispr. i dop.– Yakutsk, 2015.– S. 184.
16. Yakutskaya ASSR : slovar' – spravochnik / S. E. Mostahov, I. A. Nekrasov, Z. M. Dmitrieva, A. I. Kalmykova. – Yakutsk: Yakutskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1980.– S. 101, 116, .
17. Fizicheskaya karta / Atlas sel'skogo hoz'yajstva Yakutskoj ASSR : [redakcionnaya kollegiya I. A. Matveev, M. E. Nikolaev, T. D. Sivcev, G. V. Bocharov [i dr.].– Moskva : Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii pri Sovete ministrov SSSR, 1989. – S.18 – 19.
18. Makarov, A. A., Koz'min, B. M. Prostranstvenno-statisticheskij analiz raspredeleniya sejsmicheskoy energii Olekmo-Stanovoj sejsmotektonicheskoy zony (Yuzhnaya Yakutiya Prirody i resursy Arktiki i Subarktiki. Tom 29. – 2024.– № 2. – S. 216. – URL : <https://resar.elpub.ru/jour/article/view/404>, (data obrashcheniya: 15.08.2024).- Zagl. s. titul. ekrana. – Tekst : elektronnyj.

ПАХОМОВА Любовь Семеновна – к.п.н., доцент кафедры географии, доцент эколого-географического отделения Института естественных наук, СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: lsp0803@mail.ru

PAKHOMOVA Lyubov S. – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Geography, Associate Professor of the Ecological and Geographical Department of the Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov NEFU

СОЗДАНИЕ АНАГЛИФИЧЕСКИХ КАРТ РЕЛЬЕФА В ГИС С ОТКРЫТЫМ ОБЪЕКТНЫМ КОДОМ

С.А. Тесленок, А.В. Заикин, А.А. Скурихин, А.А. Обрядин, У.С. Федосеева*

ЮГУ, г. Ханты-Мансийск, Россия

*teslenok-sa@mail.ru

Аннотация. На сегодняшний день никого не удивит 3D-технологиями, для пользователей стали обычными и привычными экраны мониторов с визуализацией в виде объемных 3D-изображений. Известно множество способов придания объема неподвижным и движущимся изображениям. Соответственно, чрезвычайно разнообразны по своей природе и технологии создания трехмерной графики, позволяющие моделировать виртуальные объекты и создавать изображения на их основе. При этом наиболее эффективны и характеризуются максимальной степенью наглядности разнообразные системы визуализации многочисленных объемных 3D-моделей (включая цифровые модели рельефа) с использованием стереоэффекта. Это определяет цель данной работы – изучить и проанализировать возможности и особенности создания анаглифических карт рельефа с использованием свободного программного обеспечения географических информационных систем с открытым объектным кодом. Объемные геоизображения рельефа создавались путем реализации анаглифического метода на примере территории Республики Мордовия. Актуальность представляемого исследования определяется, прежде всего тем, что активное и повсеместное внедрение различных вариантов 3D-геоизображений в нашу повседневную жизнь и практику научных исследований одновременно выявляет и наличие ряда проблем, так или иначе связанных с технологиями и средствами их получения и восприятия. Были изучены теоретические аспекты и современные способы создания анаглифических изображений рельефа с помощью различных ГИС-продуктов, выявлены их недостатки и преимущества. Результаты работы подтверждают возможность и доступность применения функционала ГИС с открытым объектным кодом для создания анаглифических геоизображений. С использованием возможностей функционала открытых ГИС SAGA и QGIS была получена серия карт-анаглифов рельефа на территорию Республики Мордовия. Результаты выполненных исследований, полученные данные и созданные авторские материалы подтверждают необходимость и определяют возможные пути совершенствования общей технологической схемы создания анаглифических карт и планов. Приведенные технологические схемы создания анаглифических геоизображений и полученные материалы могут быть использованы при организации и проведении дальнейших исследований особенностей рельефа Республики Мордовия.

Ключевые слова: 3D-изображения, геоизображения, анаглифический метод, анаглифы, стереопара, рельеф, картографическая визуализация, анаглифические карты, создание карт, ГИС, свободное и открытое программное обеспечение, SAGA, QGIS, Республика Мордовия.

CREATION OF ANAGLYPHIC RELIEF MAPS IN GIS WITH OPEN OBJECT CODE

S.A. Teslenok, A.V. Zaikin, A.A. Skurihin, A.A. Obryadin, U.S. Fedoseeva*

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

*teslenok-sa@mail.ru,

Abstract. To date, no one will be surprised by 3D technologies, for users, monitor screens with visualization in the form of three-dimensional 3D images have become common and familiar. There are many ways to add volume to still and moving images. Accordingly, technologies for creating three-dimensional graphics are extremely diverse in nature, allowing you to model virtual objects and create images based on them. At the same time, various visualization systems of numerous three-dimensional (3D) models (including digital terrain models (DEM)) using stereo effect are the most effective and characterized by the maximum degree of clarity. This

determines the purpose of this work – to study and analyze the possibilities and features of creating anaglyphic relief maps using free software for geographic information systems with open object code. Three-dimensional geo-images of the relief were created by implementing the anaglyphic method on the example of the territory of the Republic of Mordovia. The relevance of the presented research is determined primarily by the fact that the active and widespread introduction of various variants of 3D geo-images into our daily life and the practice of scientific research simultaneously reveals the presence of a number of problems related in one way or another to technologies and means of obtaining and perceiving them. The theoretical aspects and modern methods of creating anaglyphic relief images using various GIS products were studied, their disadvantages and advantages were revealed. The results of the work confirm the possibility and accessibility of using the GIS functionality with open object code to create anaglyphic geo-images. Using the functionality of the open GIS SAGA and QGIS, a series of relief anaglyph maps for the territory of the Republic of Mordovia was obtained. The results of the research performed, the data obtained and the author's materials created confirm the need and identify possible ways to improve the overall technological scheme for creating anaglyphic maps and plans. The given technological schemes for the creation of anaglyphic geo-images and the obtained materials can be used in organizing and conducting further studies of the features of the relief of the Republic of Mordovia.

Keywords: 3D images, geo-images, anaglyphic method, anaglyphs, stereogram, relief, cartographic visualization, anaglyphic maps, compilation of maps, GIS, free and open software, SAGA, QGIS, Republic of Mordovia.

Введение

На сегодняшний день уже никого не удивит 3D-технологиями, для пользователей стали обычными и привычными несколько типов выпускаемых производителями экранов мониторов, позволяющими визуализировать объемные 3D-изображения, давно и прочно вошедшие в нашу повседневную жизнь. Существует множество способов придать объем изображению, находящемуся и в неподвижном состоянии, и в движении. Технологии создания трехмерной графики, которые позволяют моделировать виртуальные объекты и создавать изображения на их основе, чрезвычайно разнообразны по своей природе [1, 2, 3, 4]. При этом наиболее эффективны и характеризуются максимальной степенью наглядности различные системы визуализации многочисленных объемных 3D-моделей (включая важнейшую для географии составную часть математико-картографического моделирования [5] – цифровое моделирование рельефа, как основной способ его представления в геоинформационном картографировании [6, 7, 8, 9, 10 и др.] и результат этого процесса – широко распространенные и имеющие важное практическое значение цифровые модели местности и рельефа [6, 7], дающие наиболее реалистичную картину изучаемой территории, визуализирующие трехмерность ее рельефа и геологического строения [11, 12]) с использованием стереозффекта.

Это определяет цель данной работы – изучить и проанализировать возможности и особенности создания анаглифических карт рельефа с использованием свободного программного обеспечения географических информационных систем (ГИС) с открытым объектным кодом. В связи с этим, главный объект исследования – объемное (стерео, стереоскопическое, трехмерное, 3D, 3d) геоизображение рельефа территории Республики Мордовия, а предмет – особенности создания карт рельефа указанного региона путем реализации анаглифического метода с использованием ГИС с открытым объектным кодом.

Представляемая работа актуальна в связи с тем, что активное и повсеместное внедрение различных вариантов 3D-геоизображений в нашу повседневную жизнь и практику научных исследований одновременно выявляет и наличие ряда проблем, так или иначе связанных с технологиями и средствами их получения и восприятия. Кроме того, анаглифические геоизображения относят к новым видам цифровой картографической продукции [13, 14, 15, 16], широко применяемой, в том числе и для картографо-геоинформационного обеспечения устойчивого развития геосистем и территорий [17].

Материалы и методы исследования

Сейчас уже давно известны и находят очень широкое распространение и применение самые разные способы придания объема как неподвижному, так и движущемуся изображению на плоскости (как правило, экране компьютерного монитора). При этом анаглифический метод (от греч. «anaglyphos» – «рельефный») является одним из основных и имеющих наибольшее распространение способов получения изображений с объемным эффектом в 3D-формате (наряду с самым известным стереоскопическим) [3] и их последующего анализа, особенно – применительно к анализу цифровых моделей рельефа.

В случае использования традиционных стереоскопических изображений-анаглифов, получаемых на основе природной специфики бинокулярного человеческого зрения, соответствующий стереоэффект (объемность) формируется цветовым сдвигом двух изображений, полученных из двух пространственно разнесенных точек (принцип спектрального разделения цветов или цветовой сепарации).

Также, как и в других способах, для каждого глаза зрителя формируются отдельные картины и это – самый ранний по времени использования принцип стереоскопического 3D-эффекта и 3D-видео. Именно различие двух видов одной и той же территории или объекта при обязательном условии наличия параллакса (изменения видимого положения объекта относительно удаленного фона с учетом положения наблюдателя) и позволяет зрительной системе человека сгенерировать соответствующее стереоскопическое представление [3, 18, 19].

Наиболее простой и имевший исторически максимальное распространение вариант анаглифического метода предполагал съемку двумя камерами с получением двух изображений на основе цветной фильтрации (для левого и правого глаза человека). Далее эти полученные два изображения проецируются (выводятся) на экран двумя проекторами (левым и правым), снабженными светофильтрами красного и контрастного ему синего или зеленого (традиционно и чаще всего) (либо смешанного голубого или бирюзового) цветов [3, 4]. Таким образом, анаглиф создается наложением двух изображений анаглифической стереопары (левого и правого) в различных цветах, когда красное изображение предназначено для левого глаза, а синее – для правого.

Зритель просматривает полученное в результате проецирования изображение через специальные анаглифические очки со светофильтрами таких же цветов, но теперь установленными в обратном порядке (красный – справа, синий – слева, red / cyan). При этом (из-за эффекта бинокулярного смещения цветов) каждый глаз видит изображение только своей части стереопары. Вычитание одного цвета другим приводит к цветовому разделению изображений для левого и правого глаза (сепарация ракурсов) и восприятию отдельных изображений в качестве единого объемного (стереоскопического). Получение подобного стереоэффекта при этом имеет главный существенный недостаток – изображение является монохромным (однотонным черно-белым или ахроматическим). Утрата цветовой адекватности в процессе цветопередачи и определяет подобную непригодность метода анаглифов для сепарации цветных изображений.

Разделенные (сепарированные) при производстве съемки изображения с цветной фильтрацией (каждое – предназначенное для «своего» глаза), кроме проецирования на экран также могут печататься вместе как единое изображение на одну и ту же поверхность, но окрашиваются при этом в разные, дополнительные друг к другу цвета [20, 21]. Кроме того, в настоящее время использование методов компьютерной графики дает возможность формировать анаглифические изображения на дисплее и чаще всего обработка пары цветных или монохромных исходных изображений (черно-белая стереопара) осуществляется с использованием специализированных компьютерных графических программ, имитирующих эффект применения цветных светофильтров. Подобная процедура носит название микширования каналов и является разновидностью цифрового композитинга (смешивания).

Также важным преимуществом применения специализированного программного обеспечения, преодолевающим указанное нами ранее ограничение в отображении цветных стереопар,

является то, что с его использованием появляется возможность использования способов анаглифического кодирования, допускающих наличие цвета, причем с использованием как цветной, так и монохромной исходной стереопары. Еще в 70-х годах прошлого века С. Гибсон предложил к использованию патентованную систему очков «Дип вижн» (англ. «Deep Vision») с бирюзовыми фильтрами вместо традиционных зеленых, что дало возможность получить более приближенный к естественному и практически полный набор цветов видимого спектра. При этом в наименьшей степени искажается зеленый цвет, а в максимальной – красный, воспринимаемый почти черным [3, 19, 20].

Как видим, технологическая схема создания и использования анаглифических изображений предполагает последовательное выполнение трех групп действий: от получения пары изображений с параллактическим смещением, через применение к каждому созданному изображению цветового фильтра до последующего совмещения их в единую картину.

Результаты исследования

Все вышесказанное о анаглифах в полной мере относится и к картографическим изображениям. Соответственно, в картографии давно известен и широко применяется метод получения стереоскопических (стереофотограмметрических) моделей рельефа, работа с которыми возможна в процессе просмотра стереопары – двух смежных перекрывающихся аэрофотоснимков [10]. В случае, когда такие снимки напечатаны с использованием двух дополнительных цветов (например, красного и зеленого), речь идет уже об использовании анаглифического метода [21, 22]. В качестве стереопар могут быть использованы не только соседние аэрофотозображения с частичным перекрытием, полученные из двух разнесенных в пространстве точек, но и аналогичные, снятые с подобным перекрытием с двух соседних трасс пары космических, а также наземных или подводных снимков.

В структуре современной картографии и в материалах, производимых в результате ее функционирования, ее продукции, сегодня ведущие позиции занимает геоинформационное картографирование [6, 7], практически реализуемое широко развитыми средствами современного программного обеспечения ГИС. В первую очередь это определяется широко представленными в современные ГИС огромными возможностями графической (преимущественно картографической) визуализации имеющих пространственную географическую привязку объектов, процессов, явлений, их цифровых моделей и информации (наряду с высокоразвитым цифровым инструментарием сбора, организации, хранения, обработки и анализа географических данных, а также средствами пространственного моделирования) [6, 7]. Их довольно серьезный недостаток – высокая трудоемкость работ – с лихвой восполняется главным преимуществом – качеством получаемых моделей [11, 12, 23]. Ну и, конечно, особого внимания заслуживает и дает значимые практические результаты интеграция трехмерного компьютерного моделирования и ГИС [7, 24, 25].

В связи с этим представляет теоретический и практический интерес определение возможностей создания и последующего анализа анаглифических карт (карт-анаглифов) с использованием программного обеспечения ГИС, а с учетом современных возможностей и особенностей применения зарубежного программного обеспечения в нашей стране – в ГИС с открытым объектным кодом (свободных, открытых) [26, 27]. Результатом подобной визуализации, применительно к цифровому моделированию рельефа и получаемым в его результате цифровым моделям, являются анаглифические карты (карта-анаглиф, анаглиф; англ. «Anaglyphic(al) map», «Anaglyph»). Они создаются методом цветных анаглифов, аналогично им и по указанной выше технологии, печатаются двумя взаимодополняющими (как правило, сине-зеленым и красным) цветами, с параллактическим смещением для образования стереопары изображений. Бинокулярный просмотр такого геоизображения через специальные очки с красным и сине-зеленым светофильтрами, как и в случае других, рассмотренных ранее видов анаглифов, дает для пользователя черно-белое стереоскопическое (объемное) изображение рельефа местности [28].

Работы по обработке технологии получения анаглифических изображений, выявлению возможностей их последующего анализа и применения полученных результатов выполнялись с использованием программные обеспечения бесплатных свободных ГИС с открытым исходным объектным кодом [26, 27, 29] SAGA [30] и QGIS [29, 31], обладающих большим набором нужных для работы функций и инструментов. Район исследования был представлен территорией в пределах границ Республики Мордовия. Вообще, конкретно для данного региона первый опыт применения ГИС с открытым исходным объектным кодом SAGA [30] и GRASS [32] относится еще к 2013 г. и в тот же период были получены и самые первые анаглифические карты и модели рельефа этой территории [11 и др.].

Работа по подготовке анаглифических карт начинается с подбора исходных данных. Поскольку целью исследования являлись изучение и анализ возможностей создания анаглифических карт рельефа, одним из главных источников при создании базы исходных данных на картографируемую территорию Республики Мордовия стал набор готовых векторных слоев цифровой географической основы [33], полученный с сайта Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ, или Институт Карпинского) [34]. Эти материалы представлены в достаточно подробном виде, включая детальные данные о рельефе и гидрографии на всю территорию Российской Федерации.

Для создания картографической базы данных на ту или иную территорию важно использовать не только векторные данные, но и растровые, например [35], так как эти оба типа цифровой картографической информации имеют как свои преимущества, так и недостатки, а в случае их совместного использования существенно улучшается качество выполняемой работы и получаемых результатов. На современном этапе технического развития программное обеспечение ГИС позволяет одновременно работать с обоими видами данных. Несмотря на все недостатки растровых данных, создание картографической базы данных без их использования невозможно, так как все ранее созданные аналоговые карты на первоначальном этапе переводятся в электронный формат путем растеризации (сканирования) традиционных бумажных исходников.

К растровым данным относят не только сканированные карты, но и широко используемые в настоящее время данные дистанционного зондирования Земли. Использование космических снимков обосновано тем, что информация, содержащаяся на них актуальна, а разрешение современных космоснимков достаточно велико, что так же положительно влияет на качество работы, существенно улучшая полученные результаты [36]. В данном исследовании дополнительно были использованы файлы, представленные на сайте CGIAR-CSI Consortium for Spatial Information [37] (рис. 1), предоставляющем данные SRTM [38].

Сейчас известны и широко используются большое число различных цифровых моделей, но при этом многие из них имеют различные недостатки, включая наличие разного рода искажений для территорий равнинных регионов, к которым относится и исследуемая территория, где ошибки высот превышали изменчивость топографии [39, 40].

После получения всех необходимых исходных данных о рельефе изучаемого региона производится их подготовка, и выбираются растровые изображения, на которых представлена территория Республики Мордовия [38] (рис. 2). Этот и все последующие этапы работы выполняются в рамках геоинформационных проектов, созданных в соответствующих ГИС-программах [41, 42].

Так как растровые изображения не представляют единого целого и разъединены, для удобства работы необходимо создать их общее изображение в виде мозаики растров. Для этого сначала создается набор растровых данных, а затем, с использованием соответствующих инструментов создания Мозаики, получается единое изображение в формате *.tif (рис. 3).

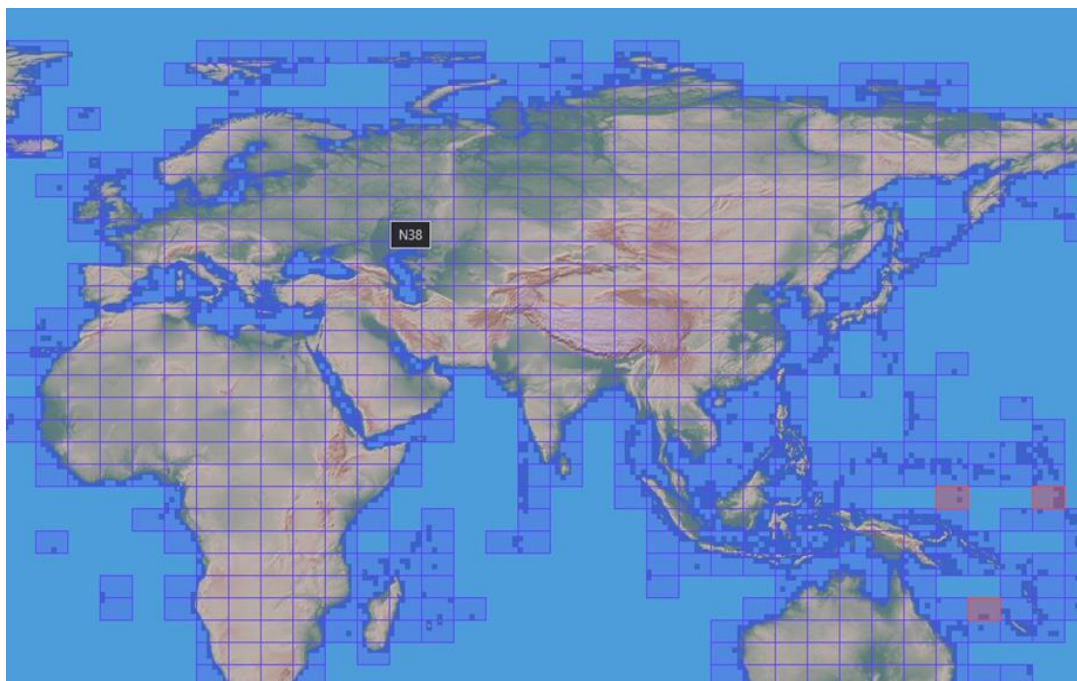


Рис. 1. Сайт CGIAR-CSI Consortium for Spatial Information
Fig. 1 Website of the CGIAR-CSI Spatial Information Consortium

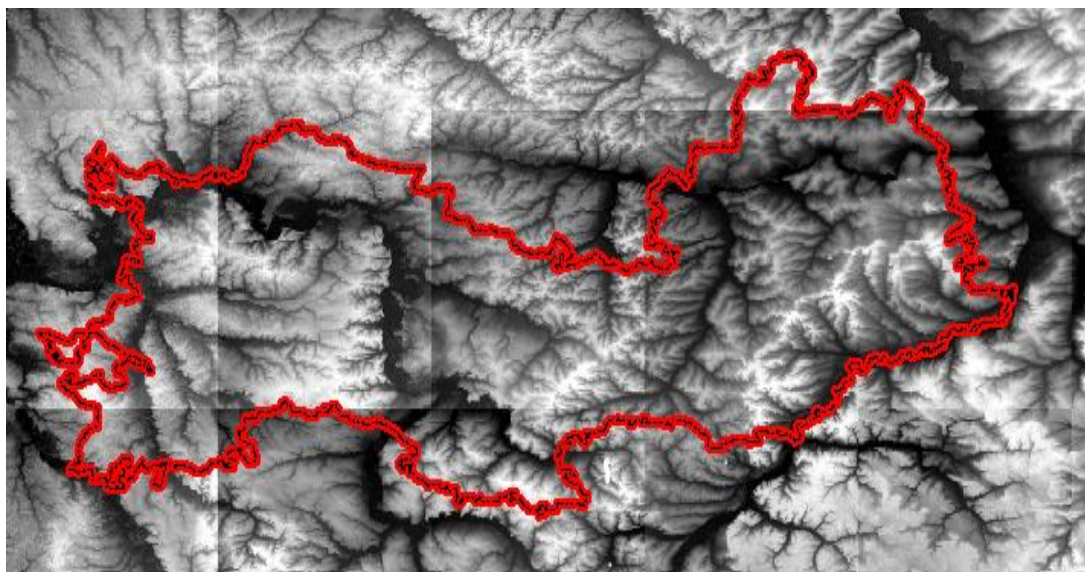


Рис. 2. Отдельные растровые изображения
Fig. 2 Individual bitmaps

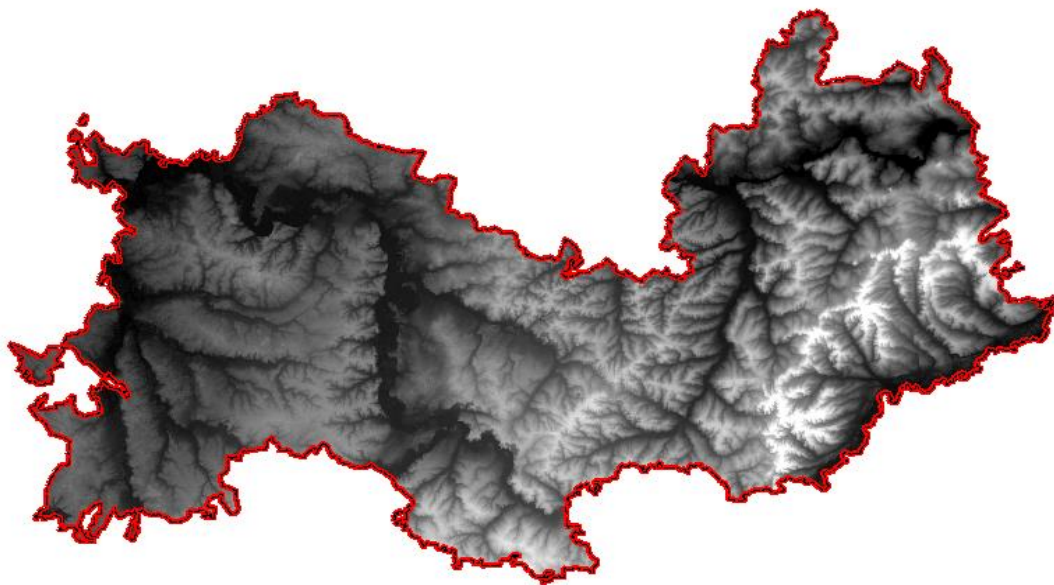


Рис. 3. Единое представление SRTM

Fig. 3 A single SRTM view

Для построения анаглифической карты рельефа в ГИС SAGA [30] после начала работы программы необходимо выполнить следующие этапы в технологической схеме действий.

1. Подгружается подготовленный ранее SRTM-файл в формате *.sgrd (рис. 4).
2. Загружается модуль «Show 3D – View».
3. В настройках устанавливается система координат и источник высот, а для получения более качественного отображения – изображение увеличивается.

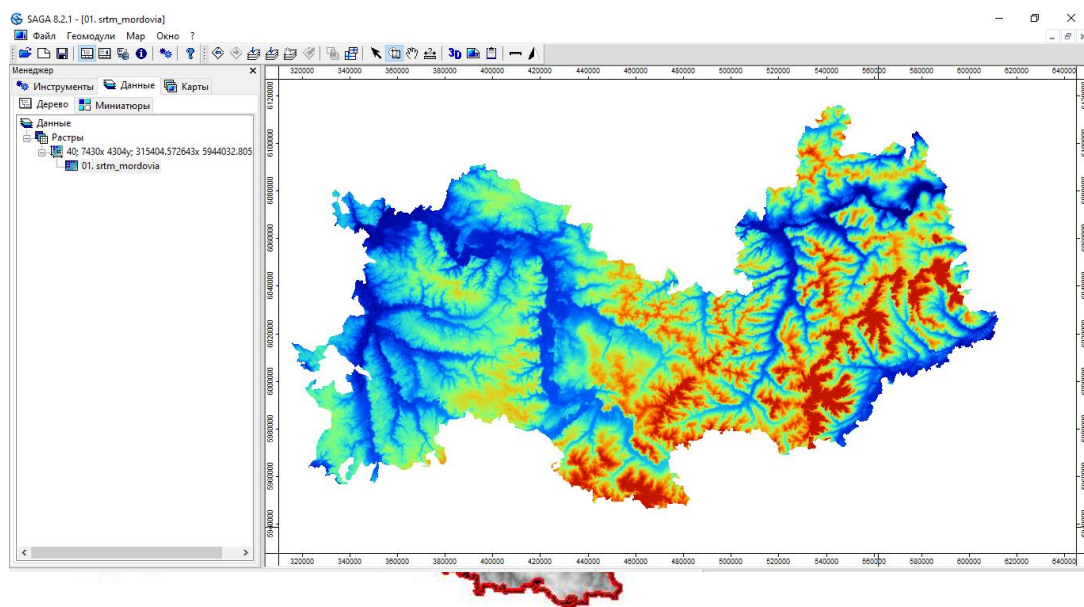


Рис. 4. Подгруженный SRTM-файл

Fig. 4 Uploaded SRTM file

4. Выбирается функция «Анаглиф» с помощью, которой формируется готовая стерео-модель рельефа, исследуемой территории (рис. 5).

Дополнительно разработка анаглифических геоизображений на основе цифровой модели рельефа возможна с использованием модулей d.anaglyph и / или m.nviz.image (NVIZ) [32].

Созданная в ГИС SAGA анаглифическая карта рельефа представлена на рис. 6.

Для построения анаглифической карты рельефа в ГИС QGIS после начала работы программы выполняется следующая технологическая последовательность действий.

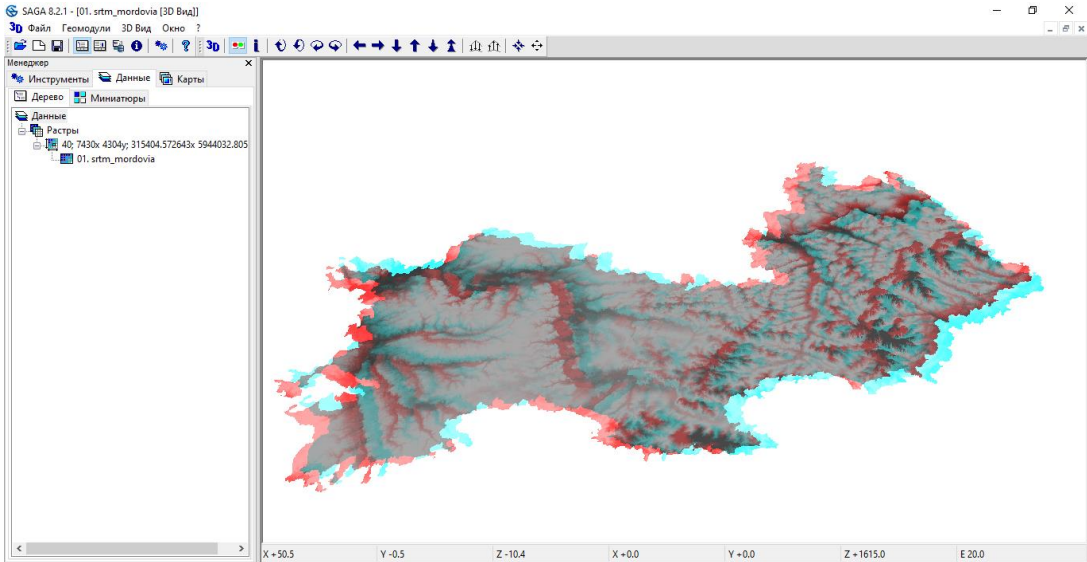


Рис. 5. Результат работы модуля «Анаглиф»

Fig. 5 The result of the “Anaglyph” module

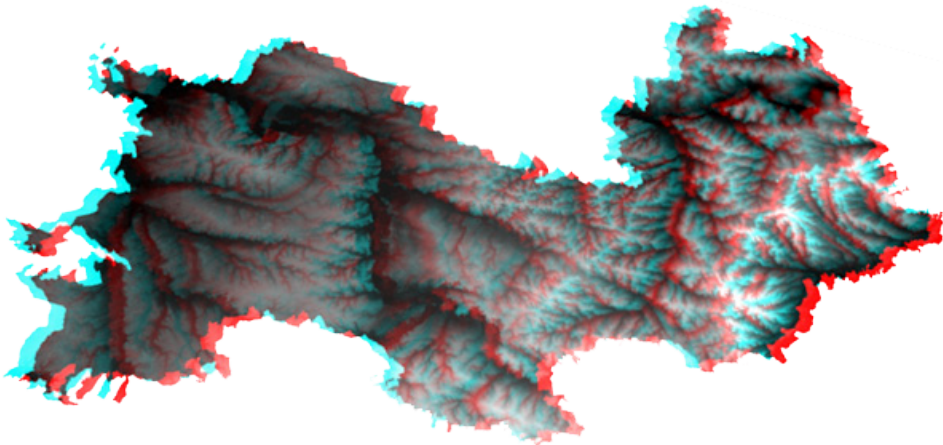


Рис. 6. Анаглифическое изображение рельефа территории Мордовии

Fig. 6 Anaglyphic image of the relief of the territory of Mordovia

1. Подгружаются и объединяются полученные ранее данные SRTM с получением единого растра.
2. Растр обрезается по маске анализируемой территории с получением результата, показанного на рис. 7.
3. В свойствах целевого слоя настраивается цветовая схема.
4. В режиме 3D-визуализации запускается просмотр анаглифического изображения.

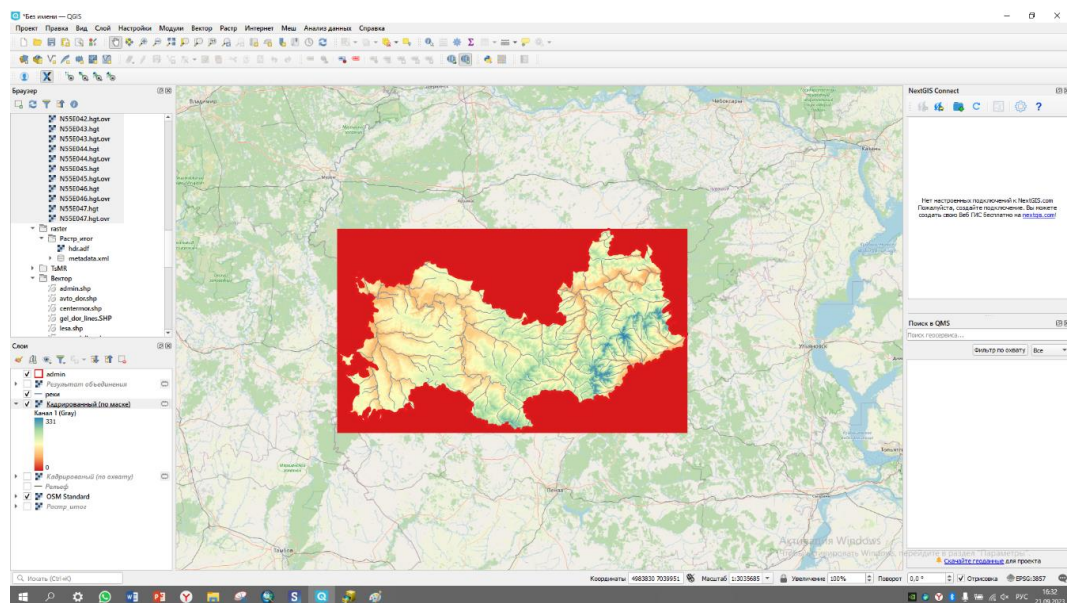
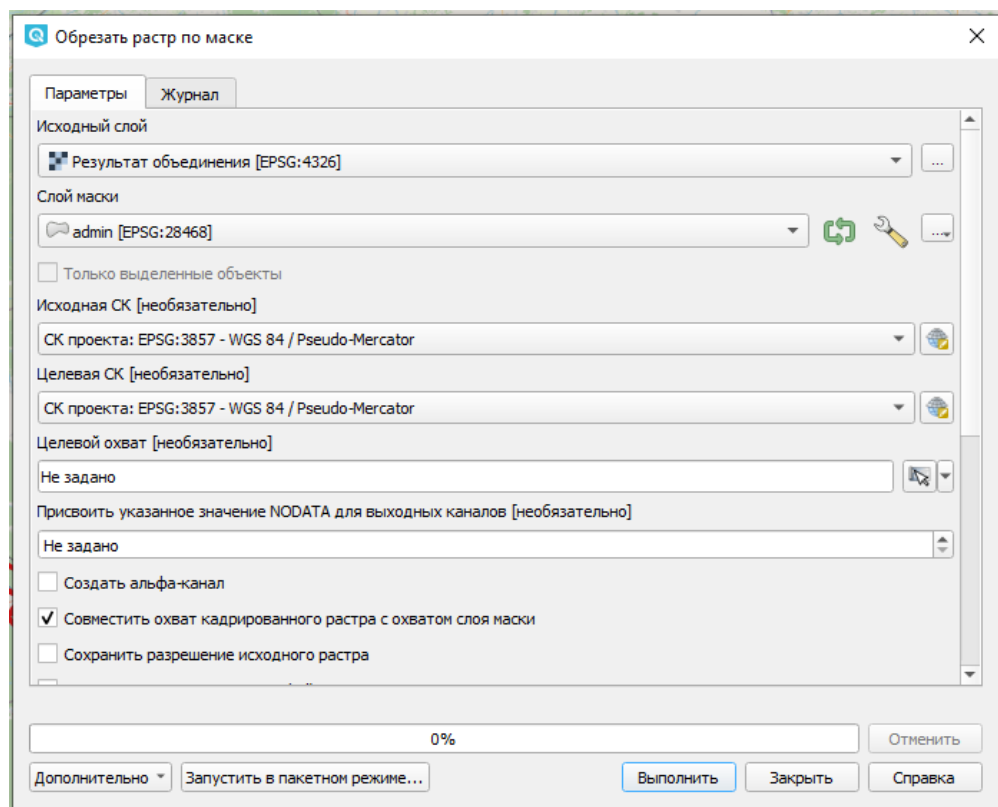


Рис. 7. Подготовка растра путем обрезки по маске

Fig. 7 Preparation of the raster by trimming by mask

5. Во вкладке 3D-визуализации свойств слоя с помощью ползунка настраивается качества изображения и светотеневой эффект (рис. 8).

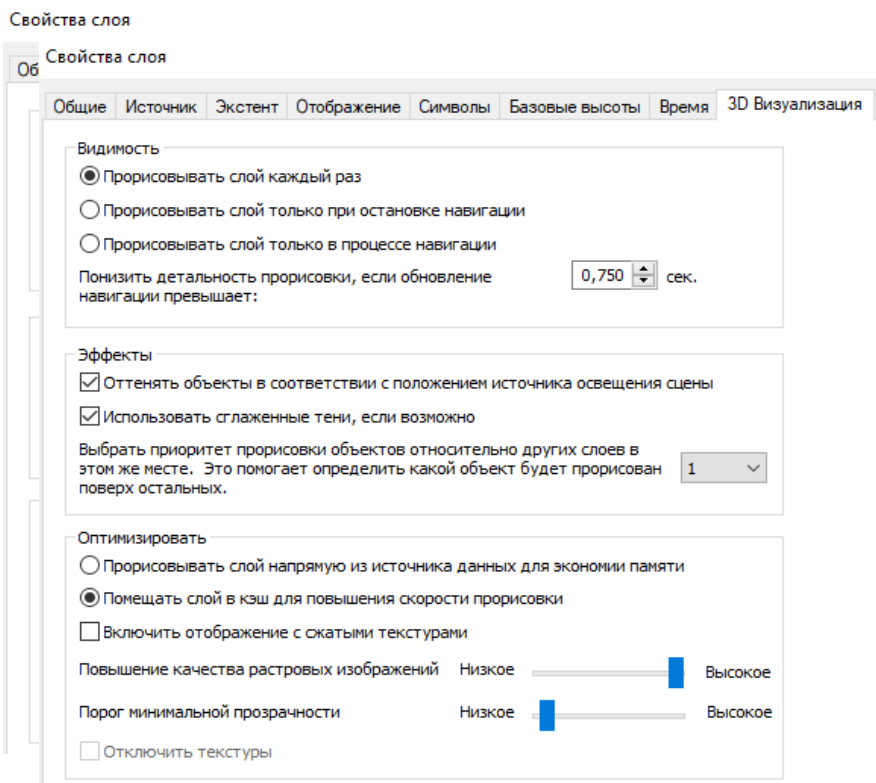


Рис. 8. Настройка 3D-визуализации

Fig. 8 Setting up 3D Visualization

Дополнительно возможно создание анаглифических геоизображений на основе цифровой модели рельефа с использованием модуля Orfeo Toolbox [31]. Созданная в ГИС QGIS анаглифическая карта рельефа представлена на рис. 9.

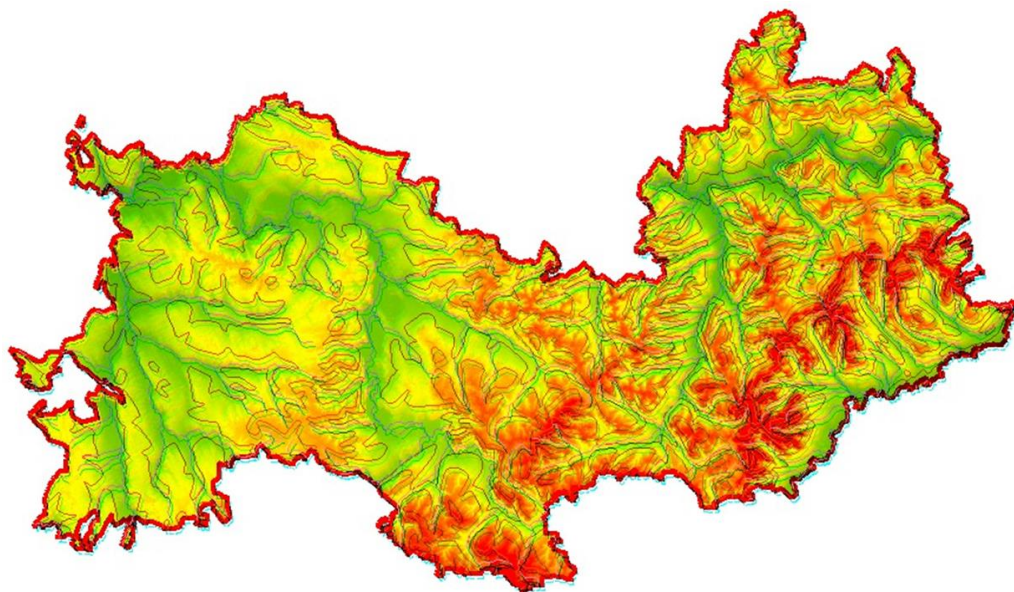


Рис. 9. Анаглифическое геоизображение рельефа территории Мордовии

Fig. 9 Anaglyphic image of the relief of the territory of Mordovia

Результатом данной работы является изучение теоретических аспектов, а также современных способов создания анаглифических изображений рельефа и их последующего анализа с помощью различных ГИС-продуктов, выявление их недостатков и преимуществ. Важное значение имеет анализ и выявление возможностей практического применения полученных результатов [8, 9, 11, 12, 15, 23, 26, 27, 43 и др.].

Заключение

Важнейшими достоинствами и преимуществами анаглифических карт являются сравнительная простота их получения, генерализованность изображений, возможности пространственной визуализации и визуального изучения объектов и их характеристик, по-другому представленных при их отображении в двумерном пространстве.

Рассмотренные и проанализированные технологии создания анаглифических геоизображений позволяют сэкономить значительные временные, трудовые и финансовые ресурсы, так как не требует крупных вложений и основаны на использовании общедоступной информации и бесплатного свободного программного обеспечения.

Важно, что нет необходимости постоянного использования ресурсов компьютерной техники и вычислительных сетей, а также дорогостоящего и сложного технического и программного обеспечения [43]. Рассмотренные технологии получения анаглифических геоизображений, основанные на принципе цветового сдвига, не нуждаются в использовании сложных и дорогих фотограмметрических технологий и оборудования [2, 10].

С использованием возможностей функционала открытых ГИС SAGA и QGIS была получена серия карт-анаглифов рельефа на территорию Республики Мордовия. Результаты выполненных исследований, полученные данные и созданные авторские материалы подтверждают необходимость и определяют возможности совершенствования общей технологической схемы создания анаглифических карт и планов.

По результатам проведенной работы были исследованы методы и определены способы анаглифического анализа, выявлено, что наиболее точную и актуальную информацию о рельефе на сегодняшний день можно получить, дополнительно используя данные SRTM, проведен сравнительный анализ двух ГИС-программ с открытым объектным кодом и задействованных алгоритмов получения анаглифических геоизображений.

Анаглифические карты и модели, полученные по предлагаемой авторами технологической схеме, с полным основанием могут быть признаны наиболее дешевым способом геопространственной визуализации стереоскопической информации о рельефе исследуемой территории.

Приведенные технологические схемы и полученные материалы могут быть использованы при организации и проведении дальнейших исследований особенностей рельефа территории не только Республики Мордовия, но и других регионов Российской Федерации.

Литература

1. Виртуальные географические среды / под ред. В.С. Тикунова. – Краснодар : Краснодарская панорама досуга, сор. 2015. – 351 с. – Текст : непосредственный.
2. Горобцов, С.Р. Трехмерное моделирование и визуализация городских территорий с использованием современных геодезических и программных средств / С.Р. Горобцов, А.В. Чернов // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23. – № 4. – С. 165-179. – Текст : непосредственный.
3. 3D теория. Обзор методов создания и просмотра стереоизображений. ООО «Триаксес Лайн», Россия, Калининград // ООО TRIAXES, 2017. – URL : <https://triaxes.com/docs/3DTheory-ru/3D1.html> (дата обращения: 04.07.2024). – Текст: электронный.
4. 3D видео – вредно ли для здоровья? // Ferra.ru. – URL : <https://www.ferra.ru/review/tv/107733.htm> (дата обращения: 04.07.2024). – Текст: электронный.
5. Жуков, В.Т. Математико-картографическое моделирование в географии / В.Т. Жуков, С.Н. Сербенюк, В.С. Тикунов. – Москва : Мысль, 1980. – 224 с. – Текст : непосредственный.

6. ГОСТ Р 50828-95. Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования. – Москва : Госстандарт России, 1996. – 19 с. – Текст : непосредственный.
7. ГОСТ Р 52055-2003. Геоинформационное картографирование. Пространственные модели местности. Общие требования. – Москва : Издательство стандартов, 2003. – 8 с. – Текст : непосредственный.
8. Геоинформатика : в 2 кн. Кн. 1 : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др. / Под. ред. В.С. Тикунова. – Москва : Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с. – Текст : непосредственный.
9. Лурье, И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: учебник / И.К. Лурье. – Москва : КДУ, 2010. – 424 с. – Текст : непосредственный.
10. Новаковский, Б.А. Комплексное геоинформационно-фотограмметрическое моделирование рельефа: учебное пособие / Б.А. Новаковский, Р.В. Пермяков. – Москва : Изд-во МИИГАиК. – 2019. – 175 с. – Текст: непосредственный.
11. Тесленок, С.А. 3D моделирование рельефа Республики Мордовия / С.А. Тесленок, А.А. Чендырев, К.С. Тесленок // Геоинформационное картографирование в регионах России : мат-лы V Всерос. науч.-практ. конф. (Воронеж, 19-22 сент. 2013 г.). – Воронеж : Научная книга, 2013. – С. 161-166. – Текст : непосредственный.
12. Тесленок, С.А. Цифровое моделирование рельефа Республики Мордовия / С.А. Тесленок, В.Ф. Манухов, К.С. Тесленок // Геодезия и картография. – 2019. – № 7. – С. 30-38. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-949-7-30-38. – Текст : непосредственный.
13. Кочуров, Б.И. Геоэкологическое картографирование: учеб. пособие для студентов высших. учебных заведений / Б.И. Кочуров, Д.Ю. Шишкина, А.В. Антипова, С.К. Костовска. – Москва : Издательский центр «Академия», 2012. – 224 с. – Текст : непосредственный.
14. Боков, В.А. Экологическое картографирование : учеб. пособие / В.А. Боков, Р.В. Горбунов, И.Г. Черванёв. – Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2016. – 238 с. – Текст : непосредственный.
15. Тесленок, С.А. Использование карт : учеб. пособие / С.А. Тесленок– Саранск : Изд-во Мордов. университета, 2021. – 97 с. – 2,66 Мб. – URL : https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010776558/?ysclid=lpreadfkk9093221090 (дата обращения: 04.07.2024). – Текст: электронный.
16. Тесленок, С.А. Экологическое картографирование : учеб. пособие / С.А. Тесленок. – Саранск : Изд-во Мордов. университета, 2022. – 141 с. – 1,33 Мб. – URL : <http://catalog.inforeg.ru/Inet/GetEzineByID/338160> (дата обращения: 04.07.2024). – Текст: электронный.
17. Тикунов, В.С. Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение / В.С. Тикунов, Д.А. Цапук. – Москва, Смоленск: Изд-во СГУ, 1999. – 176 с. – Текст : непосредственный.
18. Востокова, А.В. Оформление карт. Компьютерный дизайн: учебник / А.В. Востокова, С.М. Кошель, Л.А. Ушакова. – Москва : Аспект Пресс, 2002. – 288 с. – Текст : непосредственный.
19. ГрафиКон'2014 : 24-я Международная конференция по компьютерной графике и зрению : Ростов-на-Дону, Академия архитектуры и искусств, Институт механики, математики и компьютерных наук, Южный федеральный университет, 2014. Труды конференции. – Ростов-на-Дону, 2014. – 85 с. – URL : <https://www.graphicon.ru/html/2014/Proceedings.pdf> (дата обращения : 04.07.24). – Текст: электронный.
20. Рожков, С.Н. Стереоскопия в кино, фото, видеотехнике. Терминологический словарь / С.Н. Рожков, Н.А. Овсянникова. – Москва : «Парадиз». – 2003. – 136 с. – Текст : непосредственный.
21. Андрухина, Ю.Н. Исследование возможности использования современных методик 3D-печати при создании тактильных карт и планов / Ю.Н. Андрухина // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2019. – Т. 24. № 1. – С. 72-82. – Текст: непосредственный.
22. Анаглифический метод. – URL : https://geography_ru.academic.ru/289/анаглифический_метод (дата обращения : 04.07.24). – Текст: электронный.
23. Тесленок, К.С. Возможности использования цифровых моделей рельефа в управлении земельными ресурсами региона / К.С. Тесленок, С.А. Тесленок. // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». – 2014. – Т. 20. – С. 358-370. – DOI: 10.24057/2414-9179-2014-1-20-358-370. – Текст: непосредственный.

24. Гусев, И.А. Об опыте интеграции трехмерного компьютерного моделирования и ГИС / И.А. Гусев, Н.Г. Ивлиева. // Картография и геодезия в современном мире: мат-лы 2-й Всерос. науч.-практ. конф., Саранск, 8 апр. 2014 г. – Саранск : Изд-во Мордов. университета. – 2014. – С. 193-197. – Текст: непосредственный.
25. Ивлиева, Н.Г. Интеграция 3D-моделирования и ГИС / Н.Г. Ивлиева, В.Ф. Манухов // Научные труды КубГТУ: мат-лы XX Междунар. науч.-практ. конф. «Инновационные процессы в высшей школе». – 2014. – № 4. – URL : <http://ntk.kubstu.ru/> (дата обращения : 04.07.24). – Текст: электронный.
26. Малахова, О.Е. Компьютерное проектирование и моделирование общественных мест городских территорий / О.Е. Малахова, И.А. Семина, С.А. Тесленок, Л.Н. Фоломейкина. // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. Москва : Географический факультет МГУ. – 2023. – Т. 29. – Ч. 2. – С. 471-491. – DOI 10.35595/2414-9179-2023-2-29-471-491. – Текст: непосредственный.
27. Семина, И.А. Геоинформационные технологии компьютерного проектирования общественных мест городских территорий: проблемы и опыт (на примере г. Саранска) / И.А. Семина, О.Е. Малахова, С.А. Тесленок, Н.В. Яковенко. // Геоинформатика. – 2023. – № 4. – С. 15-28. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-4-15-28>. – Текст: непосредственный.
28. ГОСТ 21667-76 Картография. Термины и определения. – Москва : Издательство стандартов, 2002. – 40 с. – Текст : непосредственный.
29. Бесплатные геоинформационные решения QGIS и NextGIS // Хабр. – URL : <https://habr.com/ru/articles/321710/> (дата обращения : 04.07.24). – Текст: электронный.
30. SAGA – System for Automated Geoscientific Analyses. – URL : <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html> (дата обращения : 04.07.24). – Текст: электронный.
31. QGIS – URL : <https://qgis.org/ru/site/> (дата обращения : 04.07.24). – Текст: электронный.
32. GRASS GIS – URL : <https://grass.osgeo.org/> (дата обращения : 04.07.24). – Текст: электронный.
33. Цифровая географическая основа. – URL : <https://geologyscience.ru/dgb/> (дата обращения 04.07.24). – Текст: электронный.
34. Научно-исследовательский геологический институт. – URL : <https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/> (дата обращения 04.07.24). – Текст: электронный.
35. Каталог растров (Георастры, БД Госгеолкарт). – URL : <https://webmapget.vsegei.ru/> (дата обращения 04.07.24). – Текст: электронный.
36. Коротин, А.С. Восстановление трехмерных моделей рельефа местности на основе материалов дистанционного зондирования Земли / А.С. Коротин, Е.В. Попов // Приволжский научный журнал. – Нижний Новгород : ННГАСУ. – 2014. – № 2 (30). – С. 29-34. – Текст: непосредственный.
37. CGIAR CSI. Consortium for Spatial Information – URL : <https://csidotinfo.wordpress.com/> (дата обращения 04.07.24). – Текст: электронный.
38. SRTM Data // CGIAR. Consortium for Spatial Information (CGIAR – CSI). – URL : <https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/> (дата обращения: 04.07.24). – Текст: электронный.
39. Yamazaki, D. A high accuracy map of global terrain elevations / D. Yamazaki, D. Ikeshima, R. Tawatari, T. Yamaguchi, F. O’Loughlin, J.C. Neal, C.C. Sampson, S. Kanae, P.D. Bates. // Geophysical Research Letters. – 2017. – Vol. 44, Is. 11. – P. 5844-5853. DOI 10.1002/2017GL072874. – Текст: непосредственный.
40. Обутов, К.А. Автоматизация определения границ речных бассейнов малых рек на примере Хангаласского района РС (Я) / К.А. Обутов, Ю.Г. Данилов // Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле». – 2024. – № 2 (34). – С. 60-67. <https://doi.org/10.25587/2587-8751-2024-2-60-67>. – Текст: электронный.
41. Тесленок, К.С. Программы для создания 3D-моделей населенных пунктов / К.С. Тесленок. // Природно-социально-производственные системы регионов компактного проживания финно-угорских народов. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2011. – С. 310-312. – Текст: непосредственный.
42. Тесленок, К.С. Создание геоинформационного проекта и его использование в целях развития хозяйственных систем / К.С. Тесленок // Геоинформационное картографирование в регионах России: материалы VII Всерос. науч.-практич. конф. (Воронеж, 10-12 дек. 2015 г.). – Воронеж : Научная книга, 2015. – С. 134-138. – Текст : непосредственный.

43. Коротин, А. Формирование и использование изображений-анаглифов трехмерных моделей местности для рационального природопользования речных бассейнов / А. Коротин, Е. Попов. // Графикон'2014. Труды конференции. Академия архитектуры и искусств, Институт механики, математики и компьютерных наук, Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону, 2014. – С. 13-16. – Текст : непосредственный.

References

1. Virtual geographic environments Krasnodar: Krasnodar panorama of leisure, cop. 2015. – 351 s. – Text : direct.
2. Gorobtsov, S.R. Three-dimensional modeling and visualization of urban areas using modern geodetic and software tools / S.R. Gorobtsov, A.V. Chernov // Bulletin of SGUGiT. – 2018. – Т. 23. – № 4. – С. 165-179. – Text: direct.
3. 3D theory. An overview of methods for creating and viewing stereo images. Triak-ses Line LLC, Kaliningrad, Russia // TRIAXES LLC, 2017. – URL : <https://triaxes.com/docs/3DTheory-ru/3D1.html> / (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
4. 3D видео – вредно ли для здоровья? // Ferra.ru. – URL : <https://www.ferra.ru/review/tv/107733.htm> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
5. Zhukov V.T. Mathematical and cartographic modelling in geography / V.T. Zhukov, S.N. Serbenyuk, V.S. Tikunov. Text : original – Moscow: Mysl', 1980. – 224 s. – Text : direct.
6. GOST R 50828-95. Geoinformation mapping. Spatial data, digital and electronic maps. General requirements. – Moscow : Gosstandart of Russia, 1996. – 19 s. – Text : direct.
7. GOST R 52055-2003. Geoinformation mapping. Spatial models of the area. General requirements. – Moscow: Publishing House of Standards, 2003. – 8 s. – Text : direct.
8. Geoinformatics : in 2 books. Book 1 : textbook for students. higher. studies. institutions / E.G. Kapralov, A.V. Koshkarev, V.S. Tikunov, etc. / Edited by V.S. Tikunov. – Moscow: Publishing center “Academy”, 2008. – 384 s.
9. Lurie, I.K. Geoinformation mapping. Methods of geoinformatics and digital processing of satellite images: textbook / I.K. Lurie. – Moscow: KDU, 2010. – 424 p. – Text : direct.
10. Novakovsky, B.A. Complex geoinformation-photogrammetric modeling of relief: a textbook / B.A. Novakovsky, R.V. Permyakov. – Moscow : Publishing house of MIIGAiK. – 2019. – 175 s. – Text : direct.
11. Teslenok, S.A. 3D modeling of the relief of the Republic of Mordovia / S.A. Teslenok, A.A. Chentyreva, K.S. Teslenok // Geoinformation mapping in the regions of Russia : materials of the V All-Russian Scientific and Practical Conference (Voronezh, September 19-22, 2013). – Voronezh : Scientific Book, 2013. – С. 161-166. – Text : direct.
12. Teslenok S.A. Digital modeling of the relief of the Republic of Mordovia / S.A. Teslenok, V.F. Manukhov, K.S. Teslenok. Text : original // Geodesy and cartography. – 2019. – № 7. – С. 30-38. – Text : direct.
13. Kochurov B.I. Geoeological mapping: textbook a manual for higher education students. educational institutions / B.I. Kochurov, D.Yu. Shishkina, A.V. Antipova, S.K. Kostovska. Text : original. – Moscow: Publishing center “Academy”, 2012. – 224 s. – Text : direct.
14. Bokov, V.A. Ecological mapping : textbook. handbook / V.A. Bokov, R.V. Gorbunov, I.G. Chervanov. – Simferopol : IT “ARIAL”, 2016. – 238 s. – Text : direct.
15. Teslenok S.A. The use of maps: studies / S.A. Teslenok. – Saransk: Publishing house of Mordovian university, 2021. – 97 s. – 2.66 Mb. – URL : https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010776558/?ysclid=lpheadffk9093221090 (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
16. Teslenok S.A. Ecological mapping: textbook / S.A. Teslenok. – Saransk: Publishing House of Mordovian university, 2022. – 141 s. – 1.33 Mb. – URL: <http://catalog.inforeg.ru/Inet/GetEzineByID/338160> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
17. Tikunov V.S., Tsapuk D.A. Sustainable development of territories: cartographic and geoinformation support / V.S. Tikunov, D.A. Tsapuk. – Moscow, Smolensk : Publishing House of SSU, 1999. – 176 s. – Text : direct.

18. Vostokova, A.V. The design of maps. Computer design: textbook / A.V. Vostokova, S.M. Koshel, L.A. Ushakova. – Moscow : Aspect Press, 2002. – 288 p. – Text: direct.
19. GraphiCon'2014 : 24th International Conference on Computer Graphics and Vision : Rostov-on-Don, Academy of Architecture and Arts, Institute of Mechanics, Mathematics and Computer Sciences, Southern Federal University, 2014. Proceedings of the conference. – Rostov-on-Don, 2014. – 85 s. – URL : <https://www.graphicon.ru/html/2014/Proceedings.pdf> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
20. Rozhkov, S.N. Stereoscopy in cinema, photography, and video technology. Terminological dictionary / S.N. Rozhkov, N.A. Ovsyannikova. – Moscow : "Paradise". – 2003. – 136 s. – Text : direct.
21. Andriukhina, Yu.N. Investigation of the possibility of using modern 3D printing techniques in creating tactile maps and plans / Yu.N. Andriukhina // Bulletin of SGUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies). – 2019. – T. 24. № 1. – S. 72-82. – Text : direct.
22. The anaglyphic method. – URL : https://geography_ru.academic.ru/289/анаглифический_метод (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
23. Teslenok, K.S. Possibility of using Digital Terain Models for Land Management in the Region / K.S. Teslenok, S.A. Teslenok // Proceedings of the International conference "InterCarto. InterGIS". – 2014. – T. 20. – S. 358-370. – DOI 10.24057/2414-9179-2014-1-20-358-370. – Text : direct.
24. Gusev, I.A. On the experience of integrating three-dimensional computer modeling and GIS / I.A. Gusev, N.G. Ivlieva // Cartography and geodesy in the modern world: materials of the 2nd All-Russian Scientific and Practical Conference, Saransk, April 8, 2014 – Saransk: Publishing House of Mordovia. unta. – 2014. – S. 193-197. – Text: direct.
25. Ivlieva, N.G. Integration of 3D modeling and GIS / N.G. Ivlieva, V.F. Manukhov // Scientific works of KubSTU: materials of the XX International Scientific and Practical Conference «Innovation processes in higher education». – 2014. – № 4. – URL : <http://ntk.kubstu.ru/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
26. Malakhova O.E. Computer design and modeling public places of urban areas / O.E. Malakhova, I.A. Semina, S.A. Teslenok, L.N. Folomeikina // InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow : Faculty of Geography of Moscow State University. – 2023. – T. 29. – Ch. 2. – S. 471-491. –DOI 10.35595/2414-9179-2023-2-29-471-491. – Text : direct.
27. Semina I.A. Geoinformation technologies for computer-aided design of public places in urban areas: problems and experience (on the example of Saransk) / I.A. Semina, O.E. Malakhova, S.A. Teslenok, N.V. Yakovenko // Geoinformatics. – 2023. – № 4. – S. 15-28. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-4-15-28>. – Text : direct.
28. GOST 21667-76 Cartography. Terms and definitions. – Moscow : Publishing House of Standards, 2002. – 40 s. – Text : direct.
29. Free geoinformation solutions QGIS and NextGIS // Habr. – URL : <https://habr.com/ru/articles/321710/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
30. SAGA – System for Automated Geoscientific Analyses. – URL : <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
31. QGIS – URL : <https://qgis.org/ru/site/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
32. GRASS GIS – URL : <https://grass.osgeo.org/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
33. Digital geographical basis. – URL : <https://geologyscience.ru/dgb/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
34. Scientific Research Geological Institute. – URL : <https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
35. Catalog of rasters (Georasters, Gosgeolcart database). – URL : <https://webmapget.vsegei.ru/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
36. Korotin, A.S. Restoration of three-dimensional terrain models based on materials of remote sensing of the Earth / A.S. Korotin, E.V. Popov. – Text: direct // Volga Scientific Journal. – Nizhny Novgorod: NNGASU. – 2014. – № 2 (30). – Pp. 29-34.37. CGIAR CSI. Consortium for Spatial Information. – URL : <https://csidotinfo.wordpress.com/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.

38. SRTM Data // CGIAR. Consortium for Spatial Information (CGIAR – CSI). – URL: <https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/> (date of access : 07/04/24). – Text : electronic.
39. Yamazaki, D. A high accuracy map of global terrain elevations / D. Yamazaki, D. Ikeshima, R. Tawatari, T. Yamaguchi, F. O’Loughlin, J.C. Neal, C.C. Sampson, S. Kanae, P.D. Bates. Text : original // Geophysical Research Letters. – 2017. – Vol. 44, Is. 11. – P. 5844-5853. DOI: 10.1002/2017GL072874. – Text : direct.
40. Obutov, K.A. Automation of Determining the Boundaries of river basins of small rivers: The Case of Khangalassky district, Sakha Republic (Yakutia) / K.A. Obutov, Yu.G. Danilov // Vestnik of North-Eastern Federal University Series «Earth Sciences». – 2024. – № 2 (34). – S. 60-67. <https://doi.org/10.25587/2587-8751-2024-2-60-67>. – Text : electronic.
41. Teslenok, K.S. Programs for the creation of 3 D-models of settlements / K.S. Teslenok // Natural-socio-production systems of the regions of compact residence of Finno-the Ugric peoples. – Saransk: Publishing House of Mordovians. un-t, 2011. – S. 310-312. – Text: direct/
42. Teslenok, K.S. Creation of a geoinformation project and its use for the development of economic systems / K.S. Teslenok. // Geo-information mapping in the regions of Russia: materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference (Voronezh, 10-12 Dec. 2015). – Voronezh: Scientific Book, 2015. – pp. 134-138. – Text: direct.
43. Korotin, A. Formation and use of anaglyph images of three-dimensional terrain models for rational nature management of river basins / A. Korotin, E. Popov. – Text: electronic // Graphicon’2014. Proceedings of the conference. Academy of Architecture and Arts, Institute of Mechanics, Mathematics and Computer Sciences, Southern Federal University. – Rostov-on-Don, 2014. – pp. 13-16. – Text: direct.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по организации молодежной лаборатории в Югорском государственном университете (НИР 1022031100003-5-1.5.1) в рамках реализации национального проекта «Наука и университеты».

Сведения об авторах

ТЕСЛЕНОК Сергей Адамович – к.г.н., доцент Высшей экологической школы Югорского государственного университета, e-mail: teslenok-sa@mail.ru

TESLENOK Sergei – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Higher Ecological School, Yugra State University, e-mail: teslenok-sa@mail.ru

ЗАЙКИН Александр Васильевич – к.б.н., доцент Высшей экологической школы Югорского государственного университета, e-mail: zav20001@mail.ru

ZAIKIN Alexander – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Higher Ecological School, Yugra State University, e-mail: zav20001@mail.ru

СКУРИХИН Александр Александрович – аспирант Высшей экологической школы Югорского государственного университета, инженер лаборатории изучения пространственно-временной изменчивости углеродного баланса лесных и болотных экосистем средней тайги Западной Сибири Югорского государственного университета, e-mail: a.skurikhin98@mail.ru

SKURIHIN Alexandr – postgraduate student, Higher Ecological School, Yugra State University; engineer, Laboratory for studying the spatial and temporal variability of the carbon balance of forest and swamp ecosystems of the middle taiga of Western Siberia, Yugra State University, e-mail: a.skurikhin98@mail.ru

ОБРЯДИН Алексей Александрович – аспирант Высшей экологической школы Югорского государственного университета, e-mail: ob-aleks@mail.ru

OBRYADIN Alexey – postgraduate student, Higher Ecological School, Yugra State University, e-mail: ob-aleks@mail.ru

ФЕДОСЕЕВА Ульяна Сергеевна – магистрант Высшей экологической школы Югорского государственного университета, e-mail: fedoseeva.user@outlook.com

FEDOSEEVA Ulyana – Master’s student, Higher Ecological School, Yugra State University, e-mail: fedoseeva.user@outlook.com

ТРЕБОВАНИЯ, К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ, ПУБЛИКУЕМЫХ В НАУЧНОМ РЕЦЕНЗИРУЕМОМ ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК СВФУ ИМЕНИ М.К. АММОСОВА»

К публикации принимаются научные статьи от авторов из всех регионов России:

- преподавателей вузов,
- докторантов,
- аспирантов,
- магистрантов,
- а также других лиц, занимающихся научными исследованиями.

Требования к содержанию статей

Научные направления:

В серию «Науки о Земле», электронной версии журнала «Вестник СВФУ им. М.К. Аммосова», принимаются статьи, соответствующие Номенклатуре научных специальностей, по которым присуждаются научные степени:

25.00.00	НАУКИ О ЗЕМЛЕ	
25.00.11	Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения	Геолого-минералогические Технические
25.00.14	Технологии и техника геологоразведочных работ	Технические
25.00.23	Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов	Географические Геолого-минералогические
25.00.24	Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география	Географические
25.00.36	Геоэкология (по отраслям)	Геолого-минералогические Географические Технические

УДК проставляется в научной библиотеке.

Аннотация: Композиционно построена по принципу IRMAD (Introduction, Methods, Results and Discussion): Актуальность, цели и задачи исследования. Как проводилось исследование, какие методы использовались. Основные выводы, результаты исследования; каковы перспективы исследования, направления дальнейшей работы. Объем аннотации не менее 100 слов. Разделы «Хроника» и «Юбилей» предоставляются без аннотаций.

Ключевые слова: не менее 10 слов/словосочетаний, они должны быть лаконичными, отражать содержание и специфику рукописи.

Структура статьи:

Введение – постановка рассматриваемого вопроса, краткий обзор научной литературы по теме (ссылки на источники), критика недостатков и преимущества предлагаемого подхода. Обязательна четкая постановка цели работы.

Основная часть работы должна быть озаглавлена, исходя из содержания, разбита на разделы. Разделы должны иметь содержательные названия. Введение, разделы и заключение не номеруются.

Заключение – приводятся основные выводы по содержательной части работы. Следует избегать простого перечисления предоставленного в статье материала.

Литература приводится под заголовком «Литература». Дополнительно дублируется латиницей по системе Библиотеки Конгресса США (LC), сайт для транслитерации: <http://translit.ru>. Все источники перечисляются по порядку упоминания ссылок в тексте. Для периодических изданий необходимо указать фамилию автора, инициалы, название статьи, название журнала, год издания, том, номер или выпуск, начальную и конечную страницу работы.

Сведения об авторе(-ах) на русском и английском языках даются на отдельной странице:

Ф.И.О. полностью, ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), место работы, должность, почтовый адрес с ИНДЕКСОМ (для пересылки авторского экземпляра иногородним), e-mail, контактный тел. (для мобильной связи с редакцией);

Объем статьи: включая иллюстративный материал и «Литературу», до 24 страниц, хроника и юбилей 1-2 страницы.

Требования к техническому оформлению

- Редактор MS Word, формат А-4, ориентация – книжная, поля – верхн. 2,0 см; нижн. 3,0 см; левое и правое 2,5 см; абзацный отступ – 1,25 см; интервал – полуторный; кегль основного текста – 14, кегль аннотации – 12, шрифт - Times New Roman.

- Сокращения – только общепринятые (и в тексте и таблицах). Все аббревиатуры и сокращения должны быть расшифрованы при первом их употреблении в тексте. Все таблицы должны иметь заголовки и сквозную нумерацию в пределах статьи, обозначаемую арабскими цифрами (например, таблица 1), в тексте ссылки нужно писать сокращенно (табл. 1). Текст таблицы должен быть напечатан через два интервала. В работах биологического цикла в заголовке и в тексте таблицы даются только латинские названия видов, родов и семейств. Комментарий к таблице должен быть размещен непосредственно под таблицей.

- Формулы должны иметь сквозную нумерацию. Номер пишется в конце строки арабскими цифрами в круглых скобках. Между формулами, выделенными в отдельную строку, и текстом, а также между строками формул следует оставлять пробелы не менее 1,5-2 см.

- Иллюстративный материал (графики, карты, схемы, фотографии) именуется рисунком, имеет сквозную порядковую нумерацию арабскими цифрами и пишется сокращенно (например, рис. 1). Допускаются цветные изображения (графики, диаграммы). Размер рисунка – не менее 40х50 мм и не более 120х170 мм. К рисунку прилагается подрисовочный текст, в который содержит указания размерности приведенных на рисунке величин.

- Ссылки в тексте пишутся в виде номера арабской цифрой, взятой в квадратную скобку.

Предоставление статей в редакцию

Сначала предоставляется электронный вариант статьи (рисунки в формате tiff с разрешением не менее 300 dpi) по электронной почте: vestnik_geo@mail.ru.

После устранения всех замечаний в редакцию направляется печатный вариант статьи в двух экземплярах. 2-й печатный экземпляр – без указания имени автора (для слепого рецензирования). Адрес редакции: 677027, г.Якутск, ул. Кулаковского, 42, ГУК, каб. 401,

Если автор – аспирант, или магистрант, то необходим отзыв руководителя.

При положительной рецензии рукописи публикуются в порядке их поступления в течении 3-6 месяцев.

Окончательное решение о публикации статьи принимает редколлегия.

Плата за публикацию рукописей не взимается.

Статьи, присланные без соблюдения изложенных выше требований, не подлежат рассмотрению.

**Вестник Северо-Восточного федерального университета
им. М.К. Аммосова.**

**Vestnik of North – Eastern Federal University.
Серия ”Науки о Земле. Earth Sciences”**

Сетевое научное периодическое издание

№ 3(35) 2024

Технический редактор *А.Н. Егорова*
Компьютерная верстка *Л.М. Винокурова*
Оформление обложки *П.И. Антипин*

Подписано в печать 24.09.2024. Формат 70x108/16.
Дата выхода в свет 24.09.2024.

