

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»

№ 4 (32) 2023

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”

№ 4 (32) 2023

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

<i>Атласова С.С.</i> «Кимберлит» на XIV всероссийской открытой полевой олимпиаде юных геологов	5
<i>Бабушкина С.А.</i> Фенокристаллы флогопита с включениями хромшпинелидов из неалмазоносных кимберлитов (на примере Ан-195 Западно-Укукитского поля).....	12
<i>Рудых И.В.</i> Прирост запасов углеводородов Андылахского газоконденсатного месторождения (Якутия) с учетом специфики его геологического строения	20
<i>Сивцев А.И., Рудых И.В., Сивцев Н.А.</i> Природа газоносности Неджелинской свиты	26
<i>Третьякова О.Г., Третьякова Н.М.</i> Учебные геологические полигоны СВФУ – уникальные объекты для формирования общепрофессиональных компетенций в области геологии, поисков и разведки твердых полезных ископаемых	33
<i>Шепелева Я.П., Горский С.В.</i> Петрография лампрофиров Ендегеччуйской площади Яна-Адычанского оловорудного района	42

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

<i>Гумбатов Д.А., Данилов Ю.Г.</i> Усовершенствование методик определения индекса листовой поверхности с применением беспилотных летательных аппаратов для определения продуктивности фитоценозов	51
<i>Никифорова Н.Н., Калинин С.В., Федоров А.Н.</i> Моделирование весовой влажности грунтов на территории Анабарской тундры с использованием наземных исследований и данных дистанционного зондирования земли	60
<i>Поморцев О.А.</i> Якутия – модель глобального потепления климата Земли (на примере циркуляции атмосферы)	69
<i>Рожков Ю.Ф., Кондакова М.Ю.</i> Оценка сезонных изменений лесов с использованием сегментации и кластерного анализа космических снимков Landsat	79
<i>Тананаев Н.И., Тимофеев М.А.</i> Оценка точности реанализа GHCN-CAMS в расчетах внутригодового распределения температуры воздуха на территории Республики Саха (Якутия)	99

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

<i>Обутов К.А., Саввинова А.Н.</i> Пространственный анализ внутрирайонной транспортной доступности с использованием сетевого ГИС-анализа (на примере Анабарского и Нижнеколымского улусов)	111
--	-----

CONTENT

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION OF SOLID MINERALS, MINERALOGY

<i>Atlasova S.S.</i> Kimberlite team at the XIV all-Russian open field Olympiad for young geologists.....	5
<i>Babushkina S.A.</i> Phlogopite phenocrystals with inclusions of chrome spinelides from non-diamond-bearing kimberlites: the case of An-195 body of the West Ukukit field.....	12
<i>Rudykh I.V.</i> An increase in hydrocarbon reserves of Andylakhskeye gas condensate field (Yakutia) taking into account the specifics of its geological structure.....	20
<i>Sivtsev A.I., Rudykh I.V., Sivtsev N.A.</i> The nature of the gas content of the Nejelinsky formation ..	26
<i>Tretyakova O.G., Tretyakova N.M.</i> NEFU training geological polygons as unique sites for forming general professional competencies in the field of geology, prospecting and exploration of solid minerals.....	33
<i>Shepeleva Ia.P., Gorsky S.V.</i> Petrography of lamprophyres of the Endegechu area of the Yana-Adycha tin ore region	42

PHYSICAL GEOGRAPHY AND BIOGEOGRAPHY, SOIL GEOGRAPHY, AND LANDSCAPE GEOCHEMISTRY

<i>Gumbatov D.A., Danilov Yu.G.</i> Improved methods for determining the leaf surface index using unmanned aerial vehicles to determine the productivity of phytocenoses	51
<i>Nikiforova N.N., Kalinicheva S.V., Fedorov A.N.</i> Modeling the weight moisture content of soils in Anabar tundra using ground-based research and remote sensing data of the earth	60
<i>Pomortsev O.A.</i> Yakutia as a model of global warming of the Earth's climate: the case of atmospheric circulation.....	69
<i>Rozhkov Yu.F., Kondakova M.Yu.</i> An assessment of seasonal changes in forests using the segmentation and cluster analysis of Landsat space images.....	79
<i>Tananaev N.I., Timofeyev M.A.</i> Estimation of the accuracy of GHCN-CAMS reanalysis in calculations of the intra-annual distribution of air temperature in the territory of the Sakha Republic (Yakutia)	99

ECONOMIC, SOCIAL, POLITICAL, AND RECREATIONAL GEOGRAPHY

<i>Obutov K.A., Savvinova A.N.</i> A spatial analysis of intra-regional transport accessibility using the GIS network analysis: the case of Anabar and Nizhnekolymsky districts)	114
---	-----

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 550

DOI 10.25587/2587-8751-2023-4-5-11

С. С. Атласова

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

ss.atlasova@s-vfu.ru

«КИМБЕРЛИТ» НА XIV ВСЕРОССИЙСКОЙ ОТКРЫТОЙ ПОЛЕВОЙ ОЛИМПИАДЕ ЮНЫХ ГЕОЛОГОВ

Аннотация. Настоящая статья о XIV всероссийской открытой полевой олимпиаде юных геологов. Предметные олимпиады – это состязание учащихся, в котором участники демонстрируют свои навыки и знания по определённым дисциплинам. Детско-юношеское геологическое движение в России имеет очень богатую историю. Сегодня в стране пропаганда геологических знаний среди школьников ведётся в соответствии с отраслевой программой подготовки кадров, инновационными программами, внедряемыми в рамках реализации приоритетного национального проекта «Образование». Всероссийские полевые олимпиады юных геологов проводятся Федеральным агентством по недропользованию в разных регионах России раз в два года. Организаторы олимпиады надеются, что благодаря движению юных геологов подрастет новое поколение высокопрофессиональных специалистов. Новизной статьи является описание участия в 2023 г. команды школьников из Якутии в XIV всероссийской полевой олимпиаде по геологии в Татарстане. Опыт якутской команды «Кимберлит» должен помочь следующим участникам олимпиады из республики. Соревнования и конкурсы олимпиады оригинальны, требуют нестандартности мышления и гибкости ума. Однако многие задания олимпиады составлены по аналогии с прошедшими годами. Следовательно, действенным способом подготовки является знание особенностей заданий олимпиад прошлых лет. Наблюдение за командой «Кимберлит» в период соревнований позволяет констатировать, что олимпиада по геологии даёт не только знания и навыки, ребята получают опыт человеческого общения, физическую закалку, все то, что необходимо для настоящего геолога. Участие в олимпиаде – это большая ответственность, в особенности для представителя субъекта федерации.

Ключевые слова: Всероссийская полевая олимпиада юных геологов, Республика Саха (Якутия), юные геологи, команда «Кимберлит», школьники, олимпиада, геология, новое поколение геологов, опыт олимпиады.

S.S. Atlasova

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

e-mail: ss.atlasova@s-vfu.ru

KIMBERLITE TEAM AT THE XIV ALL-RUSSIAN OPEN FIELD OLYMPIAD FOR YOUNG GEOLOGISTS

Abstract. This article is about the XIV All-Russian open field Olympiad for young geologists. Subject Olympiads are a competition of students where participants demonstrate their skills and knowledge in certain disciplines. The children's and youth geological movement in Russia has a very rich history. Today, in the country, the promotion of geological knowledge among schoolchildren is carried out in accordance with the training program, innovative programs introduced as part of the implementation of the priority national project

“Education”. The All-Russian fields Olympiads for young geologists are held by the Federal Agency for Subsoil Use in different regions of Russia every two years. The organizers of the Olympiad hope that thanks to the movement of young geologists, a new generation of highly professional specialists will grow up. The novelty of the article is the description of the participation in 2023 of a team of schoolchildren from Yakutia in the XIV All-Russian Field Olympiad in Geology in Tatarstan. The experience of the Yakut team Kimberlite should help the next participants of the Olympiad from the republic. Competitions and contests of the Olympiad are original, require non-standard thinking and flexibility of mind. However, many of the tasks of the Olympiad are composed by analogy with previous years. Therefore, an effective way to prepare is to know the specifics of the tasks of the Olympiads of previous years. Observation of the Kimberlite team during the competition allows us to state that the Geology Olympiad provides not only knowledge and skills, but also the experience of human communication, physical training, and everything that is necessary for a real geologist. Participation in the Olympiad is a great responsibility, especially for a representative of a subject of the federation.

Keywords: All-Russian field Olympiad for young geologists, Republic of Sakha (Yakutia), young geologists, Kimberlite, team, schoolchildren, Olympiad, geology, new generation of geologists, Olympiad experience.



Рис. Команда «Кимберлит» (архив олимпиады)

Fig. Kimberlite team (Olympiad archive)

XIV Всероссийская открытая полевая олимпиада юных геологов проходила с 27 июля по 7 августа 2023 г. на базе детского оздоровительного лагеря «Солнечный» публичного акционерного общества «Татнефть» имени В.Д. Шашина Альметьевского муниципального района Республики Татарстан. Олимпиаду провели Федеральное агентство по недропользованию и Российское геологическое общество с целью воспитания патриотизма, любви к родному краю, бережного отношения к природе и минеральным богатствам России. Мероприятие входит в перечень олимпиад и иных интеллектуальных и творческих конкурсов, мероприятий, направленных на развитие интеллектуальных и творческих способностей, способностей к занятиям физической культурой и спортом, интереса к научно-исследовательской, инженерно-технической, изобретательской, творческой, физкультурно-спортивной деятельности, а также на пропаганду научных знаний, творческих и спортивных достижений Министерства просвещения РФ.

Республику Саха (Якутия) на XIV Всероссийской открытой полевой олимпиаде юных геологов представляла группа учащихся общеобразовательных учреждений г.Якутска:

1. Барашков Роман Петрович, СОШ № 3;
2. Готовцев Валентин Иннокентьевич, Городская классическая гимназия;
3. Гуринов Владислав Вячеславович, СОШ № 29;
4. Деревенец Александр Павлович, ЦГО;
5. Деркач Елизавета Алексеевна, Городская классическая гимназия;
6. Емельянов Роман Игоревич, НПСОШ № 2;
7. Протодияконов Эрсан Петрович, ЦГО;
8. Соколова Дарья Алексеевна, СОШ № 24.

При наборе в команду учитывались участие в городских олимпиадах по геологии, итоговые оценки на экзаменах и контрольных по географии. Перед поездкой для школьников были организованы специальные подготовительные занятия. По словам министра промышленности и геологии Якутии М.В. Терещенко, «сегодня геология – это та отрасль, которая определяет будущее регионов нашей страны, это фундамент экономики и промышленности. ...Нам нужны сильные специалисты в этой отрасли» [6]. Для команды было выбрано название «Кимберлит», которое было придумано С.С. Атласовой, доцентом СВФУ. Наименования команд закрепляются за ними на постоянной основе. Традиционно команда из Архангельской области носит название «Алмаз», Омская область представлена «Омскими мамонтиятами», Иркутская область «Чароитом» и т.д.

Согласно приказу № 199 от 22 апреля 2023 г. Федерального агентства по недропользованию было утверждено положение олимпиады [5]. Организаторами XIV Всероссийской открытой полевой олимпиады юных геологов были назначены Федеральное агентство по недропользованию, Российское геологическое общество, Администрация Республики Татарстан, ОАО «Татнефть». На олимпиаду приглашались команды юных геологов от субъектов Российской Федерации, максимальное количество их могло быть восемь человек. Участники должны были быть учащимися 8-11 классов. Команда имела право на одного руководителя и сопровождающего. Официальным руководителем «Кимберлита» была назначена специалист Министерства геологии и промышленности РС (Я), а сопровождающим – представитель родителей. В практике многое зависит от самих команд, можно проконсультироваться и согласовать решение возникающих проблем с оргкомитетом. В олимпиаде приняли участие школьники из Москвы и Санкт-Петербурга, Пермского и Алтайского краев, Челябинской и Томской областей, Бурятии и многих других регионов России. По сложившейся традиции в олимпиаде участвовали команды из стран СНГ: Казахстана, Белоруссии, Узбекистана, что говорит о международном статусе мероприятия.

XIV Всероссийская открытая полевая олимпиада юных геологов включала в себя 11 соревнований, 4 конкурса и научно-практическую конференцию. Основными соревнованиями, которые учитывались в общекомандном зачете, являлись: «Геологический маршрут», «Геологический разрез», «Палеонтология», «Минералогия и петрография», «Гидрология», «Радиометрия», «Шлиховое опробование», «Нефть и газ», «Основы техники безопасности», «Организация полевой стоянки» и «Описание геологического памятника». Перед каждым соревнованием членами жюри для участников проводятся детальные консультации. Оценивали умения и навыки юных геологов авторитетные эксперты из МГУ, РГГРУ, Роснедра и других профильных организаций со всей страны. Конкурсы проводятся по номинациям: выставка «Геология и мы», лучший рисунок про геологию, фотография геологических красот и поделок из камней. В ходе научно-практической конференции участники соперничают за лучшие доклады.

После оглашения результатов соревнований и конкурсов можно подать апелляцию. В период олимпиады каждый из членов команды обязан принять участие не менее чем в двух, но не более чем в четырех соревнованиях. На соревнования «Гидрология», «Геологический

маршрут», «Шлиховое опробование» не допускают школьников младше 14 лет. При несоблюдении данных требований результаты не учитываются в общекомандном и личном зачете.

Очень важным оказалось на олимпиаде соревнование по «Радиометрии». К соревнованию допускаются два члена команды, которые за 60 минут должны снять 16 рядовых замеров гамма-активностей на полигоне, определить аномальные квадраты, построить карту значений гамма-поля и написать краткий отчет по проделанной работе. Победители соревнования отработали задание за 33 минуты и набрали 39 баллов. «Кимберлит» по соревнованию был на 33 месте из 35. В дальнейшем оргкомитет олимпиады будет обсуждать возможность замены данного соревнования на «Магнитометрию». Таким образом, «Радиометрия» была представлена на олимпиаде в последний раз.

Полностью практическим является соревнование «Организация полевой стоянки». В ходе действия проверяются навыки школьников по установке палатки и разведению костра до закипания воды в котелке. К розжигу костра участники допускаются только в одежде, максимально закрывающей тело. Побеждает команда из четырех человек, сделавшая все правильно и быстро. Наилучший показатель олимпиады – 51 секунда за палатку и 168 секунд за костер. Время «Кимберлита» было 118 секунд за палатку и 270 секунд за костер, команда заняла 19 из 36 мест.

Выбирая одежду на соревнование «Гидрология» надо учитывать работу на водоеме. Задание заключено в умении проводить гидрологические наблюдения и расчеты на воде. Представлять команду должны два человека. По заданию необходимо дать характеристику местности, измерить проставленные створки и проявить аккуратность при заполнении учетной карточки. Наилучшее время выполнения задания было 34 минуты, команда «Кимберлит», потратив 60 минут, оказалась на 23 месте из 35.

На водоеме проводится и соревнование «Шлиховое опробование», оценивающее умение работать с промывочным лотком и теоретические знания по шлиховому опробованию. Участник решает тест из 10 вопросов на знание теории шлихового опробования, а затем с помощью лотка или иного прибора, его заменяющего, промывает пробу. Данное соревнование было самым успешным для команды «Кимберлит», участник сумел занять 15 место из 35, набрав 28 баллов из 30 максимальных. Однако другие участники соревнования оказались еще быстрее и точнее.

Соревнование «Основы техники безопасности» тоже имеет тестовую часть. Три юных геолога должны продемонстрировать свои знания по основам техники безопасности при геолого-разведочных работах. Победители за 47 секунд решили тест из 10 вопросов на максимальные баллы и набрали 50 баллов за практические навыки. К сожалению, по тестовой части якутскими школьниками не были даны полностью правильные ответы, но отличное практическое выступление дало возможность команде быть на 18 месте из 35.

Самым продолжительным по времени является соревнование «Геологический маршрут», рассчитанное на 4 часа. Три участника олимпиады должны продемонстрировать умение проводить полевые геологические наблюдения. При прохождении маршрута ведется работа с топографической картой и геологическим компасом, проверяется умение ориентироваться на местности. Команды должны выносить на карту точки наблюдений, измерять элементы залегания и мощности слоев горных пород, документировать обнажения, собирать и оформлять коллекции образцов минералов, горных пород и окаменелостей. Лучшая команда прошла маршрут за 3 час 52 минуты, набрав 91 балл. «Кимберлит» закончил соревнование на 34 месте из 35.

Другие соревнования проводятся в специализированных аудиториях. Соревнование по «Палеонтологии» включает в себя тестирование из 30 вопросов по систематике, геохронологии, первым появлениям и исчезновениям представителей разных царств, методике палеонтологических исследований, биономическим зонам моря, формам сохранности ископаемых, основным руководящим формам и пр. На втором этапе соревнования участнику предоставляются ископаемые организмы, которым надо дать названия на латинском языке, распределить по типам, классам, подклассам, отрядам и родам. После следует определить их геохронологический

возраст и описать условия жизни. Участник из команды «Кимберлит» вышел на 28 место из 35. По данному соревнованию только три участника олимпиады сумели набрать все максимальные баллы по тестовой части, а по второй части никто не смог победить.

Один человек от команды участвует в соревновании «Геологический разрез». Он должен уметь построить геологический разрез в масштабе карты, правильно отобразить на нем геологические тела и структурные элементы за 80 минут. Представитель команды «Кимберлит» заняла 35 место из 36.

На соревновании «Минералогия» команде досталось 34 место из 35. Тестовая часть соревнования включает в себя 30 вопросов на знание формул минералов, их характерных разновидностей, особых свойств, практического их применения. В практической части требуется дать описание трем минералам и трем горным породам. Участник должен знать 91 минерал и 42 горные породы, про которые могут быть задания и вопросы.

Двое участников соревнования «Нефть и газ» должны были определить перспективные участки на нефть и газ на основе геофизических данных и показателей бурения. По данному соревнованию команда заняла последнее место, 35 из 35.

По соревнованию «Описание геологического памятника» материалы сдаются за месяц до олимпиады. Крайний срок сдачи работы был 25 июня 2023 г. В результате различных объективных проблем команда «Кимберлит» не успевала представить какую-либо работу к сроку. Не участие в соревновании грозило дисквалификацией команды. По положению команды должны принять участие во всех соревнованиях, конкурсах и научно-практической конференции олимпиады. В самые последние минуты перед завершением срока были сделаны непомерные усилия и собран требующийся пакет документов. Но из-за дефицита времени в описании Ленских столбов не был представлен качественный геологический разрез и команде присудили 25 место из 30.

В период олимпиады все команды представляли на общественный обзор выставку «Геология и мы». Команды-победители оформили очень красочные стенды. На выставке можно было видеть крупные коллекции минералов, масштабные баннеры, большие макеты и муляжи, разную рекламную продукцию, декоративные изделия и многое другое, раскрывающее геологические особенности региона и работу детско-юношеских геологических обществ. Выставка команды «Кимберлит» не могла похвастаться таким богатством массивных экспонатов и заняла 34 место из 36.

Одновременно с выставкой жюри олимпиады оценивало поделки, фотографии и рисунки. Фотографии якутского школьника в формате А5 заняли 19 место из 24. Команды-победители распечатали свои работы в плакатном формате, с паспорту и имели рамки. По поделкам «Кимберлит» представил две работы из гальки, которые участники смастерили на месте. В результате команда заняла 27 место из 34. Победители привезли поделки с собой, добротные и большие по размеру. Отдельно можно отметить, что впервые в истории олимпиады участник из Якутии на конкурсе рисунков представил работу, сделанную с помощью цифровых технологий. На конкурсе рисунков было очень много карандашных и живописных работ. Рисунок якутского школьника был выполнен с помощью нейросетей, и жюри приняло решение отметить его именным дипломом. Таким образом, якутянин стал первооткрывателем нового формата в конкурсе олимпиады.

Отдельным зачетом на олимпиаде идет участие в научно-практической конференции. Жюри оценивает выступления как защиту полноценных научных работ. Доклад не должен быть реферативным, должен содержать анализ, эксперимент, исследование, рекомендации. На конференцию от команды «Кимберлит» были заявлены два доклада: «Особенности геологических памятников Якутии» и «Кимберлитовая трубка «МИР»». Эксперты выбрали для прослушивания вторую тему, посчитав ее более детализированной, но доклад занял 29 место из 30.

По результатам олимпиады команда «Кимберлит» заняла 33 место. Все протоколы с указанием Ф.И.О. участников опубликованы в открытом доступе на сайте олимпиады: <https://yungeo.ru/olympics/results>.

Сама олимпиада производит впечатление хорошо продуманного и выверенного мероприятия. Работа организаторов и жюри всероссийской олимпиады юных геологов вызывает восхищение своим профессионализмом. Победители олимпиады получили до 10 дополнительных баллов к ЕГЭ для поступления в профильные вузы страны. Компания «Татнефть» выделила 30 участников олимпиады, которым предложила целевое обучение в любом вузе Татарстана.

На торжественной церемонии закрытия олимпиады было объявлено, что следующая – XV Всероссийская открытая полевая олимпиада юных геологов состоится в Пермском крае в 2025 году. В честь этих команд из Прикамья, как представителям принимающей стороны, вручили переходящий флаг – символ олимпиады юных геологов.

По итогам участия команды «Кимберлит» в XIV всероссийской открытой полевой олимпиаде юных геологов можно сделать следующие выводы:

1. Необходимо изучить практику подготовки победивших команд. Школьники-победители готовятся к олимпиаде очень долго, обучение начинается сразу, как только заканчивается предыдущая олимпиада. Члены команды живут по жесткому спортивному режиму. Победители из Татарстана рассказывали о специальных сборах, о погружениях в ежедневные тренировки и многое другое. Все методические материалы по соревнованиям и конкурсам олимпиады можно найти на сайте: <https://yungeo.ru/olympics>. «Подготовка команд к олимпиаде проходила в течение двух лет в Институте геологии и нефтегазовых технологий КФУ, также были организованы учебно-тренировочные сборы в Центре «Дуслык» и на базе отдыха «Чайка». За это время ребята участвовали в республиканской полевой олимпиаде, ездили на занятия в ИГиНГТ КФУ и много тренировались самостоятельно. Кроме того, нами были организованы онлайн-вебинары для подготовки школьников к олимпиаде. Благодаря этому подготовка стала более доступной для ребят» – отмечает заместитель директора ИГиНГТ КФУ по практикам и взаимодействию с работодателями А.А. Терехин [2]. Победившие команды возглавляли педагоги кружков, учителя географии и преподаватели вузов. В ходе олимпиады именно они оказывали должную морально-психологическую поддержку, а также эффективную и качественную профессиональную консультацию своим командам. Методическое руководство движением юных геологов Республики Татарстан осуществляет Институт геологии и нефтегазовых технологий КФУ. Изучение минералогии и палеонтологии осуществляется на экспонатах геологического музея университета. Школьники принимают участие в совместных полевых практиках со студентами, где получают неоценимые навыки определения горных пород, описания геологических разрезов, возможность работы с геологическим компасом и т.д.

2. Нужно поддерживать школьные кружки геологической направленности. Например, в Республике Татарстан движение «Юных геологов» существует с 2001-2002 учебного года, когда Институт геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета создал «Малый геофак». До этого времени геологическое образование среди школьников продвигалось только отдельными энтузиастами. Команда Республики Татарстан начала принимать участие во Всероссийских открытых полевых олимпиадах юных геологов начиная с IV олимпиады, которая проходила в г. Санкт-Петербурге в 2002 г. На данное время юные геологи из Татарстана являются сильнейшими в РФ. Во многих школах Татарстана приказом Министерства образования и науки республики созданы геологические базы, закрепленные за производственными компаниями. По результатам XIV Всероссийской открытой полевой олимпиады юных геологов весь пьедестал занят командами Татарстана: 1 место – «Ромашки», 2 место – «Геобарс», 3 место – «Зилант». По правилам олимпиады принимающая сторона имеет право выставлять на соревнование несколько команд.

3. Производить отбор в члены команды нужно с привлечением большего количества школьников. При отборе и подготовке участников олимпиады можно использовать возможности цифровых технологий и других доступных форм обучения. Провести очные и заочные конкурсные мероприятия, направленные на выявление наиболее одаренных детей. В частности,

в Татарстане по предложению Раиса Р.Н. Минниханова ежегодно проводятся республиканские мероприятия юных геологов, где определяются наиболее талантливые ребята, увлеченные геологией. С 2016 г. при Казанском федеральном университете проводится республиканский чемпионат по решению геологических кейсов продолжительностью десять дней [2]. Это соревнование на практике развивает у школьников навыки работы с научной информацией, знакомит с методологией научной деятельности и работы в команде. По имеющимся данным в последние годы в геологические вузы страны поступают сотни юношей и девушек из Татарстана [4].

Понятно, что специфика профессии геолога требует особого подхода и ранней профориентации молодёжи. Важной формой для этого является проведение полевых олимпиад юных геологов. Каждые два года талантливые ребята со всей России и ближнего зарубежья собираются вместе, чтобы побороться за звание лучших. Надеемся, что полученный якутянами опыт на XIV Всероссийской открытой полевой олимпиаде юных геологов принесёт хорошие плоды в предстоящих мероприятиях. Впереди много работы – масштабной и интересной, которая необходима республике и всей России.

Литература

1. Васильев, И. Д. Всероссийский слёт юных геологов / И. Д. Васильев, А. А. Шпекторов // Недропользование XXI век. – 2011. – № 4(29). – С. 74-76.
2. Казанский федеральный университет [сайт]. URL: <https://geo.kpfu.ru/> (дата обращения 20.08.2023)
3. Кайзер, Ф. Ю. Развитие детского туризма на примере проведения Всероссийских открытых полевых олимпиад юных геологов / Ф. Ю. Кайзер // Актуальные вопросы биологии и наук о Земле: теоретические и прикладные аспекты: Материалы симпозиума XII (XLIV) Международной научно-практической конференции «Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей», Кемерово, 24–28 апреля 2017 года. Том 1, Выпуск 18. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2017. – С. 58-60.
4. Раис Республики Татарстан: [сайт]. URL: <https://rais.tatarstan.ru/> (дата обращения 10.09.2023)
5. Федеральное агентство по недропользованию [сайт]. URL: <https://www.rosnedra.gov.ru/article/14279.html> (дата обращения 05.08.2023)
6. Якутия 24. [сайт]. URL: <https://yk24.ru/main/bole-40-uchashhihsya-yakutskoj-gimnazii-prinyali-uchastie-v-pervoj-olimpiade-po-geologii/> (дата обращения 30.08.2023)

References

1. Vasil'ev, I. D. Vserossijskij sljot junyh geologov / I. D. Vasil'ev, A. A. Shpektorov // Nedropol'zovanie XXI vek. – 2011. – № 4(29). – S. 74-76.
2. Kazanskij federal'nyj universitet [sajt]. URL: [https://geo.kpfu.ru/\(data obrashhenija 20.08.2023\)](https://geo.kpfu.ru/(data obrashhenija 20.08.2023))
3. Kajzer, F. Ju. Razvitie detskogo turizma na primere provedenija Vserossijskijh otkrytyh polevyh olimpiad junyh geologov / F. Ju. Kajzer // Aktual'nye voprosy biologii i nauk o Zemle: teoreticheskie i prikladnye aspekty: Materialy simpoziuma XII (XLIV) Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Obrazovanie, nauka, innovacii: vklad molodyh issledovatelej», Kemerovo, 24–28 aprelja 2017 goda. Tom 1, Vypusk 18. – Kemerovo: Kemerovskij gosudarstvennyj universitet, 2017. – S. 58-60.
4. Rais Respubliki Tatarstan: [sajt]. URL: [https://rais.tatarstan.ru/\(data obrashhenija 10.09.2023\)](https://rais.tatarstan.ru/(data obrashhenija 10.09.2023))
5. Federal'noe agentstvo po nedropol'zovaniju [sajt]. URL: [https://www.rosnedra.gov.ru/article/14279.html\(data obrashhenija 05.08.2023\)](https://www.rosnedra.gov.ru/article/14279.html(data obrashhenija 05.08.2023))
6. Jakutija 24. [sajt]. URL: [https://yk24.ru/main/bole-40-uchashhihsya-yakutskoj-gimnazii-prinyali-uchastie-v-pervoj-olimpiade-po-geologii/\(data obrashhenija 30.08.2023\)](https://yk24.ru/main/bole-40-uchashhihsya-yakutskoj-gimnazii-prinyali-uchastie-v-pervoj-olimpiade-po-geologii/(data obrashhenija 30.08.2023))

Сведения об авторах

АТЛАСОВА Саргылана Серафимовна – к.и.н., доцент кафедры истории, обществознания и политологии Исторического факультета СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: ss.atlasova@s-vfu.ru.

ATLASOVA Sargylana Serafimovna – Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, Department of History, Social Studies and Science, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: ss.atlasova@s-vfu.ru

С. А. Бабушкина

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Россия

e-mail: ssta@list.ru

ФЕНОКРИСТАЛЛЫ ФЛОГОПИТА С ВКЛЮЧЕНИЯМИ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ НЕАЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВ (НА ПРИМЕРЕ АН-195 ЗАПАДНО-УКУКИТСКОГО ПОЛЯ)

Аннотация. Представлены результаты микрозондового исследования состава макрокристаллов флогопита с включениями хромшпинелидов из кимберлитового тела АН-195 Западно-Укукитского поля Якутской кимберлитовой провинции. Целью настоящего исследования являлось установление генезиса подобных флогопитов, являются ли они представителями глубинного мантийного вещества или их образование непосредственно связано со становлением кимберлитов, слагающих АН-195. Установлено, что включения хромшпинелидов приурочены только к хромистым незональным флогопитам или к хромистым участкам зональных макрокристаллов (Cr_2O_3 0,75–1,55 мас. %, TiO_2 2,67–3,84 мас. %, $\text{Mg\#}$ 83–88). На основании сравнительного анализа изученных флогопитов с составом аналогов из парагенезисов этих минералов в различных мантийных ксенолитах ультраосновных пород, эклогитов и пород MARID-серии сделан вывод о том, что данные флогопиты скорее всего представляют собой фенокристную ассоциацию минералов кимберлитов. От флогопитов из пород MARID-серии при равных $\text{Mg\#}$ и TiO_2 они чётко отличаются более высокими содержаниями Al_2O_3 . От флогопитов из ксенолитов ультраосновных мантийных пород – в целом меньшей магнезиальностью. От флогопитов из эклогитов – в целом более высоким содержанием Cr_2O_3 . Включения высокохромистых шпинелидов во флогопите (Cr_2O_3 44–50 мас. %, TiO_2 3–5,5 мас. %, Fe^{3+} <0,35 ф.е.), отвечают по составу шпинелидам из катаклазированных дунитов и являются продуктами их перекристаллизации под воздействием высокотемпературного мантийного флюида. Включения менее хромистых шпинелидов (Cr_2O_3 30–44 мас. %, TiO_2 4–7,5 мас. %, Fe^{3+} > 0,35 ф.е.), вероятно, кристаллизовались одновременно с макрокристаллами флогопита и захватывались ими в процессе длительного совместного роста.

Ключевые слова: флогопит, шпинелид, мантийные ксенолиты, эклогиты, MARID-серия, мантийный метасоматоз, кимберлит, фенокрист, ксенокрист.

S. A. Babushkina

Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB, RAS, Yakutsk, Russia

e-mail: ssta@list.ru

PHLOGOPITE PHENOCRYSTALS WITH INCLUSIONS OF CHROME SPINELIDES FROM NON-DIAMOND-BEARING KIMBERLITES: THE CASE OF AN-195 BODY OF THE WEST UKUKIT FIELD

Abstract. The article presents the results of a microprobe study of the composition of phlogopite macrocrystals with inclusions of chrome spinelides from An-195 kimberlite body of the West Ukukit field, Yakut kimberlite province. The purpose of this study was to establish the genesis of such phlogopites: whether they are representatives of deep mantle matter or their formation is directly related to the formation of kimberlites composing An-195. It was found that the inclusions of chrome spinelides are confined only to chromic non-zonal phlogopites or to chromic sites of zonal macrocrystals (Cr_2O_3 0.75–1.55 wt. %, TiO_2 2.67–3.84 wt. %, $\text{Mg\#}$ 83–88). Based on a comparative analysis of the studied phlogopites and chromespinelides with the composition of analogues from the parageneses of these minerals in various mantle xenoliths of ultrabasic rocks, eclogites and rocks of the MARID series, it was concluded that these phlogopites most likely represent a phenocrystal association of kimberlite minerals. They clearly differ from phlogopites of the MARID series rocks with equal $\text{Mg\#}$ and TiO_2 in higher Al_2O_3 contents; from phlogopites of ultrabasic mantle rocks xenoliths – generally with lower magnesia content.

Phlogopites from eclogites have a generally higher Cr_2O_3 content. Inclusions of high-chromium spinelides in phlogopite (Cr_2O_3 44-50 wt. %, TiO_2 3-5.5 wt. %, $\text{Fe}^{3+} < 0.35$ f.e.) correspond in composition to spinelides from cataclysmic dunites and are products of their recrystallization under the influence of high-temperature mantle fluid. Inclusions of less chromic spinelides (Cr_2O_3 30-44 wt. %, TiO_2 4-7.5 wt. %, $\text{Fe}^{3+} > 0.35$ fe) probably crystallized simultaneously with phlogopite macrocrystals and were captured by them during long-term co-growth.

Keywords: phlogopite, spinelide, mantle xenoliths, eclogites, MARID series, mantle metasomatism, kimberlite, phenocryst, xenocryst.

Введение

Известно, что флогопит, являющийся одним из ведущих минералов в кимберлитах, имеет как ксеногенную, так и фенокристную природу. Ксеногенный флогопит попадает в кимберлиты при дезинтеграции различных мантийных ксенолитов. Природа его чаще всего метасоматическая. Фенокристная ассоциация отражает этапы становления самих кимберлитов. Ксеногенный флогопит некоторых алмазоносных трубок Якутской кимберлитовой провинции (Мир, Юбилейная, Удачная) содержат включения шпинелидов, ильменитов, гранатов и пироксенов, являющихся ксеногенными или сингенетичными по отношению к минералу-хозяину. По данным наших предыдущих исследований наибольшим распространением в качестве кристаллических включений во флогопите пользуются шпинелиды различного генезиса [1–3].

В данной статье мы приводим результаты изучения состава макрокристаллов флогопита из Ан-195, как представителя. Аномалия находится в южной части Западно-Укукитского поля Якутской кимберлитовой провинции в составе Среднеоленьевского алмазоносного района. В этом же поле на расстоянии 40 км от исследуемого объекта расположены две убогоалмазоносные трубки Светлана и Лорик (рис. 1). Последнее изучение вещественного состава кимберлитов этих трубок дает основание полагать, что требуется переопробование данных кимберлитов для переоценки их алмазоносности [4]. Данных по вещественному составу кимберлитовых пород, выполняющих Ан-195, как и почти всех неалмазоносных тел Западно-Укукитского поля Якутской кимберлитовой провинции, нигде не опубликовано. Нам представляется, что восполнение этого пробела представляет большой научный интерес. В данной статье будут представлены материалы по изучению одного из ведущих минералов кимберлитов – флогопита, как носителя важной генетической информации.

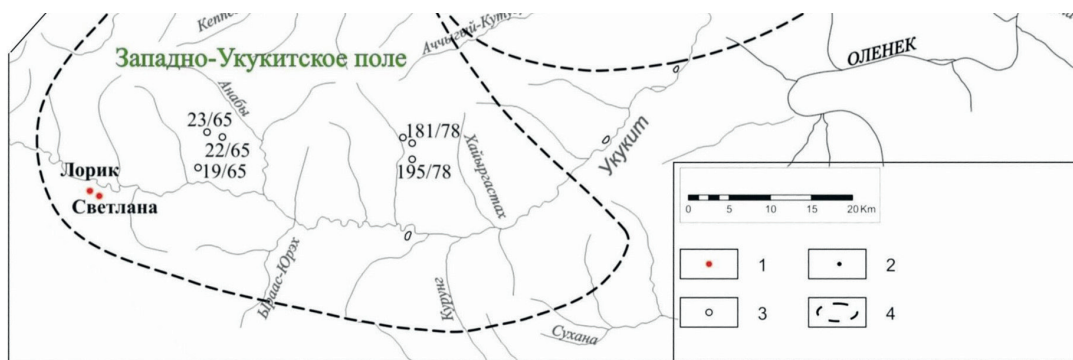


Рис. 1. Схема южной части Западно-Укукитского поля

1 – убогоалмазоносные трубки, 2 – геофизические аномалии трубчатого типа, 3 – кимберлитовые трубки и дайки, 4 – предполагаемые границы кимберлитовых полей

Fig. 1. Schematic map of the southern part of the West Ukukit field

1 – very low diamond content pipes, 2 – geophysical anomalies of the pipe type, 3 – kimberlite pipes and dikes, 4 – assumed boundaries of kimberlite fields

Материалы и методы исследования

Кристаллы флогопита (класс -1+0,5) были отобраны из протолочной пробы кимберлитов, затем заложена в эпоксидную шашку, отполирована и напылена. Исследование состава минералов проводилось в ИГАБМ СО РАН по стандартной методике на микрозонде Camebax-micro и сканирующем электронном микроскопе JSM6480LV с энергетическим спектрометром INCA-Energy 350 при напряжении на катоде 20 кВ и токе электронов 1 нА.

Исследовано 53 зерна флогопита, из которых в 13-ти обнаружены и проанализированы включения хромшпинелидов. Флогопиты имеют реликтивно-таблитчатую или таблитчатую форму (рис. 2). Некоторые зерна проявляют зональность: незначительную и контрастную. Под незначительной мы понимаем такую зональность, когда разница в составе ядра и оболочки минимальна и не визуализируется при микрозондовом исследовании в обратно-рассеянных электронах (рис. 2 В). Контрастно-зональные зерна отличаются значительной разницей в составе ядра и оболочки и чётко визуализируются при микрозондовом изучении (рис. 2 Г).

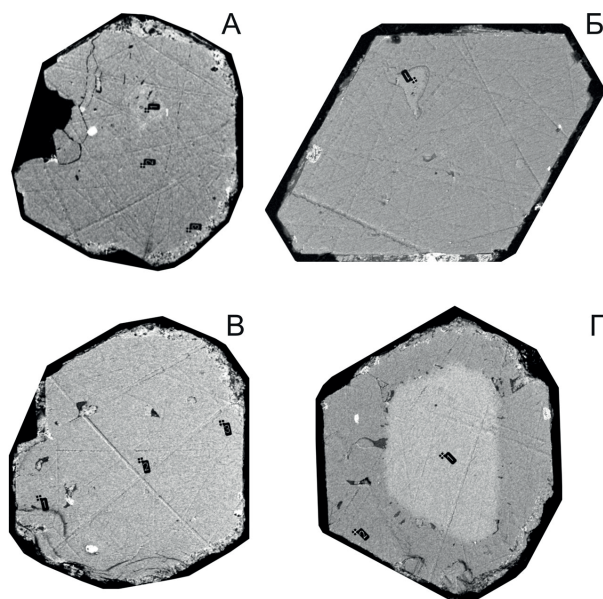


Рис. 2. Микрофотографии макрокристаллов флогопита с включениями хромшпинелидов в обратно рассеянных электронах

А – низкохромистый незональный (Cr_2O_3 в шпинели 46,66 мас. %), Б – высокохромистый незональный (Cr_2O_3 в шпинели 29,09 мас. %), В – незначительно зональный (Cr_2O_3 в шпинели 45,3 мас. %), Г – контрастно-зональный (Cr_2O_3 в шпинели 45,04 мас. %)

Fig. 2. Micrographs of phlogopite macrocrystals with chromium spinelides inclusions in backscattered electrons

А – low chromium non-zonal (Cr_2O_3 in spinel 46.66 wt. %), Б – high chromium non-zonal (Cr_2O_3 in spinel 29.09 wt. %), C – slightly zonal (Cr_2O_3 in spinel 45.3 wt. %), D – contrast-zonal (Cr_2O_3 in spinel 45.04 wt. %)

Включения хромшпинелидов в зернах слюды встречаются от одного-двух до нескольких. Установлено, что они приурочены к низко- и высокохромистым незональным (или незначительно зональным) зернам слюды или к хромистым участкам контрастно-зональных макрокристаллов флогопита. Форма выделений включений шпинелидов подробно описана в [5].

Состав флогопитов

Изучение состава макрокристаллов флогопита с включениями хромшпинелидов показало следующее. Они принадлежат к высокотитанистой разновидности флогопитов с содержанием TiO_2 2,67–3,84 мас. % (рис. 3 А). Количество Al_2O_3 и значение Mg# в их составе меняется незначительно: 13,54–15,62 мас. % и 83,26–87,66 соответственно (рис. 3 Б).

По содержанию Cr_2O_3 выделяются две группы флогопитов: 0,19–0,61 и 0,75–1,55 мас. % (рис. 4 А). Они представляют незональные зерна флогопита, составляют ядра незначительно зональных кристаллов, их промежуточные и краевые зоны, а так же оболочки контрастно-зональных зерен. Встречаются ритмически-зональные кристаллы (рис. 4 Б), которые, вероятно, отражают порядок кристаллизации флогопитов разного состава в кимберлитах данного тела.

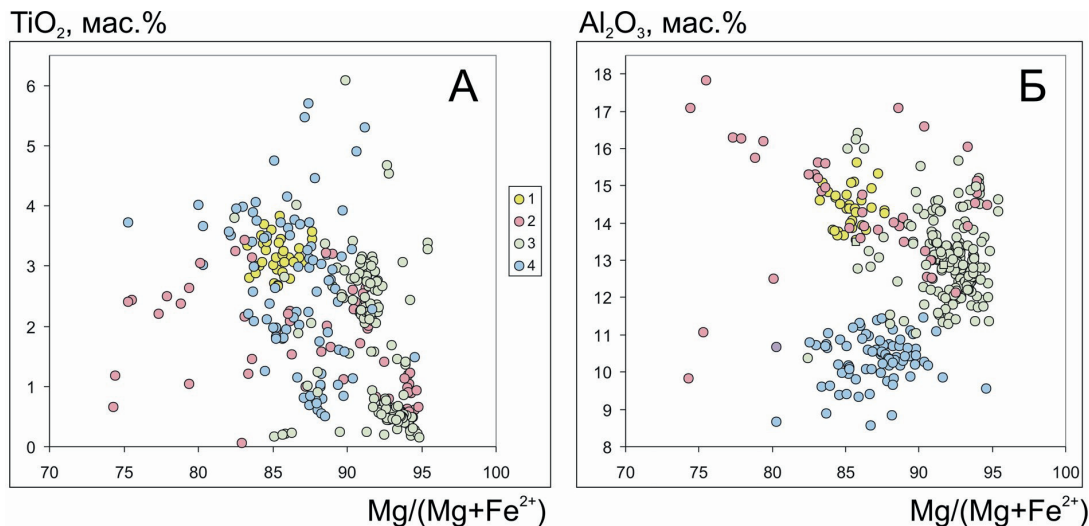


Рис. 3. Соотношение TiO_2 , Al_2O_3 и $\text{Mg}\#$ в составе флогопитов

1 – макрокристаллы с включениями хромшпинелидов из кимберлитов Ан-195, 2 – флогопиты из эклогитов [15–21], 3 – флогопиты из ксенолитов ультраосновного состава [12–18, 21], 4 – флогопиты из пород MARID-серии [15, 19]

Fig. 3. The ratio of TiO_2 , Al_2O_3 and $\text{Mg}\#$ in the composition of phlogopites

1 – macrocrystals with inclusions of chrome spinelides from kimberlites An-195, 2 – phlogopites from eclogites [15–21], 3 – phlogopites from xenoliths of ultrabasic composition [12–18, 21], 4 – phlogopites from rocks of the MARID series [15, 19]

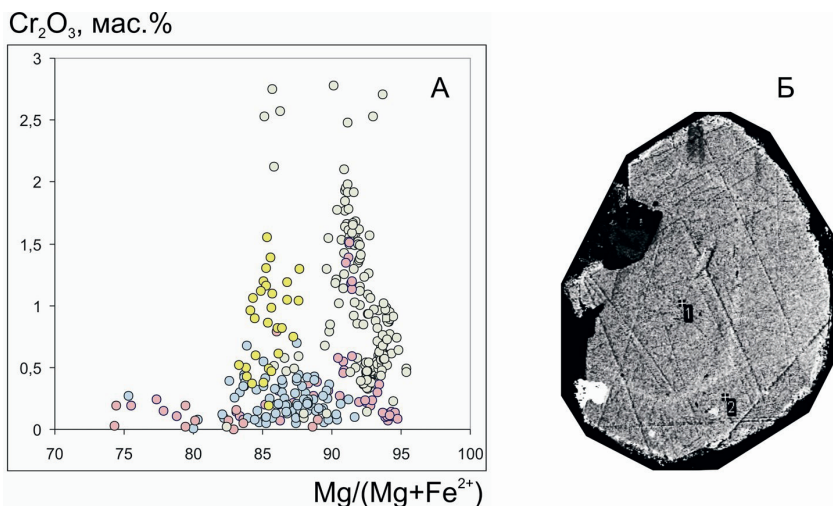


Рис. 4. Соотношение Cr_2O_3 и $\text{Mg}\#$ в составе макрокристаллов флогопита с включениями хромшпинелидов из кимберлитов Ан-195

А – результаты микрозондового анализа, Б – микрофотография зонального макрокристалла флогопита (содержание Cr_2O_3 : точка 1 – 0,5 мас. %; точка 2 – 0,82 мас. %). Условные обозначения смотри на рис. 3

Fig. 4. The ratio of Cr_2O_3 and $\text{Mg}\#$ in the composition of phlogopite macrocrystals with inclusions of chrome spinelides from An-195 kimberlites

А – results of microprobe analysis, Б – microphotography of a zonal macrocrystal of phlogopite (Cr_2O_3 content: point 1 – 0.5 wt. %; point 2 – 0.82 wt. %). See the symbols in Fig. 3

Наиболее широкие вариации в составе хромшпинелидов 1–3 генераций отмечаются для Cr_2O_3 (от 8,84 до 49,66 мас. %), TiO_2 (3,37 – 12,33 мас. %) и $\text{Mg\#}$ (от 0,42 до 0,59). Более подробно состав включений шпинелидов приведен в [5].

Обсуждение и заключение

Как отмечалось в [4], по химическому составу высокохромистые включения шпинелидов (Cr_2O_3 44–50 мас. %, TiO_2 3–5,5 мас. %, $\text{Fe}^{3+} < 0,35$ ф.е) аналогичны хромшпинелидов из пород фации катаклазированных дунитов. В работах [6–11] указывается, что в результате процессов катаклаза и воздействия высокотемпературного флюида возникли катаклазированные породы с гранат-пироксен-хромшпинелевыми сростками, зональные гранаты с включениями хромшпинелидов. Включения менее хромистых шпинелидов (Cr_2O_3 30–44 мас. %, TiO_2 4–7,5 мас. %, $\text{Fe}^{3+} > 0,35$ ф.е.), вероятно, кристаллизовались одновременно с фенокристными макрокристаллами флогопита и захватывались ими в процессе длительного совместного роста.

Сравнительный анализ содержаний TiO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 и $\text{Mg\#}$ изученных макрокристаллов флогопита из кимберлита Ан-195 с флогопитом из ксенолитов ультраосновного состава [12–18, 21], эклогитов [15–21], пород MARID-серии [15, 19] показал, что данные флогопиты не могли принадлежать ни к одной из вышеупомянутых пород. От флогопитов из пород MARID-серии при равных $\text{Mg\#}$ и TiO_2 они чётко отличаются более высокими содержаниями Al_2O_3 . От флогопитов из ксенолитов ультраосновных мантийных пород – в целом меньшей магнезиальностью. От флогопитов из эклогитов – в целом более высоким содержанием Cr_2O_3 . Данные флогопиты, скорее всего, представляют собой фенокристную ассоциацию минералов кимберлитов.

Макрокристаллы флогопита с включениями хромшпинелидов принадлежат как минимум двум стадиям кимберлитового процесса. Первыми кристаллизовались флогопиты с более низким содержанием Cr_2O_3 , вторыми – с более высоким.

Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект НИР 0381-2019-0003.

Литература

1. Бабушкина, С.А. Состав включений шпинели, ильменита, граната и диопсида в макрокристаллах флогопита из кимберлитов Тр. Мир / С.А. Бабушкина, В.К. Маршинцев. – Текст : непосредственный // Геология и геофизика, 1997. – Т. 38 (2). – С. 440–450.
2. Бабушкина, С.А. Включения шпинелидов и ильменитов во флогопитах трубки Малокуонапской / С.А. Бабушкина. – Текст : непосредственный // Проблемы магматической и метаморфической петрологии, геодинамики и происхождения алмазов. Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика В.С. Соболева, 2018. – С. 12.
3. Бабушкина, С.А. Новые данные о составе макрокристаллов флогопита из трубки «Юбилейная» / С.А. Бабушкина. – Текст : непосредственный // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о земле, 2019. – № 4 (16). – С. 41–46.
4. Корнилова, В.П., Специус З.В., Помазанский Б.С. Петрографо-минералогические особенности целесообразности переоценки алмазоносных кимберлитовых трубок Лорик и Светлана (Западно-Укукитское месторождение, Якутия) / В.П. Корнилова, З.В. Специус, Б.С. Помазанский – Текст: непосредственный // Региональная геология и металлогения, 2016. – № 68 – С. 92–99.
5. Бабушкина, С.А. Включения хромшпинелидов в макрокристаллах флогопита из кимберлитов Ан-195 Западно-Укукитского поля / С.А. Бабушкина. – Текст : непосредственный // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. – Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 30-летию Академии наук Республики Саха (Якутия) и 40-летию геологоразведочного факультета СВФУ им. М.К. Аммосова. – Якутск, 2023. – С. 34–39.

6. Соболев, Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии / Н.В. Соболев – Новосибирск: Наука, 1974. – 264 с. – Текст: непосредственный
7. Соболев, Н.В., Харьков А.Д., Лаврентьев Ю.Г., Поспелова Л.Н. Хромит-пироксен-гранатовые сростки из кимберлитовой трубки «Мир» / Н.В. Соболев, А.Д. Харьков, Ю.Г. Лаврентьев, Л.Н. Поспелова – Текст: непосредственный // Геология и геофизика, 1973. – № 12. – С. 15-20.
8. Шпинелиды мантийных пород / Мацюк С.С., Платонов А.Н., Польшин Е.В. и др.; под ред. В.И. Павлишина: Академия наук Украинской ССР. Институт геохимии и физики полезных ископаемых, – Киев: Наука, думка, 1989. – 212 с.
9. Бовкун, А.В., Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Самсонов П.А. Эволюция состава шпинели из кимберлитов / А.В. Бовкун, В.К. Гаранин, Г.П. Кудрявцева, П.А. Самсонов – Текст: непосредственный // Геология алмазов – настоящее и будущее (геологи к 50-летию Мирного и алмазодобывающей промышленности России. / Под ред. Н.Н. Зинчука и др. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2005. – С. 941-950.
10. Самсонов, П.А., Бовкун А.В., Гаранин В.К. Шпинелиды из кимберлитов / П.А. Самсонов, А.В. Бовкун, В.К. Гаранин – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2008. – № 4. – С. 17-22.
11. Гаранин, В.К. Минералогия кимберлитов и родственных пород алмазоносных провинций России в связи с их генезисом и поисками: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / В.К. Гаранин. – Москва, 2006. – 44 с. – Текст: непосредственный.
12. Соловьева, Л.В. Метасоматические и магматические процессы в мантийной литосфере Биректинского террейна Сибирского кратона и их влияние на эволюцию литосферы / Л.В. Соловьева, Т.В. Калашникова, С.И. Костровицкий [и др.]. – Текст : электронный // Геодинамика и тектонофизика, 2015. – Т. 6. – № 3. – С. 3100–344. <https://doi.org/10.5800/GT-2015-6-3-0184>
13. Специус, З.В. Процессы метасоматоза и частичного плавления в ксенолитах из кимберлитовых трубок Якутии: приложение к генезису алмазов / З.В. Специус – Текст: непосредственный // Глубинный магматизм, его источники и их связь с плюмовыми процессами. – Труды IV международного семинара. Улан-Удэ – Иркутск. Изд-во Института географии СО РАН, 2004. – С. 103–140.
14. Carswell, D. (). Primary and secondary phlogopites and clinopyroxenes in garnet lherzolitic xenoliths. International Kimberlite / D. Carswell. – Text: electronic // Conference: Extended Abstracts, 1/ – 1973. – P 59–62. <https://doi.org/10.29173/ikc846>
15. Dawson, J. B Kimberlites and their xenoliths / J. B. Dawson Berlin: Springer-Verlag, 1980. – 252 p. – Text: unmediated.
16. Erlank, A.J., Water, F. G., Hawkesworth, C. J., Haggerty, S. E., Allsopp, H. L., Rickard, R. S., and Menzies, M., 1987. Evidence for mantle metasomatic in peridotite nodules from kimberlite pipes, South Africa. In: Menzies, M.A. and Hawkesworth, C.J. (eds) Mantle metasomatic. London: Academic Press, pp. 221-311.
17. Spetsius, Z.V. and Taylor, L.A., 2002. Partial Melting in Mantle Eclogite Xenoliths: Connection with Diamond Paragenesis. In'l. Geology Review 44, 973-987.
18. Соболев, Н.В. Сингенетические включения флогопита в алмазах кимберлитов: свидетельство роли летучих в образовании алмазов / Н.В. Соболев, А.М. Логвинова, Э.С. Ефимова. – Текст : электронный // Геология и геофизика, 2009. – Т. 50. – № 12. – С. 1588–1606.
https://www.elibrary.ru/download/elibrary_13025437_20616586.pdf
19. Fitzpayne, A. Kimberlite-related metasomatism recorded in MARID and PIC mantle xenoliths / A. Fitzpayne, A. Giuliani, D. Phillips [et al.]. – Text : electronic // Miner Petrol 112 (Suppl 1), 71–84 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00710-018-0573-z>
20. Шацкий, В.С. Свидетельства метасоматического образования алмазов в ксенолите эклогита из кимберлитовой трубки Удачная (Якутия) / В.С. Шацкий, Д.А. Зедгенизов, А.Л. Рагозин [и др.]. – Текст : непосредственный // Доклады Академии Наук. – 2005. – Т. 402. – № 2. – С. 239–242.
21. Kargin, A. V. Phlogopite in mantle xenoliths and kimberlite from the Grib pipe, Arkhangelsk province, Russia: Evidence for multi-stage mantle metasomatism and origin of phlogopite in kimberlite [J] / A.V. Kargin,

L.V. Sazonova, A.A. Nosova, N.M. Lebedeva, Yu.A. Kostitsyn, E.V. Kovalchuk, V.V. Tretyachenko, Ya.S. Tikhomirova. – Text : electronic // *Geoscience Frontiers*, 2019, 10(5): 1941–1959. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.006>

References

1. Babushkina, S.A. Sostav vkljuchenij shpineli, il'menita, granata i diopsida v makrokristallah flogopita iz kimberlitov Tr. Mir / S.A. Babushkina, V.K. Marshincev. – Tekst : neposredstvennyj // *Geologija i geofizika*, 1997. – T. 38 (2). – S. 440-450.
2. Babushkina, S.A. Vkljuchenija shpinelidov i il'menitov vo flogopitah trubki Malokuonapskoj / S.A. Babushkina. – Tekst : neposredstvennyj // *Problemy magmaticheskoy i metamorficheskoy petrologii, geodinamiki i proishozhdenija almazov. Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj konferencii, posvjashhennoj 110-letiju so dnja rozhdenija akademika V.S. Soboleva*, 2018. – S. 12.
3. Babushkina, S.A. Novye dannye o sostave makrokristallov flogopita iz trubki “Jubilejnaja” / S.A. Babushkina. – Tekst : neposredstvennyj // *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. Serija: Nauki o zemle*, 2019. – № 4 (16). – S. 41-46.
4. Kornilova, V.P., Specius Z.V., Pomazanskij B.S. Petrografo-mineralogicheskie osobennosti celesoobraznosti pereocenki alamazonosnyh kimberlitovyh trubok Lorik i Svetlana (Zapadno-Ukukitskoe mestorozhdenie, Jakutija) / V.P. Kornilova, Z.V. Specius, B.S. Pomazanskij – Tekst : neposredstvennyj // *Regional'naja geologija i metallogenija*, 2016. – № 68 – S. 92-99.
5. Babushkina, S.A. Vkljuchenija hromshpinelidov v makrokristallah flogopita iz kimberlitov An-195 Zapadno-Ukukitskogo polja / S.A. Babushkina. – Tekst : neposredstvennyj // *Geologija i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii. – Materialy XIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 30-letiju Akademii nauk Respubliki Saha (Jakutija) i 40-letiju geologorazvedochnogo fakul'teta SVFU im. M.K. Ammosova. – Jakutsk*, 2023. – S. 34-39.
6. Sobolev, N.V. Glubinnye vkljuchenija v kimberlitah i problema sostava verhnjej mantii / N.V. Sobolev – *Novosibirsk: Nauka*, 1974. – 264 s. – Tekst: neposredstvennyj
7. Sobolev, N.V., Har'kov A.D., Lavrent'ev Ju.G., Pospelova L.N. Hromit-piroksen-granatovyje srostki iz kimberlitovoj trubki “Mir” / N.V. Sobolev, A.D. Har'kov, Ju.G. Lavrent'ev, L.N. Pospelova – Tekst: neposredstvennyj // *Geologija i geofizika*, 1973. – № 12. – S. 15-20.
8. Shpinelidy mantijnyh porod / Macjuk S.S., Platonov A.N., Pol'shin E.V. i dr.; pod red. V.I. Pavlishina: *Akademija nauk Ukrainskoj SSR. Institut geohimii i fiziki poleznyh iskopaemyh*, – Kiev: Nauka, dumka, 1989. – 212 s.
9. Bovkun, A.V., Garanin V.K., Kudrjavceva G.P., Samsonov P.A. Jevoljucija sostava shpineli iz kimberlitov / A.V. Bovkun, V.K. Garanin, G.P. Kudrjavceva, P.A. Samsonov – Tekst : neposredstvennyj // *Geologija almazov – nastojashhee i budushhee (geologi k 50-letiju Mirnogo i almazodobyvajushhej promyshlennosti Rossii. / Pod red. N.N. Zinchuka i dr. Voronezh: Izd-vo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2005. – S. 941-950.
10. Samsonov, P.A., Bovkun A.V., Garanin V.K. Shpinelidy iz kimberlitov / P.A. Samsonov, A.V. Bovkun, V.K. Garanin – Tekst : neposredstvennyj // *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Geologija i razvedka*, 2008. – № 4. – S. 17-22.
11. Garanin, V.K. Mineralogija kimberlitov i rodstvennyh porod alamazonosnyh provincij Rossii v svjazi s ih genezisom i poiskami: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora geologo-mineralogicheskikh nauk / V.K. Garanin. – Moskva, 2006. – 44 s. – Tekst: neposredstvennyj.
12. Solov'eva, L.V. Metasomaticheskie i magmaticheskie processy v mantijnoj litosfere Birektinskogo terrejna Sibirskogo kratona i ih vlijanie na jevoljuciju ditosfery / L.V. Solov'eva, T.V. Kalashnikova, S.I. Kostrovickij [i dr.]. – Tekst: jelektronnyj // *Geodinamika i tektonofizika*, 2015. – T. 6. – № 3. – S. 3100–344. <https://doi.org/10.5800/GT-2015-6-3-0184>
13. Specius, Z.V. Processy metasomatoza i chastichnogo plavlenija v ksenolitah iz kimberlitovyh trubok Jakutii: prilozhenie k genezisu almazov / Z.V. Specius – Tekst: neposredstvennyj // *Glubinnyj magmatizm, ego*

istochniki i ih svjaz's pljumovymi processami. – Trudy IV mezhdunarodnogo seminar. Ulan-Udje – Irkutsk. Izd-vo Instituta geografii SO RAN, 2004. – S. 103–140.m

14. Carswell, D. (). Primary and secondary phlogopites and clinopyroxenes in garnet lherzolite xenoliths. International Kimberlite / D. Carswell. – Text: electronic // Conference: Extended Abstracts, 1/ – 1973. – P 59–62. <https://doi.org/10.29173/ikc846>

15. Dawson, J. B Kimberlites and their xenoliths / J. B. Dawson Berlin: Springer-Verlag, 1980. – 252 p. – Text: unmediated.

16. Erlank, A.J., Water, F. G., Hawkesworth, C. J., Haggerty, S. E., Allsopp, H. L., Rickard, R. S., and Menzies, M., 1987. Evidence for mantle metasomatism in peridotite nodules from kimberlite pipes, South Africa. In: Menzies, M.A. and Hawkesworth, C.J. (eds) Mantle metasomatism. London: Academic Press, pp. 221–311.

17. Spetsius, Z.V. and Taylor, L.A., 2002. Partial Melting in Mantle Eclogite Xenoliths: Connection with Diamond Paragenesis. In'l. Geology Review 44, 973–987.

18. Sobolev, N.V. Singeneticheskie vkljuchenija flogopita v almazah kimberlitov: svidetel'stvo roli letuchih v obrazovanii almazov / N.V. Sobolev, A.M. Logvinova, Je.S. Efimova. – Tekst : jelektronnyj // Geologija i geofizika, 2009. – T. 50. – № 12. – S. 1588–1606.

https://www.elibrary.ru/download/elibrary_13025437_20616586.pdf

19. Fitzpayne, A. Kimberlite-related metasomatism recorded in MARID and PIC mantle xenoliths / A. Fitzpayne, A. Giuliani, D. Phillips [et al.]. – Text: electronic // Miner Petrol 112 (Suppl 1), 71–84 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00710-018-0573-z>

20. Shackij, V.S. Svidetel'stva metasomaticheskogo obrazovanija almazov v ksenolite jeklogita iz kimberlitovoj trubki Udachnaja (Jakutija) / V.S. Shackij, D.A. Zedgenizov, A.L. Ragozin [i dr.]. – Tekst: neposredstvennyj // Doklady Akademii Nauk. – 2005. – T. 402. – № 2. – S. 239–242.

21. Kargin, A. V. Phlogopite in mantle xenoliths and kimberlite from the Grib pipe, Arkhangelsk province, Russia: Evidence for multi-stage mantle metasomatism and origin of phlogopite in kimberlite [J] / A.V. Kargin, L.V. Sazonova, A.A. Nosova, N.M. Lebedeva, Yu.A. Kostitsyn, E.V. Kovalchuk, V.V. Tretyachenko, Ya.S. Tikhomirova. – Text: electronic // Geoscience Frontiers, 2019, 10(5): 1941–1959. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.006>

Сведения об авторах

БАБУШКИНА Светлана Анатольевна – к.г.-м.н., с.н.с. Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, e-mail: ssa@list.ru

BABUSHKINA Svetlana Anatolyevna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Research, Institute of Geology of Diamond and Precious Metals SB RAS, e-mail: ssa@list.ru

И.В. Рудых

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

e-mail: Rudih@mail.ru

ПРИРОСТ ЗАПАСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ АНДЫЛАХСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЯКУТИЯ) С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ЕГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

Аннотация. В результате проведенных исследований, выдвигается предположение о высоких перспективах прироста запасов газа Андылахского газоконденсатного месторождения, расположенного в пределах Логлорского вала Вилуйской синеклизы Республики Саха (Якутия). Увеличение запасов предполагается, как за счет ранее открытых залежей, так и за счет новых, более глубоких перспективных горизонтов, расположенных в пермских отложениях.

С целью повышения инвестиционной привлекательности, рационального природопользования и увеличения запасов газа Андылахского газоконденсатного месторождения предлагается постановка сейсморазведочных работ методом общей глубинной точки 2D в пределах месторождения и сопредельных, наиболее перспективных площадях. По результатам проведенных исследований в настоящей статье, перспективы по приросту запасов углеводородов Андылахского газоконденсатного месторождения оцениваются более чем в 10 раз.

Ключевые слова: Андылахское, нефтегазоносность, газоконденсатное, месторождение, залежь, свита, нефть, газ, прирост, запасы.

I. V. Rudykh

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

e-mail: Rudih@mail.ru

AN INCREASE IN HYDROCARBON RESERVES OF ANDYLAKHSKOYE GAS CONDENSATE FIELD (YAKUTIA) TAKING INTO ACCOUNT THE SPECIFICS OF ITS GEOLOGICAL STRUCTURE

Abstract. As a result of the research, a conclusion was made about the high prospects for the growth of gas reserves of Andylakhskoeye gas condensate field- located within the Loglor swell of the Vilyui syncline of the Sakha Republic (Yakutia). An increase in reserves is expected, both due to previously discovered deposits and new, more promising horizons located in the Permian deposits.

It is proposed to set up seismic surveys using the 2D common depth point method within the field and the adjacent, most promising areas to increase investment attractiveness, the rational use of natural resources, and increasing gas reserves of Andylakhskoeye gas condensate field. According to the results of the studies carried out in this article, the prospects for the growth of hydrocarbon reserves of Andylakhskoeye gas condensate field are estimated by over 10 times of the amount.

Keywords: Andylakhskoeye, oil and gas potential, gas condensate, field, deposit, formation, oil, gas, growth, reserves.

Введение

В пределах Логлорского вала Вилуйской синеклизы открыты Среднетюнское и Андылахское газоконденсатные месторождения, которые в настоящее время проходят стадии доразведки и разработки. В тоже время Андылахское газоконденсатное месторождение находится в нераспределенном (государственном) фонде участков недр.

Андылахское месторождение открыто 1985 году и до настоящего времени находится в нераспределенном фонде участков недр. По состоянию на 01 января 2022 года на Государственном балансе запасов полезных ископаемых Российской Федерации по Андылахскому месторождению числятся запасы категории B_1 – 7 789 млн. m^3 природного газа [1]. Месторождение в рамках одноименного участка недр не раз входило в перечень участков недр для лицензирования, но в связи с отсутствием поданных заявок потенциальными недропользователями, аукционы признаны не состоявшимися.

В настоящее время месторождение, бурение в пределах которого проходило в период 1980-1985 годов, считается недоразведанным.

На площади месторождения выполнен комплекс региональных и оценочных геолого-геофизических исследований, включая поисково-разведочное бурение, а также тематические работы. В частности, пробурено 9 глубоких скважин. В том числе 7 поисковых и 2 разведочные. Все скважины превышают глубину 3 660 м. Максимальная глубина составляет 4 118 м (скв. № П-247). Общий метраж бурения составляет 34 442 м.

По предварительно оцененным размерам запасов газа месторождение относится к категории мелких, обладает высоким углеводородным потенциалом. Основными причинами отсутствия заинтересованности недропользователей, в первую очередь являются небольшие запасы и отдаленность месторождения от транспортных коридоров. Целью данной работы является рассмотрение особенностей нефтегазоносности и потенциала наращивания запасов Андылахского газоконденсатного месторождения.

Особенности газонасности

Логлорский вал является единственной положительной структурой II порядка, осложняющей северо-западный борт Вилуйской синеклизы [2]. По данным бурения в пределах Логлорского мегавала вскрыт мезозойско-среднепалеозойский осадочный чехол до глубины 4 650 м, из них около 700 м отложений верхнего девона. Он представляет собой структуру длиной около 150 км и шириной до 15-20 км, для которой характерно значительное погружение шарнира под углом 1-2 ° в северо-восточном направлении с одновременным выполаживанием структуры [3, 4].

Нижнетриасовый (таганджинский) продуктивный комплекс на Среднетюнговской площади залегает в интервалах глубин от 2 530-2 881 м до 2 644 – 3 001 м, на Улахан-Тюертской площади от 2 875 м до 3 036 м, на Андылахской площади от 3 480-3 660 м до 3 672-3 875 м, на Верхнелинденской площади от 3 881-3 905 м до 4 010 – 4 047 м [5].

В 1985-1989 годах в результате глубокого бурения на небольших положительных структурах (Андылахское, Экченское, Олунгдинское, Безымянное) северо-восточнее от Среднетюнговского газоконденсатного месторождения было открыто месторождение и названо Андылахским, хотя продуктивными оказались скважины на других структурах (рис. 1).

В скважине-первооткрывательнице № 246, пробуренной в пределах Безымянной структуры, при опробовании нижней части пласта T_1 -А в интервале 3 646-3 663 м получен промышленный приток газа дебитом 803 тыс. m^3 /сутки на шайбе 11,98 мм в течение суток. Скважина работала стабильно, падений устьевых параметров дебита не отмечено. Суммарный отбор газа в процессе пробной эксплуатации составил 13 714 тыс. m^3 . В 1987 году в скважине № 246 испытана верхняя часть пласта T_1 -А (интервал 3 630-3 643 м), в результате чего получен приток газа дебитом 592 тыс. m^3 /сутки на шайбе 21,96 мм. Для оконтуривания залежи в юго-западной части структуры была пробурена скважина № 17 602. По данным геофизических исследований скважин пласт T_1 -А (интервал 3 651-3 674 м) газонасыщен и имеет эффективную толщину 14,4 м.

Другая залежь – T_1 -П была вскрыта в 1986 году скважинами № 246 и № 17 602. В скв. № 246 при опробовании интервала на глубине 3 604 – 3 614 м получен приток газа дебитом 305,6 тыс. m^3 /сутки на шайбе 16 мм. В скв. № 17 602 пласт T_1 -П с эффективной мощностью 4,8 м по данным геофизических исследований скважин – газонасыщен. Обе залежи пластовые сводовые. Пористость коллекторов пласта T_1 -А (лабораторные определения) составляет в среднем 16 %,

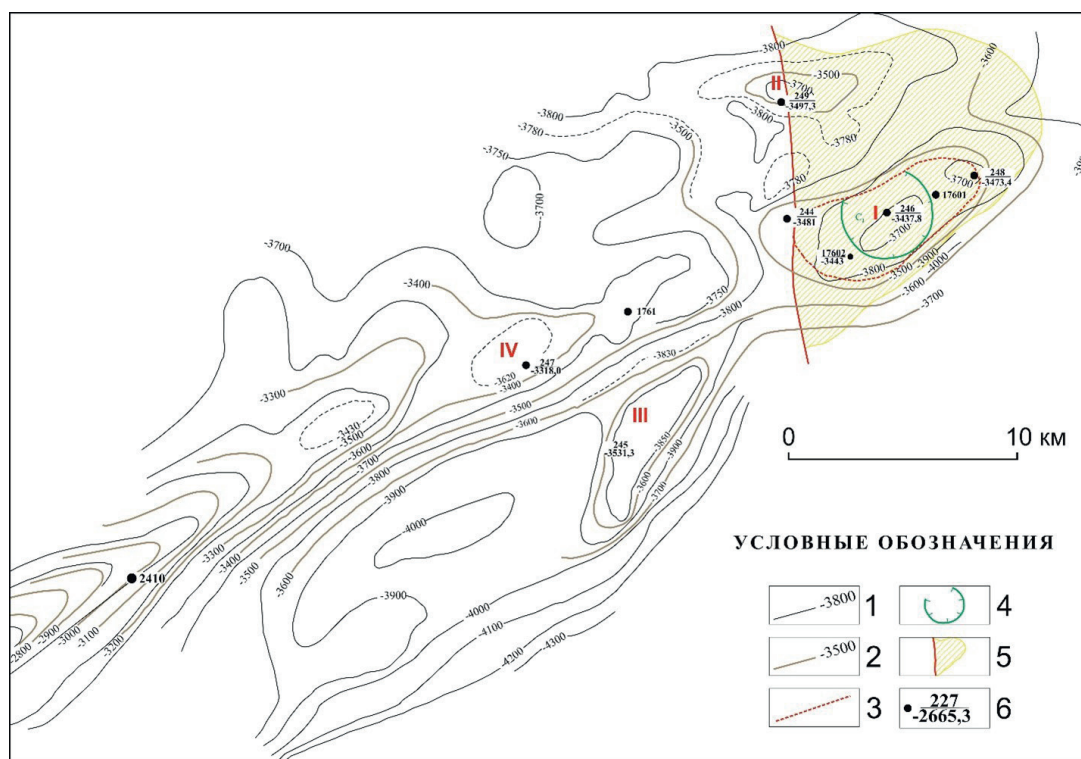


Рис. Структурный план Андылахской площади по подошве мономской свиты нижнего триаса

Условные обозначения: 1 – изогипсы отражающего горизонта ТП (граница между пермскими и триасовыми отложениями), 2 – изогипсы подошвы мономской свиты, 3 – Контур газонасыщенности категории С₂, 4 – Контур подсчета запасов газа по категории С₁ по состоянию на 10.10.86 г, 5 – Югюлятская ловушка, 6 – скважина (знаменатель: абс. отм. подошвы мономской свиты, числитель: номер скважины). Структуры: I – Безымянная, II – Олунгинская, III – Экеченская, IV – Андылахское

Fig. 1. Structural plan of the Andylakh area along the base of the Monomsky formation of the Lower Triassic

Symbols: 1 – isohypses of the reflecting horizon of the TP (the boundary between Permian and Triassic deposits), 2 – isohypses of the sole of the Monomsky formation, 3 – the contour of the gas content of category C₂, 4 – the contour of the calculation of gas reserves in category C₁ as of 10.10.86, 5 – Yugyulyatskaya trap, 6 – well (denominator: abs. note the soles of the Monomsky formation, numerator: well number). Structures: I – Nameless, II – Olungdinskaya, III – Ekechenskaya, IV – Andylakhskoye

а по пласту Т₁-П – 13 %. Коэффициент газонасыщенности (средневзвешенная по газонасыщенной толщине величина) для пластов Т₁-А и Т₁-П, составил 0,69 и 0,63 соответственно.

Контур газонасыщенности категории С₁ залежи Т₁-А был принят в радиусе дренирования скважины № 246, равным 2 км с учетом результатов пробной эксплуатации. Как отмечалось выше в процессе пробной эксплуатации пластовое давление оставалось неизменным.

Контур газонасыщенности категории С₁ залежи Т₁-П был принят условно в радиусе дренирования 1 км, пробная эксплуатация залежи не проводилась.

Газоводяной контакт для залежи Т₁-А принят на по скважине № 248 по изогипсе – 3 482,6 м, а для залежи Т₁-П по отметке – 3 429,8 м.

Обе залежи пластовые сводовые. Эффективные толщины пластов Т₁-А и Т₁-П определены по данным комплекса методов геофизических исследований скважин с использованием прямых и косвенных признаков коллектора. Для подсчета запасов газа по категории С₁ по залежи Т₁-А эффективная газонасыщенная толщина принята равной 12,8 м, для категории С₂ – 7,5 м. Для подсчета запасов пласта Т₁-П средневзвешенная эффективная толщина запасов по категории С₁

принята равной 4,5 м, категории $C_2 - 3,3$ м. Коэффициент открытой пористости пород-коллекторов пласта T_1 -А принят равным 15 %, а по залежи T_1 -П – 13 %. Коэффициент газонасыщенности был принят по залежам 0,69 и 0,63 соответственно.

Скважина № 245 на Экэченской площади вскрыла отложения мела, юры, триаса и прошла по породам тарагайской толщи верхней перми 98 м. По результатам опробования прямыми методами пласты-коллекторы нижнетриасового продуктивного горизонта оценены как водонасыщенные, а верхнепермский разрез охарактеризован как плохо проницаемый с неопределенным насыщением.

Скважина № 247, пробуренная на, собственно, Андылахском поднятии, вскрыла аналогичный разрез. По неполному комплексу геофизических исследований скважин, что вызвано интенсивными газопроявлениями в процессе бурения, в верхней части пласта T_1 -П, в котором содержится газ в свободной фазе при оценочном значении коэффициента газонасыщенности 0,5. Перспективы верхней перми не изучены из-за сложного технического состояния скважины. Забой скважины 3 818 м., закончена строительством 02.08.1982г. Скважина ликвидирована по аварийным причинам.

В пределах Олунгинской структуры была пробурена скважина № 249. Данные бурения свидетельствуют об ухудшении коллекторских свойств основных продуктивных горизонтов в триасе. При этом получено заключение о водонасыщенности пластов.

В результате тщательного анализа временных разрезов методом общей глубинной точки, включая промежуточные разрезы различных этапов обработки, был выявлен ряд разрывных нарушений. В комплексе с данными бурения было протрассировано основное нарушение, контролирующее Андылахское месторождение и рассекающее Логлорский вал с юга на север.

На основании указанных изменений в пределах, ранее подготовленных к – изогипсой – 4 000 м по горизонту ТП, – 3 500 м по горизонту Т. Размеры ее по обоим горизонтам составляют $11,5 \times 10,5$ км, площадь ее составляет порядка 100 кв. км, амплитуда 60 м. Прогнозные запасы можно оценить в объеме 100 млрд. m^3 газа.

Обсуждение результатов

Бурению Олунгинской и Безымянной структур была выявлена Югюлятская тектонически-экранированная ловушка (рис. 1). С запада ловушка контролируется тектоническим нарушением амплитудой от 20 и более метров, с востока

В результате анализа выделена новая перспективная структура – Югюлятская. Эта структура объединяет, ранее выделявшиеся, Безымянную и Олунгинскую брахиантиклинали. По всей видимости, она представляет собой тектонически экранированную приподнятую северо-восточную часть структурного носа.

Для получения более полного представления о строении потенциальной Югюлятской структуры и характере распространения в пределах ее газовой залежи необходимо провести сейсморазведочные работы МОГТ 3D (объемом 100 km^2) и пробурить несколько разведочных скважин.

Кроме того, в пределах Логлорского мегавала определенные перспективы нефтегазоносности связываются с глубокозалегающими пермскими отложениями [6-8]. Здесь могут быть обнаружены сложно построенные залежи, приуроченные к ловушкам неантиклинального типа [9].

Заключение

Ограниченность внутреннего потребления и отсутствие выхода на внешние рынки сбыта газового сырья является весьма острой проблемой всех недропользователей, ведущих хозяйственную деятельность на территории Вилуйской синеклизы [10].

Высокая инвестиционная емкость проектов по выходу на внешние рынки сбыта газового сырья обуславливает необходимость существенного наращивания сырьевой базы региона. Проведенные исследования с построением альтернативной модели строения Андылахского газоконденсатного месторождения позволяют расширить ресурсный потенциал месторождения более чем в 10 раз. Данное обстоятельство увеличивает инвестиционную привлекательность

месторождения и позволит приблизиться к преодолению инфраструктурных ограничений из-за недостаточности запасов и ресурсов углеводородов в Вилуйской синеклизе.

Литература

1. Архив электронных изданий выпусков Государственного баланса запасов полезных ископаемых Российской Федерации [Электронный ресурс] //Официальный сайт ФГБУ «Росгеолфонд». – URL: <https://rfgf.ru/bal/>.
2. Сивцев, А.И. О некоторых особенностях Хапчагайского и Логлорского валов Вилуйской синеклизы / А.И. Сивцев, А.Р. Александров // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России». – Текст : непосредственный. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2014. – С. 441-444.
3. Геология нефти и газа Сибирской платформы / Под. ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова, А.А. Трофимука. М.: Недра, 1981. – 552 с. – Текст : непосредственный.
4. Сафронов, А.Ф. Геология нефти и газа : монография / Сафронов, А.Ф. – Якутск: Изд-во ЯФ СО РАН, 2000. – 166 с. – Текст : непосредственный.
5. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Отв.ред. Л.М. Парфенов, М.И.Кузьмин. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика». – 2001. –571 с.
6. Зуева, И.Н. Катагенез рассеянного органического вещества и оценка нефтегенерационного потенциала верхнепермских отложений Вилуйской синеклизы / И.Н. Зуева, О.Н. Чалая, А.Ф. Сафронов, В.А. Каширцев. – Текст : непосредственный // Наука и образование, 2014. – № 2. – С.110-117.
7. Сафронов, А.Ф. Историко-генетический анализ процессов нефтегазообразования (на примере востока Сибирской платформы) : монография / Сафронов, А.Ф. – Якутск: ЯНЦ СО РАН. – 1992. – 148 с. – Текст : непосредственный.
8. Сивцев, А.И., Александров А.Р., Сюндюков И.Ш. Перспективы нефтеносности Вилуйской синеклизы / А.И.Сивцев, А.Р. Александров, И.Ш. Сюндюков. – Текст : непосредственный // Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 30-летию ИПНГ РАН «Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности». – Москва : «Аналитик», 2017. С. 139-140.
9. Хмелевский, В.Б. Структурные условия прогноза ловушек неантиклинального типа в Вилуйской гемисинеклизе (на примере северо-западного борта гемисинеклизы / В.Б. Хмелевский. – Текст : непосредственный // Тектоника и нефтегазоносность Якутии. – Якутск : ЯНЦ СО АН СССР, 1989. – С. 155-158.
10. Егорова, Т.Р. Перспективы наращивания сырьевой базы УВ в зоне влияния газопровода «Сила Сибири» / Т.Р. Егорова, А.И. Сивцев, М.И. Карпова // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России [Электронный ресурс]: – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2022. – 1 электрон. опт. диск. С.525-528.

References

1. Arhiv jelektronnyh izdanij vypuskov Gosudarstvennogo balansa zapasov poleznyh iskopaemyh Rossijskoj Federacii [Jelektronnyj resurs] //Oficial'nyj sajт FGBU «Rosgeolfond». – URL: <https://rfgf.ru/bal/>.
2. Sivcev, A.I. O nekotoryh osobennostjah Napchagaj'skogo i Loglorskogo valov Viljujskoj sineklizy / A.I. Sivcev, A.R. Aleksandrov // Materialy vsrossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Geologija i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii». – Tekst : neposredstvennyj. – Jakutsk : Izdatel'skij dom SVFU, 2014. – S. 441-444.
3. Geologija nefti i gaza Sibirskoj platformy / Pod. red. A.Je. Kontorovicha, V.S. Surkova, A.A. Trofimuka. M.: Nedra, 1981. – 552 s. – Tekst : neposredstvennyj.
4. Safronov, A.F. Geologija nefti i gaza : monografija / Safronov, A.F. – Jakutsk: Izd-vo JaF SO RAN, 2000. – 166 s. – Tekst : neposredstvennyj.

5. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Отв.ред. Л.М. Парфенов, М.И.Куз'мин. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика». – 2001. – 571 с.
6. Zueva, I.N. Katagenez rassejannogo organicheskogo veshhestva i ocenka neftegeneracionnogo potenciala verhnepersmskih otlozhenij Viljujskoj sineklizy / I.N. Zueva, O.N. Chalaja, A.F. Safronov, V.A. Kashircev. – Tekst : neposredstvennyj // Nauka i obrazovanie, 2014. – № 2. – S.110-117.
7. Safronov, A.F. Istoriko-geneticheskij analiz processov neftegazoobrazovaniya (na primere vostoka Sibirskoj platformy) : monografiya / Safronov, A.F. – Jakutsk: JaNC SO RAN. – 1992. – 148 s. – Tekst : neposredstvennyj.
8. Sivcev, A.I., Aleksandrov A.R., Sjundjukov I.Sh. Perspektivy neftenosnosti Viljujskoj sineklizy / A.I.Sivcev, A.R. Aleksandrov, I.Sh. Sjundjukov. – Tekst : neposredstvennyj // Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii, posvjashhennoj 30-letiju IPNG RAN «Fundamental'nyj bazis innovacionnyh tehnologij neftjanoy i gazovoj promyshlennosti». – Moskva : «Analitik», 2017. S. 139-140.
9. Hmelevskij, V.B. Strukturnye uslovija prognoza lovushek neantiklinal'nogo tipa v Viljujskoj gemisineklize (na primere severo-zapadnogo borta gemisineklizy / V.B. Hmelevskij. – Tekst : neposredstvennyj // Tektonika i neftegezonosnost' Jakutii. – Jakutsk : JaNC SO AN SSSR, 1989. – S. 155-158.
10. Egorova, T.R. Perspektivy narashhivaniya syr'evoj bazy UV v zone vlijaniya gazoprovoda «Sila Sibiri» / T.R. Egorova, A.I. Sivcev, M.I. Karpova // Geologija i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii [Jelektronnyj resurs]: – Jakutsk : Izdatel'skij dom SVFU, 2022. – 1 jelektron. opt. disk. S.525-528.

Сведения об авторах

РУДЫХ Иван Васильевич – доцент кафедры прикладной геологии геологоразведочного факультета СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: Rudih@mail.ru

RUDYKH Ivan Vasilievich – Associate Professor, Department of Applied Geology, Faculty of Geology and Survey, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: Rudih@mail.ru

А.И. Сивцев, И.В. Рудых, Н.А. Сивцев
СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия
e-mail: maraday@yandex.ru
e-mail: rudih@mail.ru
e-mail: sivtsevnicol@gmail.com

ПРИРОДА ГАЗОНОСНОСТИ НЕДЖЕЛИНСКОЙ СВИТЫ

Аннотация. В работе затрагивается вопрос региональной газоносности неджелинской свиты нижнего триаса. На основе рассмотрения особенностей газоносности неджелинской свиты и верхних продуктивных горизонтов пермского возраста в пределах Хапчгайского мегавала сделан вывод о наличии двух видов залежей в разрезе неджелинской свиты. Первый вид залежей газогидродинамически ограничен в объеме неджелинской свиты и генетически связан с прорывными газами из пермской части разреза. Второй вид залежей газогидродинамически связан с залежами в верхней части пермского продуктивного горизонта. Из-за отсутствия собственного потенциала газообразования в неджелинской свите за пределами Хапчгайского и Логлорского валов она может рассматриваться только как эффективный флюидоупор. Сделан вывод, что на территориях отсутствия изолированных залежей в неджелинской свите следует ожидать благоприятные коллекторские свойства в пермской части разреза.

Ключевые слова: Вилуйская синеклиза, Хапчгайский мегавал, неджелинская свита, пермские отложения, залежи, аномально высокие пластовые давления, перспективы нефтегазоносности.

A. I. Sivtsev, I. V. Rudykh, N. A. Sivtsev
M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia
e-mail: maraday@yandex.ru
e-mail: rudih@mail.ru
e-mail: sivtsevnicol@gmail.com

THE NATURE OF THE GAS CONTENT OF THE NEJELINSKY FORMATION

Abstract. The paper deals with the issue of regional gas content of Nejelinsky formation of the Lower Triassic. Based on the consideration of the peculiarities of the gas content of Nejelinsky formation and the upper productive horizons of the Permian age within the Khapchagai megawall, it is concluded that there are two types of deposits in the section of Nejelinsky formation. The first type of deposits is gas-hydrodynamically limited in the volume of Nejelinsky formation and is genetically related to breakthrough gases from the Permian part of the section. The second type of deposits is gas-hydrodynamically related to deposits in the upper part of the Permian productive horizon. Due to the lack of its own gas formation potential in Nejelinsky formation outside the Khapchagai and Loglorsky shafts, it can only be considered as an effective fluid barrier. It is concluded that in the absence of isolated deposits in Nejelinsky formation, favorable reservoir properties in the Permian part of the section should be expected.

Keywords: Vilyui syncline, Khapchagai megawall, Nejelinsky formation, Permian deposits, deposits, abnormally high reservoir pressures, prospects for oil and gas potential.

Введение

В настоящее время на территории Лено-Вилуйской нефтегазоносной провинции (Вилуйская синеклиза и Предверхоанский прогиб) намечены широкомасштабные геологоразведочные работы на поиски месторождений нефти и газа. Наибольшие по площади лицензионные участки и преобладающая часть открытых газовых и газоконденсатных месторождений принадлежат ПАО «Газпром» и ПАО «ЯТЭК».

При всей значительности установленных запасов газа (порядка 0,8 трлн. м³) Лено-Вилуйской нефтегазоносной провинции (НПГ) весьма актуальной остается проблема отсутствия газотранспортной инфраструктуры для доступа к внешним рынкам. Ежегодный суммарный объем добычи газа составляет всего порядка 1,85 млрд. м³, что составляет менее 0,23 % от установленных суммарных запасов газа.

Практически все открытые к настоящему времени газовые и газоконденсатные месторождения расположены в центральной части Лено-Вилуйской НПГ и приурочены к терригенным отложениям верхнепермского, нижнетриасового и нижнеюрского продуктивных комплексов. Данные продуктивные комплексы отложений экранируются глинистыми свитами (снизу-вверх): неджелинской и мономской нижнего триаса и сунтарской нижней юры.

При этом основные приросты запасов газа в ряде месторождений Хапчагайского мегавала происходят за счет пересмотра геологической модели строения неджелинской свиты. Данное обстоятельство позволяет некоторым исследователям рассматривать неджелинскую свиту в качестве самостоятельного перспективного объекта для обнаружения залежей углеводородов вне пределов Хапчагайского мегавала [1, 2].

Постановка проблемы

Концентрации Сорг в глинистых отложениях неджелинской и мономской свит нижнего триаса не более 0,36 % [3, 4]. Данное обстоятельство не позволяет рассматривать нижнетриасовые вулканогенно-осадочные толщи в качестве нефтегазопроизводящей [5]. Геолого-геохимические данные по газоконденсатным месторождениям Вилуйской синеклизы указывают о формировании месторождений за счет вертикальной миграции [6, 7]. В качестве основной нефтегазопродуцирующей толщи выступают каменноугольно-пермские угленосные отложения с мощностью до 3 000 м и более [8]. Таким образом, образование значительных по объемам газовых залежей внутри неджелинской и мономской свит за счет собственного потенциала газообразования представляется маловероятным.

Для выяснения особенностей газоносности неджелинской свиты и ее перспектив в пределах всей Лено-Вилуйской НПГ рассмотрим особенности залежей, приуроченных и экранируемых неджелинской свитой на месторождениях Хапчагайского мегавала.

Залежи неджелинской свиты и верхов перми Хапчагайского мегавала

На Хапчагайском мегавале сосредоточены основные запасы газа Лено-Вилуйской НПГ. Здесь с запада на восток расположены следующие крупные газоконденсатные месторождения: Средневилуйское, Толонское, Мастахское и Соболюх-Неджелинское.

В пределах Средневилуйского газоконденсатного месторождения в отложениях неджелинской свиты до недавнего времени залежи не были установлены. В 2022 году в районе скважины № 23 в интервале неджелинской свиты установлена мелкая залежь в интервале глубин 2 454-2 467 м (-3 039,8-3 052,8 м). Пластовое давление принято в 37,9 МПа.

В пермской части разреза 1965 году была открыта небольшая залежь в интервале глубин 2 922 (-2 827-3 013,6). Залежь пластовая, сводовая, литологически ограничена с запада и востока. Газоводяной контакт принят условно на абсолютной отметке -2 937 м. Пластовое давление принято в 36,2 МПа.

Залежи Толонского газоконденсатного месторождения.

Залежь пласта T₁-IVв характеризуется широким распространением на Толонском месторождении. Размеры залежи составляют 31,0 × 9,5 км, высота залежи 315 метров. Средняя глубина залегания залежи в абсолютных отметках -3 178 м. Залежь является пластовой сводовой, в значительной степени литологически экранированной с севера и запада, в южной и западной частях залежь контролируется газоводяным контактом на а.о. -3335 м.

Залежь вскрыта восемью скважинами, которые находятся в чисто газовой зоне. Доля чисто газовой зоны (ЧГЗ) составляет 93 %. Дебиты составляют от 46,2 тыс.м³/сут (скв. № 10) до 137,7 тыс.м³/сут (скв. № 13). Общая толщина проницаемой части пласта изменяется от 2,8 до 12,4 м и

в среднем составляет 6,7 метров, эффективная и эффективная газонасыщенная толщина варьируют в пределах 2,8-7,4 метра и в среднем составляют 5,5 м.

Пластовое давление, приведенное на середину объема залежи аномально высокое 38,7 МПа. Пластовая температура +72° С.

Залежь пласта P_2 -II располагается в западной части месторождения, как и все вышележащие. Залежь является пластовой сводовой. Размеры залежи составляют 11,5×8,7 км, высота – 73 м. Средняя глубина залегания залежи в абсолютных отметках -3 098 м. Абсолютная глубина газоводяного контакта принята на отметке -3 134 м. Залежь вскрыта 4-мя скважинами. Доля ЧГЗ составляет 82 % от всего объема залежи.

Промышленные притоки получены в двух скважинах с дебитами от 51,7 тыс. м³/сут до 60,7 тыс. м³/сут. Средняя общая толщина проницаемой части пласта составляет 23,3 м, эффективная толщина изменяется в пределах 8,2-244 и в среднем составляет 13,9 м, эффективная газонасыщенная толщина в среднем по залежи равна 13,5 м.

Пластовое давление, приведенное на середину объема залежи аномально высокое – 38,9 МПа. Пластовая температура +70° С.

Залежи Мастахского газоконденсатного месторождения

Приподнятый блок

При первом подсчете запасов от 1978 года была выделена залежь пласта T_1 -IVб на западном приподнятом блоке Мастахской структуры и приурочена пласту песчаников, залегающему в верхней части неджелинской свиты нижнего триаса. Тип залежи определен условно как структурно-литологический. Размеры залежи 6,2×6 км, высота более 105 м. ГВК принят условно на отметке -3 257,4 м. Залежь вскрыта одной скважиной, эффективная мощность пласта 3,2 м. При испытании пласта дебит газа составил 162 тыс. м³/сут. Пластовое давление 40,3 МПа, пластовая температура +73,5° С.

Залежь пласта P_2 -I приподнятого блока классифицируется как пластовая, сводовая, тектонически экранированная. Размеры залежи 2,2×4,5 км, высота 69 м. Небольшие промышленные притоки газа получены в 7 скважинах, дебиты составили от 11,05 тыс. м³/сут до 144 тыс. м³/сут. По совокупности результатов испытаний и данных обработки материалов ГИС газоводяной контакт в пределах приподнятого блока принят на абсолютной отметке -3 090 м. Середина залегания -3 067 м. Пластовое давление 42,04 МПа, температура +70° С.

Опущенный блок. Восточный купол

Залежь пласта T_1 -IVб выявлена на восточном опущенном блоке Мастахской структуры. Залежь газа пласта T_1 -IVб классифицируется как пластовая, сводовая, литологически экранированная. Размеры залежи 7,5×6 км, высота 83 м, середина залежи -3 060 м. ГВК принят условно на отметке -3080 м. Высота залежи около 90 м. Эффективная мощность пласта 13 м. При испытаниях получены достаточно высокие дебиты до 438,62 тыс. м³/сут. Пластовое давление 34,4 МПа, температура +68° С.

Залежь P_2 -I опущенного блока классифицируется как пластовая, сводовая, с элементами литологического и тектонического экранирования. Размеры залежи 10×5,5 км, высота 87 м, середина залежи -3 132 м. По совокупности результатов испытаний и материалов обработки данных ГИС газоводяной контакт в пределах опущенного блока принят на абсолютной отметке – 3 154 м. На западном куполе дебиты скважин из продуктивного пласта P_2 -I невысокие в пределах 12 – 40 тыс. м³/сут. На восточном куполе в отдельных скважинах, где испытывали совместно с пластом P_2 -II дебит достигал 280 тыс. м³/сут. Пластовое давление 42,8 МПа, температура +73° С.

Залежи в Соболах-Неджелинском газоконденсатного месторождения

Залежь пласта T_1 -IVб приурочена к пачке песчаников и алевролитов, залегающей в средней части разреза неджелинской свиты. Пласт характеризуется весьма сильной изменчивостью ФЕС пород. Породы-коллекторы отсутствуют как на погружениях крыльев структур, так и на сводах Неджелинской и Соболахской структур. Учитывая, что ГВК залежи ни в одной из скважин не

установлен, ее условно можно отнести к пластовому сводовому, литологически ограниченному типу. Залежь литологически экранируется практически по всему контуру. Максимальная глубина, с которой получен промышленный приток газа (Люксюгунская пл., скв. 3), – 3 602 м. Высота залежи около 800 м. На значительной части площади залежи из-за недостаточной изученности и невыдержанности ФЕС пород промышленная газоносность пласта пока не доказана. Глубина залегания залежи 2900-3750 м. Эффективная мощность пласта только на отдельных участках залежи превышает 5 м. (Люксюгунская пл., скв. 1, 27). Продуктивность пласта подтверждена испытанием в семи скважинах. Дебиты газа 50-545 тыс. м³/сут. Выход стабильного конденсата 53,6-55,2 г/м³. Пластовое давление, приведенное к середине залежи 40,7 МПа, пластовая температура +77°С.

В пределах месторождения выделено два обособленных участка залежи P₂-I, разделенных зоной отсутствия коллекторов. Ориентировочная глубина залегания залежи 2 900-3 750 м. ГВК не установлен. Максимальная глубина, с которой получен приток газа (Соболюхская площадь, скв. 7) -3 604 м. Высота залежи около 800 м. Пластовое давление, приведенное к условной середине залежи 41,1 МПа, пластовая температура +76°С.

Обсуждение результатов

На Соболюх-Неджелинском месторождении пластовые давления неджелинского и пермского продуктивных комплексов сопоставимы и фиксируемая незначительная разница может быть обусловлена неточностями в камеральной обработке данных. Вместе с тем Дмитриевский А.Н. и др. [9] на основе комплексной обработки данных литологии и ГИС сделали вывод, что весь разрез неджелинского природного резервуара в пределах Соболюх-Неджелинского месторождения трещиноватый и гидродинамически сообщается с залежами пермского продуктивного комплекса. Сделан вывод, что залежи пластов P₂-I и T₁-IVб Соболюх-Неджелинского месторождения составляют единую газогидродинамическую систему и должны рассматриваться в составе единого пермо-триасового продуктивного горизонта, который по суммарным запасам становится основным объектом для разработки этого месторождения.

В пределах Мастахского месторождения, по всей видимости, пермский продуктивный комплекс можно рассматривать как единую газогидродинамическую систему, включающую приподнятый и опущенный блоки. Сложное строение продуктивного горизонта и незначительная разбуренность отдельных частей общей залежи не позволяют обосновать единый газоводяной контакт. Нельзя исключать наличие литологически ограниченных по объёму залежей на различных уровнях пермской части разреза, вносящих дополнительные неоднозначности при определении единого газоводяного контакта. В пределах приподнятого блока разница пластовых давлений между пермским и неджелинским продуктивными комплексами небольшая и составляет порядка 2 МПа. В опущенном блоке разница пластовых давлений между комплексами существенная и составляет порядка 8,4 МПа.

Равные пластовые давления неджелинского и пермского продуктивных комплексов фиксируются и на Толонском месторождении (38,7-38,9 МПа). Данное обстоятельство позволяет предположить об едином газогидродинамическом режиме этих залежей.

Таблица – Пластовые давления в залежах пермо-триасового комплекса Хапчагайского мегавала

Залежи	Средне- вилуйское	Толонское	Мастахское		Соболюх- Неджели́нское
			Приподнятый	Опущенный	
Пластовое давление, МПа					
Неджели́нской свиты	37,9	38,7	40,3	34,4	40,7
Пермские отложения	36,2	38,9	42,04	42,8	41,1

Имеется представление, что в пределах Хапчагайского мегавала неджелинская свита служила своеобразным клапаном на пути пермских углеводородов [6].

В пределах высокоамплитудного (до 1800 м) Хапчагайского мегавала с накоплением углеводородов под неджелинской свитой (толщина 80 м) формировались залежи с АВПД в пермской части разреза. При достижении критической величины пластового давления происходили прорывы газа через неджелинскую свиту по сводовым частям антиклинальных структур. В ходе прорыва одновременно происходил процесс наполнения песчаных пропластков неджелинской свиты газовым флюидом. Через определенное время по мере достижения определенного равновесия происходило залечивание прорывных каналов. По всей видимости, давление (АВПД) которое мы имеем в пластах T_1 -IV в неджелинской свите Мастахского ГКМ является показателем предыдущего давления прорыва. Именно прорывом газа и последующим поступлением минерализованной воды можно объяснить неоднородность и ухудшенные фильтрационно-емкостных свойств пермских отложений на Хапчагайском мегавале. Сложный характер распределения фильтрационно-емкостных свойств пермского продуктивного комплекса в пределах Хапчагайского мегавала отмечается многими исследователями [10]

Таким образом, на основе изучения давлений залежей газа в пределах месторождений Хапчагайского мегавала в разрезе неджелинской свиты можно выделить 2 вида залежи: газогидродинамически изолированные прорывного генезиса и газогидродинамически связанные с верхами пермского продуктивного горизонта. При этом признаки прорывов газа в виде увеличения трещиноватости в сводовых частях залежей пермо-триасового комплекса были описаны Киселевым В.П. [11]. Нетрудно представить, что прорыв газов будет происходить по самой высокой точке залежи.

Предположение о прорывном генезисе собственно неджелинских залежей подтверждается характеристиками Хайлахского газоконденсатного месторождения и месторождения им Эвальда Туги открытых 2022 году ПАО «ЯТЭК».

На Хайлахском месторождении неджелинская свита представлена пестроцветной толщей переслаивания алевролитов и аргиллитов с отдельными пластами песчаников. Песчаники сероцветные, мелко и среднезернистые, местами известковистые с карбонатными стяжениями. Породы слоистые, со скоплением углисто-слюдистого материала, отмечены трещины, выполненные кальцитом. Толщина свиты в скважинах Хайлахского месторождения составляет от 30 до 60 м.

При наличии потенциальных коллекторов в неджелинской свите в пределах Хайлахского месторождения залежей газа в них не установлены. Единственная залежь установлена в продуктивном горизонте P_2 -Ia тарагайской свиты пермского возраста. Залежь пластовая, сводовая, с элементами тектонического и литологического экранирования. Пластовое давление аномально высокое и составляет 42 МПа на глубине в -3 770 м (скв. № 1213). Месторождение приурочено небольшой по высоте (в пределах 100 м) структуре, ограниченной тектоническим нарушением с юго-западной части, осложняющей южный борт Вилуйской синеклизы. По всей видимости, из-за не большой высоты структуры пластовое давление в пермской части разреза не достигает величин прорыва неджелинской свиты.

На другом месторождении им. Эвальда Туги открытом на южном склоне Хапчагайского мегавала на Тымтайдахском лицензионном участке пластовые давления залежей, приуроченных к неджелинской свите и верхам перми одинаковы и составляют 38.4 МПа – т.е. составляют единую газогидродинамическую систему.

Заключение

На Хапчагайском мегавале установлен зональный тренд увеличения пластового давления и дебитов скважин с запада на восток, который, по всей видимости, связан с увеличением песчаности разреза. Достоверно изолированные залежи в неджелинской свите установлены только на Мастахском месторождении. Примечательно, именно на Мастахской площади отмечается

наибольшая песчанистость разреза. На остальных месторождениях намечается определённая газогидродинамическая связь между залежами в низах неджелинской свиты и пермским продуктивным комплексом.

Таким образом, перспективы нефтегазоносности собственно неджелинской свиты за пределами Хапчагайского и Логлорского валов маловероятны, т.к. не достигаются условия для прорыва газа. В прискладчатой зоне Предверхоянского краевого прогиба, где возможны высокоамплитудные структуры увеличивается толщина неджелинской свиты и уменьшается коэффициент песчанистости [7], т.е. перспективы газоносности также являются неясными.

В пределах остальной части Вилуйской синеклизы на перспективных структурах, перекрываемых неджелинской свитой, прогнозируются коллекторы с минимальным воздействием вторичных процессов ухудшающих фильтрационно-ёмкостные свойства пород.

Литература

1. Погодаев, А. В. Литологические и гидродинамические особенности газоносности верхнепермских и нижнетриасовых отложений Хапчагайского района Вилуйской нефтегазоносной области / А. В. Погодаев, В. С. Ситников, Б. А. Лысов // Геология нефти и газа. – 2012. – № 4. – С. 2-12.
2. Тахватулин, М. М. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности юрских, триасовых и пермских отложений южного борта Вилуйской синеклизы / М. М. Тахватулин, М. А. Масленников // Трофимовские чтения – 2021 : Материалы Всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых, Новосибирск, 11–16 октября 2021 года. – Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2021. – С. 45-47.
3. Изосимова, А.Н. Нефти и конденсаты Западной Якутии. Геохимия органического вещества нефтегазоносных отложений Западной Якутии / А.Н. Изосимова, И.Н. Зуева, О.Н. Чалая, Н.А. Уткина и [др.]. – Новосибирск: Наука, 1984 – с. 74-100. – Текст непосредственный.
4. Олли, И.А. Органическое вещество и битуминозность осадочных отложений Сибири / И.А. Олли. – 1975, Москва: Наука, 135 с. – Текст непосредственный.
5. Fedorovich, M.O. Prediction of oil and gas occurrence in the Vilyui hemisineclise according to interpretation of geological and geophysical data and basin modeling (Republic of Sakha (Yakutia)) / M.O. Fedorovich, A.Yu. Kosmacheva // Georesursy = Georesources. – 2023. – 25 (1), pp. 81–94.
6. Павлова, К. А. К проблеме уровней нефтепроявлений в пределах Средневилуйской структуры / К. А. Павлова, А. И. Калинин, А. И. Сивцев // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2013. – № 4. – С. 122-135. – EDN RKYZKX.
7. Сивцев, А. И. Изучение неоднородности продуктивного горизонта Т1-III и ее влияние на геолого-промысловые характеристики залежи (на примере Средневилуйского ГКМ) : специальность 25.00.12 «Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений» : диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Сивцев Алексей Иванович. – Якутск, 2011. – 146 с.
8. Нефтегенерационный потенциал рассеянного органического вещества пермских отложений Вилуйского бассейна / И. Н. Зуева, О. Н. Чалая, А. Ф. Сафронов [и др.] // Наука и образование. – 2017. – № 2(86). – С. 17-21.
9. Дмитриевский, А.Н. Строение и формирование Неджелинского природного резервуара Хапчагайского мегавала Вилуйской синеклизы / А. Н. Дмитриевский, Н. Н. Томилова, М. П. Юрова, А. А. Рудов // Геология нефти и газа. – 2010. – № 6. – С. 29-43.
10. Литология и условия формирования резервуаров нефти и газа Сибирской платформы / Сибирское научно-производственное объединение по геолого-геофизическим работам / Составители Т. И. Гурова и др.; Под редакцией Т. И. Гуровой, Л. С. Черновой. – Москва : Недра, 1988. – 252, [2] с. : ил.; 22 см.
11. Киселев, В.П. Роль АВПД в формировании залежей газа в пределах Хапчагайского мегавала / В.П. Киселев // Геология месторождений нефти и газа Сибирской платформы. – Новосибирск: Изд-во СНИИГТиМС, 1984.

References

1. Pogodaev, A. V. Litologicheskie i gidrodinamicheskie osobennosti gazonosnosti verxnepersmskix i nizhnetriasovy'x otlozhenij Xapchagajskogo rajona Vilyujskoj neftegazonosnoj oblasti / A. V. Pogodaev, V. S. Sitnikov, B. A. Ly'sov // *Geologiya nefti i gaza*. – 2012. – № 4. – S. 2-12.
2. Taxvatulin, M. M. Geologicheskoe stroenie i perspektivy' neftegazonosnosti yurskix, triasovy'x i permskix otlozhenij yuzhnogo borta Vilyujskoj sineklizy' / M. M. Taxvatulin, M. A. Maslennikov // *Trofimukovskie chteniya – 2021 : Materialy' Vserossijskoj molodezhnoj nauchnoj konferencii s uchastiem inostranny'x ucheny'x*, Novosibirsk, 11–16 oktyabrya 2021 goda. – Novosibirsk: Novosibirskij nacional'ny'j issledovatel'skij gosudarstvenny'j universitet, 2021. – S. 45-47.
3. Izosimova A.N., Zueva I.N., Chalaya O.N., Utkina N.A., Trushheleva G.S., Shumilova L.V., Andreev I.N. (1984). *Nefti i kondensaty' Zapadnoj Yakutii. Geoximiya organicheskogo veshhestva neftegazonosny'x otlozhenij Zapadnoj Yakutii*. Novosibirsk: Nauka, s. 74-100.
4. Olli I.A. (1975). *Organicheskoe veshhestvo i bituminoznost' osadochny'x otlozhenij Sibiri*. M: Nauka, 135 s
5. Fedorovich M.O., Kosmacheva A. Yu. (2023). Prediction of oil and gas occurrence in the Vilyui hemisineclise according to interpretation of geological and geophysical data and basin modeling (Republic of Sakha (Yakutia)). *Georesursy = Georesources*, 25(1), pp. 81–94.
6. Pavlova, K. A. K probleme urovnej nefteproyavlenij v predelax Srednevilyujskoj struktury' / K. A. Pavlova, A. I. Kalinin, A. I. Sivcev // *E'lektronny'j nauchny'j zhurnal Neftegazovoe delo*. – 2013. – № 4. – S. 122-135. – EDN RKYZKX.
7. Sivcev, A. I. Izuchenie neodnorodnosti produktivnogo gorizonta T1-III i ee vliyanie na geologo-promy'slovy'e karakteristiki zalezhi (na primere Srednevilyujskogo GKM) : special'nost' 25.00.12 «Geologiya, poiski i razvedka neftyany'x i gazovy'x mestorozhdenij» : dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata geologo-mineralogicheskix nauk / Sivcev Aleksej Ivanovich. – Yakutsk, 2011. – 146 s.
8. Neftegeneracionny'j potencial rasseyannogo organicheskogo veshhestva permskix otlozhenij Vilyujskogo bassejna / I. N. Zueva, O. N. Chalaya, A. F. Safronov [i dr.] // *Nauka i obrazovanie*. – 2017. – № 2(86). – S. 17-21.
9. Dmitrievskij A.N. Stroenie i formirovanie Nedzhelinskogo prirodnogo rezervuara Xapchagajskogo megavala Vilyujskoj sineklizy' / A. N. Dmitrievskij, N. N. Tomilova, M. P. Yurova, A. A. Rudov // *Geologiya nefti i gaza*. – 2010. – № 6. – S. 29-43.
10. Litologiya i usloviya formirovaniya rezervuarov nefti i gaza Sibirskoj platformy' / Sib. nauch.-proizv. obnienie po geol.-geofiz. rabotam; [Sostaviteli T. I. Gurova i dr.]; Pod red. T. I. Gurovoj, L. S. Chernovoj. – Moskva : Nedra, 1988. – 252,[2] s. : il.; 22 sm.
11. Kiselev V.P. Rol' AVPD v formirovanii zalezhej gaza v predelax Xapchagajskogo megavala // *Geologiya mestorozhdenij nefti i gaza Sibirskoj platformy'*. – Novosibirsk: Izd-vo SNIIGiMS, 1984.

Сведения об авторах

СИБЦЕВ Алексей Иванович – к.г.-м.н., доцент, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, <https://orcid.org/0000-0001-8386-2383>, e-mail: ai.sivcev@empl.s-vfu.ru

SIVTSEV Aleksei Ivanovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: ai.sivcev@empl.s-vfu.ru

РУДЫХ Иван Васильевич – доцент кафедры прикладной геологии геологоразведочного факультета СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: rudih@mail.ru

RUDYKH Ivan Vasilievich – Associate Professor, Department of Applied Geology, Faculty of Geology and Survey, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, <https://orcid.org/0000-0001-7841-5714>, e-mail: rudih@mail.ru, e-mail: rudih@mail.ru

СИБЦЕВ Николай Алексеевич – магистрант Института естественных наук Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, e-mail: sivtsevnicol@gmail.com

SIVTSEV Nikolay Alekseevich – Master's student, Institute of Natural Sciences, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: sivtsevnicol@gmail.com

О.Г. Третьякова¹, Н.М. Третьякова²

¹ СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

e-mail: og.tretiakova@s-vfu.ru

e-mail: natatretyakova2003@gmail.com

УЧЕБНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОЛИГОНЫ СВФУ – УНИКАЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В ОБЛАСТИ ГЕОЛОГИИ, ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Аннотация. В современном мире геология является одной из важнейших научных дисциплин, способной предоставить ключевые знания о структуре и процессах, происходивших и протекающих на нашей планете. Прикладная геология выделяется как область, требующей высокой квалификации и практического опыта, и учебные практики играют ключевую роль в формировании не только теоретических знаний, но и практических навыков студентов. Геологические полевые практики позволяют студентам геолого-разведочного факультета Северо-Восточного федерального университета (ГРФ СВФУ) освоить основные методы полевых геологических исследований, включая анализ горных пород, определение геологических границ и разрывных нарушений. Эта статья представляет обзор структуры и особенностей учебной практики, которая включает в себя несколько этапов, начиная с подготовительного и заканчивая полевым периодом. В данной статье мы рассмотрим сущность и важность полевых исследований в формировании геологических навыков, проанализируем основные аспекты, которые делают эти практики неотъемлемой частью образования будущих геологов.

Ключевые слова: СВФУ, геологическая практика, образовательный полигон, прикладная геология, полевые исследования, ознакомительная практика, геологическая практика.

O. G. Tretyakova¹, N. M. Tretyakova²

¹ M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

² Russian State Agrarian University – K. A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia

e-mail: og.tretiakova@s-vfu.ru

e-mail: natatretyakova2003@gmail.com

NEFU TRAINING GEOLOGICAL POLYGONS AS UNIQUE SITES FOR FORMING GENERAL PROFESSIONAL COMPETENCIES IN THE FIELD OF GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION OF SOLID MINERALS

Abstract. In the modern world, geology is one of the most important scientific disciplines that can provide key knowledge about the structure and processes of our planet. Applied geology, in particular, requires high qualifications and practical experience, and field training geological practices play a key role in the formation of not only theoretical knowledge of students but also of their practical skills. Educational geological practices permit students of the Faculty of Geology and Survey, North-Eastern Federal University, to master basic methods in field geological research, including the analysis of rock formations, the identification of geological boundaries, and the recognizing of relief-faults.

This article provides an overview of the structure and specifics of field training geological practices, involving multiple stages from preparatory to fieldwork period. The article considers not only essence and significance of

field research in terms of formation practical geological skills but also analyze the key aspects that make these practices an integral part of the education of future geologists.

Keywords: NEFU, geological practice, educational field site, applied geology, field research, introductory practice, geological practice.

Проведение геологического изучения и геологической съемки являются неотъемлемой частью образовательного процесса, они дают возможность получить информацию о составе горных пород, определить геологические структуры и особенности рельефа. Для формирования профессиональных компетенций в области геологии, поисков и разведки твердых полезных ископаемых (ПИ), важным является использование специализированных образовательных объектов, таких как учебные полигоны, а учебные геологические практики играют важную роль в формировании у студентов не только теоретических знаний, но и практических навыков, необходимых для успешной работы в этой области.

Учебные геологические практики играют важную роль в процессе подготовки студентов геологических специальностей, для которых практика может стать единственной возможностью ознакомиться с реальными геологическими объектами и процессами на месте. Студенты геологоразведочного факультета Северо-Восточного федерального университета (СВФУ) во время обучения на первом и втором курсах имеют уникальную возможность в рамках учебных практик познакомиться с богатым геологическим наследием региона, выездные практики предоставляют им ценные навыки и опыт в области геологии и геологоразведки. В данной статье мы рассмотрим содержание и значимость учебных геологических практик в контексте подготовки студентов и цели, которые она ставит перед ними.

Одной из основных целей учебных геологических практик является развитие компетенций студентов. В ходе практик студенты учатся:

- проводить полевые исследования, вести личную и бригадную полевую документацию, собирать и анализировать геологические данные;
- работать с современным оборудованием и инструментами, используемыми в геологических исследованиях;
- работать в команде и эффективно взаимодействовать с однокурсниками и руководителями практики;
- анализировать результаты исследований, готовить отчетную документацию.

Одной из главных задач практик является закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях и в учебных курсах. Студенты геологических специальностей изучают разнообразные аспекты геологии, но только на практике они могут применить эти знания к конкретным природным объектам и ситуациям. Важным условием успешного прохождения полевых геологических практик является соблюдение строгих правил техники безопасности, противопожарной безопасности и бережное отношение к окружающей природной среде. Эти меры не только обеспечивают безопасность студентов и преподавателей, но и способствуют сохранению природы и ее ресурсов.

На первом курсе студенты геологоразведочного факультета, обучающиеся по специальности 21.05.02 «Прикладная геология», отправляются на Нохтуйский полигон (рис. 1), который является для обучающихся отличной возможностью познакомиться с различными видами геологической работы [1]. В пути к месту практики студенты могут изучить уникальные геологические объекты. Они представлены обнажениями мезозойских терригенных пород на Табагинском мысе: эта локация является лучшим местом для изучения мезозойских пород и их структуры, а также наблюдать процессы, которые привели к их формированию. Кембрийские карбонатные породы на величавых Ленских столбах: студенты могут изучить карбонатные породы кембрийской эпохи, а также понять, какие изменения произошли за миллионы лет. Тукуланы Хангаласского района: представляют собой интересные геологические объекты, их

изучение помогает студентам понять события и процессы, которые формировали данный регион. Скальные обрывы с толщами нижнепалеозойских пород между г. Олекминском и пос. Мача: эта локация предоставляет возможность погрузиться в геологию нижнего палеозоя и изучить разнообразие пород данной эпохи.

Нохтуйский учебный полигон СВФУ расположен в Олекминском районе, в 820 километрах выше по течению от г. Якутска, на левом берегу р. Лены. В геологическом разрезе, проходящем по береговым обрывам вдоль уреза реки Лены, студенты ГРФ СВФУ сталкиваются с уникальными структурами, представленными обнажениями осадочных пород верхнего рифея, венда и нижнего кембрия. Этот геологический объект, известный как «Нохтуйский опорный разрез», предоставляет исключительную возможность изучения «каменной летописи» древних и современных геодинамических процессов.



Рис. 1. Студенты группы С-РМ-17, описание обнажения карбонатных пород

Fig. 1 Students of the group S-PM-17 describing the outcrop of carbonate rocks

Уникальность Нохтуйского опорного разреза заключается в том, что здесь хорошо выражен и доступен для исследования ряд стратиграфических подразделений верхнерифейского, вендского и нижнекембрийского возраста. Благодаря этой особенности разрез постоянно привлекает как отечественные, так и зарубежные геологические экскурсии, и комиссии для выяснения спорных вопросов стратиграфии древних отложений [2].

На территории Нохтуйского полигона обнаружены магматические образования в виде двух силл габбро и габбро-долеритов, мощностью 70 и 80 метров. Интрузивные породы, образующие силлы, обладают среднекристаллической структурой и массивной текстурой. В их составе присутствуют примерно в равных количествах моноклинные пироксены (авгит) и основные плагиоклазы (лабрадор).

В пределах разреза нохтуйской и лимпейской свит наблюдаются флексурные изгибы, осложнённые малоамплитудными сбросами, взбросами и надвигами [3]. Эти деформации являются интересными объектами для исследования и предоставляют ценные данные о геодинамических процессах, происходящих в данном регионе. Карбонатные породы на территории полигона широко развиты и характеризуются различными формами поверхностного карста, такими как карверны, щели, гроты, связанные с процессами выщелачивания, а также карстообразные щели,

развившиеся по трещинам или на участках переслаивания чистых известняков, доломитов с сильно выветрелыми аргиллитами и мергелями.

Нохтуйский учебный полигон СВФУ также известен археологическими находками. В устье ручья Тербяс археологи обнаружили хорошо сохранившиеся наскальные рисунки, а на правом берегу реки Лены, в 10 километрах выше посёлка Мача, в местности Хайыргас имеется пещера, в которой жили люди каменного века. Археологические раскопки, проведенные отрядами СВФУ, привели к интересным находкам и способствовали расширению наших знаний об истории этого региона. Несмотря на уникальность Нохтуйского полигона, с 2022 года в связи с неудобной транспортной схемой ознакомительная геологическая практика проводится на территории «Большой Якутск». Продолжительность ознакомительной геологической практики в соответствии с учебным планом составляет 4 недели. Во время этой практики студенты проходят обзорные и тематические маршруты, в которых осуществляют наблюдения главнейших эндо- и экзогенных процессов, проявленных на территории, учатся выполнять разнообразные геологические задачи, включая наблюдения, сбор и маркировку образцов, анализ полученных данных.

На первом этапе практики студенты активно занимаются наблюдением за геологическими процессами. Они изучают различные типы надпойменных террас долины реки Лена в районе Покровского тракта и определяют их форму и состав отложений. Также студенты изучают отложения цокольной террасы на Табагинском мысе.

На следующем этапе студенты занимаются сбором образцов горных пород и угольных пластов на Кангаласском мысе. Они учатся отбирать образцы, описывать их и etikетировать для последующего анализа.

Учебная ознакомительная геологическая практика также включает в себя изучение горных пород и различных геологических, гидрогеологических и геоморфологических процессов. Этот этап проводится в местности Улахан Тарын (рис. 2) на Мохсогolloхском месторождении строительных материалов, где студенты изучают геологические разрезы карбонатных горных пород (рис. 3). На Птицефабрике студенты исследуют современные отложения в песчаных карьерах и изучают техногенные процессы, которые влияют на природную среду.



Рис. 2. Студенты группы С-ПГ-22, проведение гидрогеологических замеров

Fig. 2 Students of the group S-PG-22, hydrogeological measurements



Рис. 3. Студенты группы С-ПГ-22, описание обнажения карбонатных пород, Мохсогolloхский разрез

Fig. 3 Students of the C-PG-22 group, description of the outcrop of carbonate rocks, Mokhsogollokhsy section

На Намцырской интрузии (рис. 4) и в обнажениях одноименного карьера (рис. 5) студенты проводят геологическое исследование позднеюрских пород, включая песчаник, лавы и красный туф с окаменелостями флоры. Выше них, они изучают нижнемеловые угли и песчаники, а также различные эффузивные фации, включая лавовые покровы и потоки, пирокластические потоки и покровы туфов.



Рис. 4. Студент группы С-ПГ-22 Константинов Артур у глыбы расплавленной вмещающей породы
Fig. 4 Student of the group S-PG-22, Artur Konstantinov at a block of molten host rock



Рис. 5. Студент группы С-ПГ-22 Аргунов Айал. Общий вид карьера на Намцырском тракте
Fig. 5 Student of the group S-PG-22, Argunov Ayal. General view of the quarry on the Namsyrsky tract

По завершении полевой работы каждая бригада студентов возвращается в учебные аудитории КТФ СВФУ для камеральной обработки данных. Они составляют отчеты, проводят корректировку зарисовок обнажений, описывают все слои и анализируют собранные образцы. Графические приложения к отчетам используются для иллюстрации результатов наблюдений при написании отчетов.

По мере того, как студенты завершают второй курс обучения, их образовательный путь становится более продвинутым и характеризуется более сложной практической полевой подготовкой. Один из уникальных полигонов СВФУ – Томпонский учебный геологосъемочный полигон, расположенный в уникальном районе Верхояно-Колымской орогенной области мезозоя – Южно-Верхоянском синклинории, на территории ООПТ ресурсного резервата Сунтар-Хаята. Здесь на протяжении 51 года обучались основным навыкам геологоразведочных работ более 2700 студентов, которым была предоставлена возможность практического обучения в реальных условиях, с использованием информационных технологий и современного оборудования.

Основной целью прохождения практики на Томпонском учебном полигоне СВФУ является формирование общепрофессиональных компетенций у студентов второго курса, обучающихся по специальности «Прикладная геология». Расположение полигона предоставляет возможность проведения комплексных исследований в различных геологических структурах, таких как горные хребты, различные типы склонов, речные долины, тектонические разломы и другие.

Геологическая практика на Томпонском учебном полигоне дает студентам, обучающимся по программе: «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых» ознакомиться с различными геофизическими методами, такими как гравитационное исследование, магнитные и электромагнитные методы, сейсморазведка и другие.

Территория Томпонского учебного полигона характеризуется сложным геологическим строением. Основная часть территории представлена отложениями верхоянского терригенного комплекса, которые включают в себя литифицированные отложения от средней перми до среднего триаса включительно. Эти отложения характеризуются монотонными серо- и темноцветными ритмично построенными толщами песчаников, алевролитов и аргиллитов. На территории также присутствуют рыхлые четвертичные отложения, залегающие в долинах рек и ручьев. Эти отложения образованы в результате действия ледниковых и постледниковых процессов.

Пермские отложения Томпонского учебного полигона представлены биармийским и татарским отделами. Они состоят из серии серо- и темноцветных пород, таких как песчаники, алевролиты и аргиллиты. Эти породы имеют монотонную структуру и образуют вполне сглаженные и ритмичные построения, простирающиеся на значительное расстояние и имеющие общую мощность более 5 км.

По составу и примесям пермские отложения на территории Томпонского полигона преимущественно представлены мелководными морскими породами, с незначительной примесью вулканогенно-осадочных образований.

Триасовые отложения занимают меньшую восточную часть территории Томпонского полигона. Они включают нижний и средний отделы, которые в свою очередь разделены на несколько свит: некучанскую, харчанскую, соторымскую свиты нижнего отдела, а также малтанскую свиту среднего отдела.

Дизъюнктивные и пликативные структурные формы хорошо видны на поверхности, в рельефе, на аэро- и космоснимках. На территории учебного полигона и его окрестностях выделяются несколько крупных складок: Ухун-Курунгская и Дыбинская антиклинали, Кумбаринская синклиналь.

Ухун-Курунгская антиклиналь представлена своим сводом и восточным крылом. Складка сложена горизонтально залегающими или слабо наклоненными породами менкеченской и чамбинской свит. Кумбаринская синклиналь, расположенная восточнее, она сложена породами малтанской свиты в бассейне реки Кумбарин и отложениями некучанской и харчанской свиты нижнего триаса на ее крыльях. Дыбинская антиклиналь расположена восточнее Кумбаринской синклиналь, но за пределами полигона.

Разрывные нарушения играют важную роль в геологическом строении изучаемой территории, Кюрбеляхский разлом представлен небольшим юго-западным отрезком, он имеет северо-восточное простирание и хорошо выделяется в рельефе и на аэрофотоснимках. Вдоль разлома наблюдаются депрессии на левом водоразделе реки Кюрбелях, а также широкая сквозная обработанная ледником долина от истоков ручья Ледяной до пересечения с долиной ручья Левый Атмооле. Разлом проявляет сезонные и крупные наледи, а в некоторых местах он сопровождается перемятыми и прокварцованными породами.

Соторымский разлом является одним из наиболее крупных нарушений «сунтарской системы разломов». Основная ветвь разлома проходит по долине одноименной реки, в районе разлома наблюдаются многочисленные ответвления и зоны интенсивного перемещения и разрушения пород. Разломные структуры имеют значительное влияние на ориентацию и характер складок в окрестностях учебного полигона и способствуют формированию рельефных особенностей.

На юге, вдоль левого борта ручья Суп, находится штокообразный выход интрузива мелового возраста, состоящего из пород кислого гранитоидного до среднего диоритового состава с умеренной щелочностью. Контактные ореолы Супского массива представляют собой области вокруг интрузий, где происходят влияние магматических горных пород на окружающие образования. Роговики Супского массива подверглись метасоматическим преобразованиям, вызванным химическими изменениями в результате проникновения гидротермальных растворов. Метасоматические преобразования роговиков проявляются через процессы серицитизации, карбонатизации, хлоритизации, альбитизации, а также наличие вкраплений пирита, пирротина, арсенопирита и турмалина.

Интрузивные тела представлены многочисленными дайками Анчинского комплекса малых интрузий, Супским массивом и комагматичными дайками-апофизами Джабыньского комплекса, также присутствуют дайки трахидолеритовых порфиритов – самые молодые магматические образования. Они прорывают более древние дайки и содержат в себе ксенолиты, включения глубинных метаморфических пород, роговиков, а также пород и кварца из окружающих образований.

Геологические карты и разрезы – это неотъемлемая часть любых геологических исследований, поэтому центральной задачей геологосъемочной практики на Томпонском полигоне является обучение студентов принципам геологического картирования. Студенты учатся собирать данные на местности, которые затем используются для создания геологической и геоморфологической карт с профилями и разрезами.

Важно, чтобы студенты осознали, откуда берется геологическая карта. Каждое геологическое обобщение и исследование начинается с того, что геологи собирают «исходный материал» или «полевой материал» на местности. От качества сбора данных зависит точность и достоверность геологических карт и исследований.

В ходе маршрутов особое внимание уделяется точной привязке точек наблюдения с использованием GPS-навигаторов и детальному описанию естественных обнажений горных пород между ними. Параллельно на всей территории проводятся геоморфологические наблюдения с выделением различных типов и форм рельефа. Осуществляется изучение и оценка генетической принадлежности комплекса четвертичных отложений. В результате проведения маршрутных наблюдений бригадами студентов должна быть изучена площадь более 100 км² в масштабе 1:25000. Построенная в результате прохождения практики геологическая карта – это результат не только фактических данных, но и анализа, обобщения и научных предположений студентов. Важно понимать, что каждая карта – это не банк фактического материала, а сплав полевых наблюдений, обобщений и научных выводов.

Структура и особенности данной практики включают в себя несколько этапов, начиная с подготовительного, полевого и заканчивая камеральным периодом и защитой отчетов. К месту базирования на Томпонский полигон ведет дорога, пролегающая через предверхооянский краевой прогиб, а также пликвативные структуры, включая Сетте-Дабанскую и Южно-Верхооянскую тектонические зоны. Здесь, в месте где высоты гор превышают 2000 метров над уровнем моря, студенты знакомятся с условиями работы и жизни в полевых условиях, которые способствует развитию коллективного взаимодействия и командной работы. Полигон предоставляет возможность для проведения полевых работ в группах, где студенты делятся на бригады, каждая из которых имеет своего руководителя-преподавателя, учатся сотрудничать, брать на себя ответственность и решать задачи в условиях реальных проектов по геологическому изучению территории.

Самостоятельные маршруты и методы сбора данных представляют собой эффективный подход к исследованию данного региона. Они позволяют студентам геологоразведочного факультета СВФУ получить комплексные данные о природных условиях и геологических особенностях на территории Томпонского полигона. Важным этапом полевых исследований является приемка фактических полевых материалов и отбор образцов, необходимых для последующего написания и защиты отчета в камеральный период. В итоге проведение бригадных маршрутов и геологических исследований в рамках учебной программы позволяет студентам развивать навыки, необходимые для будущей карьеры в геологии, и обеспечивает понимание геологических процессов и особенностей региональной геологии.

Во время выполнения маршрутов студенческие бригады должны правильно распределять обязанности между членами бригады, определяя индивидуальные задания (рис. 7). Это способствует повышению эффективности и позволяет студентам развивать навыки командной работы и организации. Итоговая оценка студентов по результатам практики устанавливается в конце камерального периода, после того как бригады подготовят полевые отчеты.

Отчеты играют важную роль в оценке успеха студентов. Публичная защита отчетов проводится среди бригад в составе комиссии преподавателей под руководством начальника полигона. Оценивается как работа каждого студента, так и работа бригады в целом. Эта система мотивирует студентов повысить качество своих знаний, а также стимулирует их более ответственно относиться к выполнению практических задач [4].



Рис. 7. Студент гр. С-ПГ-20 проводит замер элементов залегания отложений чамбинской свиты верхней перьмы

Fig. 7 The student gr. S-PG-20 carries out measurement of elements of occurrence of deposits of the Chambinsky formation of the Upper Permian

Учебные геологические полигоны важны для формирования общепрофессиональных компетенций в области геологии, поисков и разведки твердых полезных ископаемых. Они являются уникальными объектами, играющими фундаментальную роль в образовательном процессе и подготовке будущих геологов.

Учебные практики для студентов геологоразведочного факультета СВФУ не только обогащают учебный процесс, но и служат фундаментом для будущей карьеры геологов, становятся ключевым моментом в формировании компетенций и академического роста, подготавливая их к решению сложных задач в сфере геологических исследований и прикладных проектов. Они получают возможность применять теоретические знания на практике, учиться работать с современным оборудованием и развивать навыки научных исследований. Эти практики способствуют формированию профессиональной компетенции и готовности выпускников к решению сложных задач в области геологии и геологоразведки и являются важным шагом на пути к формированию высококвалифицированных специалистов в области геологии.

Литература

1. Жижин, В.И. Нохтуйский учебный геологический полигон СВФУ / В.И. Жижин, К.К. Стручков. – Текст : непосредственный // Наука и техника Якутии, 2015. – № 1 (28). – С. 76-78.
2. Колосов, П.Н. Следы жизнедеятельности биот в Нохтуйском разрезе неопротерозоя и кембрия / П.Н. Колосов, С.С. Рожин, К.С. Олёнова. – Текст : непосредственный // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции, 2018. – С. 101-104.
3. Рожин, С.С. Тектонические структуры нохтуйского учебного полигона / С.С. Рожин. – Текст : непосредственный // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции, 2016. – С. 422-426.
4. Аркадьев, В.В. Учебная практика по геологическому картированию студентов Санкт-Петербургского государственного университета в Крыму / В.В. Аркадьев. – Текст : непосредственный // Материалы Пятой Всероссийской конференции «Полевые практики в системе высшего образования», 2017. С. 12-14

References

1. Zhizhin, V.I. Nohtujskij uchebnyj geologicheskij poligon SVFU / V.I. Zhizhin, K.K. Struchkov. – Tekst : neposredstvennyj // Nauka i tehnika Jakutii, 2015. – № 1 (28). – S. 76-78.

2. Kolosov, P.N. Sledy zhiznedejatel'nosti biot v Nohtujskom razreze neoproterozoja i kembrija / P.N. Kolosov, S.S. Rozhin, K.S. Oljonova. – Tekst : neposredstvennyj // Geologija i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii. Materialy VIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 2018. – S. 101-104.
3. Rozhin, S.S. Tektonicheskie struktury nohtujskogo uchebnogo poligona / S.S. Rozhin. – Tekst : neposredstvennyj // Geologija i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii. Materialy V Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 2016. – S. 422-426.
4. Arkad'ev, V.V. Uchebnaja praktika po geologicheskomu kartirovaniju studentov Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta v Krymu / V.V. Arkad'ev. – Tekst : neposredstvennyj // Materialy Pjatoj Vserossijskoj konferencii «Polevyje praktiki v sisteme vysshego obrazovanija», 2017. S. 12-14.

Сведения об авторах

ТРЕТЬЯКОВА Ольга Геннадьевна – ст. преп. кафедры прикладной геологии геологоразведочного факультета Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, e-mail: og.tretiakova@s-vfu.ru

TRETYAKOVA Olga Gennadievna – Senior Lecturer, Department of Applied Geology, Geological Prospecting Faculty, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: og.tretiakova@s-vfu.ru

ТРЕТЬЯКОВА Наталья Максимовна – студентка института агробиотехнологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, e-mail: natatretyakova2003@gmail.com

TRETYAKOVA Natalya Maksimovna – student, Institute of Agrobiotechnology, K. A. Timiryazev Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy, e-mail: natatretyakova2003@gmail.com

Я.П. Шепелева, С.В. Горский

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

e-mail: shepelevayap@mail.ru

e-mail: krause17@mail.ru

ПЕТРОГРАФИЯ ЛАМПРОФИРОВ ЕНДЕГЕЧЧУЙСКОЙ ПЛОЩАДИ ЯНА-АДЫЧАНСКОГО ОЛОВОРУДНОГО РАЙОНА

Аннотация. В работе рассматриваются особенности петрографического состава дайки лампрофиров, отнесенной к Хунхадинскому комплексу позднемелового возраста, установленной на возвышенности Ондэгеччу в Яно-Адычанском оловорудном районе, расположенном в Адычанской тектонической зоне. Породы имеют порфировое строение, в их составе выделены минеральные образования собственномагматического этапа, магматического, метасоматического и позднего гидротермально-метасоматического замещений. Характерной особенностью данных пород являются сферолиты концентрически-зонального строения, покрытые скорлупой чешуйчатого или пластинчатого графита в зависимости от размера сферолитов, равномерно распределенные по всей породе, которые изучены впервые и не установлены в других магматических породах, широко развитых в районе. Изучение сферолитов является важной петрологической задачей, позволяющей выявить механизмы их образования и причины возникновения, может указать на условия формирования и источники вещества вмещающих их пород. Также большой информативностью обладает морфология графита, его распределение и характер взаимоотношения с окружающими минералами для установления первичной природы графита и эпигенетических изменений вмещающих пород в результате различных гидротермально-метасоматических процессов, что возможно благодаря способности углеродистого вещества перераспределяться в породе при воздействии на них различных сил, а не выноситься из нее.

Ключевые слова: Адычанская магматическая зона, Ендегеччуйская площадь, дайки, лампрофиров, петрография, структура, метасоматические процессы, сферолиты, графит, флюид.

Ia. P. Shepeleva, S. V. Gorsky

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

e-mail: shepelevayap@mail.ru

e-mail: krause17@mail.ru

PETROGRAPHY OF LAMPROPHYRES OF THE ENDEGECHU AREA OF THE YANA-ADYCHA TIN ORE REGION

Abstract. The article considers the features of the petrographic composition of the lamprophyre dyke, attributed to the kHunkhadi complex of Late Cretaceous age, established on the Endegechchu hill in the Yano-Adycha tin ore region located in the Adycha tectonic zone. The rocks have a porphyry structure, and mineral formations of their own magmatic stage, magmatic, metasomatic and late hydrothermal-metasomatic substitutions are isolated in their composition. A characteristic feature of these rocks are spherulites of concentric-zonal structure, covered with a shell of scaly or lamellar graphite, depending on the size of the spherulites, evenly distributed throughout the rock, which were studied for the first time and have not been established in other igneous rocks widely developed in the area. The study of spherulites is an important petrological task, which makes it possible to identify the mechanisms of their formation and causes, can indicate the conditions of formation and sources of matter of the rocks containing them. The morphology of graphite, its distribution and the nature of its relationship with surrounding minerals are also very informative for establishing the primary nature of graphite and epigenetic changes in host rocks as a result of various hydrothermal-metasomatic processes, which is possible due to the ability of carbonaceous matter to redistribute in the rock when exposed to various forces, rather than being removed from it.

Keywords: Adycha magmatic zone, Endegechu area, dykes, lamprophyres, petrography, structure, metasomatic processes, spherulites, graphite, fluid.

Введение

Среди обильного проявления позднемелового дайкового магматизма в Адычанской магматической зоне, пространственно соответствующей Адыча-Эльгинской складчато-глыбовой системе, наиболее широким распространением пользуются дайки лампрофиров [1]. Они, совместно с массивами и малыми телами монцодиоритов, дайками монцонитов, монцонит-порфиров, кварцевых монцонит-порфиров и сиенитов, ийолитов, щелочных сиенит-порфиров, граносиенит-порфиров, диорит-порфиров, долеритов, трахидолеритов и андезибазальтов, преимущественно северо-восточного простирания, протяженностью от первых сотен метров до 2-5 км и мощностью от первых дециметров до 20 м, образуют хунхадинский лампрофир-монцодиоритовый комплекс (рис. 1). Лампрофиры комплекса по минералогическому составу, согласно современным классификациям лампрофиров [2, 3], разделяются на камптониты, мончикиты, керсантиты, минетты, спессартиты и одиниты (табл. 1). Данные породы обладают характерными насыщенно порфировыми структурами с вкрапленниками темноцветных минералов – амфибола, биотита, оливина и клинопироксена, погруженных в зеленовато-темно-серую, черную, нередко осветленную, мелко- и тонкозернистую основную массу, за редким исключением наблюдаются афировые мелко-, тонкозернистые разности пород. Основная масса гипидиоморфнозернистой структуры состоит из идиоморфных плагиоклаза, амфибола, авгита, биотита и ксеноморфного щелочного полевого шпата с акцессорными сфеном, апатитом, магнетитом, рутилом. В мончикитах присутствует вулканическое стекло.

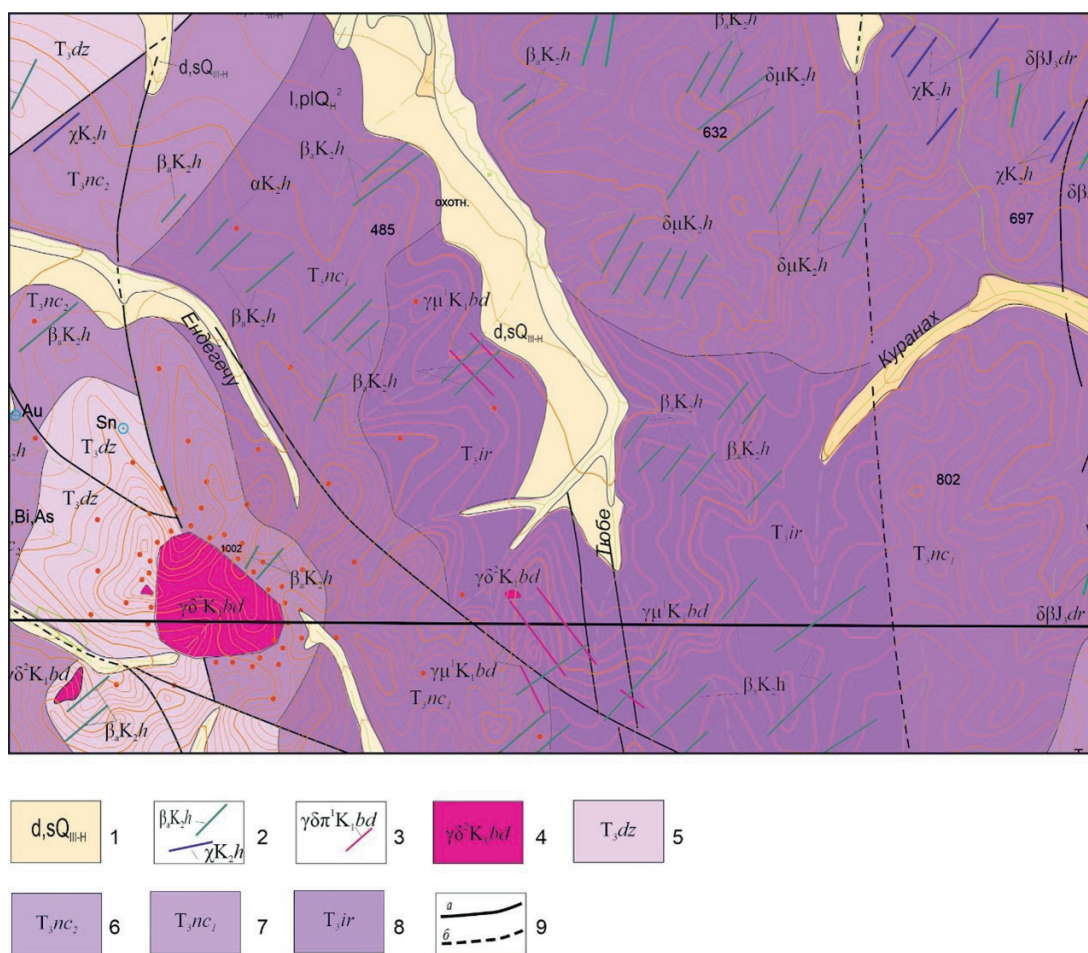


Рис. 1. Геологическая карта Ендегечуйской площади

Условные обозначения: 1- делювиальные, солифлюкационные отложения; 2 – дайки хунхадинского магматического комплекса: β а – долерит, χ – лампрофиры, α – андезиты; 3, 4 – бакы-дербекинский магматический комплекс: 3 – массивы амфибол-биотитовых гранодиоритов второй фазы, 4 – дайки гранодиорит-порфиров первой фазы; верхнетриасовые отложения: 5 – Джаргинская свита. Чередование алевролитов и аргиллитов; пласты, линзы песчаников, конгломератов; олистолиты, конкреции (1050 м); 6 – Нильчанская свита. Верхняя подсвита. Чередование песчаников с алевролитами; линзы конгломератов (450 м). 7 – Нильчанская свита. Нижняя подсвита. Алевролиты разнозернистые и аргиллиты с редкими пластами песчаников (560 м). 8 – Ирекенская свита. Алевролиты и аргиллиты, в верхней части с пластами песчаников (500 м); 9 – Сиркуновская свита. Вверху алевролиты с пластами песчаников, внизу – алевролиты, аргиллиты, прослои с конкрециями 540 м); 10 – разрывные нарушения: а) достоверные, б) скрытые под чехлом четвертичных отложений

Fig. 1 Geological map of the Endegechchu area

Symbols: 1 – deluvial, soliflucation deposits; 2 – dikes of the kHunkhadi magmatic complex: β a – dolerite, χ – lamprophyres, α – andesites; 3, 4 – baky-Derbekinsky magmatic complex: 3 – arrays of amphibole-biotite granodiorites of the second phase, 4 – dikes of granodiorite porphyries of the first phase; Upper Triassic deposits: 5 – Jarginsky suite. Alternation of siltstones and mudstones; layers, lenses of sandstones, conglomerates; olistolites, concretions (1050 m); 6 – Nilchana formation. Upper sublight. Alternation of sandstones with siltstones; lenses of conglomerates (450 m). 7 – The Nilchana suite. The lower sublight. Siltstones are mixed-grained and mudstones with rare layers of sandstones (560 m). 8 – Ireken suite. Siltstones and mudstones, in the upper part with sandstone layers (500 m); 9 – Sirkun formation. Above are siltstones with sandstone layers, below are siltstones, mudstones, interlayers with nodules of 540 m); 10 – discontinuous faults: a) reliable, b) hidden under the cover of quaternary deposits

Таблица 1 – Минеральный состав лампрофиров Хунхадинского комплекса

	Вкрапленники					Матрикс						
	Амф	Пл	Бт	Ол	Пир	Пл	КПШ	Амф	Пир	Ол	Бт	В.с.
Камптониты	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-
Мончикиты	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
Керсантиты	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-
Минетты	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-
Спессартиты	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-
Одиниты	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-

Примечание: Амф – амфибол (керсутит, буро-зеленая роговая обманка), Бт – биотит, Ол – оливин, Пир – клинопироксен (в основном авгит), Пл – плагиоклаз, КПШ – калиево-натриевый полевой шпат, В.с. – вулканическое стекло

Лампрофиры часто встречаются в золоторудных районах и месторождениях и с ними ассоциируют рудные тела постмагматических гидротермальных месторождений. Непосредственно с лампрофирами хунхадинского комплекса связаны повышенные содержания цинка, стронция, бария и серебра, ртути [1]. Целью данной работы является изучение петрографических особенностей лампрофиров Ендегеччуйской площади Яна-Адычанского оловорудного района для определения общей последовательности их становления и последующего постмагматического изменения.

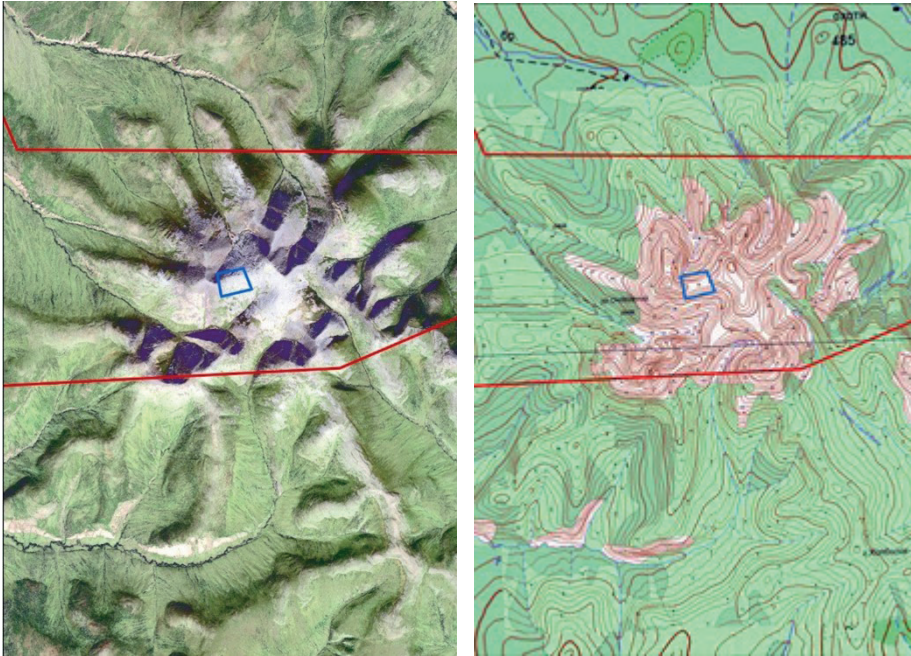


Рис. 2. Возвышенность Ондёгёччу Ендегечуйская площадь, Верхоянский улус.
Выход дайки обозначен контуром

Fig. 2. Elevation of Endegechu Endegechui square, Verkhoyansky district. The output of the dyke is indicated by a contour

Материалы и аналитические методы

Каменный материал для петрографического изучения был отобран в 2022 г. на возвышенности Ондёгёччу в верховьях одноименной реки, где был установлен выход дайки лампрофиров видимой мощностью 0,3-0,4 м и длиной естественного обнажения 2,5 м (рис. 2), прорывающей Ондёгёччунский массив амфибол-биотитовых гранодиоритов, относящийся к диорит-гранодиорит-гранитовому бакы-дербекинскому комплексу раннемезозойского возраста, поэтому взаимоотношению дайка нами была соотнесена с лампрофитами хунхадинского комплекса позднего мела, прозрачные шлифы изучались с помощью поляризационного микроскопа AXIO IMAGER M1.

Результаты и обсуждения

Изучаемые породы имеют зеленовато-темно-серый цвет, характерную лампрофировую структуру с псевдоморфозами хлорита по идиоморфным фенокристаллам темноцветных минералов, кроме того наблюдаются сферолитовые и оцеллярные структуры; текстура основной массы пятнисто-такситовая, обусловленная неравномерным распределением составных частей. Отличительным признаком лампрофиров является наличие среди вкрапленников ксенокристов (мегакристов) полевых шпатов и ксенолитов (рис. 3). Содержание ксенокристов небольшое – 6-7 %, преобладают плагиоклазы зонального и полисинтетически сдвойникового строения размером до 6-7 мм, таблитчатого или почти квадратного округленного сечения. Зональный плагиоклаз соответствует андезин-лабрадору (An_{45-60}), полисинтетический – олигоклазу (An_{25-30}), отличаясь составом от лейст плагиоклазов основной массы, соответствующих An_{5-15} . Мегакристы щелочных полевых шпатов наблюдаются в виде единичных округлых резорбированных зерен ортоклаза до 0,5 мм. Мегакристы являются явными чужеродными образованиями по отношению к вмещающей лампрофировой породе в виде корродированных неравновесным раствором зерен полевых шпатов с широкой зональной тонкозернистой реакционной каемкой, состоящей из карбонат-хлорит-альбитового агрегата (рис. 3). Фенокристы полевых шпатов в наблюдае-

мых лампрофирах не были обнаружены в силу специфики лампрофировых водосодержащих расплавов, богатых летучими компонентами, в которых полевые шпаты растут медленно и подавляются до последних стадий кристаллизации [4; 5]. Также в лампрофирах присутствуют округлые ксенокристы мозаичного кварца до 1 мм, вокруг которых развиты реакционные каймы, состоящие из тонкозернистого кварца, карбоната, хлорита. Литокласты в лампрофирах представлены обломками осадочно-вулканогенных пород, состоящих из окатанных зерен кварца, полевых шпатов и кристаллокластов, сцементированных апостекловатой основной массой. Содержание их небольшое.

Практически полное замещение вкрапленников фемических минералов хлоритом не позволяет определить разновидность лампрофиров, но по преобладанию плагиоклазов и отсутствию фельдшпатоидов и вулканического стекла можно предположить, что это керсантиты или спес-сартиты.

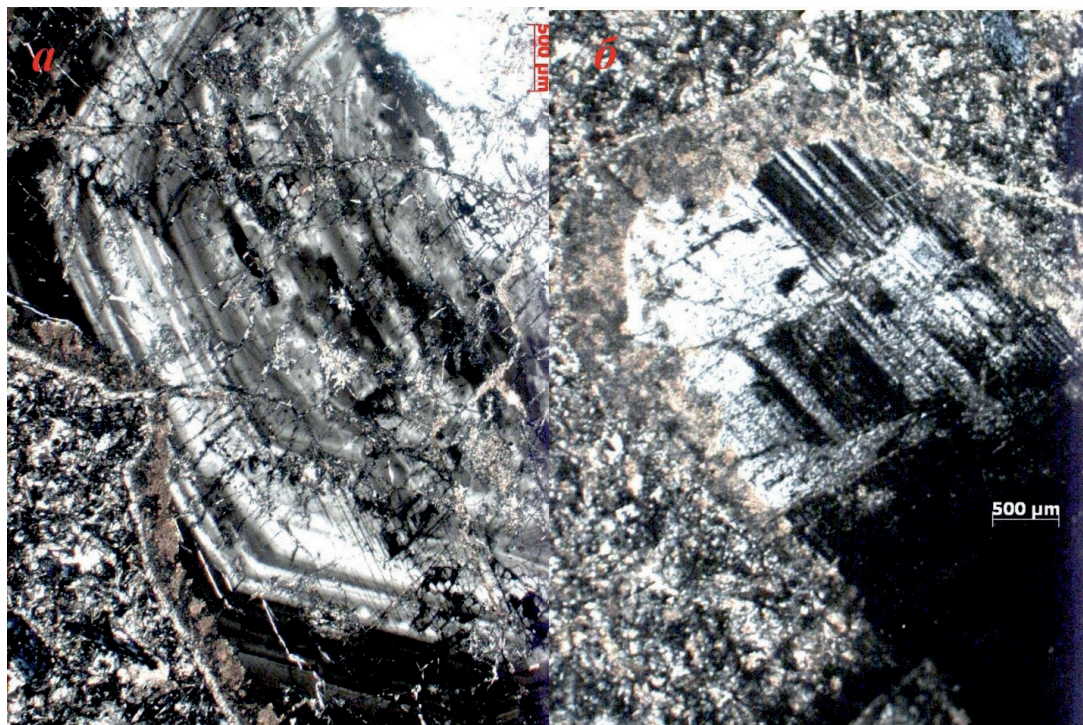


Рис. 3. Резорбированные мегакристы зонального (а) и полисинтетически сдвойникового (б) плагиоклазов, окруженные широкой реакционной каймой магматического замещения

Fig. 3 Resorbed megacrysts of zonal (a) and polysynthetic twinned (b) plagioclases surrounded by a wide reaction border of magmatic substitution

Компоненты основной массы лампрофиров разделяется на три группы. Первая группа образована минералами, кристаллизованными непосредственно из лампрофировой магмы, представленными лейстами плагиоклаза двойникового строения (An_{5-15}), идиоморфными чешуйками слюды, иголочками роговой обманки и изометричными зернами пироксена, ксеноморфными – щелочного полевого шпата, карбоната, титаномагнетита, сфена и апатита, составляющими микрофитовую и ориентированную трахитоидную микроструктуру. Вторую группу представляют чешуйки графита, пронизывающие всю массу лампрофиров, вытягиваясь субпараллельно вдоль зерен карбоната в результате метасоматического воздействия флюидов на твердую фазу. Третья группа в изученных лампрофирах проявлена очень широко в виде обильного замещения хлоритом темноцветных минералов основной массы, также образованию прожилков серпенти-

на, карбоната, развития серицита и тонкозернистого кальцита по плагиоклазу и обильных зерен кварца, сформировавшимся в результате поздних метасоматически-гидротермальных преобразований.

Характерным для лампрофиров является широкое развитие сферолитов, равномерно распределенных до 20 % породы, размером от долей миллиметра до 3-5 мм (рис. 4). Состав и строение сферолитов отличается в зависимости от размеров, так, мелкие сферолиты представляют собой округлые образования, состоящее из ткани основной массы покрытой оболочкой мелко-чешуйчатого графита. Более крупные сферолиты имеют зональное строение, в ядре наблюдается мозаичный или радиально-лучистый кварц, окруженный кальцитом и покрытый оболочкой пластинчатого графита, иногда в сферолитах кварц-хлорит-кальцитовые оцелле окружены основной массой со скорлупой из графита (рис. 5). Самые крупные сферолиты состоят из кварца с оболочкой графита. Также присутствуют сферолиты, в которых центральная часть выполнена изотропным кремнеземом, переходящим в мелко мозаичный кварц, окруженным кальцитом или хлоритом с оболочкой графита, иногда в ядре наблюдается скопления пирита.



Рис. 4. Кварц-графитовые сферолиты скорлуповатого строения.

Пластинчатый графит покрывает круглые выделения бесцветного кварца

Fig. 4. Quartz-graphite spherulites of shell structure. Lamellar graphite covers the round discharge of colorless quartz

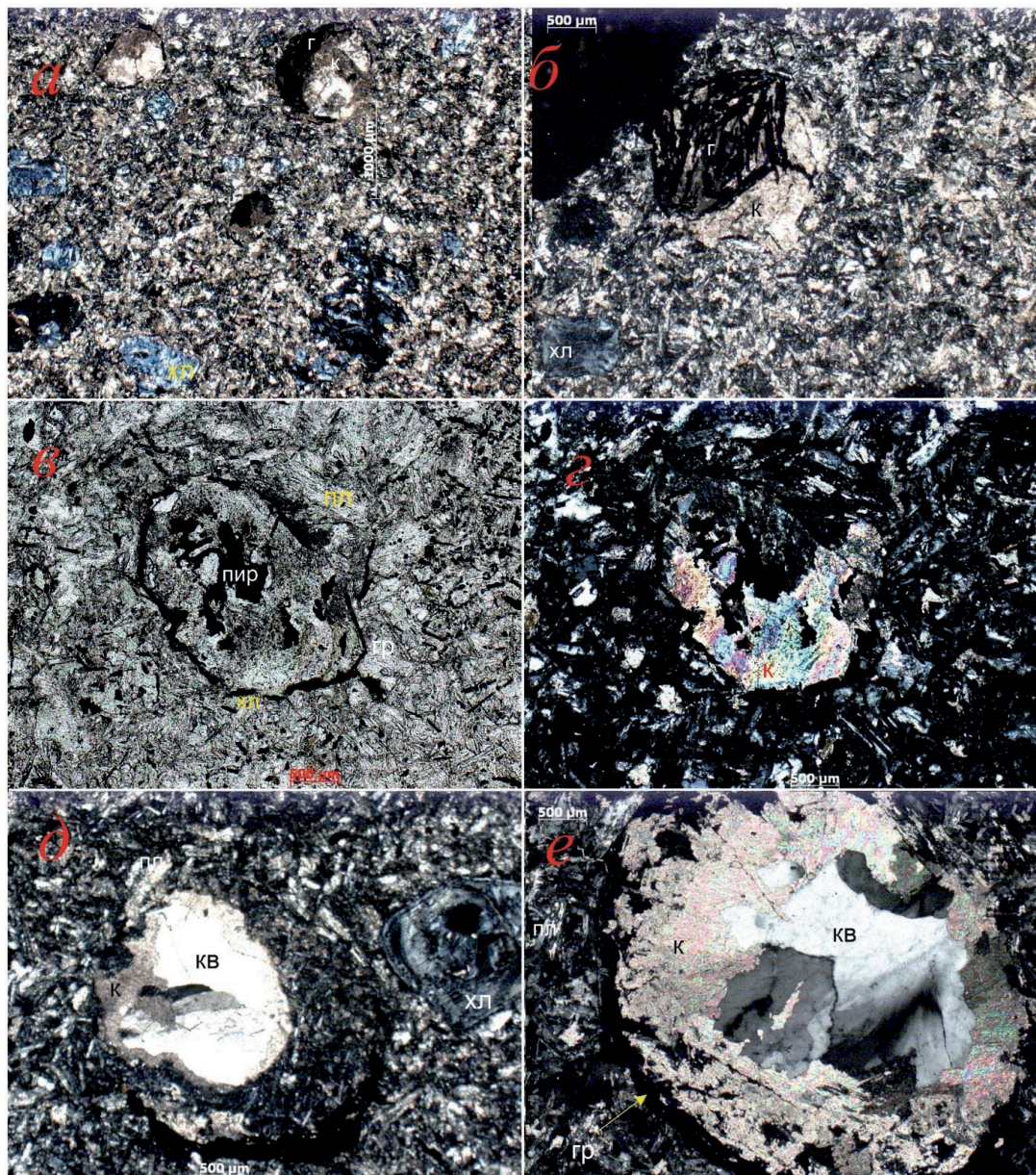


Рис. 5. Сферолиты зонально-скорлуповатого строения в лампрофитах

- а) сферолиты различного состава и размера распределены в матрице лампрофитов, увел. 5, николи X; б) пластинки графита нарастают на карбонатный оцелле, увел. 10, николи X; в, г) хлорит-карбонатный сферолит с пиритовым ядром и угловатым зерном кварца; увел. 10 при || и X николях; д) сферолит, состоящий из основной массы с оболочкой графита с кварц-карбонатным оцелле, увел. 10, николи X; е) зональный сферолит кварц-карбонатного состава со скорлупой графита, увел. 10, николи X

Fig. 5. Spherulites of zonal-shell structure in lamprophyres

- a) spherulites of various composition and size are distributed in the matrix of lamprophyres, uvel. 5, nicoli X; b) graphite plates grow on carbonate ocelli, uvel. 10, nicoli X; c, d) chlorite-carbonate spherulite with pyrite core and angular quartz grains; uvel. 10 at || their nichols; e) spherulite, consisting of a bulk with a graphite shell with a quartz-carbonate coating, has been removed. 10, nicoli X; f) zonal spherulite of quartz-carbonate composition with graphite shell, uvel. 10, nicoli X

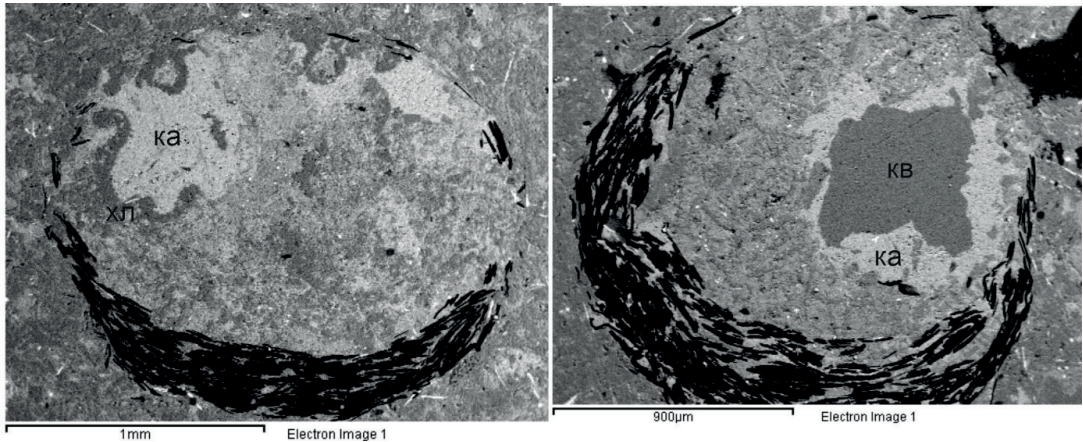


Рис. 6. Кальцит-хлоритовый и кварц-кальцитовый оцелле в сферолитах, состоящих из основной массы лампрофиров с оболочкой графита в отраженном свете электронного сканирующего микроскопа

Fig. 6. Calcite-chlorite and quartz-calcite compounds in spherulites consisting of the bulk of lamprophyres with a graphite shell in the reflected light of an electron scanning microscope

Графит имеет чешуйчатую форму в мелких сферолитах, в более крупных – пластинчатый, в шлифах в срезе обнаруживает игольчатые разрезы. В отраженном свете графит серый с металлическим блеском. Он покрывает оцелле в лампрофирах и концентрируется максимально только с одной стороны в виде серпа или полумесяца, на противоположной стороне образуя лишь тонкую корочку (рис. 6), что обусловлено фронтальным распределением углерода при движении флюида. В более крупных сферолитах графит образует тонкую равномерную оболочку.

Оцелле в наблюдаемых породах встречаются разного минерального состава. Небольшие лейкократовые участки в основной массе породы состоят из скоплений табличек плагиоклаза или, наоборот, скоплений, замещенных хлоритом темноцветных минералов в виде сегрегаций. Чаще наблюдаются хлорит-кальцитовые или хлорит-кварц-карбонатные оцелле, также и чисто кварцевые глобулы. Также в оцелле содержатся мелкие включения пирита, галенита, апатита. По петрографическим признакам оцелле можно разделить на кристаллизованные из флюидно-силикатного расплава, образованные за счет метасоматического замещения под действием флюида и в результате низкотемпературного гидротермально-метасоматического преобразования.

Закключение

Результатом несмешиваемости силикат-силикатного расплава является присутствие в породах глобулярных структур, сложенных агрегатами полевошпатового и фемического состава

Наличие оцелле в лампрофирах указывает на содержание в первичном расплаве большого количества карбонатно-щелочно-водного флюида. Образование оцеллярных структур в лампрофирах обусловлено силикатно-карбонатной несмесимостью насыщенного водными и карбонатными компонентами расплава,

Кристаллизация оцелле из флюидно-силикатной жидкости происходило одновременно с кристаллизацией остаточного расплава основной массы породы. В свою очередь хлорит-карбонатные, кварц-карбонатные оцелле стали в лампрофирах центрами кристаллизации графита с образованием сферолитовых структур на заключительных стадиях метасоматического замещения.

Источником углерода возможно служили также изначальные флюиды, обогащенные углекислотой из которого образовались сами оцелле. Дальнейшее изучение изотопного состава углерода графита, температуры его кристаллизации позволит установить его первичную природу и источники флюидов.

Литература

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Q-53 – Верхоянск. Объяснительная записка / Протопопов Р. И., Трушелев А. М., Протопопов [и др.] – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 437 с. + 9 вкл. – Текст электронный.
2. Le Maitre, R.W. Igneous rocks: a classification and glossary of terms / R.W. Le Maitre, A. Streckeisen, B. Zanettin [et al.] ; editor R.W. Le Maitre. – Cambridge University Press, 2009. – 254 p. – Text : electronic.
3. Rock, N.M.S. Lamprophyres / N.M.S. Rock – Blackie, Glasgow, 1991. -294p. – Text : electronic.
4. Rock, N.M.S. The effect of CO₂ on the liquid relations of alkali basalts and its relevance to the nephelinite problem: a preliminary investigation / N.M.S. Rock. – NERC (UK) Prog. Exptl.Petrol. Publ. Ser. D. 11, 1978. – 164-170.
5. Yoder, H.S. & Tilley, C.E. 1962. Origin of basalt magmas. J. Petrol 3, 343-532.

References

1. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1: 1 000 000 (tret'e pokolenie). Serija Verhojano-Kolymskaja. List Q-53 – Verhojansk. Ob#jasnitel'naja zapiska / Protopopov R. I., Trushhelev A. M., Protopopov [i dr.] – SPb. : Kartograficheskaja fabrika VSEGEI, 2015. – 437 s. + 9 vkl. – Tekst jelektronnyj.
2. Le Maitre, R.W. Igneous rocks: a classification and glossary of terms / R.W. Le Maitre, A. Streckeisen, B. Zanettin [et al.] ; editor R.W. Le Maitre. – Cambridge University Press, 2009. – 254 p. – Text : electronic.
3. Rock, N.M.S. Lamprophyres / N.M.S. Rock – Blackie, Glasgow, 1991. -294p. – Text : electronic.
4. Rock, N.M.S. The effect of CO₂ on the liquid relations of alkali basalts and its relevance to the nephelinite problem: a preliminary investigation / N.M.S. Rock. – NERC (UK) Prog. Exptl.Petrol. Publ. Ser. D. 11, 1978. – 164-170.
5. Yoder, H.S. & Tilley, C.E. 1962. Origin of basalt magmas. J. Petrol 3, 343-532.

Сведения об авторах

ШЕПЕЛЕВА Яна Петровна – к.г.-м.н., доцент кафедры прикладной геологии ГРФ СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: shepelevayap@mail.ru

SHEPELEVA Iana Petrovna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Department of Applied Geology, Faculty of Geology and Survey, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: shepelevayap@mail.ru

ГОРСКИЙ Сергей Владиславович – студент геологоразведочного факультета СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: krause17@mail.ru

GORSKY Sergey Vladislavovich – student, Faculty of Geology and Survey, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: krause17@mail.ru

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 631.171

DOI 10.25587/2587-8751-2023-4-51-59

*Д.А. Гумбатов¹, Ю.Г. Данилов²*¹ Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика² СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

e-mail: H.Dilan@mail.ru

e-mail: dan57sakha@mail.ru

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДЕКСА ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ФИТОЦЕНОЗОВ

Аннотация. В ландшафтных и биогеографических исследованиях особую актуальность имеет оценка процесса фотосинтеза, влияющего на возможность определения продуктивности фитоценозов, расчета прироста фитомассы. Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для оценки индекса листовой поверхности (LAI) со временем получает все больший размах благодаря их малой цене, высокой эффективности функционирования и точности. Основой для определения LAI является модель для щелевой фракции, теоретически оцениваемой с использованием закона Бера-Бугера-Ламберта. Проанализирована возможность определения растительности с применением БПЛА, на борту которого может быть установлен либо лидар либо мультиспектрометр. В первой задаче определяется по методу вычисления логарифма щелевой функции (фракции), умноженной на косинус угла сканирования и деленной на коэффициент ослабления. Во второй задаче используется существующая корреляция между известными вегетационными индексами и . Модели эмпирической статистической регрессии могут быть пригодными для определения LAI после определения различных вегетационных индексов. На основе результатов проводимых мультиспектральных измерений было обнаружено, что методика определения LAI, основанная на измерении интенсивности лучей, прошедших через крону растений приводит к сильно зашумленным оценкам. По этой причине было решено использование щелевой фракции (GF) При этом использован тот экспериментально установленный факт о том, что при умножении логарифма вегетационного индекса на высоту крону указанная корреляция значительно усиливается. Для повышения достоверности полученных значений предложено использовать среднеинтегральное значение этого показателя, вычисляемого путем составления и вычисления оптимизационной вариационной задачи, содержащей дополнительно вводимое ограничительное условие. При этом удастся решить обе задачи на максимум, т.е. появляется возможность повысить отношения сигнал/шум вычисляемой величины индекса . В обоих процедурах оптимизационных расчетов присутствуют обобщенные показатели, имеющие различный физический смысл.

Ключевые слова: лидар, мультиспектрометр, индекс листовой площади, корреляция, БПЛА, оптимизация.

D.A. Gumbatov ¹, Yu.G. Danilov ²

National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan
 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia
 e-mail: H.Dilan@mail.ru
 e-mail: dan57sakha@mail.ru

IMPROVED METHODS FOR DETERMINING THE LEAF SURFACE INDEX USING UNMANNED AERIAL VEHICLES TO DETERMINE THE PRODUCTIVITY OF PHYTOCENOSSES

Abstract. In landscape and biogeographic studies, the assessment of the photosynthesis process, which affects the possibility of determining the productivity of phytocenoses, calculating the growth of phytomass, is of particular relevance. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) to evaluate the leaf surface index (LAI) is gaining more and more scope over time due to their low price, high operational efficiency and accuracy. The basis for determining LAI is a model for the slit fraction, theoretically estimated using the Bera-Booger-Lambert law. The possibility of determining the LAI of vegetation using a UAV, on board of which either a lidar or a multispectrometer can be installed, is analyzed. In the first problem, LAI is determined by calculating the logarithm of the slit function (fraction) multiplied by the cosine of the scanning angle and divided by the attenuation coefficient. The second problem uses the existing correlations between known vegetation indices and LAI. Empirical statistical regression models may be suitable for determining LAI after determining various vegetation indices. Based on the results of multispectral measurements, it was found that the LAI determination technique based on measuring the intensity of rays that passed through the crown of plants leads to highly noisy estimates. For this reason, it was decided to use the slit fraction (GF), while using the experimentally established fact that when multiplying the logarithm of the vegetation index by the height of the crown, this correlation is significantly enhanced. To increase the reliability of the obtained LAI values, it is proposed to use the average integral value of this indicator, calculated by composing and calculating an optimization variational problem containing an additional restrictive condition. At the same time, it is possible to solve both problems to the maximum, i.e. it becomes possible to increase the signal-to-noise ratio of the calculated value of the LAI index. In both optimization calculation procedures, there are generalized indicators that have different physical meanings.

Keywords: lidar, multispectrometer, leaf area index, correlation, UAV, optimization.

Введение

Хорошо известно, что индекс листовой площади широко используется для исследования и предсказания степени развития растительности естественных фитоценозов и сельскохозяйственных угодий [1-6]. Использование беспилотных летательных аппаратов для оценки индекса LAI со временем получает все больший размах благодаря их малой цене, высокой эффективности функционирования и точности. В настоящее время известны, в основном, две методики использования БПЛА со встроенной бортовой измерительной аппаратурой для определения индекса LAI:

1. Методика определения LAI с использованием лидаров, установленных на борту БПЛА;
2. Методика определения LAI с использованием мультиспектральной аппаратуры, установленной на борту БПЛА.

Дадим краткую характеристику этим методикам. Как отмечается в работе [7] основой для определения LAI является модель для щелевой фракции, теоретически оцениваемой с использованием закона Бера-Бугера-Ламберта. При этом связь щелевой фракции прямым образом не может быть измерена лидаром, однако данные получаемые с помощью лазера хорошо коррелируют со значением щелевой фракции. Вместе с тем, согласно [7], было обнаружено, что методика определения LAI, основанная на измерении интенсивности лучей, прошедших через крону растений приводит к сильно зашумленным результатам. По этой причине было решено определение щелевой фракции (GF) количественно, используя следующую формулу

$$GF = \frac{n_{gr}}{n} \quad (1)$$

где n_{gr} – количество измерений, в которых лазерный луч прошел через крону растений и достиг поверхности земли;

n – общее количество бортовых лидарных измерений.

При этом индексе LAI с учетом (1) определяется как

$$LAI = - \frac{\cos(\theta) \ln GF}{k} \quad (2)$$

где θ – средний угол сканирования;

k – коэффициент ослабления.

Отметим, что методика, основанная на лидарных измерениях с использованием формул (1) и (2), была реализована во многих работах, например, в работе [7] для исследования развития озимой пшеницы, в работе [8] для исследования развития хлопковых полей.

Что касается мультиспектральной методики определения, то здесь проводятся два типа радиометрических измерений:

1. Мультиспектральные измерения исходной солнечной радиации с помощью сенсорного модуля, установленного на верхней стороне БПЛА.

2. Мультиспектральные измерения отраженного от растительности на полях сигнала.

Далее осуществляется калибровка используемых радиометрических каналов.

Как отмечается в работе [8] модели эмпирической статистической регрессии могут быть пригодными для определения LAI после определения различных вегетационных индексов на основе результатов проводимых мультиспектральных измерений. Подробный список таких вегетационных индексов приведен в работе [8]. Наиболее часто используемыми моделями являются [8]:

1. Линейная функция

$$LAI = aX + b \quad (3)$$

2. Экспоненциальная функция

$$LAI = a \exp(X) \quad (4)$$

3. Логарифмическая функция

$$LAI = a \ln X + b \quad (5)$$

4. Степенная функция

$$LAI = aX^b \quad (6)$$

5. Множественная линейная регрессия

$$LAI = \sum_{i=1}^n a_i X_i + b \quad (7)$$

где X_i – модельные входные параметры; a , b – постоянные коэффициенты.

В качестве примера, где была исследована корреляция между широко используемыми спектральными вегетационными индексами и можно рассмотреть работу [9], согласно которой, корреляция между зеленым вегетационным индексом и составляет ; а между индексом и имеем . Соответствующие скаттерогаммы показаны на рис. 1 и 2.

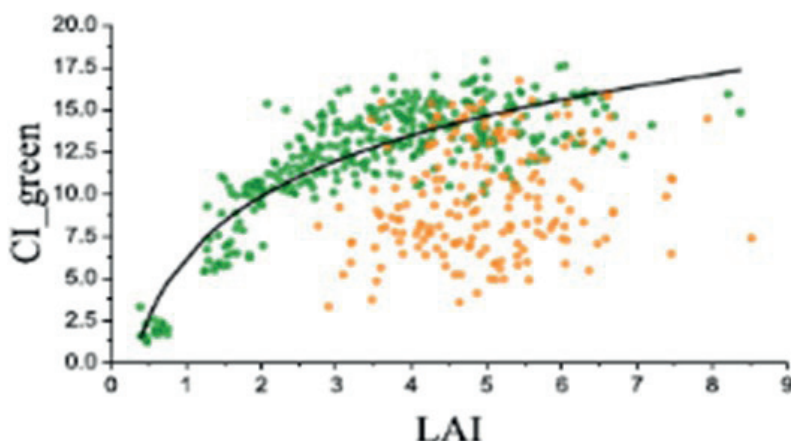


Рис. 1. Скаттерогамма регрессионной зависимости зеленого индекса от [9]

Fig. 1 Scatterogram of the regression dependence of the green index on *LAI* [9]

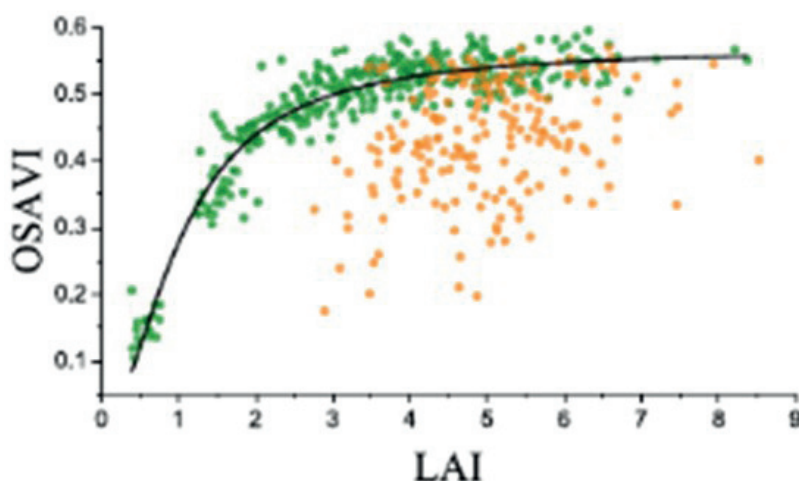


Рис. 2. Скаттерогамма регрессионной зависимости между индексами и [9]

Fig. 2 Scatterogram of regression dependence between *OSAVI* and *LAI* indexes [9]

Вместе с тем, исследования, проведенные в [9] показали значительный недостаток модели (5), заключающийся в том, что из-за эффекта насыщения обычных вегетационных индексов и др.) при средних и высоких значениях сильно ухудшается информативность указанных корреляционных связей.

При этом наши исследования показали, что если модель (5) заменить на (8)

где -высота кроны растения (в работе [9] это рисовые плантации), то степень корреляции между и индексом можно увеличить на 20 %. Таким образом, актуализируется задача дальнейшего уменьшения зашумленности получаемых результатов оценки по формулам (2) и (8)

в плане некоторого усовершенствования методик получения таких оценок путем применения различных оптимизационных процедур.

Материалы и методы

Предлагается следующее усовершенствование методики проведения лидарных измерений для определения на основе формулы (2) с учетом (1).

Суть предлагаемого усовершенствования заключается в реализации особой функциональной зависимости от .

Указанную зависимость обозначим как

$$LAI = H \ln X + b \quad (7)$$

К функции, оптимальный вид которой подлежит поиску, применим следующее ограничительное условие

$$n = \varphi(y); y = \cos \theta \quad (8)$$

Далее усовершенствование затрагивает вид функции (2) следующим образом. Исследуется средне интегральная величина, которая определяется как

$$\int_0^1 \varphi(y) dy = C_1; \quad C_1 = const \quad (9)$$

С учетом выражений (8) и (9), для выявления возможности получения наивысшего значения, обеспечивающего максимально значение отношения сигнал/шум, составим задачу безусловной вариационной оптимизации, целевой функционал которого имеет вид

$$LAI_{c.и} = - \int_0^{y_{max}} \frac{y}{k} \ln \left[\frac{n_{fr}}{\varphi(y)} \right] dy \quad (10)$$

где λ_1 – множитель Лагранжа.

Решение задачи (10) согласно [10], должно удовлетворить условию

$$F_1 = \int_0^{y_{max}} \frac{y}{k} \ln \left[\frac{n_{fr}}{\varphi(y)} \right] dy + \lambda_1 \left[\int_0^{y_{max}} \varphi(y) dy - C_1 \right] \quad (11)$$

С учетом (11) получаем:

$$\frac{d \left\{ -\frac{y}{k} \ln \left[\frac{n_{fr}}{\varphi(y)} \right] + \lambda_1 \varphi(y) \right\}}{d\varphi(y)} = 0 \quad (12)$$

Из (12) имеем

$$\frac{y}{k} \left[\frac{1}{\varphi(y)} \right] + \lambda_1 = 0 \quad (13)$$

С учетом (13) и (8) имеем

$$\varphi(y) = -\frac{y}{k\lambda_1} \quad (14)$$

Из (14) находим

$$\int_0^1 \frac{y}{k\lambda_1} dy = -C \quad (15)$$

где y_m – максимальная величина y .

С учетом $y_m = 1$ из (13) и (15) получим

$$\varphi(y) = 2yC \quad (16)$$

Очевидно, что при решении (16) среднеинтегральная величина LAI достигнет максимума, т.к. повторная производная (12) по $\varphi(y)$ оказывается всегда отрицательной.

Таким образом, согласно (16), выбор показателя n равной $\frac{2[\cos\theta] \cdot C}{k}$ может привести к увеличению $LAI_{с.и.}$, что в свою очередь повысит отношение сигнал/шум.

Покажем, что аналогичный результат также может быть получен применительно к формуле (2).

Прежде всего допустим возможность реализации зависимости

$$X = f(H) \quad (17)$$

которая указывает на связь между величиной вегетационного индекса X и высотой кроны H .

Отметим, что связь (17) вполне реальна, т.к. чем более развита листовая площадь растительности, тем больше величина вегетационного индекса и скорость его увеличения.

Далее, на введенную функцию $f(H)$ наложим следующее ограничительное условие

$$\int_0^1 f(H) dH = C_2; \quad C_2 = const \quad (18)$$

Условие (18) обозначает то, что активность вегетации растительности не может быть охарактеризована одним лишь значением роста (высоты) кроны или величиной вегетационного индекса. При этом, показатель C_2 выступает в качестве совместного показателя нормального развития растительности. Графически условие (18) отображено на рис. 3.

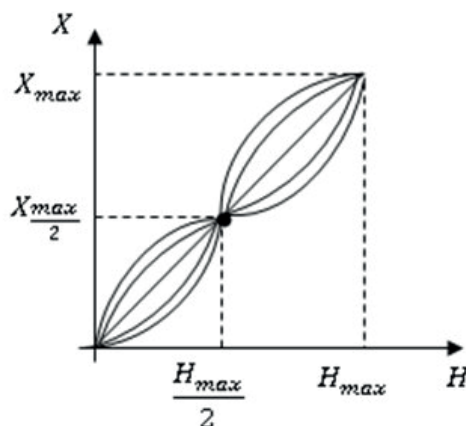


Рис. 3. Геометрическая интерпретация условия (18)

Fig. 3 Geometric interpretation of condition (18)

Для выбора оптимального вида кривой $f(H)$ на базе (8) сформируем следующий целевой функционал

$$F_2 = \int_0^{X_{max}} [H \ln X(H) + b] dH \quad (19)$$

С учетом (18) и (19) сформируем целевой функционал безусловной вариационной оптимизации F_2 :

$$F_2 = \int_0^{X_{max}} [H \ln X(H) + b] dH + \lambda_2 \left[\int_0^{X_{max}} f(H) dH - C_2 \right] \quad (20)$$

Решение задачи (20) согласно [10] должно удовлетворить условию

$$\frac{d\{H \ln X(H) + b + \lambda_2 f(H)\}}{dX(H)} = 0 \quad (21)$$

Из (21) получаем

$$\frac{H}{X(H)} + \lambda_2 = 0 \quad (22)$$

Из (22) находим

$$X(H) = -\frac{H}{\lambda_2} \quad (23)$$

С учетом (18) и (23) получаем

$$-\int_0^{X_{max}} \frac{H}{\lambda_2} dH = C_2 \quad (24)$$

Из (24) находим

$$\lambda_2 = -\frac{H_{max}^2}{2C_2} \quad (25)$$

Из (23) и (25) находим

$$X(H) = \frac{2HC_2}{H_{max}^2} \quad (26)$$

Очевидно, что и при решении (26) F_2 достигает максимума, т.к. повторная производная (22) по $X(H)$ оказывается отрицательной величиной.

Обсуждение

Таким образом рассмотрена возможность определения LAI растительности с применением БПЛА, на борту которого может быть установлен лидар или мультиспектрометр. В первом случае LAI определяется по методу вычисления логарифма целевой функции (фракции), умноженной на косинус угла сканирования и деленной на коэффициент ослабления.

Во втором случае используется известный факт наличия корреляции между вегетационными индексами и LAI . При этом использован тот экспериментально установленный факт, что при

умножении логарифма вегетационного индекса на высоту кроны указанная корреляция значительно усиливается. Кроме того, при данном подходе значительно уменьшается зашумленность.

В обоих процедурах оптимизационных расчетов присутствуют обобщенные показатели, имеющие различный физический смысл.

Заключение

Определение *LAI* на основе указанных двух подходов не позволяет получить результат с достаточно высоким отношением сигнал/шум. Для повышения достоверности полученных значений *LAI* предложено использовать среднеинтегральное значение этого показателя, определяемое путем составления и вычисления оптимизационной вариационной задачи, содержащей дополнительно вводимое ограничительное условие. При этом удастся решить обе задачи на максимум, т.е. появляется возможность повысить отношения сигнал/шум вычисляемой величины индекса *LAI*.

Литература

1. Yao, X. Estimation of wheat LAI at middle to high levels using unmanned aerial vehicle narrowband multispectral imagery / X. Yao, N. Wang, Y. Liu, T. Cheng, Y. Tian, Q. Chen, Y. Zhu // Remote Sensing. 2017. – 9 (12). <https://doi.org/10.3390/rs9121304>
2. Zhang, Z. Estimation of leaf area index with various vegetation indices from Gaofen-5 band reflectances / Z. Zhang, B. H. Tang // In proceedings of the IGARSS 2018. IEEE international geoscience and remote sensing symposium, Valencia, Spain. 23-27 July 2018. – Pp. 2619-2622.
3. Hasan, U. Estimating the leaf area index of winter wheat based on unmanned aerial vehicle rgb-image parameters / U. Hasan, M. Sawut, S. Chen // Sustainability, 2019. 11. 6829.
4. Tunca, E. Yield and leaf area index estimations for sunflower plants using unmanned aerial vehicle images / E. Tunca, E. S. Koksall, S. Cetin [et al.] // Environ. Monit. Assess. 2018. 190. 682.
5. Hu, T. Development and performance evaluation of a very low-cost UAV-LiDAR system for forestry applications / T. Hu, X. Sun, Y. Su, H. Guan, Q. Sun, M. Kelly, Q. Guo. // Remote Sens. 2021. 13. 77.
6. Lopez-Calderon, M. J. Estimation of total nitrogen content in forage maize (Zea Mays L). Using spectral indices: analysis by random forest / M. J. Lopez-Calderon, J. Estrada-Avalos, V. M. Rodriguez-Moreno [et al.] // Agriculture 2020. 10. 451.
7. Bates, J. S. Winter wheat LAI estimation using UAV mounted LiDAR / J. S. Bates // Geomundus 2020.
8. Yan, P. Estimating LAI for cotton using multisource UAV data and a modified universal model / P. Yan, Q. Han, Y. Feng, S. Kang // Remote Sens. 2022. 14. 4272.
9. Gong, Y. Remote estimation of leaf area index (LAI) with unmanned aerial vehicle (UAV) imaging for different rice cultivars throughout the entire growing season / Y. Gong, K. Yang, Z. Lin, S. Fang, X. Wu, R. Zhu, Y. Peng // Plant Methods (2021) 17:88. <https://doi.org/10.1186/s13007-021-00789-10>.

References

1. Yao, X. Estimation of wheat LAI at middle to high levels using unmanned aerial vehicle narrowband multispectral imagery / X. Yao, N. Wang, Y. Liu, T. Cheng, Y. Tian, Q. Chen, Y. Zhu // Remote Sensing. 2017. – 9 (12). <https://doi.org/10.3390/rs9121304>.
2. Zhang, Z. Estimation of leaf area index with various vegetation indices from Gaofen-5 band reflectances / Z. Zhang, B. H. Tang // In proceedings of the IGARSS 2018. IEEE international geoscience and remote sensing symposium, Valencia, Spain. 23-27 July 2018. – Pp. 2619-2622.
3. Hasan, U. Estimating the leaf area index of winter wheat based on unmanned aerial vehicle rgb-image parameters / U. Hasan, M. Sawut, S. Chen // Sustainability, 2019. 11. 6829.
4. Tunca, E. Yield and leaf area index estimations for sunflower plants using unmanned aerial vehicle images / E. Tunca, E. S. Koksall, S. Cetin [et al.] // Environ. Monit. Assess. 2018. 190. 682.

5. Hu, T. Development and performance evaluation of a very low-cost UAV-LiDAR system for forestry applications / T. Hu, X. Sun, Y. Su, H. Guan, Q. Sun, M. Kelly, Q. Guo. // Remote Sens. 2021. 13. 77.
6. Lopez-Calderon, M. J. Estimation of total nitrogen content in forage maize (*Zea Mays* L). Using spectral indices: analysis by random forest / M. J. Lopez-Calderon, J. Estrada-Avalos, V. M. Rodriguez-Moreno [et al.] // Agriculture 2020. 10. 451.
7. Bates, J. S. Winter wheat LAI estimation using UAV mounted LiDAR / J. S. Bates // Geomundus 2020.
8. Yan, P. Estimating LAI for cotton using multisource UAV data and a modified universal model / P. Yan, Q. Han, Y. Feng, S. Kang // Remote Sens. 2022. 14. 4272.
9. Gong, Y. Remote estimation of leaf area index (LAI) with unmanned aerial vehicle (UAV) imaging for different rice cultivars throughout the entire growing season / Y. Gong, K. Yang, Z. Lin, S. Fang, X. Wu, R. Zhu, Y. Peng // Plant Methods (2021) 17:88. <https://doi.org/10.1186/s13007-021-00789-10>.

Сведения об авторах

ГУМБАТОВ Дилан Азиз оглы – докторант Национального аэрокосмического агентства, г. Баку, Азербайджанская Республика, e-mail: H.Dilan@mail.ru

GUMBATOV Dilan Aziz oglu – PhD student, National Aerospace Agency of the Republic of Azerbaijan, e-mail: H.Dilan@mail.ru

ДАНИЛОВ Юрий Георгиевич – к.г.н, заместитель ректора СВФУ по вопросам устойчивого развития арктических территорий, профессор ЭГО ИЕН, доцент, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), e-mail: dan57sakha@mail.ru

DANILOV Yuri Georgievich – Candidate of Geographical Sciences, Deputy Rector for Sustainable Development of the Arctic Territories, Associate Professor, Institute of Natural Sciences, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University. e-mail: dan57sakha@mail.ru

Н.Н. Никифорова, С.В. Калиничева, А.Н. Федоров

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

e-mail: nurguyana_93@mail.ru

e-mail: ikoveta@rambler.ru

e-mail: anfedorov@mpi.ysn.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕСОВОЙ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ АНАБАРСКОЙ ТУНДРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАЗЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Аннотация. В настоящее время идет потепление климата, среднегодовые температуры с каждым годом растут, Арктика остается одним из самых уязвимых регионов. Это заметно влияет на северные леса, что приводит к вытеснению зоны тундры. Оценка последствий прогнозируемого повышения температуры воздуха в условиях изменения климата требует пространственного и мгновенного мониторинга труднодоступных территорий. В последние несколько лет использование методов дистанционного зондирования и комбинаций спутниковых снимков для вычисления вегетационных индексов вызвали огромный интерес к получению наземных данных высокой четкости. В статье представлены результаты моделирования влажности почвогрунтов на территории Анабарской тундры, который расположен на северо-западе Якутии. Исследование проводилось на границе тундры и лесотундры в трех эталонных участках (тундра, притундровый молодой лес, притундровый коренной лес). Моделирование представлено посредством сопоставления натурных данных и нормализованного разностного индекса влажности NDMI. Индекс NDMI использует каналы NIR и SWIR, вычисляет многоканальный растровый объект и создает растровое изображение со значениями индекса от -1 до 1, которые показывают уровень влажности с пространственным разрешением 10 метров. Данные показали, что значение пикселей влажности по NDMI в зоне тундры-0.04, притундрового молодого леса- 0.09 и в притундровом коренном лесу 0.15. Установлено, что данные индекса коррелируются с полевыми данными влажности, полученными с глубины 0,2 м. Сопоставление данных дешифрирования дистанционного зондирования с натурными данными позволило смоделировать пространственное распределение влажности грунтов на обширную исследуемую территорию методом экстраполяции.

Ключевые слова: многолетняя мерзлота, мерзлотные ландшафты, влажность грунта, тундра, лесотундра, картографирование, дистанционное зондирование Земли, вегетационный индекс, NDMI.

N.N. Nikiforova, S.V. Kalinicheva, A.N. Fedorov

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

e-mail: nurguyana_93@mail.ru

e-mail: ikoveta@rambler.ru

e-mail: anfedorov@mpi.ysn.ru

MODELING THE WEIGHT MOISTURE CONTENT OF SOILS IN ANABAR TUNDRA USING GROUND-BASED RESEARCH AND REMOTE SENSING DATA OF THE EARTH

Abstract. Presently, the climate is warming, with average annual temperatures rising every year, and the Arctic remaining one of the most vulnerable regions. This has a noticeable effect on the northern forests, which leads to the displacement of the tundra zone. Assessing the consequences of a projected increase in air temperature under climate change conditions requires spatial and instant monitoring of hard-to-reach areas. In the last few years, the use of remote sensing techniques and combinations of satellite imagery to calculate vegetation indices has

generated great interest in obtaining high-definition ground data. The article presents the results of modeling soil moisture in Anabar tundra, which is located in the north-west of Yakutia. The study was conducted on the border of tundra and forest tundra in three reference areas (tundra, tundra young forest, tundra indigenous forest). The simulation is presented by comparing the field data and the normalized difference index of humidity NDMI. The NDMI index uses the NIR and SWIR channels, calculates a multi-channel raster object and creates a raster image with index values from -1 to 1, which show the humidity level with a spatial resolution of 10 meters. The data showed that the value of humidity pixels according to NDMI in the tundra zone is 0.04, in the tundra young forest is 0.09 and, in the tundra, native forest is 0.15. It was found that the index data correlated with field humidity data obtained from a depth of 0.2 m. A comparison of remote sensing decryption data with field data made it possible to simulate the spatial distribution of soil moisture over the vast study area by extrapolation.

Keywords: permafrost, permafrost landscapes, soil moisture, tundra, forest tundra, mapping, remote sensing of the Earth, vegetation index, NDMI.

Введение

Глобальное потепление климата, наблюдаемое на Земле в последние десятилетия, наиболее ярко выражено в районах Арктики и Субарктики. Большая часть ландшафтов в данных областях, отличающиеся повышенной льдистостью, являются наиболее чувствительными к потеплению климата и к техногенному воздействию [1-3]. В виду этого возникает необходимость проведения мониторинговых исследований за геокриологическими условиями грунтов в рассматриваемой зоне.

Основным показателем при расчете льдистости грунтов является влажность. При анализе влажности грунтов, в период полевых работ пробы отбираются лишь на ключевых участках, в то время как площади исследований могут занимать десятки и сотни квадратных километров. В условиях нехватки (ограниченности) пространственных данных о параметрах природной среды одним из способов решения могут служить спутниковые снимки, возможность и актуальность использования которых обуславливается их доступностью, большим пространственным охватом, повторяемостью съемок и современными методами их обработки. Потенциал использования материалов дистанционного зондирования при исследовании влажности грунтов на обширных территориях может быть представлен путем применения нормализованного разностного индекса влажности – NDMI.

NDMI – это нормализованный разностный индекс влажности (Normalized Difference Moisture Index), который относится к группе индексов Canopy Water Content, которые предназначены для оценки содержания влаги в растительном покрове. Ряд исследований показывает, что в настоящий момент нет однозначного ответа с каким компонентом ландшафта имеет взаимосвязь данный индекс. Так, например, Hunt и Rock [4] обнаружили, что соотношение ближнего инфракрасного и коротковолнового инфракрасного каналов линейно коррелирует с относительным содержанием воды в листьях, а исследования Hardinsky и др. [5] показали, что NDMI в значительной степени коррелирует с содержанием воды в пологе леса.

В настоящем исследовании авторами сделана попытка моделирования влажности почвогрунтов на территории Анабарской тундры на основе корреляции полевых измерений влажности и данных ДЗЗ (NDMI) и последующей экстраполяции полученных результатов на рассматриваемую территорию.

Основная цель работы состоит в совершенствовании геокриологического дешифрирования путем оценки возможности применения индекса NDMI наряду с полевыми данными для исследования и мониторинга влажности грунтов в тундровой зоне.

Исследование нами проводилось на границе тундры и лесотундры в Анабарском районе Республики Саха (Якутия) на 3 участках: 1 – тундра, 2 – притундровый молодой лес, 3 – притундровый коренной лес (рис. 1).

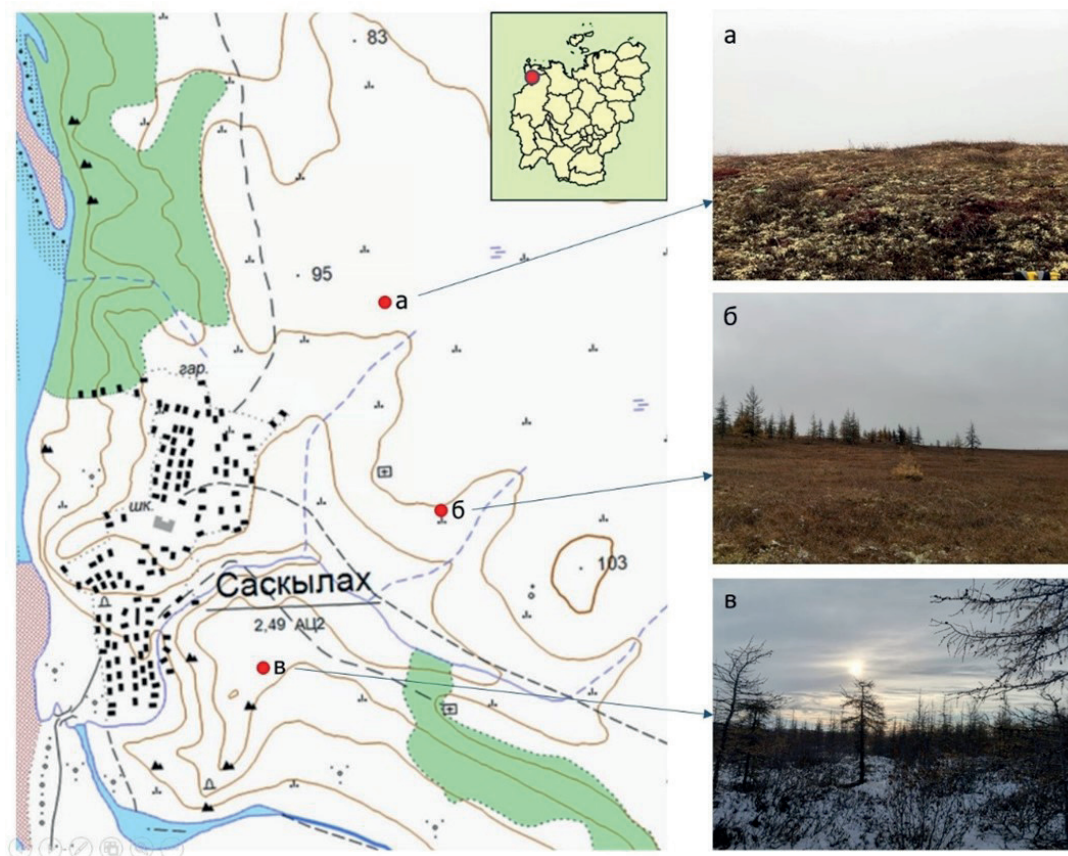


Рис. 1. Территория исследования
а – тундра, *б* – притундровый молодой лес, *в* – притундровый коренной лес

Fig. 1 Study area
a – tundra, *б* – pre-tundra young forest, *в* – pre-tundra forest

Природные условия района

Территория исследования находится на территории Анабарского района РС (Я) вблизи с. Сасылах в зоне тундры.

В физико-географическом отношении участок исследования относится к Анабаро-Оленекской озерно- термокарстовой провинции [6].

Климат территории исследования характеризуется резко выраженной континентальностью и суровостью. Среднегодовая температура воздуха по гидрометеостанции Сасылах $-14,0^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков 228 мм за год, из них около 140-150 мм в теплое время года (табл. 1). Исследуемая территория в течение 256 дней (8 месяцев) находится под снежным покровом [7].

Ландшафтная структура исследуемой территории представлена тундровыми и лесотундровыми типами ландшафтов. Тундровые ландшафты представляют собой безлесные переувлажненные территории с широким развитием мохово-лишайникового покрова, присутствием низкорослых кустарников и кустарничков, имеющие преобладающее распространение в тундровой зоне в пределах субарктического пояса. Лесотундровые ландшафты являются переходным типом между южной тундрой и северной тайгой и представлены тундровыми комплексами в сочетании с лиственничными рединами и редколесьями [9].

Таблица 1 – Среднегодовое количество осадков и средняя годовая температура воздуха исследуемой территории [8]

Год	Средняя годовая температура воздуха, °С	Осадки, мм		
		Среднегодовая сумма осадков	Снежный покров (октябрь- апрель)	Летние атмосферные осадки (май- сентябрь)
2010	-12,1	221	139	81
2011	-10,7	175	101	74
2012	-12,1	177	96	81
2013	-13,2	161	34	127
2014	-12,8	171	65	106
2015	-13,1	147	84	63
2016	-11,9	99	44	55
2017	-12,7	78	41	37
2018	-11,8	292	111	181
2019	-11,3	205	84	121
2020	-8,1	289	134	155
2021	-12,7	147	50	97
Среднее значение	-11,8	180,1	81,9	98,1

Многолетнемерзлые грунты распространены на всей территории района. В ее северной части глубина мерзлых грунтов достигает 400-700 м, а в южной, около с. Саскылах- -1000-1500 м. Для территории исследования характерны такие мерзлотные процессы, как солифлюкция, морозная сортировка, термокарст, пучение и термоэрозия. Мерзлотные процессы, в частности, морозобойное растрескивание грунтов определяют важнейшие черты ландшафтов – формирование полигонально-валикового рельефа [10].

Материалы и методы

Для определения весовой влажности почвогрунтов в период полевых работ отбирались образцы из отдельных горизонтов почвы через каждые 10 см на глубине от 0,1 до 0,8-1 м (верхней поверхности ММП) с помощью ручного почвенного буро-пробоотборника.

В камеральном этапе данные образцы высушивались в сушильном шкафу при температуре 105°С. Далее, весовая влажность определялась посредством формулы:

$$W = \frac{100 * (m_1 - m_0)}{m_0 - m}, \quad (1)$$

где m_1 – вес пустого бюкса и влажного грунта, г; m_0 – вес пустого бюкса и сухого грунта, г; m – вес пустого бюкса, г.

Индекс NDMI (нормализованный разностный индекс влажности) рассчитывается по формуле [11]:

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{(NIR + SWIR)}, \quad (2)$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, SWIR – отражение в средней инфракрасной области спектра, предназначенного для приглушения освещения и атмосферных эффектов. Интерпретация NDMI варьируется значениями от -1 до 1, где каждое значение показывает уровень увлажненности в зоне исследования.

Работа со спутниковыми снимками и расчет индекса NDMI для анализа влажности грунтов проводилась в программном обеспечении QGIS. Данные для работы были получены

со спутника Sentinel-2 в виду его доступности и высокого пространственного разрешения (10-20 м).

Для корреляции материалов натуральных исследований и данных космической съемки был выбран одинаковый сезон – сентябрь [12].

Результаты и обсуждение

Исследование нами проводилось в 3 этапа. На первом этапе, как указывалось выше, проводился отбор проб влажности почвогрунтов на ключевых участках во время полевого периода и высушивание их до постоянной массы для расчета весовой влажности (табл. 2, рис. 2).

Таблица 2 – Весовая влажность почвогрунтов на территории Анабарской тундры, сентябрь 2021 г.

	Тундра	Притундровый молодой лес	Притундровый коренной лес
Глубина, м	Весовая влажность грунта, %		
0,1	15,9	21,8	21,3
0,2	15,2	19,7	22,5
0,3	13,9	19,9	16,7
0,4	6,9	23,6	17,8
0,5	19,0	24,0	18,3
0,6	18,1	23,5	19,4
0,7	23,6	19,0	19,3
0,8	35,7	58,2	60,7
0,9	-	72,2	-
1	-	65,9	-

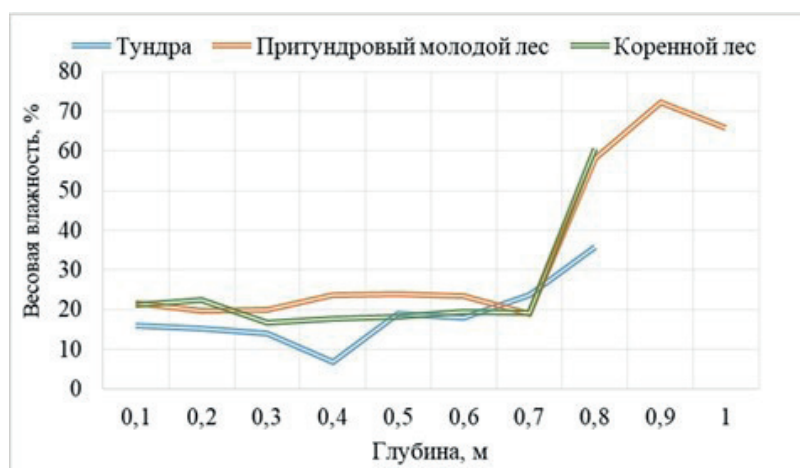


Рис. 2. Весовая влажность почвогрунтов на исследуемых участках: тундры, притундрового молодого ли коренного леса

Fig. 2 Weight moisture of soils in the studied areas: tundra, pre-tundra young deciduous forest

На втором этапе, нами проводились расчеты нормализованного разностного индекса влажности (NDMI) по приведенной выше формуле и составление карты (рис. 3).

Как видно из графика (рис. 2) весовая влажность почвогрунтов в тундре ниже, чем на участке с лесным массивом. Значения влажности грунтов в районе молодого и коренного леса примерно одинаковы за исключением некоторых расхождений по глубине. Так, если на глубине 0,2 м в коренном лесу влажность грунтов выше, чем в молодом лесу, то в промежутке от 0,3 до 0,6 м влажность несколько ниже второго и только с 0,7 м значение влажности опять повышается. Данная закономерность наблюдается и на карте влажности, составленной посредством индекса NDMI.

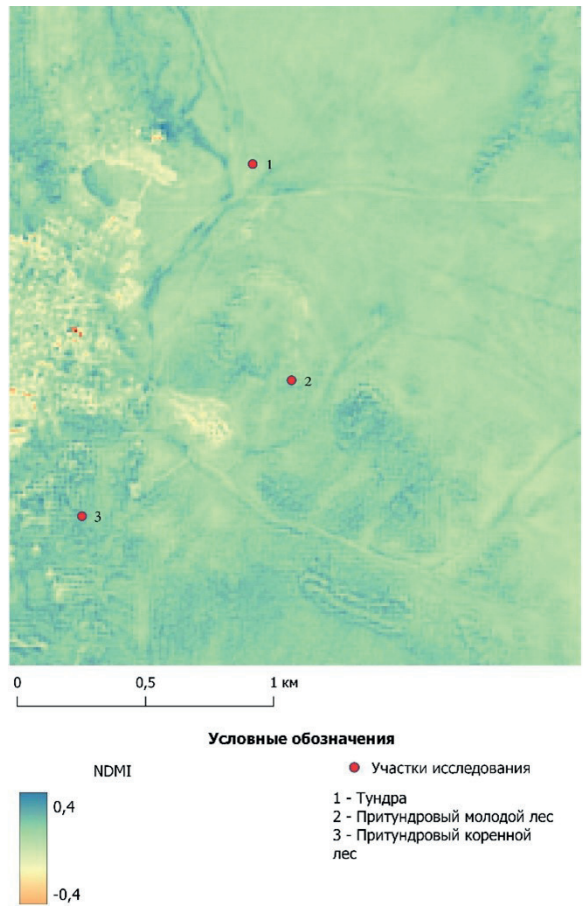


Рис. 3. Карта влажности, полученная с помощью расчета индекса NDMI

Fig. 3 Moisture map obtained by calculating the NDMI index

На третьем этапе сопоставлялись полевые данные влажности грунтов и NDMI, в результате которого было выявлено, что значения индекса NDMI (в пикселях) коррелируется с полевыми данными влажности грунтов на глубине 0,2 м (табл.3).

Таблица 3 – Соотношение натуральных данных весовой влажности грунтов со значениями индекса NDMI

Природная зона	Весовая влажность грунта в % (глубина 0,2 м)	Значение влажности по индексу NDMI
Тундра	15,2	0,04
Притундровый молодой лес	19,7	0,09
Притундровый коренной лес	22,5	0,15

Далее, посредством сопоставления полевых данных влажности грунтов и индекса влажности NDMI рассчитывался градиент (шаг) для экстраполяции влажности грунтов на всю рассматриваемую территорию. Для этого нами была использована простая статистическая формула:

$$GradW = \frac{W_{fmax} - W_{fmin}}{W_{NDMI\max} - W_{NDMI\min}}, \tag{3}$$

где W_{fmax}/W_{fmin} – влажность грунтов максимальная/ минимальная по полевым измерениям,

$W_{NDMImax}/W_{NDMImin}$ – влажность грунтов максимальная/ минимальная рассчитанная по индексу NDMI.

Были рассчитаны градиенты влажности отдельно для участка тундры и отдельно для лесистой части исследуемой территории. С учетом количества существующих полевых данных выделили 5 диапазонов влажности. Рассчитанные и скорректированные результаты расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты моделирования влажности почвогрунтов

Влажность грунтов по полевым данным	Влажность грунтов по индексу NDMI (значения пикселей)
12,5 – 15,0 %	0,01- 0,03
15,1 – 17,0 %	0,04- 0,06
17,1 – 20,5 %	0,07- 0,1
20,6- 22,5 %	0,11- 0,15
22, 6- 25,0 %	0,16- 0,2

С применением полученных значений была составлена карта влажности почвогрунтов на всю рассматриваемую территорию (рис. 4).

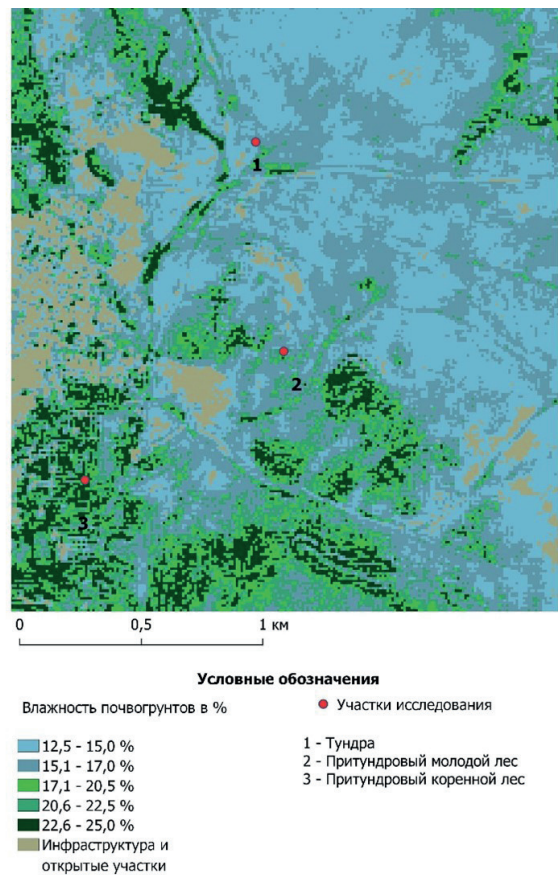


Рис. 4. Карта влажности почвогрунтов Анабарской тундры, полученная путем моделирования

Fig.4 A moisture map of the soils of Anabar tundra obtained by modeling

Согласно карте (рис.4), наименьшая влажность со значением 12,5-15,0 % наблюдается на участке тундры, некоторое ее увеличение (15,1-17,0) фиксируется на дренированных участках, ложбинках, в долине мелких ручьев и при переходе от тундры к притундровому лесу. На участке молодого леса значение влажности варьирует в пределах от 17,1 до 22,5 %. В районе коренного леса влажность имеет максимальное значение (22,6-25,0 %) немного понижаясь на разреженных и краевых участках.

Заключение

В работе приведены результаты исследований влажности почвогрунтов на территории Анабарской тундры с применением полевых данных и материалов ДЗЗ – индекса влажности (NDMI). Результаты исследования показали, что данный индекс коррелируется с полевыми данными влажности на глубине 0,2 м. Сопоставление данных с натурными данными позволило смоделировать пространственное распределение влажности грунтов на обширную исследуемую территорию методом экстраполяции.

По полученным результатам составлена карта влажности территории Анабарской тундры.

По результатам исследования можно сделать вывод, что представленный способ моделирования влажности почвогрунтов посредством корреляции натурных данных и индекса влажности (NDMI) достаточно репрезентативен и может применяться при исследовании обширных труднодоступных территорий.

В дальнейшем авторами планируется моделирование глубины сезонно-талого слоя на всю рассматриваемую территорию Анабарской тундры с применением полученных данных по влажности и результатов полевых измерений по глубине сезонно-талого слоя.

Работа выполнена в рамках базового проекта СО РАН АААА-А20-120111690009-6.

Литература

1. Григорьев, М.Н. Динамика берегов восточных арктических морей России: основные факторы, закономерности и тенденции / М.Н. Григорьев, С.О. Разумов, В.В. Куницкий, В.Б. Спектор. – Текст : непосредственный // Криосфера Земли. – 2006. – Т. X. № 4. – С. 74-94.
2. Fedorov, A.N. Recent air temperature changes in the permafrost landscapes of northeastern Eurasia / Ivanova R.N., Park H., Hiyama T., Iijima Y., 2014, POLAR SCIENCE, Vol. 8, Issue 2, 114-128. DOI://DX.DOI.ORG/10.1016/J.POLAR.2014.02.001
3. Schuur, E. A. G. Climate change and the permafrost carbon feedback / E. A. G. Schuur, A. D. McGuire, C. Schädel, G. Grosse, J. W. Harden, D.J. Hayes, J. E. Vonk, Nature, 2015. – 520 (7546) – С. 171–179. doi:10.1038/nature14338.
4. Hunt, E.R and Rock B.N. Detection of Changes in Leaf water Content Using near and Middle-Infrared Reflectances. Remote Sensing of Environment 1989, 30, 43-54.
5. Hardisky M.A.; Klemas V.; Smart R.M. The Influence of Soil Salinity, Growth Form, and Leaf Moisture on the Spectral Radiance of Spartina Alterniflora Canopies. Photogramm. Eng. Remote Sens. 1983, 49, 77–83.
6. Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. Масштаб 1: 2 500 000. / Гл. ред. П. И. Мельников. – М.: ГУГК, 1991. – 2 л.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Вып.24: Якутская АССР, кн.1, сер.3. Многолетние данные, ч. 1-6. Л., Гидрометеоздат, 1989. – 607 с.
8. Погода и климат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения: 6.02.2023).
9. Данилов, Ю.Г. Ландшафты Якутии / Ю.Г. Данилов, А.Н. Федоров и др. – Якутск: Издат. дом СВФУ, 2016 – 100 с. – Текст : непосредственный.
10. Анабарский улус: История. Культура. Фольклор/ Администрация муниципального образования «Анабарский национальный (долгано-эвенкийский) улус»; Ин-т гуманитар. исслед. АН РС (Я); Гл.ред. кол. серии В.Н. Иванов (гл. ред.) и др.; Ред. кол.: Боякова С.И. и др. – Якутск: Бичик, 2005. – 232 с.

11. Gao, B. C. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment / B. C. Gao. – 1996, 58, 257 – 266 с.
12. Кравцова, В.И. Космические методы исследования почв: Учебное пособие для студентов вузов / В. И. Кравцова. – М.: Аспект Пресс, 2005. – 190 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Grigor'ev, M.N. Dinamika beregov vostochnyh arkticheskikh morej Rossii: osnovnye faktory, zakonomernosti i tendencii / M.N. Grigor'ev, S.O. Razumov, V.V. Kunickij, V.B. Spektor. – Tekst : neposredstvennyj // Kriosfera Zemli. – 2006. – T. X. № 4. – S. 74-94.
2. Fedorov, A.N. Recent air temperature changes in the permafrost landscapes of northeastern Eurasia / Ivanova R.N., Park H., Hiyama T., Iijima Y., 2014, POLAR SCIENCE, Vol. 8, Issue 2, 114-128. DOI://DX.DOI.ORG/10.1016/J.POLAR.2014.02.001
3. Schuur, E. A. G. Climate change and the permafrost carbon feedback / E. A. G. Schuur, A. D. McGuire, C. Schädel, G. Grosse, J. W. Harden, D.J. Hayes, J. E. Vonk, Nature, 2015. – 520 (7546) – S. 171–179. doi:10.1038/nature14338.
4. Hunt, E.R and Rock B.N. Detection of Changes in Leaf water Content Using near and Middle-Infrared Reflectances. Remote Sensing of Environment 1989, 30, 43-54.
5. Hardisky M.A.; Klemas V.; Smart R.M. The Influence of Soil Salinity, Growth Form, and Leaf Moisture on the Spectral Radiance of Spartina Alterniflora Canopies. Photogramm. Eng. Remote Sens. 1983, 49, 77–83.
6. Merzlotno-landshaftnaja karta Jakutskoj ASSR. Masshtab 1: 2 500 000. / Gl. red. P. I. Mel'nikov. – M.: GUGK, 1991. – 2 l.
7. Nauchno-prikladnoj spravocnik po klimatu SSSR. Vyp.24: Jakutskaja ASSR, kn.1, ser.3. Mnogoletnie dannye, ch. 1-6. L., Gidrometeoizdat, 1989. – 607 s.
8. Pogoda i klimat [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.pogodaiklimat.ru> (data obrashhenija: 6.02.2023).
9. Danilov, Ju.G. Landshafty Jakutii / Ju.G. Danilov, A.N. Fedorov i dr. – Jakutsk: Izdat. dom SVFU, 2016 – 100 s. – Tekst : neposredstvennyj.
10. Anabarskij ulus: Istorija. Kul'tura. Fol'klor/ Administracija municipal'nogo obrazovanija «Anabarskij nacional'nyj (dolgano- jevenkijskij) ulus»; In-t gumanit. issled. AN RS(Ja); Gl.red. kol. serii V.N. Ivanov (gl. red.) i dr.; Red. kol.: Bojakova S.I. i dr. – Jakutsk: Bichik, 2005. – 232 s.
11. Gao, B. C. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment / B. C. Gao. – 1996, 58, 257 – 266 с.
12. Kravcova, V.I. Kosmicheskie metody issledovanija pochv: Uchebnoe posobie dlja studentov vuzov / V. I. Kravcova. – M.: Aspekt Press, 2005. – 190 s. – Tekst : neposredstvennyj.

Сведения об авторах

НИКИФОРОВА Ньургяна Николаевна – м.н.с., Институт Мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, e-mail: nurguyana_93@mail.ru

NIKIFOROVA Nurguiana Nikolaevna – Junior researcher, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia, e-mail: nurguyana_93@mail.ru

КАЛИНИЧЕВА Светлана Вячеславовна – к.г.н, н.с., Институт Мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, e-mail: ikoveta@rambler.ru

KALINICHEVA Svetlana Vyacheslavovna – Candidate of Geographical Sciences, Researcher, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, e-mail: ikoveta@rambler.ru

ФЕДОРОВ Александр Николаевич – д.г.н, г.н.с., Институт Мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, e-mail: anfedorov@mpi.ysn.ru

FEDOROV Aleksandr Nikolaevich – Doctor of Geographical Sciences, Senior Researcher, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, e-mail: anfedorov@mpi.ysn.ru

О.А. Поморцев

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

e-mail: olegpomortsev@mail.ru.

ЯКУТИЯ – МОДЕЛЬ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА ЗЕМЛИ (на примере циркуляции атмосферы)

Аннотация. Исследования последних десятилетий показали, что Якутия – не просто высоко репрезентативная область для исследования глобальных закономерностей климата, она – модель Земли в силу обширного влияния Сибирского антициклона. Охватывая сетку координат от Северного Ледовитого и Тихого океанов почти до Атлантики и Тибета, Якутия диктует закономерности изменений климата всему Северному полушарию. Это хорошо видно на примере современного изменения климата. Темпы потепления здесь опережают темпы потепления Земли на 3-5 среднегодовых градусов, тем самым показывая не только современную тенденцию потепления, но и предсказывая её для всей Земли при дальнейшем росте температур в будущем. Наша статья демонстрирует ход изменения климата трёх последних столетий. Она опирается на глобальные закономерности циркуляции атмосферы на волне векового ритма. Суть их заключается в том, что середина столетий всегда несёт похолодания, связанные с широтной циркуляцией атмосферы, а рубежи столетий – потепления, при которых широтная циркуляция сменяется меридианной. Так было в три последних столетия, подтверждённых инструментальными наблюдениями, и так – во времена Колумба и викингов. Те и другие пришли в Америку на рубеже веков 500 и 1000 лет назад, когда Северный Ледовитый океан и Северная Атлантика были свободны ото льда.

Ключевые слов: климат, глобальное потепление, ритм, цикл, осцилляция, тренд, Сибирский антициклон, число Вольфа.

О.А. Pomortsev

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

e-mail: olegpomortsev@mail.ru

YAKUTIA AS A MODEL OF GLOBAL WARMING OF THE EARTH'S CLIMATE: THE CASE OF ATMOSPHERIC CIRCULATION

Abstract. Investigations over the last decades have shown that Yakutia is not only a highly representative area for the study of global climate patterns, it is a model of the Earth due to the extensive influence of the Siberian anticyclone. Covering a grid of coordinates from the Arctic and Pacific Oceans almost to the Atlantic and Tibet, Yakutia dictates the patterns of climate change for the entire Northern Hemisphere. That can be clearly seen on example of modern climate change. The rate of warming here outpaces the rate of the Earth warming in 3-5 average annual degrees, thus showing not only the current warming trend, but also predicting it for the entire Earth with further temperature rise in future. Our paper shows the course of climate change over the last three centuries. It relies on the global patterns of atmospheric circulation on the wave of the hundred-year rhythm. Their essence is that the middle of centuries always brings cooling associated with latitudinal circulation of the atmosphere, and the turn of the century – the warming, in which latitudinal circulation is replaced by meridian circulation. It was happening in the last three centuries, confirmed by instrumental observations, and so it was in the time of Columbus and Vikings. Both came to America at the turn of the century 500 and 1000 years ago, when the Arctic Ocean and the North Atlantic were ice-free.

Keywords: climate, global warming, rhythm, cycle, oscillation, trend, Siberian anticyclone, Wolf number.

Введение

Исследование проблемы изменчивости климата чрезвычайно актуально, поскольку открывает перспективу выхода на климатический прогноз имеющий самое прямое отношение к реализации планов экономического развития регионов и безопасности жизни-деятельности населения. Учитывая влияние на климат тороидальных магнитных полей, генерируемых солнечными пятнами [1] исследование закономерностей климатических изменений, предполагает поиск параллелей в динамике солнечной активности и климатических процессов. По данным инструментальных наблюдений наиболее активные преобразования климата протекают в Якутии в зоне локализации Сибирского антициклона, поддерживавшего многие годы своим холодом ледяное ядро мерзлоты. Здесь же в Якутии установлен прямой отклик климата на фактор солнечной активности, что позволяет рассматривать Якутию как планетарную модель глобального потепления.

Постановка проблемы

На сегодня все еще не достигнуто осознание опасности современного потепления, создающего угрозу большей части Северного полушария, расположенного на подушке вечной мерзлоты. В Северной Азии, в случае дальнейшей эскалации потепления, под наиболее вероятный удар целиком попадает Республика Саха (Якутия), которая находится в эпицентре глобального потепления в ядре Сибирского антициклона. В настоящее время не существует не только ни одного надежно обоснованного прогноза о поведении многосотметровой толщи мерзлоты при развивающемся потеплении, но и надежного обоснования самого тренда потепления. Мнения даже ведущих специалистов расходятся вплоть до противоположных точек зрения. Одни предсказывают на ближайшие десятилетия глобальное потепление со «всемирным потопом» [2-6], другие – таких же масштабов похолодание с наступлением новой Малой ледниковой эпохи (МЛЭ) [7, 8].

Цель исследования – поиск параллелей в динамике солнечной активности и климатических процессов на примере Якутии с целью обоснования причины и тенденций климатических изменений.

Поиск закономерностей в отклике климатических процессов на модуляции солнечной активности осуществлялся в масштабах вековых, внутривековых и сверхвековых колебаний с учетом влияния циклов на режим воздушных течений тропосферы (в масштабах Северного полушария) и температуры приземного воздуха (в масштабах модельного ряда среднегодовой температуры метеостанции Якутск).

Материалы и методы исследования

В основу работы положены данные прямых телескопических наблюдений за солнечными пятнами за последние 268 лет (в числах Вольфа) и ряд инструментальных метеорологических наблюдений за среднегодовой температурой приземного воздуха (последние 187 лет с небольшими перерывами в XIX в.) на репрезентативной метеорологической станции Якутск (Центральная Якутия), а также кривые циркуляции атмосферы в Северном полушарии за прошедшее столетие [9]. Статистические исследования исходной информации и графические построения выполнялись в программе Эксель.

В качестве теоретической основы исследования были приняты разработки известных специалистов в области солнечно-земных связей и климатологии, таких как: А.И. Воейков, А.Л. Чижевский, Э.Я. Лир, А.В. Дьяков, М.С. Эйгенсон, Е.В. Максимов, Ю.И. Витинский, Б.А. Слепцова-Шевлевича и др. доказавшие качественное подобие геологических, исторических и современного климатических изменений и назвавших их первопричину. Как пишет М.С. Эйгенсон: ... «Если обратимся к первопричине изменений климата, то на сегодня отсутствуют какие-либо принципиально качественные различия между кратковременными современными, и долговременными, как в плейстоцене, глобальными изменениями климата. Это значит, что причина их однородна и на сегодня хорошо известна: усиление солнечной актив-

ности». ... «На современном этапе развития потепления не наблюдается никаких резких изменений солнечной постоянной, количества вулканической пыли, углекислого газа, движения полюсов и материков, эпейрогенеза, морских течений и других процессов, способных качественно и количественно служить непосредственной причиной современных климатических изменений» [10].

Результаты и обсуждение

На рис. 1-3 показаны кривые многолетних ходов чисел Вольфа и среднегодовой температуры приземного воздуха в г. Якутске и их линейные тренды. Кривая солнечной активности (СА) показывает явную тенденцию к росту на протяжении всего периода инструментальных наблюдений. В ее морфологии (см. рис. 1.) наряду с 11-летними циклами отчетливо выделяются три крупные волны с периодом в 90-100 лет – это вековые ритмы СА. Согласно Витинскому число короткоживущих групп пятен максимально в эпоху минимумов векового цикла, тогда как самые долгоживущие и крупные группы чаще всего появляются в эпоху максимумов [11].



Рис. 1. Кривая солнечной активности в числах Вольфа (данные инструментальных телескопических наблюдений – 1749 – 2017 гг. и рассчитанные – 1700-1748 гг.)

Fig. 1 The curve of solar activity in Wolf numbers (data from instrumental telescopic observations – 1749-2017 and calculated – 1700-1748)

Кривая ряда среднегодовой температуры в Якутске (см. рис. 2.) как и кривая чисел Вольфа показывает тенденцию к росту значений ее показателей от начала метеонаблюдений в 1829-м г. к современности. Особенно активно среднегодовые температуры в Якутске, судя по графику, приростали в первой половине XIX в. и начиная с конца 1970-х гг.

За последние 40 лет прирост температуры составил 2,5°C, причем половина этого прироста – 1,2°C, пришлась на первое десятилетие XXI в. Амплитуда ряда Якутск за период наблюдений составила 6°C: от -12,6°C в 1837 г. (абс. минимум ряда) до -6,6 в 2017 г. (абс. максимум).

Таким образом, менее чем за две сотни лет – от завершения в XIX в. похолодания Малой ледниковой эпохи (МЛЭ) и до современности среднегодовая температура в Якутске выросла чуть ли не вдвое. При этом прирост температуры в Якутске значительно, опять таки практически чуть ли не вдвое, превзошел показатели потепления в других регионах планеты и оказался сопоставимым по амплитуде проявившейся аномалии с потеплениями плейстоцена диктовавшими смену ледниковых и межледниковых эпох.

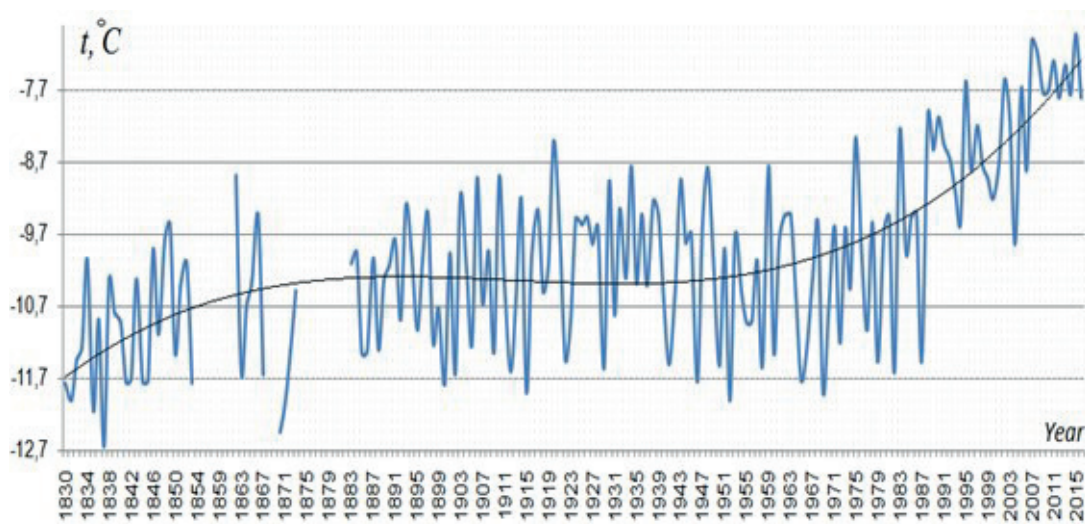


Рис. 2. График среднегодовых температур г.Якутска с 1830 по 2016 гг.

Fig. 2 The graph of the average annual temperatures of Yakutsk from 1830 to 2016

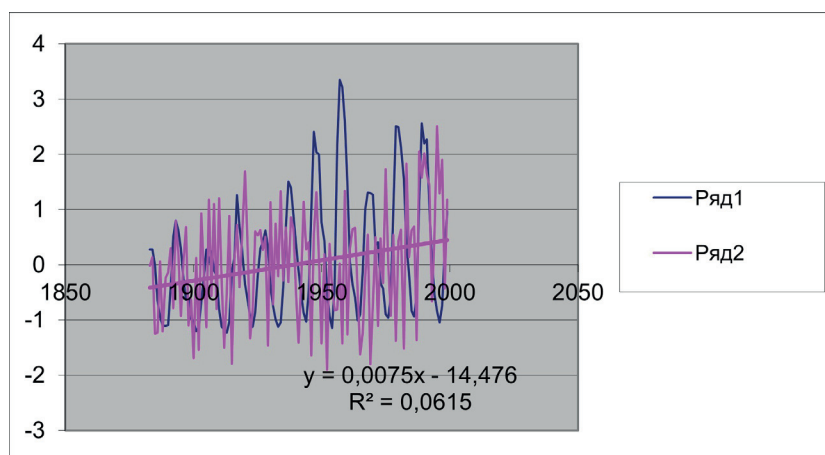


Рис. 3. Тренды значений среднегодовых показателей температуры по ГМС Якутск за период непрерывных наблюдений, с 1883 г. и чисел Вольфа

Fig. 3 Trends in the values of the average annual temperature indicators for the Yakutsk OGMS over the period of continuous observations since 1883 and the Wolf numbers

Из диаграммы (см. рис. 3.) видно, что линейные тренды температуры и чисел Вольфа на протяжении XX столетия были достаточно близки и имели общую тенденцию к росту.

Вместе с тем, наряду с устойчивой тенденцией к росту кривая среднегодовой температуры в Якутске демонстрирует вполне определенный возвратно-поступательный ход (см. рис. 2.). Выделяются две фазы активного прироста температуры: 1830-е – начало 1860-х гг. и, с 1980-х по 2007 гг.; и, еще одна, но менее активная – известная как «Потепление Арктики» 1920-х – 1940-х гг. Их разделяют две фазы возврата холодов – вторая половина XIX в. (1867-1888 гг.); и, середина XX-го столетия (1950-е – 1960-е гг.). При этом, масштабы аномалий последнего похолодания даже превосходили их аналоги второй половины XIX столетия. Если сопоставить ходы кривых чисел Вольфа и температуры в графическом формате (см. рис. 1 и 2) можно видеть, что период активного потепления 1830-х – начала 1860 гг. пришелся на ветвь подъема векового цикла CA XIX в., а потепление 1980-2007 гг., – напротив, – на ветвь спада векового

цикла XX столетия. Потепление Арктики, в свою очередь, пришлось на ветвь подъема того же векового цикла XX века. Первая фаза возврата холодов пришлась на максимум и начало ветви спада векового цикла XIX в. (1867 – 1888 гг.), вторая – 1950-х – 1960-х гг. так же на максимум векового цикла XX в. (1957 г.). В целом, отмеченные нами аномалии температуры, как и в моделях 11-летних циклов [12] развивались на ветвях подъема и спада вековых циклов, тяготея к их экстремумам – максимумам и минимумам.

Кроме того, фазы активного прироста температуры в XIX и XX вв. развивались в периоды близкие по значениям чисел Вольфа: первая (1830-1849 гг.) при 103, 5 W (осредненное значение показателя); вторая (с 1980 по 2007 гг.) – 101,1 W. Для потепления Арктики (1924-1939 гг.) значения W, как и прирост температуры оказались меньшими: 88,3 W. Фаза похолодания 1867-1888 гг. развивалась на максимуме векового цикла (1870 г.) и последующего понижения активности СА по ходу ветви спада векового цикла. Холодная фаза 1950-1971 гг., проявилась так же на максимуме векового цикла при активности Солнца до 126, 8 W (на 20 % выше нормы показанных выше двух периодов активного потепления).

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие предварительные выводы: 1) Фазы активного роста температуры в Якутске были приурочены к определенному режиму СА координаты которого задаются значениями W – 103,5 – 101,2 W, а в среднем – $103,5 + 101,2 / 2 = 102,3$ W; 2) Уклонение от этих показателей («коридора») в сторону усиления или ослабления режима СА приводило к понижению темпа потепления и возвратам похолоданий; 3) Фаза потепления Арктики 1930-х проявилась при показателях СА 88,3 W, и оказалась по приросту температуры оказалась на 15 % ниже двух предыдущих фаз потепления. Мы знаем, что эта волна потепления развивалась под действием широтной циркуляции атмосферы.

На рис. 4. Показаны кривые отклонений суммарной годовой продолжительности, обобщенной зональной (зональная + нарушение зональности, 1) и обобщенной меридиональной (северная + южная, 2) групп циркуляций на северном полушарии от средней за 1889-2014 гг. (десятилетние скользящие средние). Кривые атмосферной циркуляции (см. рис. 4.) показывают, что потепление Арктики сопоставляется с развитием волны зональной циркуляции атмосферы. Сменившая это потепление более мощная волна потепления последних десятилетий XX в.

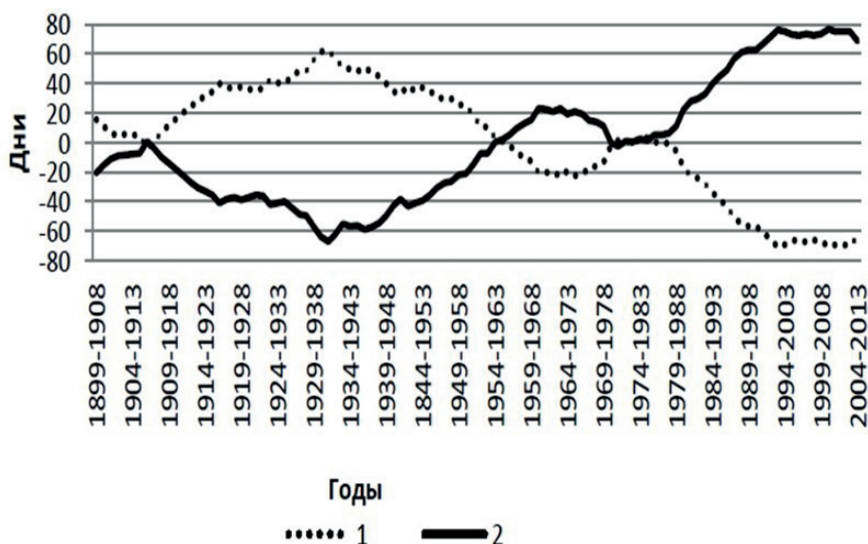


Рис. 4. Кривые зональной (1) и меридиональной (2) циркуляции в Северном полушарии за 1899-2014 гг. по Н.К. Кононовой [9]

Fig. 4 Curves of zonal (1) and meridional (2) circulation in the Northern hemisphere for 1899-2014 according to N.K. Kononova [9]

и начала XXI в. реализовалась уже в эпоху меридианной – более энергетически активной циркуляции. Похолодание 1950-х -1960-х гг. пришлось на эпоху смены циркуляционного режима приуроченного к максимуму векового цикла СА. Похоже, что подобный алгоритм смены режима циркуляции имел место и на волне векового цикла XIX в. Здесь период активного роста температуры в 1830-е и 1860-е гг. очевидно был сопряжен с активизацией воздушных потоков меридианной циркуляции на смену которым, на максимуме цикла 1870-х гг. пришла волна зональной циркуляции сформировавшая в дальнейшем волну «потепления Арктики» и так называемое термическое плато среднегодовой температуры около -10°C на большей части XX столетия (рис.5). Таким образом, наиболее активные фазы потепления XIX и XX столетий в Якутске были приурочены к ветви подъема (XIX в.) и ветви спада (XX в.) векового цикла СА. Они проявились на волнах активизации наиболее энергоэффективной меридианной циркуляции атмосферы развивавшихся при средних значениях активности Солнца чуть более 100W (101-103 W). Менее активное «Потепление Арктики» 1920-х – 1940-х гг. развивалось на ветви подъема векового цикла СА XX столетия на фоне менее активного Солнца (88W). Похолодания климата или шаг назад по ходу развивающегося потепления были приурочены к вековым максимумам солнечной активности имевшим место в 1870-м и 1957-м годах, когда значения чисел Вольфа достигали 139W и 190 W соответственно.

Исходя из отмеченных закономерностей в ходах солнечной активности, режиме циркуляции глобальной атмосферы и температуры в Якутске за два вековых цикла СА логично ожидать на фоне максимума векового цикла XXI столетия очередного возврата холодов связанного с переходом меридиональной циркуляции в зональную. Однако, судя по интегральной кривой температуры (рис. 5) среднегодовые температуры в Якутске при похолодании на максимуме векового цикла СА XXI столетия не опустятся ниже значений в -8° , -9°C .

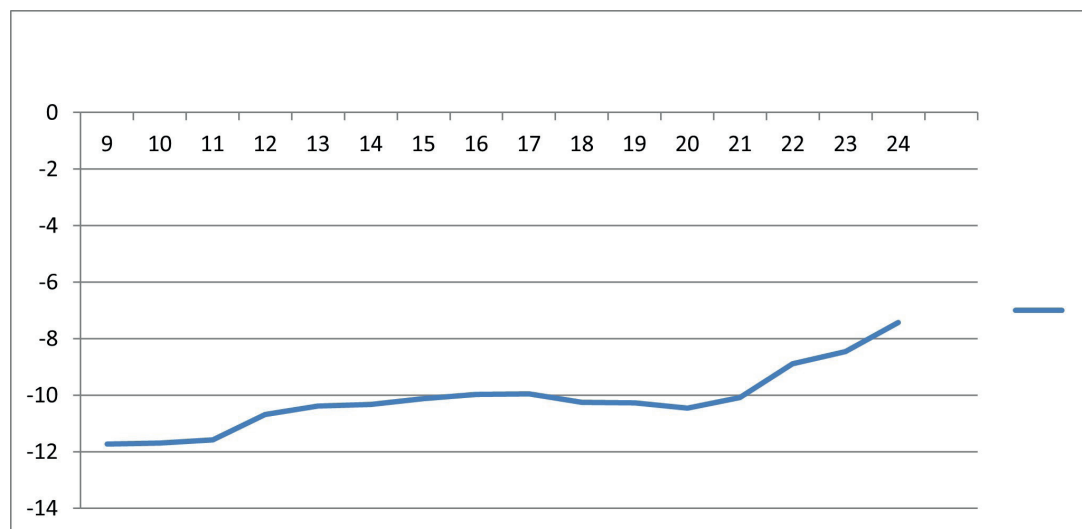


Рис. 5. Динамика кривой среднегодовой температуры ГМС Якутск в осредненных значениях показателей за каждый 11-летний цикл СА – от № 9 по № 24 (от 1830 до 2009 гг.)

Fig. 5 Dynamics of the average annual temperature curve of the Yakutsk OGMS in the average values of indicators for each 11-year cycle of CA – from No. 9 to No. 24 (from 1830 to 2009)

Вместе с тем, для детализации прогноза в ходах температуры в Якутске на текущее столетие, необходим как минимум прогноз чисел Вольфа. В качестве исходного, для решения этой важной задачи, принимаем понятие «стартовая позиция» (СП) векового цикла СА. Под этим термином мы понимаем осредненное значение показателей среднегодовых чисел W за первое десятилетие от начала каждого векового цикла СА. Отношение значений СП векового цикла

к осредненным показателям СА каждого входящего в него 11-летнего цикла открывает возможность выявить зависимость развития гармонической структуры ряда СА в рамках каждого исследуемого векового цикла. Экстраполяция результатов расчетов, выполненных за 200-летний период (два вековых цикла) открывает возможность (отталкиваясь от СП) экстраполяции предварительного прогноза гармоник текущего векового цикла (табл. 1-2).

Таблица 1 – Числа Вольфа за первые десятилетия от начала вековых циклов СА XIX, XX и XXI вв. в осредненных среднегодовых значениях W и их соотношение в % относительно максимального значения показателя

Вековой цикл СА, век	Продолжительность периода (лет) от начала цикла	Годы	Осредненное ср. годовое значение W	Соотношение, %
XIX в.	10	1809-1818	31,5	44,2 %
XX в.	10	1913-1922	71,3	100 %
XXI в.	10	2008-2017	52	73 %

Из табл. 1 следует, что начало текущего векового цикла СА уступает по стартовым значениям показателя (W) циклу XX в. (на 27 %), но примерно на столько же превосходит цикл XIX в. (на 29 %).

Следующим шагом в исследованиях явилось вычисление: 1) осредненных среднегодовых значений чисел W для каждого 11-летнего цикла начиная с цикла № 6 по Цюриху; 2) – отклонений между осредненными показателями W по каждому 11-летнему циклу относительно его «реперных» СП значений W. Результат расчетов представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Осредненные среднегодовые значения 11-летних циклов СА в числах Вольфа вековых циклов СА XIX и XX вв. и отклонения значений их показателей относительно показателей W реперных десятилетий в %

Номер 11-летнего цикла на шкале Вольфа и по порядку в рамках векового цикла	Год начала и окончания цикла	Продолжительность, лет	Осреднен. ср. годовое значение W каждого цикла	Оср. ср. годовое значение W реперного десятилет.	Соотношение W 11-летн. цикла относительно значений W реперного десятилетия, %
6 (1)	1809-1822	12	30,2	31,5	96
7 (2)	1823-1832	10	65		206
8 (3)	1833-1842	10	95		302
9 (4)	1843-1855	13	95,8		304
10 (5)	1856-1866	11	94,2		299
11 (6)	1867-1877	11	94,5		300
12 (7)	1878-1888	11	57,5		183
13 (8)	1889-1900	12	64,6		205
14 (9)	1901-1912	12	51,9		165
15 (1)	1913-1922	10	73,6	73,3	103
16 (2)	1923-1932	10	68		96
17 (3)	1933-1943	11	91		128
18 (4)	1944-1953	10	111		155
19 (5)	1954-1963	10	135		189
20 (6)	1964-1975	12	84		117
21 (7)	1976-1985	10	116		163
22 (8)	1986-1995	10	106		148
23 (9)	1996-2007	12	71		99
24 (1)	2008-2017	10	52	52	100

Из табл. 2. можно видеть, что, несмотря на достаточно низкое значение СП первого десятилетия векового цикла СА XIX в. (31,5 W), второй и третий 11-летние циклы по ходу этого цикла показали значительное приращение W – до 65 и 95 W соответственно. Вероятно поэтому модулированный ими меридиональный перенос воздушных потоков тропосферы, судя по темпам прироста показателей среднегодовой температуры в Якутске, породил волну активного потепления. Вековой цикл СА XX в. имел иную стартовую позицию. Осредненные среднегодовые значения показателей чисел W реперного десятилетия этого цикла имели более чем вдвое высокие показатели (71,3 W) относительно СП цикла XIX в. (31,5 W). Однако активный прирост W относительно реперного десятилетия в этом цикле реализовался только с приходом его третьей 11-летней волны. При этом величина прироста относительно стартового показателя W оказалась здесь менее значимой, чем в вековом цикле XIX в. Около 30 % относительно 100 % в предыдущем. В то же время показатели третьей 11-летней волны по ходу обоих вековых циклов оказались достаточно близкими – 95 и 91 W соответственно.

В последующих 11-летних циклах (четвертом, пятом и седьмом) по ходу векового цикла XX в. этот цикл продемонстрировал значительный прирост W составивший, относительно его реперной фазы, около 63 %. Осредненное среднегодовое значение W по циклу в целом составило 95,1 W, что превышает аналогичный показатель по вековому циклу XIX в 72,1 W на 23W или на четверть.

Теперь используя выполненные расчеты (см. таблицы 1 и 2) попробуем оценить приближенные параметры солнечной погоды на XXI столетие. Поскольку осредненное среднегодовое значение W первого десятилетия или стартовая позиция векового цикла XXI в. составляет 53,6 W и занимает промежуточное положение между значениями аналогичных показателей полученных нами для циклов XIX в. (31,5W) и XX в. (71,3 W) логично предположить, что прирост чисел Вольфа по ходу 11-летних циклов в XXI в будет близок к осредненным значениям прироста, имевшего место по ходу реализаций вековых циклов XIX и XX вв.

Если, приняв за основу нашу позицию выполнить расчеты в рамках 11-летних циклов XXI в., то можно ожидать следующие значения их показателей: в первом, начавшемся в 2008 г. – около 52-53,5 W; во втором – около 66,5; в третьем – 93 W; в четвертом – 103,5; в пятом – 114,5; в шестом – 89; в седьмом – 87; в восьмом – 85; в девятом – 61,5 W. Вместе с тем полученные нами показатели солнечной погоды следует рассматривать только как весьма приближенные. Это связано прежде всего с тем, что мы не знаем, сохранит ли свою тенденцию фоновый ритм (подстилающий) вековые циклы XVIII, XIX и XX вв. в XXI в. На сегодня его вклад в режим СА XX оценивается достаточно высоко. Согласно нашим расчетам – более 20 %.

Вместе с тем, если с позиции полученного нами режима солнечной погоды на XXI в. обратиться к оценке перспективы климатических изменений в Якутии, то в ближайшие годы можно ожидать некоторого понижения темпа потепления, а возможно и некоторого фрагментарного возврата холодов на фазах аномалий нечетно (второго) или цикла № 25 (по Цюриху). Этот феномен охватит большую часть 2020-х гг. и может сочетаться с понижением меридианной составляющей в системе глобальной циркуляции атмосферы. В 2030-е гг., следует ожидать возврата потепления, но это не приведет к очередному витку повышения температуры. В середине XXI столетия на максимуме векового цикла возможно похолодание и переход циркуляции в зональную форму. Вторая половина текущего столетия должна быть теплой, особенно на широтах Арктики.

В завершение отметим, что исследования дендрохронологических рядов сверхдлинных древесно-кольцевых хронологий сосны и лиственницы с широтных и высотных границ лесного пояса Азии и Северной Америки [2, 3] так же, как и наш прогноз не показывает в ближайшем будущем возврата к похолоданию в масштабах МЛЭ, которое возможно только в случае повторения Маундерского минимума, да и то лишь спустя четверть века от настоящего момента времени (время реакции среды).

Заключение

Если обратиться к диаграммам среднегодовой температуры приземного воздуха ГМС Якутск, циркуляции атмосферы в Северном полушарии и чисел Вольфа, то можно заметить, что циркуляция, как и режим температуры работает в прямой зависимости от режима СА. Переходы форм циркуляции от зональной к меридианной и наоборот происходят на максимумах вековых циклов СА и сопровождаются похолоданиями климата. Периоды потеплений тяготеют к ветвям подъема и спада векового ритма сосредотачиваясь у его границ. Точно такая же схема была открыта А.Л. Чижевским при исследовании природных и социальных процессов по ходу 11-летних циклов СА [12].

Судя по темпу прироста среднегодовой температуры в Якутске потепление на ветви подъема векового цикла в начале XIX в. шло при меридиональной циркуляции, т.е. наблюдался активный процесс закачки воздуха в приполярные широты кратчайшим путем – с юга на север. Затем на максимуме этого цикла (1870 г.) циркуляция развернулась на 90° и пошла с запада на восток, достигнув своего апогея уже на ветви подъема векового цикла XX в. (потепление Арктики). Затем после максимума цикла, уже на ветви спада она вновь пошла с юга на север. Получается, что один цикл обращения циркуляции охватывает не один, а два вековых цикла СА. Следовательно, завершения текущего цикла можно ожидать только во второй половине XXI века. При этом развитие текущего цикла потепления вероятно пройдет в тех же самых фазовых преобразованиях, что и в предыдущем.

По большому счету меридианная циркуляция разгоняет процесс потепления, а зональная держит плато, т.е. меридиональная это подъем на очередную ступеньку, а зональная это сама ступенька или площадка на пути подъема вверх по «лестнице» потепления. При переходе глобального процесса к понижению солнечной активности процесс циркуляции вероятно сохранит свою структуру, но будет идти зеркально с затуханием позиции как зональной, так и меридианной составляющей.

Литература

1. Пудовкин, М.И. Возмущения электромагнитного поля Земли / М. И. Пудовкин, О. М. Распопов, Н. Г. Клейменова ; Ленинградский государственный университет им. А. А. Жданова. – 1976 – 269 с. – Текст : непосредственный
2. Будыко, М. И. Избранные работы : монография / М.И.Будыко – Санкт-Петербург: ООО «Америт»: Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова. 2020. – 206 с.: ил. ISBN 978-5-9500883-7-7 I. – Текст : непосредственный
3. Алексеев, Д. США: прогноз глобального потепления на столетнюю перспективу // Аккумулятор новостей. 2005. URL: NEWSinfo.ru (дата обращения: 27.12.2005).
5. Антарктида тает по загадочным причинам. 2006 <http://news.gala.net/?cat=14&id=215842> (15.07.2006)
6. Михайлова, Т.Р. Глобальное потепление. URL: <http://www.sced.nnov.ru/Mih.htm21> (дата обращения: 15.07.2006).
7. Балобаев, В.Т. Прогноз изменения климата и мощности мерзлых пород Центральной Якутии до 2200 года / Балобаев В.Т., Скачков Ю.Б., Шендер Н.И. – Текст : непосредственный // География и природные ресурсы. – 2009. – № 2. – С. 50-56.
8. Большинов Д.Ю. Пассивное оледенение Арктики и Антарктиды : монография / Д.Ю. Большинов – СПб ААНИИ, 2006. 296 с. – Текст : непосредственный
9. Кононова, Н.К. Типы и особенности циркуляции атмосферы / Н.К. Кононова. – Текст : непосредственная // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2018. – № 3. – С. 108-123.
10. Эйгенсон, М.С. Солнце, погода и климат : монография / М.С. Эйгенсон. – Л., Гидрометеониздат. 1963. – 273 с. – Текст : непосредственный

11. Витинский, Ю.И. Цикличность и прогнозы солнечной активности : монография / Ю.И. Витинский – АН СССР. Гл. астроном. обсерватория. – Ленинград : Наука. Ленинградское отделение, 1973. – 257 с. – Текст : непосредственный

12. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь : монография / А.Л. Чижевский – М.: Мысль, 1976. 367 с. – Текст : непосредственный

References

1. Pudovkin, M.I. Vozmushhenija jelektronnogo polja Zemli / M. I. Pudovkin, O. M. Raspopov, N. G. Klejmenova ; Leningradskij gosudarstvennyj universitet im. A. A. Zhdanova. – 1976 – 269 s. – Tekst : neposredstvennyj

2. Budyko, M. I. Izbrannye raboty : monografija / M.I.Budyko – Sankt-Peterburg: OOO «Amerit»: Glavnaja geofizicheskaja observatorija im. A. I. Voejkova. 2020. – 206 s.: il. ISBN 978-5-9500883-7-7 I. – Tekst : neposredstvennyj

3. Alekseev, D. SSA: prognoz global'nogo poteplenija na stoletnjuju perspektivu // Akkumuljator novostej. 2005. URL: NEWSinfo.ru (data obrashhenija: 27.12.2005).

5. Antarktida taet po zagadochnym prichinam. 2006 <http://news.gala.net/?cat=14&id=215842> (15.07.2006)

6. Mihajlova, T.R. Global'noe poteplenie. URL: <http://www.sced.nnov.ru/Mih.htm21> (lata obrashhenija: 15.07.2006).

7. Balobaev, V.T. Prognoz izmenenija klimata i moshhnosti merzlyh porod Central'noj Jakutii do 2200 goda / Balobaev V.T., Skachkov Ju.B., Shender N.I. – Tekst : neposredstvennyj // Geografija i prirodnye resursy. – 2009. – № 2. – S. 50-56.

8. Bol'shiyanov D.Ju. Passivnoe oledenenie Arktiki i Antarktidy : monografija / D.Ju. Bol'shiyanov – SPb AANII, 2006. 296 s. – Tekst : neposredstvennyj

9. Kononova, N.K. Tipy i osobennosti cirkuljacii atmosfery / N.K. Kononova. – Tekst : neposredstvennaja // Fundamental'naja i prikladnaja klimatologija. – 2018. – № 3. – S. 108-123.

10. Jeigenson, M.S. Solnce, pogoda i klimat : monografija / M.S. Jeigenson. – L., Gidrometeoizdat. 1963. – 273 s. – Tekst : neposredstvennyj

11. Vitinskij, Ju.I. Ciklichnost' i prognozy solnechnoj aktivnosti : monografija / Ju.I. Vitinskij – АН СССР. Гл. астроном. обсерватория. – Ленинград : Наука. Ленинградское отделение, 1973. – 257 с. – Текст : непосредственный

12. Chizhevskij A.L. Zemnoe jeha solnechnyh bur' : monografija / A.L. Chizhevskij – М.: Mysl', 1976. 367 s. – Текст : непосредственный

Сведения об авторах

ПОМОРЦЕВ Олег Александрович – к.г.н., доцент кафедры прикладной геологии геологоразведочного факультета СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: olegpomortsev@mail.ru

POMORTSEV Oleg Aleksandrovich – Candidate of Geographic Sciences, Associate Professor, Department of Applied Geology, Faculty of Geology and Survey, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: olegpomortsev@mail.ru

Ю.Ф. Рожков¹, М.Ю. Кондакова²¹Государственный заповедник «Олекминский», г.Олекминск, Россия²Гидрохимический институт, г. Ростов-на-Дону, Россия

e-mail: olekmazap-nauka@yandex.ru

e-mail: vesna-dm@mail.ru

ОЦЕНКА СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕГМЕНТАЦИИ И КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ LANDSAT

Аннотация. Для целей мониторинга состояния лесных экосистем наиболее эффективно использование возможностей дистанционных методов. На мультиспектральных космических снимках Landsat (временная серия летних и осенних снимков за 2000, 2001, 2013, 2014 гг.) территории государственного природного заповедника «Олекминский» выделены фрагменты лесных массивов с доминированием лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii Rupr.*) площадью 250 км² (масштаб 1:5000). Затем были сохранены полигоны по трем уровням сегментации (скейлинга) – 4, 16, 64 с масштабами, 1:2500, 1:1250, 1:625. При дешифрировании проводилась неуправляемая классификация полигонов методом ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) на 2,4,10 классов. Классификация на два класса использовалась для расчета индекса лесистости. Сезонные изменения определялись по разности значений индекса лесистости полигонов летом и осенью. Показано, что чем больше разность, тем больше доля лиственницы в смешанных древостоях. Были построены кривые распределения значений индекса лесистости для полигонов 3 уровня скейлинга. По результатам классификации на 4,10 классов была проведена статобработка с расчетом показателей разности и подобия полигонов – дисперсии генеральной совокупности и теста Фишера (F-тест). Рассмотрены результаты изменения дисперсии генеральной совокупности и F-теста на разных уровнях сегментации и в разные годы.

Ключевые слова: дешифрирование временной серии космических снимков, классификация Isodata, индекс лесистости, дисперсия, F-тест, скейлинг мультифрактальных структур.

Yu.F. Rozhkov¹, M.Yu. Kondakova²¹Olyokminsky State Nature Reserve, Olyokminsk, Russia²Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don, Russia

e-mail: olekmazap-nauka@yandex.ru

e-mail: vesna-dm@mail.ru

AN ASSESSMENT OF SEASONAL CHANGES IN FORESTS USING THE SEGMENTATION AND CLUSTER ANALYSIS OF LANDSAT SPACE IMAGES

Abstract. For the purposes of monitoring the state of forest ecosystems, it is most effective to use the capabilities of remote methods. On multispectral Landsat satellite images (a time series of summer and autumn images for 2000, 2001, 2013, 2014) of the territory of the Olekminsky State Nature Reserve, fragments of forests dominated by Gmelin larch (*Larix gmelinii Rupr.*) with an area of 250 km² (scale 1:5000). Then the polygons were saved at three levels of segmentation (scaling) – 4, 16, 64 with scales of 1:2500, 1:1250, 1:625. During decryption, uncontrolled classification of polygons using the ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) method into 2,4,10 classes was carried out. Classification into two classes was used to calculate the forest cover index. Seasonal changes were determined by the difference in the forest cover index values of the polygons in summer and autumn. It has been shown that the greater the difference, the greater the proportion of larch in mixed forest stands. Distribution curves of forest cover index values were constructed for polygons of the 3rd scaling level. Based on the results of classification into 4, 10 classes, statistical processing was carried out with

the calculation of indicators of difference and similarity of polygons – dispersion of the general population and Fisher's test (F-test). The results of changes in population dispersion and F-test at different levels of segmentation and in different years are considered.

Keywords: decoding time series of satellite images, Isodata classification, forest cover index, dispersion, F-test, scaling of multifractal structures.

Введение

Космические снимки различного пространственного и временного разрешения широко используются для выявления изменений, происходящих в окружающем мире. Они позволяют успешно осуществлять мониторинг глобальных процессов (пожары, наводнения, опустынивание, сокращение площади полярных льдов, изменение границы леса, заболачивание и т.д.).

Серия разновременных снимков предоставляет больше возможностей, так как фиксирует на каждом одиночном снимке состояние объекта изучения и характеризует его развитие, изменение при переходе от одного снимка к другому. Различные аспекты изменения состояния лесных экосистем успешно решаются с использованием разновременных серий космических снимков. Это динамика процесса лесообразования [1,2], выявление зон влияния антропогенного загрязнения на лесные экосистемы [3,4], лесопатологический мониторинг [5], мониторинг лесозаготовок, незаконных рубок, буреломов, ветровалов в результате стихий [6,7]. Учет сезонных изменений при выборе снимков – необходимое условие получения надежных результатов при изучении динамики географических объектов по разновременным материалам, поскольку изменения на местности в разные сезоны могут быть сопоставимы и даже превышать многолетние изменения [8]. Сезонность структуры лесов выделяется при сравнении летних и осенних снимков – чтобы разделить хвойные и лиственные породы в смешанных древостоях [9, 10].

Важным методом изучения структуры экосистем на космическом снимке является метод сегментации изображений [11-14]. Он позволяет анализировать мультифрактальную структуру изображений и фрактальное самоподобие (скейлинг) [15,16]. В качестве инструментов дешифрирования широко распространен кластерный анализ [17,18].

Целью настоящего исследования является изучение сезонных изменений лесного массива с доминированием лиственницы с использованием инструментов сегментации и кластерного анализа временных серий космических снимков Landsat и оценкой разности и подобия выбранных фрагментов снимков.

Материалы и методы исследований

При осуществлении непрерывного мониторинга за состоянием бореальных лесов использовалось дешифрирование временной серии летних и осенних снимков Landsat, находящихся в свободном доступе на сайте Earth Explorer. Временная серия состояла из двух пар летних (июль) и осенних (сентябрь) мультиспектральных снимков. Одна пара получена с использованием (восьмиканального радиометра ETM+) Landsat 7 за 2000 (июль), 2001 (сентябрь). Вторая пара мультиспектральных снимков получена со спутника Landsat8 (десятиканальный сканирующий радиометр OLI) за 2013 (июль) и 2014 (сентябрь). Исследования проводились на территории Олекминского государственного природного заповедника Юго-Западной Якутии площадью 851 тыс. га. Для сравнения был выбран исходный полигон ненарушенных лесов площадью 250.0 км² (масштаб 1:5000) с доминированием лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii Rupr.*) (рис.1). При проведении сегментации на первом уровне исходный полигон был разбит на четыре полигона масштаба 1:2500. Далее были получены 16 полигонов с масштабом 1:1250 (рис. 2). Способ получения полигонов разных масштабов описан ранее [13,19]. На третьем уровне сегментации продолжалось разбиение на тетрады. Получилось 64 полигона масштаба 1:625 и площадью 4.0 км² (рис. 3).

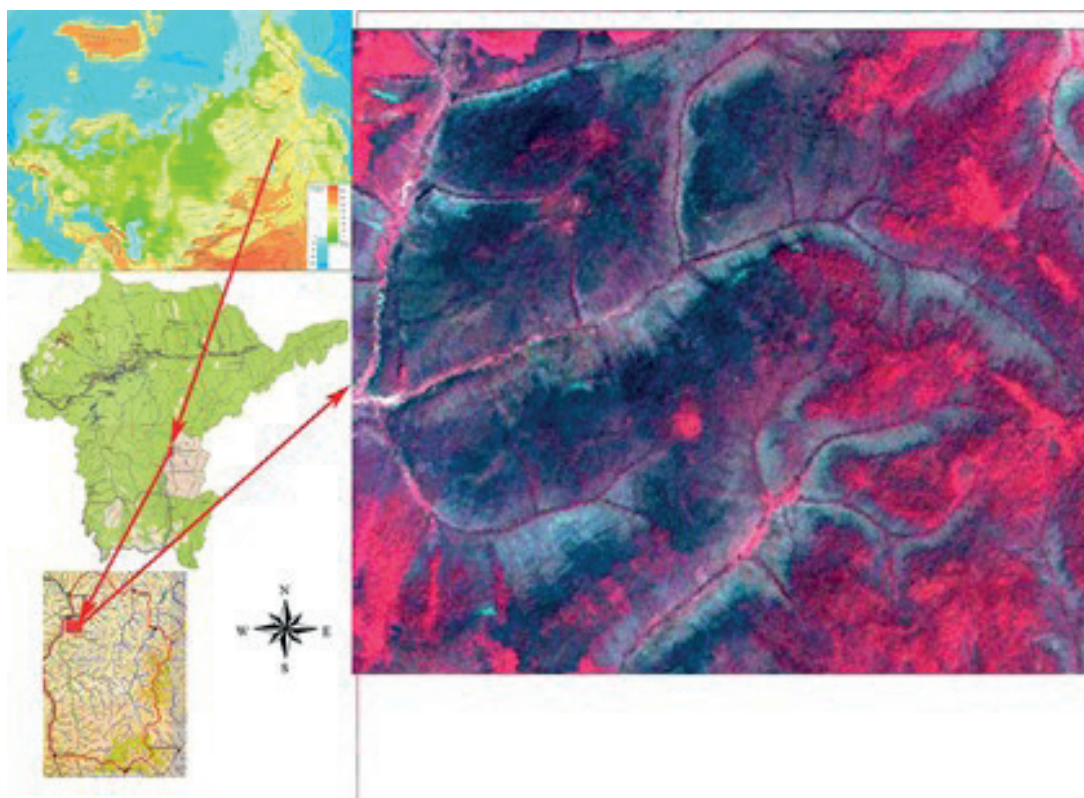


Рис. 1. Район исследования

Fig. 1. Study area

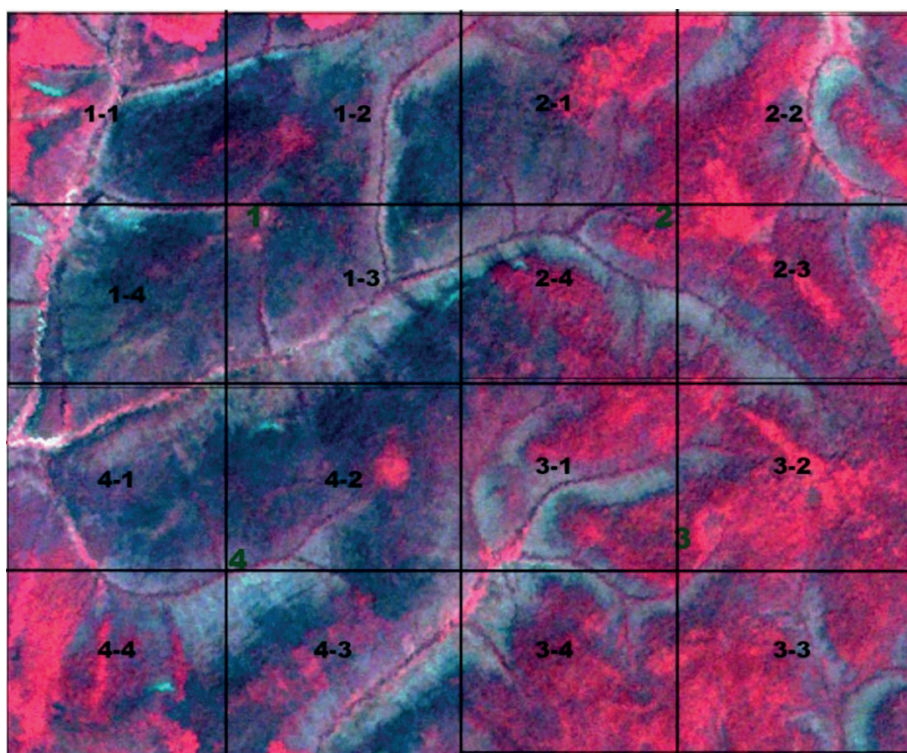


Рис. 2. Разбивка фрагмента снимка Landsat масштаба 1:5000 на полигоны (16 полигонов)

Fig. 2. Splitting a fragment of a Landsat image at a scale of 1:5000 into polygons (16 polygons)

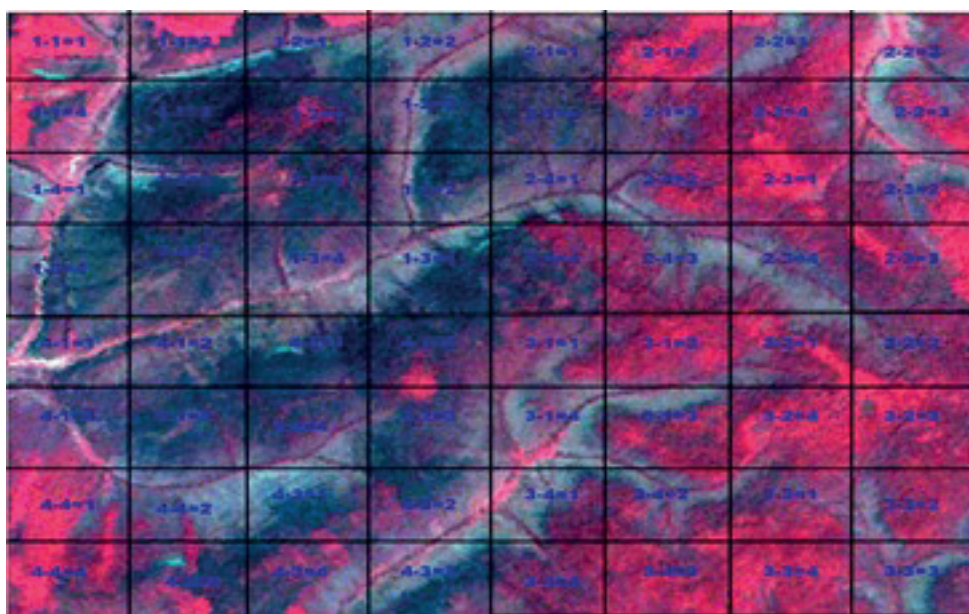


Рис. 3. Разбивка фрагмента снимка Landsat масштаба 1:5000 на полигоны (64 полигона)

Fig.3. Splitting a fragment of a Landsat image at a scale of 1:5000 into polygons (64 polygons)

При обработке космических снимков использовался пакет программ ENVI-4.0 (для преобразования снимков в формат Geotif), ArcView-3.3 с модулями Image Analyst, Spatial Analyst (для дешифрирования полученных снимков). В качестве показателя, с помощью которого осуществлялся мониторинг состояния лесов, были выбран инструмент кластерного анализа: классификация ISODATA [19]. В качестве объектов для анализа выступают пиксели снимков высокого разрешения, которые соответствуют по шкале биоразнообразия урочищам. При разрешающей способности снимка в 30 м размеры пикселя соответствуют площади 900 м². Была проведена классификация снимков на 2, 4, 10 классов. В основу инструмента неуправляемой классификации мультиспектральных снимков заложен метод кластерного анализа ISODATA, который использует установленное число итераций (перегруппировка пикселей по классам) и порог сходимости для выбранных классов. Выбранный метод классификации является самоорганизующимся, так как исследователь указывает только количество классов, на которые нужно разбить весь массив данных (в данном случае пикселей). При проведении классификации по методу ISODATA программой в первую очередь учитывается значение спектральной яркости и классы формируются в группы по увеличению спектральной яркости. Визуально, при классификации на два класса в первый класс – включены пиксели с малыми значениями спектральной яркости отраженного света (он представлен темным цветом), во второй класс – пиксели с большими значениями спектральной яркости (он представлен белым цветом). При классификации на 2 класса пиксели распределены в соотношении 50 на 50 %.

При увеличении количества классов появляются классы с промежуточными значениями спектральной яркости, но при этом сохраняется симметрия распределения пикселей. Классификация на 4 класса позволяет разделить все пиксели анализируемой площади на 4 группы по возрастанию спектральной яркости с шагом в 25 %. Классификация на 10 классов позволяет распределить все пиксели на 10 групп по возрастанию спектральной яркости с шагом 10 %.

Классификация на два класса позволяет определить индекс, характеризующий лесистость [20], который определяется как отношение площади, покрытой лесной растительностью, к общей площади: $D = df/S$, где: D – лесистость; df – площадь, покрытая лесной растительностью, м²;

S – общая площадь территории, м². Классификация на 4, 10 классов была использована при статистическом анализе. Проводилось сравнение полигонов с расчетом их разности и подобия – по дисперсии генеральной совокупности, тесту Фишера (F-тест). До проведения статистического анализа все результаты определения классификации за все годы были пересчитаны и приведены к размерности полигона масштаба 1:1250. Результаты пересчета результатов классификации на всех трех уровнях сегментации представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты пересчета результатов классификации снимка Landsat на 10 классов для разных масштабов

Номер полигона	1-1=2	1-1=3	1-1=4	1-1=1	1-1	25-1	50-1
Масштаб	1:625	1:625	1:625	1:625	1:1250	1:2500	1:5000
1 кл.	2080	1260	1460	676	1362	865	749
2 кл.	964	1676	904	1028	1068	1438	1153
3 кл.	768	1036	792	960	600	1403	956
4 кл.	312	1680	1052	1216	1087	792	1290
5 кл.	572	524	404	648	994	1059	1091
6 кл.	768	380	1164	1164	984	805	1313
7 кл.	1720	1512	1220	1796	1085	1101	449
8 кл.	1344	952	1124	1200	891	433	1218
9 кл.	716	748	1424	964	1332	1336	1275
10 кл.	1060	536	760	652	901	1071	809
Сумма пикселей	10304	10304	10304	10304	10304	10304	10304

Результаты и обсуждение

Оценка сезонных изменений значений индекса лесистости в ненарушенном лиственничном массиве. Несмотря на то, что в выбранном лесном массиве доминирует лиственница, в составе древостоя всегда присутствуют другие породы: сосна обыкновенная, сосна кедровая, ель, береза и др. Поэтому, с помощью расчета разности значений индекса лесистости летних и осенних снимков (с учетом хвоепада и листопада) появляется возможность рассчитать долю лиственницы в смешанных древостоях. На первом уровне скейлинга, когда исходный полигон делится на четыре равных части видно, что максимальная доля лиственницы в составе древостоя третьего фрагмента, а минимальная – в первом фрагменте (табл. 2). Причем, это различие сохраняется при расчете разности индекса лесистости лето-осень в двух парах 2000-2001 гг. и

Таблица 2 – Особенности сезонного распределения (лето – осень) значений индекса лесистости лиственничного массива

индекс лесистости / полигон	исходный полигон	первый уровень скейлинга			
		1	2	3	4
июль, 2000 г.	0.637	0.565	0.634	0.715	0.623
сентябрь, 2001 г.	0.450	0.546	0.474	0.485	0.508
разность лето-осень	0.188	0.019	0.160	0.229	0.115
июль, 2013 г.	0.623	0.564	0.660	0.721	0.570
сентябрь, 2014 г.	0.464	0.555	0.489	0.443	0.480
разность лето-осень	0.159	0.009	0.171	0.278	0.090

2013-2014 гг. Разность между индексами лесистости летних и осенних снимков для фрагмента 1 составляет 0,019 (для пары 2000-2001 гг.) и 0,009 (для пары 2013-2014 гг.). Это говорит о том, что в составе древостоя практически отсутствует лиственница и доминируют темнохвойные породы: сосна обыкновенная, сосна кедровая, ель, пихта. Максимальная доля лиственницы регистрируется в 3 фрагменте. Разность индексов максимальная – 0.229(для пары 2000-2001 гг.) и 0.278 (для пары 2013-2014 гг.). Фрагменты 2 и 4 занимают промежуточное положение по значениям разности индексов лесистости.

Более подробную картину распределения древесных пород в составе древостоя выбранного лесного массива можно увидеть на втором уровне скейлинга, когда исходный полигон делится на 16 равных фрагментов (на 4 тетрады) (табл. 3).

Таблица 3 – Особенности распределения полигонов второго уровня скейлинга по значениям индекса лесистости

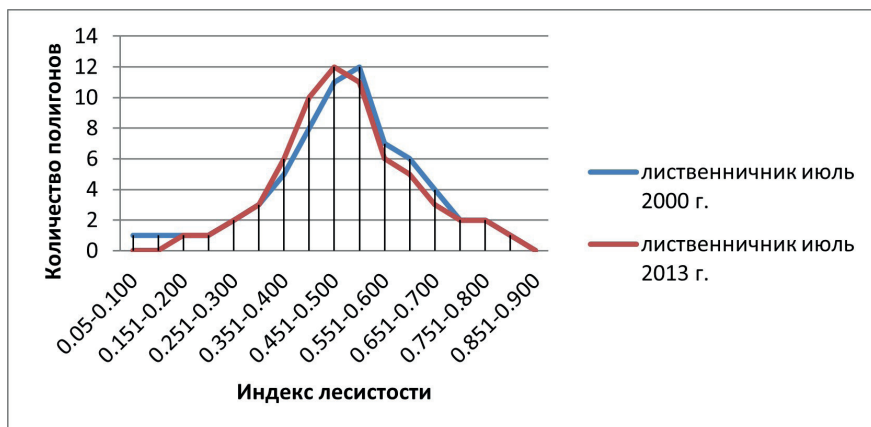
полигон/ индекс лесистости	2000 г., июль	2001 г., сентябрь	разность лето-осень	2013 г., июль	2013 г., сентябрь	разность лето-осень
1=1	0.492	0.446	0.046	0.450	0.418	0.032
1=2	0.643	0.598	0.045	0.631	0.627	0.004
1=3	0.556	0.522	0.034	0.542	0.509	0.034
1=4	0.589	0.567	0.022	0.592	0.545	0.047
2=1	0.642	0.605	0.037	0.657	0.572	0.085
2=2	0.612	0.545	0.067	0.623	0.598	0.024
2=3	0.659	0.484	0.175	0.674	0.545	0.129
2=4	0.661	0.437	0.224	0.682	0.486	0.196
3=1	0.536	0.434	0.103	0.523	0.347	0.176
3=2	0.795	0.433	0.362	0.689	0.439	0.250
3=3	0.722	0.442	0.279	0.729	0.514	0.215
3=4	0.718	0.498	0.220	0.758	0.472	0.286
4=1	0.620	0.536	0.083	0.657	0.530	0.127
4=2	0.638	0.510	0.128	0.584	0.396	0.188
4=3	0.569	0.473	0.095	0.592	0.477	0.115
4=4	0.727	0.478	0.249	0.661	0.472	0.189

В этом случае, также видно, что минимальная разность индексов лесистости (лето-осень) отмечена в первой тетраде (1=1,1=2,1=3,1=4). Что подтверждает доминирование темнохвойных пород. Во второй тетраде картина смешанная. В составе первых двух фрагментов (2=1 и 2=2) также доминируют темнохвойные породы. Разность индексов лесистости летних и осенних фрагментов снимков минимальная. Тогда как для фрагментов 2=3 и 2=4 разность индексов лесистости резко увеличивается, особенно для фрагмента 2=4. Это говорит о преобладании лиственницы в составе древостоя этих фрагментов. Для третьей и четвертой тетрад характерно преобладание лиственницы в составе древостоя. Причем, также как для первого уровня скейлинга максимальная доля лиственницы отмечается для третьего фрагмента, и на втором уровне скейлинга максимальная доля лиственницы отмечена во фрагментах 3=2, 3=3, 3=4 с максимальными значениями разности индексов лесистости лето-осень.

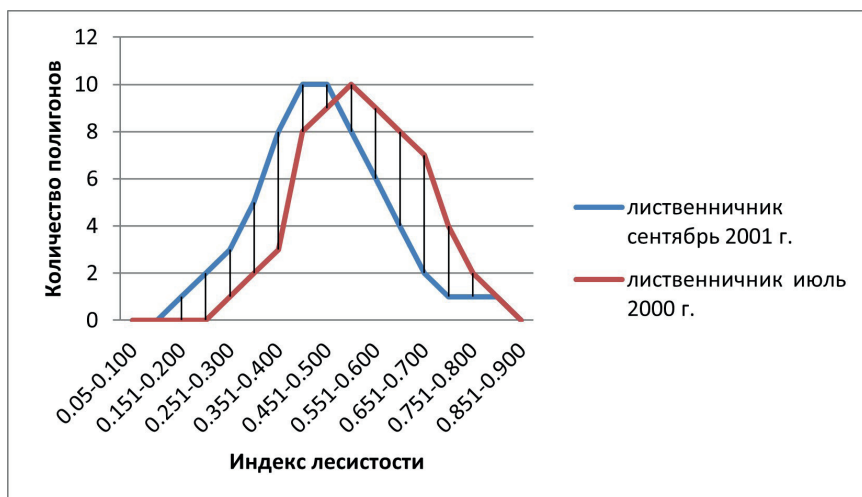
На третьем уровне скейлинга – при выделении 64 фрагментов исходного полигона были построены кривые распределения значений индексов лесистости летних и осенних снимков. Кривые распределения значений для всех четырех снимков близки к нормальному (Гауссову).

Однако, если два летних снимка дают кривые практически одинаковые (рис. 4А), то кривые летние и осенние показывают смещение летних кривых от осенних в сторону увеличения по шкале значений индекса лесистости (рис. 4В и 4С).

А



В



С

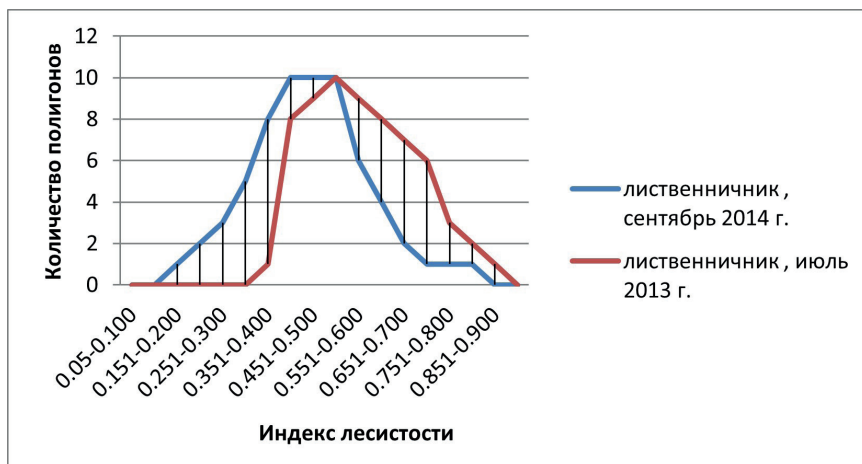


Рис. 4. Распределение полигонов по значениям индекса лесистости третьего уровня скейлинга: А). Июль 2000 и 2013 гг. В). Июль 2000 г. и сентябрь 2001г. С). Июль 2013 г. и сентябрь 2014 г.

Fig.4. Distribution of polygons according to the forest cover index values of the third scaling level: А). July 2000 and 2013; В). July 2000 and September 2001; С). July 2013 and September

Сравнение полигонов лесного массива с помощью статистических методов. Каждый полигон тетрады с масштабом 1:625, 1:1250, 1:2500, 1:5000 подвергался обработке с определением дисперсии генеральной совокупности и F-теста на подобие. Проводилось определение статистических характеристик каждого полигона по уровням сегментации (скейлинга). Каждый полигон масштаба 1:625 последовательно сравнивался с полигонами масштаба 1:1250, 1:2500 и исходным полигоном масштаба 1:5000. Далее создавалась матрицы распределения значений дисперсии и F-теста на подобие по уровням скейлинга для каждого года. Определялось, насколько полигоны похожи и различаются с исходным полигоном, между собой в тетраде и с полигонами второго, третьего уровня скейлинга.

Распределение дисперсий и разностей дисперсий по уровням скейлинга. В работах Б.Б. Мандельброта [21,22] рассматривается фрактальная структура организации как самих растений, так и растительных сообществ основанная на принципе самоподобия. Ранее [19] нами было показано, что сегментация на четыре уровня структурной организации (когда исходный полигон с помощью сегментации был разделен на 4, 16, 64, 256 фрагментов) позволяет определить фрактальное самоподобие (скейлинг) – повторение фракталом самого себя на разных масштабных уровнях. Переходы между уровнями самоподобия можно оценить с помощью дисперсии, вернее разности дисперсий разных уровней. Были сформулированы четыре правила перехода между уровнями самоподобия. При определении дисперсий и их разности для сезонных снимков также были определены переходные коэффициенты между уровнями скейлинга для каждого года (табл. 4-7). В настоящей работе была сделана попытка оценить межгодовую изменчивость мультифрактальной структуры с помощью показателей разности и подобия – дисперсии и F-теста.

Таблица 4 – Распределение дисперсий и разностей дисперсий по уровням скейлинга (2000 г., июль)

Первый уровень скейлинга				дисперсия	разность дисперсий	с исходн.	полигон
				126308	18357	107951	1
				84576	-2509	87085	2
				145145	27775	117370	3
				37280	-26157	63437	4
Второй уровень скейлинга		дисперсия	разность дисперсий	с л1	разность дисперсий	с исходн.	
		74698	-25805	100503	18357	82146	1=1
		236913	55303	181610	18357	163254	1=2
		134976	4334	130642	18357	112285	1=3
		46383	-39962	86345	18357	67989	1=4
Третий уровень скейлинга							
дисперсия	разность дисперсий	с л1=1	разность дисперсий	с л1	разность дисперсий	с исходн.	
307373	116338	191036	-25805	216840	18357	198484	1=1-1
93293	9298	83996	-25805	109800	18357	91444	1=1-2
153645	39474	114172	-25805	139976	18357	121620	1=1-3
106321	15812	90509	-25805	116314	18357	97958	1=1-4
175364	-30775	206139	55303	150836	18357	132479	1=2-1
246817	4952	241865	55303	186562	18357	168206	1=2-2
155636	-40639	196275	55303	140972	18357	122615	1=2-3

144881	-46016	190897	55303	135594	18357	117238	1=2-4
74141	-30418	104559	4334	100224	18357	81868	1=3-1
90436	-22270	112706	4334	108372	18357	90015	1=3-2
356381	110703	245679	4334	241344	18357	222988	1=3-3
30506	-52235	82741	4334	78407	18357	60050	1=3-4
153389	53503	99886	-39962	139848	18357	121492	1=4-1
174161	63889	110272	-39962	150234	18357	131878	1=4-2
83002	18310	64692	-39962	104655	18357	86298	1=4-3
173236	63427	109809	-39962	149772	18357	131415	1=4-4

Таблица 5 – Распределение дисперсий и разностей дисперсий по уровням скейлинга (2001 г., сентябрь)

Первый уровень скейлинга				дисперсия	разность дисперсий	с исходн.	полигон
				91851	11904	79946	1
				107516	19737	87779	2
				65002	-1520	66522	3
				104700	18329	86371	4
Второй уровень скейлинга		дисперсия	разность дисперсий	с л1	разность дисперсий	с исходн.	
		45905	-22973	68878	11904	56974	1=1
		141284	24717	116567	11904	104663	1=2
		76081	-7885	83966	11904	72061	1=3
		59883	-15984	75867	11904	63962	1=4
Третий уровень скейлинга							
дисперсия	разность дисперсий	с л1=1	разность дисперсий	с л1	разность дисперсий	с исходн.	
105729	29912	75817	-22973	98790	11904	86886	1=1-1
299986	127041	172946	-22973	195918	11904	184014	1=1-2
206302	80199	126104	-22973	149077	11904	137172	1=1-3
123589	38842	84747	-22973	107720	11904	95815	1=1-4
206792	32754	174038	24717	149321	11904	137417	1=2-1
229911	44313	185597	24717	160881	11904	148976	1=2-2
236002	47359	188643	24717	163927	11904	152022	1=2-3
123907	-8688	132596	24717	107879	11904	95975	1=2-4
106431	15175	91256	-7885	99141	11904	87236	1=3-1
159497	41708	117789	-7885	125674	11904	113770	1=3-2
198907	61413	137494	-7885	145379	11904	133474	1=3-3
222005	72962	149043	-7885	156928	11904	145024	1=3-4
317052	128584	188467	-15984	204451	11904	192547	1=4-1
289959	115038	174921	-15984	190905	11904	179001	1=4-2
215852	77985	137868	-15984	153851	11904	141947	1=4-3
127349	33733	93616	-15984	109600	11904	97696	1=4-4

Таблица 6 – Распределение дисперсий и разностей дисперсий по уровням скейлинга (2013 г. июль)

Первый уровень скейлинга				дисперсия	разность дисперсий	с исходн.	полигон
				89715	8226	81489	1
				145949	36343	109606	2
				142142	34439	107703	3
				63658	-4803	68461	4
Второй уровень скейлинга		дисперсия	разность дисперсий	с л1	разность дисперсий	с исходн.	
		43342	-23187	66528	8226	58303	1=1
		172103	41194	130909	8226	122683	1=2
		146358	28322	118037	8226	109811	1=3
		51585	-19065	70650	8226	62424	1=4
Третий уровень скейлинга							
дисперсия	разность дисперсий	с л 1=1	разность дисперсий	с л 1	разность дисперсий	с исходн.	
109159	32909	76250	-23187	99437	8226	91211	1=1-1
264362	110510	153852	-23187	177039	8226	168813	1=1-2
213325	84992	128334	-23187	151520	8226	143295	1=1-3
94081	25369	68711	-23187	91898	8226	83672	1=1-4
228708	28303	200405	41194	159211	8226	150986	1=2-1
230893	29395	201498	41194	160304	8226	152079	1=2-2
234266	31082	203184	41194	161991	8226	153765	1=2-3
182218	5058	177160	41194	135967	8226	127741	1=2-4
45364	-50497	95861	28322	67539	8226	59314	1=3-1
133713	-6323	140035	28322	111714	8226	103488	1=3-2
291217	72429	218787	28322	190466	8226	182240	1=3-3
168877	11260	157618	28322	129296	8226	121071	1=3-4
170404	59409	110995	-19065	130059	8226	121834	1=4-1
229073	88744	140329	-19065	159394	8226	151168	1=4-2
51924	169	51755	-19065	70819	8226	62594	1=4-3
73239	10827	62412	-19065	81477	8226	73251	1=4-4

Таблица 7 – Распределение дисперсий и разностей дисперсий по уровням скейлинга (2014 год, сентябрь)

Первый уровень скейлинга				дисперсия	разность дисперсий	с исходн.	полигон
				117161	1657	115505	1
				133830	9991	123839	2
				154383	20268	134116	3
				40016	-36916	76932	4
Второй уровень скейлинга		дисперсия	разность дисперсий	с л1	разность дисперсий	с исходн.	
		68041	-24560	92601	1657	90945	1=1

		289524	86182	203343	1657	201686	1=2
		30325	-43418	73743	1657	72087	1=3
		63016	-27073	90089	1657	88432	1=4
дисперсия	разность	с л1=1	разность дисперсий	с л1	разность дисперсий	с исходн.	
63639	-2201	65840	-24560	90400	1657	88744	1=1-1
277034	104497	172538	-24560	197098	1657	195441	1=1-2
145665	38812	106853	-24560	131413	1657	129756	1=1-3
226897	79428	147469	-24560	172029	1657	170372	1=1-4
163812	-62856	226668	86182	140487	1657	138830	1=2-1
215188	-37168	252356	86182	166175	1657	164518	1=2-2
190055	-49735	239790	86182	153608	1657	151952	1=2-3
143485	-73019	216505	86182	130323	1657	128667	1=2-4
117361	43518	73843	-43418	117261	1657	115604	1=3-1
103271	36473	66798	-43418	110216	1657	108560	1=3-2
363204	166439	196764	-43418	240183	1657	238526	1=3-3
271831	120753	151078	-43418	194496	1657	192840	1=3-4
149079	43032	106047	-27073	133120	1657	131464	1=4-1
150567	43776	106791	-27073	133864	1657	132208	1=4-2
106151	21568	84583	-27073	111656	1657	110000	1=4-3
116653	26819	89835	-27073	116907	1657	115251	1=4-4

Распределение дисперсий и разностей дисперсий по годам. Для расчета межгодовой изменчивости показателей разности и подобия полигонов использовались те же матрицы распределения результатов классификации по тетрадам для уровней скейлинга для каждого года (2000, 2001, 2013, 2014 гг.). Но далее проводилось сравнение всех полигонов трех уровней скейлинга с исходными полигонами масштаба 1:5000 по годам: с 2000, 2001, 2013, 2014 гг. с определением F-теста по подобию и дисперсии генеральной совокупности. В результате получилась интересная картина, характеризующая каждый исходный полигон, независимо от уровня скейлинга. В виде постоянного числа – разности между дисперсиями многочленной матрицы из 84-х полигонов и дисперсией исходного полигона, характеризующего его классификацию на десять классов по методу ISODATA. Независимо от дисперсий каждого полигона матрицы, разность между этой дисперсией и дисперсией исходного полигона каждого года составляет постоянную величину. Между дисперсиями 2000 и 2001 года разность равна 10776, между дисперсиями 2013 и 2001 года – 2611, а для 2014-2013 гг. – 20292. Эти числа получаются при неограниченном варьировании дисперсий выбранной матрицы из 84 полигонов для каждого года (табл. 8-11).

Таблица 8 – Распределение дисперсий и разностей дисперсий по годам (с матрицей 2000 года, июль)

полигон/разность дисперсий	2014г.	разность 2014-2013гг.	2013г.	разность 2013-2001гг.	2001г.	разность 2000-2001гг.	2000г.
1	120078	20292	99786	2611	97175	10776	107951
2	99212	20292	78920	2611	76309	10776	87085
3	129496	20292	109204	2611	106593	10776	117370
4	75564	20292	55272	2611	52661	10776	63437

1=1	94273	20292	73981	2611	71370	10776	82146
1=2	175381	20292	155089	2611	152478	10776	163254
1=3	124412	20292	104120	2611	101509	10776	112285
1=4	80115	20292	59823	2611	57212	10776	67989
1=1-1	210611	20292	190319	2611	187708	10776	198484
1=1-2	103571	20292	83279	2611	80668	10776	91444
1=1-3	133747	20292	113455	2611	110844	10776	121620
1=1-4	110084	20292	89792	2611	87181	10776	97958
1=2-1	144606	20292	124314	2611	121703	10776	132479
1=2-2	180332	20292	160040	2611	157429	10776	168206
1=2-3	134742	20292	114450	2611	111839	10776	122615
1=2-4	129364	20292	109072	2611	106461	10776	117238
1=3-1	93995	20292	73703	2611	71092	10776	81868
1=3-2	102142	20292	81850	2611	79239	10776	90015
1=3-3	235115	20292	214823	2611	212212	10776	222988
1=3-4	72177	20292	51885	2611	49274	10776	60050
1=4-1	133619	20292	113327	2611	110716	10776	121492
1=4-2	144004	20292	123712	2611	121101	10776	131878
1=4-3	98425	20292	78133	2611	75522	10776	86298
1=4-4	143542	20292	123250	2611	120639	10776	131415

Таблица 9 – Распределение дисперсий и разностей дисперсий по годам (с матрицей 2001 года, сентябрь)

полигон /разность дисперсий	2014г.	разность 2014-2013гг.	2013г.	разность 2013-2001гг.	2000г.	разность 2000-2001гг.	2001г.
1	102849	20292	82557	2611	90723	10776	79946
2	110682	20292	90390	2611	98555	10776	87779
3	89425	20292	69133	2611	77298	10776	66522
4	109274	20292	88982	2611	97147	10776	86371
1=1	79877	20292	59584	2611	67750	10776	56974
1=2	127566	20292	107274	2611	115439	10776	104663
1=3	94964	20292	74672	2611	82838	10776	72061
1=4	86865	20292	66573	2611	74739	10776	63962
1=1-1	109789	20292	89496	2611	97662	10776	86886
1=1-2	206917	20292	186625	2611	194790	10776	184014
1=1-3	160075	20292	139783	2611	147948	10776	137172
1=1-4	118718	20292	98426	2611	106591	10776	95815
1=2-1	160320	20292	140028	2611	148193	10776	137417
1=2-2	171879	20292	151587	2611	159753	10776	148976
1=2-3	174925	20292	154633	2611	162798	10776	152022
1=2-4	118878	20292	98586	2611	106751	10776	95975
1=3-1	110139	20292	89847	2611	98013	10776	87236
1=3-2	136673	20292	116380	2611	124546	10776	113770

1=3-3	156377	20292	136085	2611	144251	10776	133474
1=3-4	167927	20292	147634	2611	155800	10776	145024
1=4-1	215450	20292	195158	2611	203323	10776	192547
1=4-2	201904	20292	181611	2611	189777	10776	179001
1=4-3	164850	20292	144558	2611	152723	10776	141947
1=4-4	120599	20292	100306	2611	108472	10776	97696

Таблица 10 – Распределение дисперсий и разностей дисперсий по годам (с матрицей 2013 года, июль)

полигон /разность дисперсий	2001г.	разность 2000-2001гг.	2000г.	разность 2013-2001гг.	2014г.	разность 2014-2013гг.	2013 г.
1	78879	10776	89655	2611	101782	20292	81489
2	106996	10776	117772	2611	129899	20292	109606
3	105092	10776	115868	2611	127995	20292	107703
4	65850	10776	76626	2611	88753	20292	68461
1=1	55692	10776	66468	2611	78595	20292	58303
1=2	120072	10776	130849	2611	142975	20292	122683
1=3	107200	10776	117976	2611	130103	20292	109811
1=4	59814	10776	70590	2611	82717	20292	62424
1=1-1	88601	10776	99377	2611	111504	20292	91211
1=1-2	166202	10776	176978	2611	189105	20292	168813
1=1-3	140684	10776	151460	2611	163587	20292	143295
1=1-4	81061	10776	91838	2611	103964	20292	83672
1=2-1	148375	10776	159151	2611	171278	20292	150986
1=2-2	149468	10776	160244	2611	172371	20292	152079
1=2-3	151154	10776	161930	2611	174057	20292	153765
1=2-4	125130	10776	135906	2611	148033	20292	127741
1=3-1	56703	10776	67479	2611	79606	20292	59314
1=3-2	100877	10776	111654	2611	123780	20292	103488
1=3-3	179629	10776	190406	2611	202532	20292	182240
1=3-4	118460	10776	129236	2611	141363	20292	121071
1=4-1	119223	10776	129999	2611	142126	20292	121834
1=4-2	148557	10776	159334	2611	171460	20292	151168
1=4-3	59983	10776	70759	2611	82886	20292	62594
1=4-4	70641	10776	81417	2611	93544	20292	73251

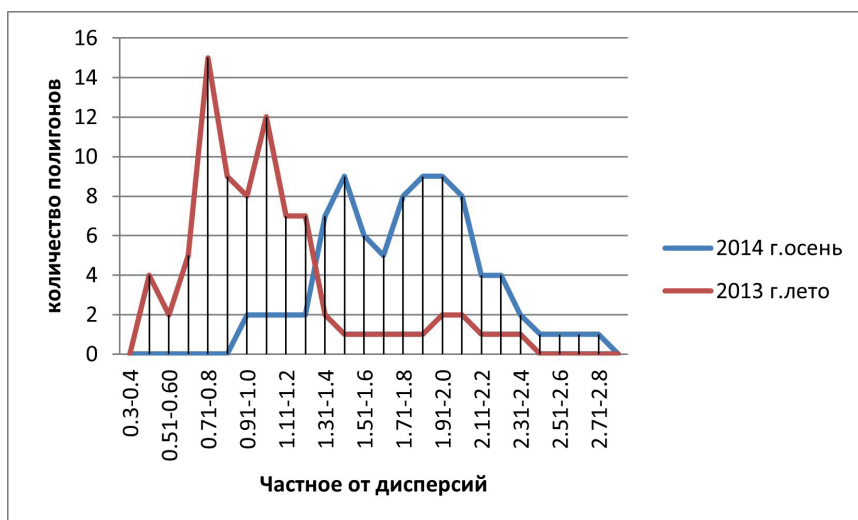
Таблица 11 – Распределение дисперсий и разностей дисперсий по годам (с матрицей 2014 года, сентябрь)

полигон /разность дисперсий	2000 г.	разность 2000-2001 гг.	2001 г.	разность 2013-2001гг.	2013 г.	разность 2014-2013гг.	2014 г.
1	103378	10776	92602	2611	95212	20292	115505
2	111712	10776	100936	2611	103547	20292	123839
3	121989	10776	111213	2611	113823	20292	134116
4	64805	10776	54029	2611	56640	20292	76932

1=1	78818	10776	68042	2611	70652	20292	90945
1=2	189559	10776	178783	2611	181394	20292	201686
1=3	59960	10776	49184	2611	51794	20292	72087
1=4	76305	10776	65529	2611	68140	20292	88432
1=1-1	76617	10776	65841	2611	68451	20292	88744
1=1-2	183314	10776	172538	2611	175149	20292	195441
1=1-3	117630	10776	106853	2611	109464	20292	129756
1=1-4	158246	10776	147469	2611	150080	20292	170372
1=2-1	126703	10776	115927	2611	118538	20292	138830
1=2-2	152391	10776	141615	2611	144226	20292	164518
1=2-3	139825	10776	129049	2611	131659	20292	151952
1=2-4	116540	10776	105764	2611	108375	20292	128667
1=3-1	103478	10776	92701	2611	95312	20292	115604
1=3-2	96433	10776	85657	2611	88267	20292	108560
1=3-3	226399	10776	215623	2611	218234	20292	238526
1=3-4	180713	10776	169937	2611	172547	20292	192840
1=4-1	119337	10776	108561	2611	111171	20292	131464
1=4-2	120081	10776	109305	2611	111915	20292	132208
1=4-3	97873	10776	87097	2611	89707	20292	110000
1=4-4	103124	10776	92348	2611	94959	20292	115251

Ранее [23], нами для сравнения результатов определения дисперсий разного уровня скейлинга использовалось частное от деления каждой из дисперсий матрицы с дисперсией исходного полигона. В результате получились кривые распределения частных от деления дисперсий по годам. Сравнение пар лето-осень показало, что кривая распределения значений частных от дисперсий летних смещена влево относительно осенней кривой- в сторону меньших значений дисперсий (Рис. 5 А, В). Это говорит о том, что значения дисперсий летних снимков меньше осенних для всех уровней скейлинга. Смещение влево по шкале для пары лето-осень 2013-2014 гг. больше, чем для пары лето-осень 2000-2001 гг. Значит, у первой пары дисперсии полигонов летних снимков более чем вдвое меньше дисперсий этих же полигонов осенних снимков.

А



В

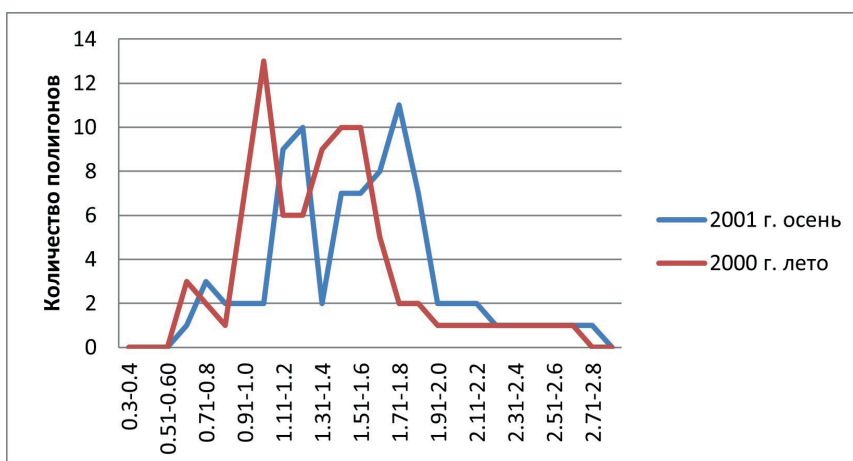


Рис. 5. Кривые распределения значений частного от деления дисперсий по годам (по 84 полигонам).

А). В паре 2013 – 2014 гг. В). В паре 2000-2001 гг

Fig. 5. Distribution curves of quotient of variance values by year (over 84 polygons).

А). In pairs 2013 – 2014; В). In pairs 2000-2001

Взаимосвязь между показателями разности и подобия – между дисперсией и F-тестом (тестом Фишера).

При расчетах статистических показателей разности и подобия (дисперсии и F-теста) необходимо было определить, какая существует взаимозависимость этих показателей на всех уровнях скейлинга. Дисперсия изменялась в широких пределах, тогда как диапазон изменений F-теста был от 0 до 1: от полного подобия при значениях близких к 1, до максимального различия анализируемых пар полигонов при значениях близких к 0.

Было установлено, что для значений дисперсии и F- теста существует обратная зависимость: чем больше значения теста на подобие, тем меньше значения дисперсии. Вернее, разности дисперсий – дисперсии результата классификации полигона и дисперсии между двумя классификациями полигонов матрицы (теми же, для которых определялся F-тест). Причем, разности дисперсий могут иметь как положительные, так и отрицательные значения. Имеет значение абсолютная величина разности дисперсий. То есть, при разности дисперсий + 8000 и – 8000 значение F-теста на подобие будет 0.8. В случае классификации на 10 классов разброс значений F- теста и разности дисперсий выглядит следующим образом (табл. 12):

Таблица 12 – Взаимосвязь между показателями разности и подобия – между дисперсией и F-тестом

значения F-теста	диапазон значений разности дисперсий
0.9- 0.999	0-5000
0.8-0.899	4000-12000
0.7- 0.799	6000-20000
0.6- 0.699	12000-27000
0.5- 0.599	15000-40000
0.4- 0.499	20000-50000
0.3-0.399	30000-70000
0.2- 0.299	50000-80000
0.1-0.199	60000-100000
>0,1	80000-270000

Графически, подобная зависимость выглядит следующим образом (рис. 6):

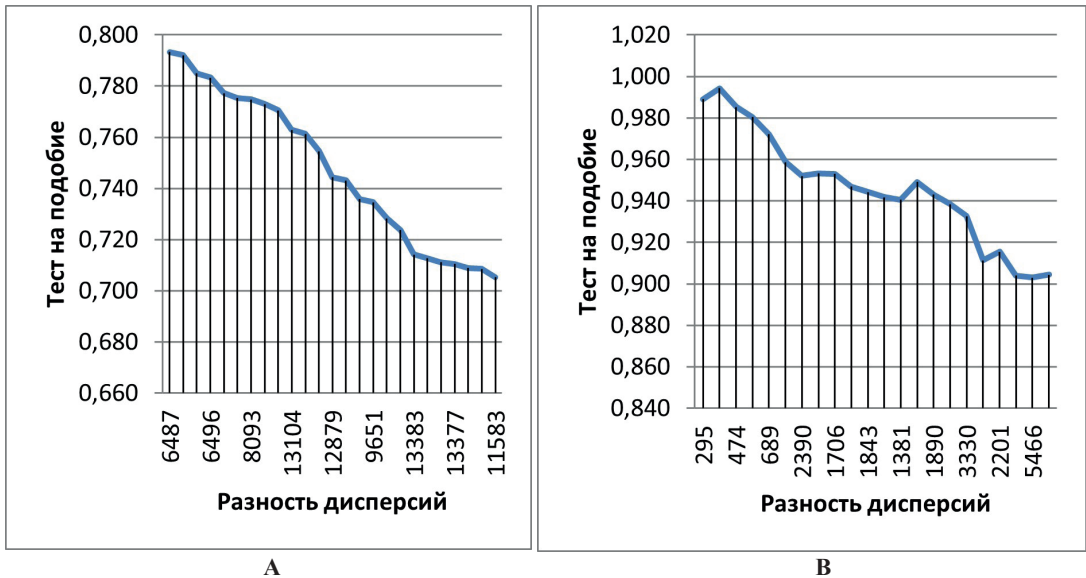


Рис. 6. Зависимость между значениями F-теста и разностью дисперсий:
А). Для значений F-теста 0.7- 0.799; В). Для значений F-теста 0.9- 0.999

Fig. 6. Relationship between F-test values and the difference in variances:
A). For F-test values 0.7-0.799; B). For F-test values 0.9-0.999

Заключение

В результате проведенных исследований сезонных изменений лиственных массивов на снимках Landsat были сделаны следующие выводы:

1. По разности значений индексов лесистости летних и осенних снимков можно оценить долю лиственницы в смешанных древостоях. Чем больше разность между индексами лесистости полигонов на летних (июль) и осенних (сентябрь) снимках, тем больше доля лиственницы в смешанных древостоях.

Летом разность между количеством пикселей с низкими значениями спектральной яркости и пикселями с высокой спектральной яркостью минимальна. Осенью увеличивается разность между количеством пикселей с низкой спектральной яркостью и высокой спектральной яркостью. Прирост количества пикселей пустой на осенних снимках связан с хвоепадом в лиственных лесах в сентябре. Подобная картина сохраняется при анализе снимков Landsat-7(пара 2000-лето, 2001-осень) и Landsat-8(пара 2013-лето, 2014-осень).

2. Кривые распределения значений индексов лесистости для третьего уровня скейлинга (64 полигона) показывают, что они близки к нормальному (Гауссову), но наблюдается смещение влево по шкале значений (в сторону уменьшения) осенних снимков относительно летних. В то время как кривые распределения индексов лесистости летних снимков практически совпадают.

3. Проведены расчеты статистических показателей разности и подобия полигонов – дисперсии генеральной совокупности и F- теста на подобие всех весенних и летних полигонов. Были определены переходные коэффициенты для всех трех уровней скейлинга выбранного фрагмента лесного массива для каждого года.

4. Сделаны расчеты межгодовых переходных коэффициентов между фрагментами снимков 2000, 2001, 2013 и 2014 гг. Показано, что независимо от значений дисперсий в пределах годовой матрицы каждого года (84 полигона), межгодовые переходные коэффициенты имеют постоянные значения. Между дисперсиями 2000 и 2001 года разность равна 10776, между дисперсиями 2013 и 2001 года – 2611, а для 2014-2013 гг. – 20292.

5. Кривые распределения частных от деления дисперсий для осенних и летних снимков показали смещение влево летних кривых относительно осенних. Что говорит о том, что дисперсия результатов классификации на 10 классов у полигонов летних снимков меньше, чем у тех же полигонов осенью.

6. Установлена взаимозависимость между показателями разности и подобия полигонов – между дисперсией генеральной совокупности и F-тестом на подобие. Определено, что для значений дисперсии и F-теста существует обратная зависимость: чем больше значения теста на подобие, тем меньше значения дисперсии.

Литература

1. Жирин, В.М. Эколого-динамическое исследование лесообразовательного процесса по космическим снимкам / В.М. Жирин, С.В. Князева, С.П. Эйлина. – Текст: непосредственный // Лесоведение. – 2013. – № 5. – С. 76-85.
2. Жирин, В.М. Динамика спектральной яркости породно-возрастной структуры групп типов леса на космических снимках LANDSAT / В.М. Жирин, С.В. Князева, С.П. Эйлина. – Текст: непосредственный // Лесоведение. – 2014. – № 5. – С. 3-12.
3. Василевич, М.И. Применение спутниковых методов исследований в мониторинге состояния лесных фитоценозов в зоне выбросов промышленного предприятия / М.И. Василевич, В.В. Елсаков, В.М. Щанов. – Текст: непосредственный // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – Т. 11. – № 1. – С. 30-42.
4. Токарева, О.С. Оценка динамики состояния растений-биоиндикаторов атмосферного загрязнения на основе данных дистанционного зондирования / О.С. Токарева, И.В. Касьянов. – Текст: непосредственный // Вестник науки Сибири. – 2011. – № 1 (1). – С. 268-272.
5. Крылов, А.М. Дистанционный мониторинг состояния лесов по данным космической съемки / А.М. Крылов, Н.А. Владимирова. – Текст: непосредственный // Геоматика. – 2011. – № 3. – С. 53-57.
6. Маркс, А. Мониторинг лесов с помощью группировки спутников Rapid Eye / А. Маркс. – Текст: непосредственный // Геоматика. – 2011. – № 3. – С. 58-66.
7. Ялдыгина, Н.Б. Использование программного комплекса ENVI для решения задач лесного хозяйства / Н.Б. Ялдыгина. – Текст: непосредственный // Геоматика. – 2011. – № 3. – С. 34-39.
8. Лабутина, И.А. Практикум по курсу «Дешифрирование аэрокосмических снимков» / И.А. Лабутина, Е.А. Балдина. – Текст: непосредственный : Учебное пособие. – М.: Географический факультет МГУ, 2013 – 168 с.
9. Плотников, Д.Е. Выделение сезонно-однородных областей на основе анализа временных серий спутниковых изображений / Д.Е. Плотников, П.А. Колбудаев, С.А. Барталёв. – Текст: непосредственный // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 3. – С. 447-456. – DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-3-447-456.
10. Лашинский, Н.Н. Оценка структуры растительного покрова и его антропогенной трансформации на основе обработки космоснимков QUICKBIRD (Новосибирский Академгородок) / Н.Н. Лашинский, И.Д. Зольников, Н.В. Глушкова // Исследование Земли из космоса. – 2013. – № 1. – С. 71-78. – Текст: непосредственный.
11. Князева, С.В. Методические подходы к оценке характеристик лесов по данным спутниковой съемки сверхвысокого пространственного разрешения в оптическом диапазоне / С.В. Князева, А.Д. Никитина, Е.И. Белова и др. – Текст: непосредственный // Лесоведение. – 2021. – № 6. – С. 645-672.
12. Hossain M.D., Chen D. Segmentation for Object-Based Image Analysis (OBIA): A review of algorithms and challenges from remote sensing perspective // ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing. 2019. V.150. P. 115–134.
13. Fu G., Zhao H., Li C., Shi L. Segmentation for High-Resolution Optical Remote Sensing Imagery Using Improved Quadtree and Region Adjacency Graph Technique // Remote Sens. 2013. No. 5. P. 3259–3279. doi:10.3390/rs5073259. URL: www.mdpi.com/2072-4292/5/7/3259/pdf

14. Иванов, Е.С. Некоторые приложения сегментации снимков ДЗЗ / Е.С. Иванов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13. – № 1. – С. 105-116. – Текст: непосредственный.
15. Бутусов, О.Б. Мультифрактальная сегментация ландшафтов на космическом изображении / О.Б. Бутусов, Н.И. Редикульцева, О.П. Никифорова. – Текст: непосредственный // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 12 (66). Часть 2. – С. 196-203 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.66.216>
16. Макаренко, Н.Г. Мультифрактальная сегментация данных дистанционного зондирования / Н.Г. Макаренко, О.А. Круглун, И.Н. Макаренко [и др.]. – Текст: непосредственный // Исследование Земли из космоса. – 2008. – № 3. – С. 18-26.
17. Шовенгердт, Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р.А. Шовенгердт. – Москва: Техносфера, 2010. – 560 с. – Текст: непосредственный.
18. Шумаков, Ф.Т. Классификация космических снимков с использованием методов кластерного анализа / Ф.Т. Шумаков, В.А. Толстохатко, А.Ю. Малец // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. Вып. 3/4 (51). – С. 58-62. – Текст: непосредственный.
19. Рожков, Ю.Ф. Сравнительная характеристика лесных массивов с использованием сегментации и кластерного анализа снимков Landsat / Ю.Ф. Рожков. – Текст: непосредственный // Вестник СВФУ. Серия Науки о Земле. – 2021. – № 4 (24). – С. 33-43.
20. Исаев, А.С. Использование спутниковых данных для мониторинга биоразнообразия лесов / А.С. Исаев, С.В. Князева, М.Ю. Пузаченко [и др.]. – Текст: непосредственный // Исследование Земли из космоса. – 2009. – № 2. – С. 1-12.
21. Мандельброт, Б.Б. Фрактальная геометрия природы / Б.Б. Мандельброт. – Москва: Институт компьютерных исследований. – 2002. – 656 с. – Текст: непосредственный.
22. Mandelbrot, B.B. The fractal geometry of trees and other natural phenomena/ B.B. Mandelbrot // Buffon Bicentenary Symposium on Geometrical Probability, ed. R.Miles & J.Serra. Lecture Notes in Biomathematics.- 1978. V.23.- P. 235-249.
23. Рожков, Ю.Ф. Оценка процесса восстановления лесов после пожара с использованием сегментации и кластерного анализа снимков Landsat / Ю.Ф. Рожков, М.Ю. Кондакова. – Текст: непосредственный // Вестник СВФУ. Серия Науки о Земле. – 2023. – № 2 (30). – С. 72-87.

References

1. Zhirin, V.M. Ekologo-dinamicheskoe issledovanie lesoobrazovatel'nogo processa po kosmicheskim snimkam/ V.M. Zhirin, S. V. Knyazeva, S. P. Ejdlina.- Tekst: neposredstvennyj // Lesovedenie, 2013, No 5, P. 76-85.
2. Zhirin, V.M. Dinamika spektral'noj yarkosti porodno-vozrastnoj struktury grupp tipov lesa na kosmicheskikh snimkah Landsat/ V.M. Zhirin, S. V. Knyazeva, S. P. Ejdlina. – Tekst: neposredstvennyj // Lesovedenie, 2014, No 5, P. 3-12
3. Vasilevich, M.I. Primenenie sputnikovyh metodov issledovaniy v monitoringe sostoyaniya lesnyh fitocenozov v zone vybrosov promyshlennogo predpriyatiya/ M.I. Vasilevich, V.V. Elsakov, V.M. Shchanov. – Tekst: neposredstvennyj // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa .- 2014.- Vol.11, No 1.-P. 30-42.
4. Tokareva, O.S. Ocenka dinamiki sostoyaniya rastenij- bioindikatorov atmosfernogo zagryazneniya na osnove dannyh distancionnogo zondirovaniya / O.S. Tokareva , I.V. Kas'yanov.- Tekst: neposredstvennyj // Vestnik nauki Sibiri. 2011. No 1 (1), P. 268-272
5. Krylov, A.M. Distancionnyj monitoring sostoyaniya lesov po dannym kosmicheskoy s»emki/ A.M. Krylov, N.A. Vladimirova.- Tekst: neposredstvennyj // Geomatika .- 2011, No 3,- P. 53-57
6. Marks, A. Monitoring lesov s pomoshch'yu gruppirovki sputnikov Rapid Eye / A. Marks.- Tekst: neposredstvennyj // Geomatika .- 2011, No 3.- P. 58-66

7. Yaldygina, N.B. Ispol'zovanie programmnoho kompleksa ENVI dlya resheniya zadach lesnogo hozyajstva / N.B. Yaldygina.- Tekst : neposredstvennyj // Geomatika .- 2011, No 3.- P. 34-39
8. Labutina, I.A. Praktikum po kursu «Deshifirovanie aerokosmicheskikh snimkov»/ I.A. Labutina, E.A. Baldina .- Tekst: neposredstvennyj : Uchebnoe posobie. – M.: Geograficheskij fakul'tet MGU.- 2013, 168 p.
9. Plotnikov, D.E. Vydelenie sezonno-odnorodnykh oblastej na osnove analiza vremennykh serij sputnikovyx izobrazhenij / D.E. Plotnikov, P.A. Kolbudaev, S.A. Bartalyov.- Tekst: neposredstvennyj // Komp'yuternaya optika. – 2018. – Vol. 42, No 3. – P. 447-456. – DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-3-447-456.
10. Lashchinskij, N. N. Ocenka struktury rastitel'nogo pokrova i ego antropogennoj transformacii na osnove obrabotki kosmosnimkov Quickbird (Novosibirskij Akademgorodok) / N. N. Lashchinskij, I. D. Zol'nikov, N. V. Glushkova // Issledovanie Zemli iz kosmosa.- 2013.- No 1.- P. 71–78.-Tekst : neposredstvennyj.
11. Knyazeva, S. V. Metodicheskie podhody k ocenke harakteristik lesov po dannym sputnikovoj s»emki sverhvyssokogo prostranstvennogo razresheniya v opticheskom diapazone / S. V. Knyazeva, A. D. Nikitina, E. I. Belova, A. S. Plotnikova, E. S. Podol'skaya, K. A. Kovganko.-Tekst: neposredstvennyj // Lesovedenie.- 2021.- No 6.- P. 645–672.
12. Hossain M.D., Chen D. Segmentation for Object-Based Image Analysis (OBIA): A review of algorithms and challenges from remote sensing perspective // ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing. 2019. V.150. P. 115–134.
13. Fu G., Zhao H., Li C., Shi L. Segmentation for High-Resolution Optical Remote Sensing Imagery Using Improved Quadtree and Region Adjacency Graph Technique // Remote Sens. 2013. No. 5. P. 3259–3279. doi:10.3390/rs5073259. URL: www.mdpi.com/2072-4292/5/7/3259/pdf
14. Ivanov, E.S. Nekotorye prilozheniya segmentacii snimkov Dzz / E.S. Ivanov // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.-2016. Vol. 13.No 1.- S. 105–116.- Tekst: neposredstvennyj.
15. Butusov, O.B. Mul'tifraktal'naya segmentaciya landshaftov na kosmicheskom izobrazhenii / O.B.Butusov, N.I.Redikul'ceva, O.P. Nikiforova.- Tekst: neposredstvennyj // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal.- 2017.-No 12 (66). Part 2.- P. 196-203 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.66.216>
16. Makarenko, N. G. Mul'tifraktal'naya segmentaciya dannyh distancionnogo zondirovaniya / N.G.Makarenko, O. A. Kruglun, I. N. Makarenko [i dr.].- Tekst: neposredstvennyj // Issledovanie Zemli iz kosmosa .-2008.- No 3.- P. 18–26
17. Shovengerdt, R.A. Distancionnoe zondirovanie. Modeli i metody obrabotki izobrazhenij / R.A. Shovengerdt. – Moskva: Tekhnosfera, 2010.- 560 p.- Tekst: neposredstvennyj.
18. Shumakov, F.T. Klassifikaciya kosmicheskikh snimkov s ispol'zovaniem metodov klasternogo analiza / F.T. Shumakov, V.A. Tolstohat'ko, A.Yu. Malec // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovykh tekhnologij.- 2011. No. 3/4 (51).- P. 58-62.- Tekst: neposredstvennyj.
19. Rozhkov, Yu.F. Sravnitel'naya harakteristika lesnyh massivov s ispol'zovaniem segmentacii i klasternogo analiza snimkov Landsat / YU.F. Rozhkov.- Tekst: neposredstvennyj //Vestnik SVFU. Seriya Nauki o Zemle.-2021 .No 4 (24) .- P. 33-43.
20. Isaev, A.S. Ispol'zovanie sputnikovyx dannyh dlya monitoringa bioraznobraziya lesov / A.S.Isaev, S.V. Knyazeva, M.Yu. Puzachenko [i dr.] .- Tekst: neposredstvennyj // Issledovanie Zemli iz kosmosa.- 2009. No 2.- P. 1-12.
- 21.Mandel'brot, B.B. Fraktal'naya geometriya prirody/ B.B.Mandel'brot.- Moskva: Institut komp'yuternyx issledovanij. -2002.- 656 p.- Tekst: neposredstvennyj.
22. Mandelbrot, B.B. The fractal geometry of trees and other natural phenomena/ B.B. Mandelbrot // Buffon Bicentenary Symposium on Geometrical Probability, ed. R.Miles & J.Serra. Lecture Notes in Biomathematics.- 1978. V.23.- P. 235-249.
23. Rozhkov, Yu.F. Ocenka processa vosstanovleniya lesov posle pozhara s ispol'zovaniem segmentacii i klasternogo analiza snimkov Landsat / YU.F. Rozhkov, M.Yu. Kondakova.- Tekst: neposredstvennyj //Vestnik SVFU. Seriya Nauki o Zemle.-2023 .No 2 (30) .- P. 72-87.

Сведения об авторах

РОЖКОВ Юрий Филиппович, кандидат химических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУ «Государственный природный заповедник «Олекминский», e-mail: olekmazap-nauka@yandex.ru

ROZHKOV Yuriy Filippovich – Candidate of Chemical Sciences, Deputy Director for Scientific Research, e-mail: olekmazap-nauka@yandex.ru

КОНДАКОВА Мария Юрьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Гидрохимический институт», e-mail: vesna-dm@mail.ru

KONDAKOVA Maria Yuryevna – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Hydrochemical Institute, e-mail: vesna-dm@mail.ru

*Н.И. Тананаев^{1,2}, М.А. Тимофеев¹*¹ СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия² Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия

e-mail: tanni@s-vfu.ru

e-mail: m.a.timofeev@s-vfu.ru

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕАНАЛИЗА GHCN-CAMS В РАСЧЕТАХ ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Аннотация. В данной работе выполнена оценка точности воспроизведения реанализом GHCN-CAMS внутригодового распределения температуры воздуха для исторического (1961-1990 гг.) и актуального (1991-2020 гг.) климатических периодов, в масштабе климатических норм сезонов и отдельных месяцев. Использованы данные по 86 метеостанциям на территории РС (Я), по которым имелись климатические ряды в обоих временных периодах. Проведено сравнение климатических норм метеостанций с данными реанализа GHCN-CAMS в соответствующих пикселях, а также их изменение между периодами. В качестве метрик схожести рассчитаны корень среднеквадратичной ошибки, коэффициент корреляции Пирсона и коэффициент конкордации Лина. Показано, что определённые для метеостанций и рассчитанные в модели реанализа GHCN-CAMS климатические нормы тесно связаны линейно, с коэффициентом корреляции больше 0.9; наибольшая точность отмечена для весенних месяцев. В то же время изменение климатических норм месяцев и сезонов между периодами реанализ воспроизводит значительно хуже, лучше остальных – для осени и зимы. Обобщены сведения о среднесезонной температуре воздуха на территории РС (Я) по данным реанализа GHCN-CAMS. В целом, модель GHCN-CAMS допустимо использовать для приложений, где требуется внутригодовое распределение температуры воздуха.

Ключевые слова: климат Арктики, Республика Саха (Якутия), климатический реанализ, GHCN-CAMS, среднемесячная температура воздуха, среднесезонная температура воздуха, региональный климат, материалы метеонаблюдений

*N.I. Tananaev^{1,2}, M.A. Timofeyev¹*¹ M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia² Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

e-mail: tanni@s-vfu.ru

e-mail: m.a.timofeev@s-vfu.ru

ESTIMATION OF THE ACCURACY OF GHCN-CAMS REANALYSIS IN CALCULATIONS OF THE INTRA-ANNUAL DISTRIBUTION OF AIR TEMPERATURE IN THE TERRITORY OF THE SAKHA REPUBLIC (YAKUTIA)

Abstract. The accuracy of GHCN-CAMS reanalysis reproduction of the intra-annual air temperature distribution was assessed for the historical (1961-1990) and current (1991-2020) climatic periods, on the scale of climatic norms of seasons and individual months. Data on 86 meteorological stations on the territory of the Sakha Republic (Yakutia), for which climatic series in both time periods were available, were used. The climatic norms of meteorological stations for both periods, as well as their change between periods, were compared with the GHCN-CAMS reanalysis data in corresponding pixels. The root mean square error, Pearson correlation coefficient, and Lin's concordance coefficient were calculated as similarity metrics. Climatic norms for meteorological stations and calculated in the GHCN-CAMS reanalysis model are closely related linearly, with a correlation coefficient above 0.9, and the highest accuracy is observed for spring months. At the same time, the quality of reanalysis reconstruction of change in climatic norms for months and seasons between periods is significantly lower; the best

reanalysis accuracy is for fall and winter, and significantly lower for summer. In general, the GHCN-CAMS model can be used for calculation and forecasting applications that require intra-annual air temperature distribution.

Keywords: Arctic climate, Sakha Republic (Yakutia), climate reanalysis, GHCN-CAMS, mean monthly air temperature, mean seasonal air temperature, regional climate, meteorological observations

Введение

Климатический реанализ позволяет создавать сплошные растровые покрытия значений климатических характеристик, ассимилируя данные метеостанций с поправками на рельеф [1], или дополнительно применяя методы краткосрочного прогноза погоды [2]. Использование данных реанализа позволяет более точно рассчитывать и картировать климатические характеристики, количественно оценивать их современные и прогнозные изменения [3], а также моделировать климатообусловленные процессы, например, избыточную смертность, обусловленную волнами жары [4]. Точность разных моделей реанализа может отличаться в зависимости от плотности и репрезентативности наблюдательной сети, точности топографических поправок, используемых методов ассимиляции данных наблюдений, моделей прогноза погоды.

В Арктическом регионе, как показывают ранее выполненные исследования, среднесезонные аномалии температуры воздуха в XX в. реалистично воспроизводит семейство реанализов Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды, ERA20C и CERA20C, отличия между которыми сводятся к набору ассимилируемых данных и учёту взаимодействия атмосферы и океана [5]. Во все сезоны года, кроме осени, модель CERA20C показывает наилучшее соответствие данным массива GISTEMP. Другие модели этого семейства, ERA-Interim и ERA5, также демонстрируют хорошую согласованность, с ошибками в пределах 0.5°C , с данными береговых метеостанций Арктического побережья России [6]. Сходные результаты получены для севера Скандинавии (период с 1979 по 2013 г.), где ERA-Interim и MERRA имели наиболее высокую корреляцию с данными наблюдений, при этом занижая среднегодовую температуру воздуха на $0.18\text{--}0.22^{\circ}\text{C}$ [7]. Использование более детального арктического реанализа CARRA позволила повысить согласованность со станционными наблюдениями [8], однако его пространственное покрытие ограничено Гренландией (CARRA-West), севером Скандинавии, Кольского полуострова и западного сектора Северного Ледовитого океана (CARRA-East). Проводилось сравнение реанализов с данными метеостанций и для территории Республики Саха (Якутия) [9]. Приземные среднегодовые, сезонные и месячные температуры воздуха по пяти метеостанциям региона сопоставлялись с данными реанализов NCEP/NCAR и ERA-Interim за период 1979–2012 гг., и вновь модель семейства ERA показала наибольшую точность.

В отношении среднегодовой температуры воздуха ранее было показано, что для территории Якутии оптимальной по точности можно считать модель реанализа GHCN-CAMS [3], её предпочтительно использовать для описания современного климата и его исторической динамики. Тем не менее, решение многих задач предполагает использование климатических норм среднемесячных и среднесезонных температур воздуха. Так, в работе [10] предлагается методика прогноза площадей пожаров на территории Якутии, основанная на среднемесячных температурах воздуха (СМТВ). В связи с этим основная цель данной работы – оценка точности воспроизведения внутригодового распределения температуры воздуха моделью реанализа GHCN-CAMS.

Материалы и методы

В работе использованы данные модели реанализа GHCN-CAMS, объединяющего крупные массивы данных Глобальной сети исторической климатологии (Global Historical Climatology Network, GHCN) и Системы мониторинга климатических аномалий (Climate Anomaly Monitoring System, CAMS). GHCN-CAMS – набор данных, включающий значения среднемесячной температуры воздуха на высоте 2 м над поверхностью суши за период с 1948 по 2023 г. на регулярной сетке разрешением $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ [1]. Массив данных GHCN-CAMS в формате NetCDF получен

с сайта Лаборатории физических наук Национального управления океанических и атмосферных исследований (Боулдер, Калифорния, США), по адресу: <https://psl.noaa.gov>. Объединенный массив включает данные по 82 метеостанциям на территории РС (Я), в том числе на настоящий момент не действующим. По аналогии с ранее выполненной работой [3], точность модели оценивалась для исторического (1961-1990 гг.) и актуального (1991-2020 гг.) климатических периодов, а также для изменения средних температур между этими периодами.

Данные наблюдений получены для 86 метеостанций, расположенных на территории Республики Саха (Якутия), из различных источников: с официального сайта Росгидромета, раздел «Климатические нормы» [11]; из базы данных ВНИИГМИ-МЦД, доступной в системе АИСОРИ [12]; из находящейся в открытом доступе базы данных «Погода и климат» [13]. В работе использованы ряды данных без длительных пропусков в период с 1960 по 2020 гг.

Данные реанализа GHCN-CAMS обрабатывались в среде RStudio IDE [14], интегрированной среде разработки для языка программирования R [15], с помощью набора авторских скриптов, разработанных в Лаборатории по изучению климата и экосистем северных регионов ИЕН СВФУ. Скрипты позволяют конвертировать данные формата NetCDF в табличный формат, осреднять значения температуры воздуха по требуемым временным интервалам, при необходимости пересчитывать в регулярную сетку, и растеризовать полученный результат в формат GeoTIFF. В обработке использованы пакеты **‘dplyr’**, **‘tidync’**, **‘ncmeta’** и **‘raster’**. В результате для каждого сезона и месяца года построены по три растровых набора данных, содержащих сведения о средней температуре за периоды 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг., а также о разнице ΔT , °C, между этими периодами.

Данные метеостанций с известными координатами были преобразованы в точечный shp-файл, затем в ГИС-оболочке QGIS 3.22 [16], используя инструмент-плагин Point Sampling Tool версии 0.5.3, с растровых полей реанализа снимались значения среднемесячной и среднесезонной температуры воздуха за требуемый интервал времени в каждой точке, соответствующей метеостанции, и экспортировались в текстовый файл для дальнейшего анализа. Среднесезонные температуры рассчитывались для стандартных климатических сезонов: зима (DJF, декабрь-январь-февраль), весна (MAM, март-апрель-май), лето (JJA, июнь-июль-август), осень (SON, сентябрь-октябрь-ноябрь), для расчёта среднезимних температур использовались данные за декабрь года, предшествующего расчетному.

Оценка точности реанализов проводилась с использованием следующих метрик: (1) *RMSE*, корень среднеквадратичной ошибки; (2) *r*, коэффициент линейной корреляции Пирсона; (3) *CCC*, коэффициент конкордации Лина. В расчете использовались функции, входящие в библиотеки **‘Metrics’** [17], **‘stats’** [15], **‘DescTools’** [18]. Коэффициент линейной корреляции (Пирсона) характеризует линейность регрессионной связи двух характеристик, безотносительно её угла наклона. Степень разброса точек относительно биссектрисы определяет коэффициент конкордации Лина, а абсолютный разброс относительно линии регрессии – корень среднеквадратической ошибки, *RMSE*.

Результаты и обсуждение

Источники данных наблюдений. На территории РС (Я) в настоящее время в структуре Якутского УГМС Росгидромета действует 99 метеостанций, однако не по всем из них данные о приземной температуре воздуха находятся в открытом доступе. Климатические нормы СМТВ за периоды 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг. опубликованы на сайте Росгидромета [11] и в научно-прикладном справочнике «Климат России» ВНИИГМИ-МЦД [19]. В пределах РС (Я) действуют 42 метеостанции, для которых климатические нормы доступны для обоих периодов.

Помимо этого, сравнительно полные данные о СМТВ доступны в массиве данных «Температура воздуха (месячные данные)» ВНИИГМИ-МЦД [12], в котором содержатся данные за весь период наблюдений по 46 метеостанциям на территории РС (Я); в базах данных GHCN версии 4.0.1 [20] (88 метеостанций); в онлайн-базе «Погода и климат» [13]. Период наблюдений на этих метеостан-

циях необязательно закрывает весь интервал с 1960 по 2020 гг., и не всегда совпадает в разных источниках данных. Как видим, единого открытого полного и достоверного источника данных о наблюдаемых значениях СМТВ на территории региона не существует.

Подробный сравнительный анализ перечисленных источников данных не входит в задачи работы и может стать в будущем задачей отдельного исследования. Для целей данной работы важно, чтобы использованные нами массивы были достоверны и сопоставимы между собой в первом приближении. Выборочное сравнение данных показало, что для метеостанций, входящих в сеть международного обмена, значительных расхождений между источниками данных нет, за исключением массива GHCN, в котором значения СМТВ могут отличаться от других источников от $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ до $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$. Пропуски существуют во всех источниках, кроме онлайн-базы «Погода и климат», где они в основном заполнены значениями из базы GHCN, либо из иных источников.

Данные метеостанций, не входящих в сеть международного обмена, содержатся в базах GHCN и «Погода и климат», последняя – более полная, но ссылки на источники данных в ней отсутствуют, и эти источники не относятся к открытым. Пропуски в данных, имеющиеся в базе GHCN, в базе «Погода и климат», в основном заполнены, хотя источник данных и использованные методы восстановления данных также неизвестны. В работе [21] для создания региональной базы данных по температуре воздуха и атмосферным осадкам для территории РС (Я) использован проприетарный набор данных программного комплекса «Гидрорасчёты» для определения расчетных гидрологических характеристик [22]. Возможно, онлайн-база «Погода и климат» основана на этом или аналогичном наборе данных, пропуски в котором заполнены некоторым недокументированным образом. Тем не менее, этот источник данных используется в климатических исследованиях, в том числе, например, в Российском государственном гидрометеорологическом университете [23], и он принят как основной в данной работе.

Среднемесячная температура воздуха. Метрики точности реанализа GHCN-CAMS рассчитаны по данным 86 метеостанций на территории РС (Я) для двух периодов, 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг., также сделана оценка точности воспроизведения реанализом GHCN-CAMS изменений СМТВ между этими периодами (табл. 1). Полученные результаты свидетельствуют о том, что реанализ GHCN-CAMS с высокой точностью воспроизводит годовой ход температуры воздуха в месячном осреднении, за исключением двух месяцев года: мая и июля.

Таблица 1 – Метрики точности реанализа GHCN-CAMS относительно данных наблюдений на метеостанциях

Месяц	1961-1990			1991-2020			Изменение		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Январь	2.38	0.900	0.886	2.11	0.913	0.910	1.36	0.452	0.334
Февраль	1.97	0.903	0.891	1.84	0.938	0.933	1.15	0.668	0.625
Март	1.74	0.930	0.926	1.56	0.944	0.943	1.01	0.327	0.286
Апрель	1.45	0.955	0.954	1.35	0.961	0.959	0.67	0.312	0.288
Май	1.25	0.959	0.956	1.14	0.966	0.961	0.65	0.062	0.056
Июнь	1.31	0.930	0.926	1.26	0.946	0.935	0.62	0.278	0.254
Июль	1.30	0.925	0.921	1.25	0.933	0.925	0.65	0.043	0.042
Август	1.22	0.906	0.902	1.11	0.912	0.910	0.46	0.391	0.387
Сентябрь	1.09	0.861	0.856	0.98	0.883	0.868	0.41	0.500	0.484
Октябрь	1.15	0.933	0.931	1.02	0.943	0.940	0.59	0.495	0.469
Ноябрь	1.81	0.934	0.922	1.52	0.944	0.939	1.12	0.557	0.421
Декабрь	2.10	0.921	0.908	2.07	0.918	0.913	1.38	0.394	0.262
Среднее	1.56	0.921	0.915	1.43	0.933	0.928	0.84	0.373	0.326

Примечание: 1 – корень среднеквадратичной ошибки, 2 – линейная корреляция Пирсона, 3 – коэффициент конкордации Лина

Из данных табл. 1 видно, что наиболее достоверно реанализ GHCN-CAMS воспроизводит СМТВ теплого периода года, в месяцы с апреля по октябрь, для которых отмечена наименьшая ошибка модели, а также максимальные значения коэффициента конкордации. Наименьшая ошибка реанализа ($RMSE$) отмечена для сентября, наибольшая – для декабря и января. Наилучшая корреляция между данными наблюдений и реанализа – в мае (средние значения) или феврале (изменение между периодами). В большинстве случаев значения коэффициента корреляции значимы на уровне значимости $\alpha = 0.05$ при $df = 84$, критическом значении $r = 0.175$. Следует учитывать, что коэффициент корреляции Пирсона исчерпывающе характеризует линейную связь между переменными, распределенными нормально и не имеющими выбросов, что в нашем случае не так.

Как и в случае со среднегодовыми температурами [3], реанализ GHCN-CAMS значительно лучше воспроизводит сами среднемесячные температуры, чем их изменение между периодами (см. табл. 1). При высоких коэффициентах корреляции и конкордации для обоих периодов, превышающих 0.9, для изменения между периодами эти значения не выше 0.7 (в большинстве случаев меньше), а в мае и июле – близки к 0. Такое возможно, когда в рядах реанализа для обоих периодов существует некоторая систематическая ошибка, смещающая их в некотором направлении, необязательно случайном, относительно наблюдений вдоль биссектрисы таким образом, что линейность связи сохраняется. Кроме того, в данных метеостанций, очевидно, количество возможных значений $\Delta T_{\text{набл}}$ ограничено, так как $\Delta T_{\text{набл}}$ изменяется в сравнительно узких пределах вокруг среднего значения, что не проявляется в данных реанализа; можно ожидать, что нулевая корреляция между ними возникает вследствие различий эмпирических функций распределения ΔT в наблюдениях и реанализе.

Действительно, например, для июля среднее значение $\Delta T_{\text{набл}} = 1.03 \pm 0.48^\circ\text{C}$, медиана равна 1°C , мода равна 1.3°C , что предполагает асимметричное распределение. Для данных реанализа соответствующие величины равны $\Delta T_{\text{реан}} = 0.92 \pm 0.45^\circ\text{C}$, 0.85°C и 0.8°C , что предполагает близость к нормальному распределению, смещённому влево относительно распределения $\Delta T_{\text{набл}}$. Убедиться, что два распределения существенно различны, позволяет сравнение коэффициентов эксцесса: он равен 4.87 для данных наблюдений, и -0.26 для данных реанализа. Такой эксцесс создаётся значительным количеством станций, по которым $\Delta T_{\text{набл}}$ значительно отклоняется от среднего, и исключить их из анализа не представляется возможным.

При корреляционном анализе данных получается, что возможная линейность связи $\Delta T_{\text{набл}}$ и $\Delta T_{\text{реан}}$ нарушается в области моды распределения $\Delta T_{\text{набл}}$ и справа от неё, где реанализ значимо занижает значения ΔT . Формируется облако точек, для которого коэффициенты корреляции/конкордации близки к 0. Среди основных причин отметим, что для данных наблюдений в оба периода коэффициент эксцесса всегда больше, а коэффициент асимметрии – меньше, чем для данных реанализа; распределение последних более сглажено и имеет выраженную положительную асимметрию.

Также на примере данных об СМТВ за июль легко показать, что ошибка реанализа относительно ΔT не является независимой величиной. Анализ показывает, что она положительно связана с $\Delta T_{\text{реан}}$ ($r = 0.66$) и отрицательно – с $\Delta T_{\text{набл}}$ ($r = -0.71$). Малые наблюдаемые изменения переоцениваются, а большие – недооцениваются; соответственно, большие значения $\Delta T_{\text{реан}}$ с большой вероятностью завышены, а небольшие – занижены. Можно показать также, что эта ошибка реанализа значимо отрицательно связана с ошибкой реанализа относительно СМТВ в исторический период ($r = -0.26$): конкретно, если реанализ завышает значение СМТВ в этот период, то $\Delta T_{\text{реан}}$ с большой вероятностью окажется заниженным.

Практическим следствием данных выкладок будем считать тот факт, что пространственные обобщения, касающиеся изменения СМТВ между историческим и актуальным периодами для двух месяцев (май, июль) и основанные на данных реанализа, для большей части территории РС (Я) будут оценками снизу.

В сравнении между собой двух периодов, отметим, что реанализ точнее для периода 1991-2020 гг. (табл. 1); этому периоду соответствует меньшее значение RMSE и большее значение r . Можно лишь предположить, что это связано с изменением во времени количества метеостанций, данные с которых ассимилируются моделью, и изменением точности реанализа вследствие этого.

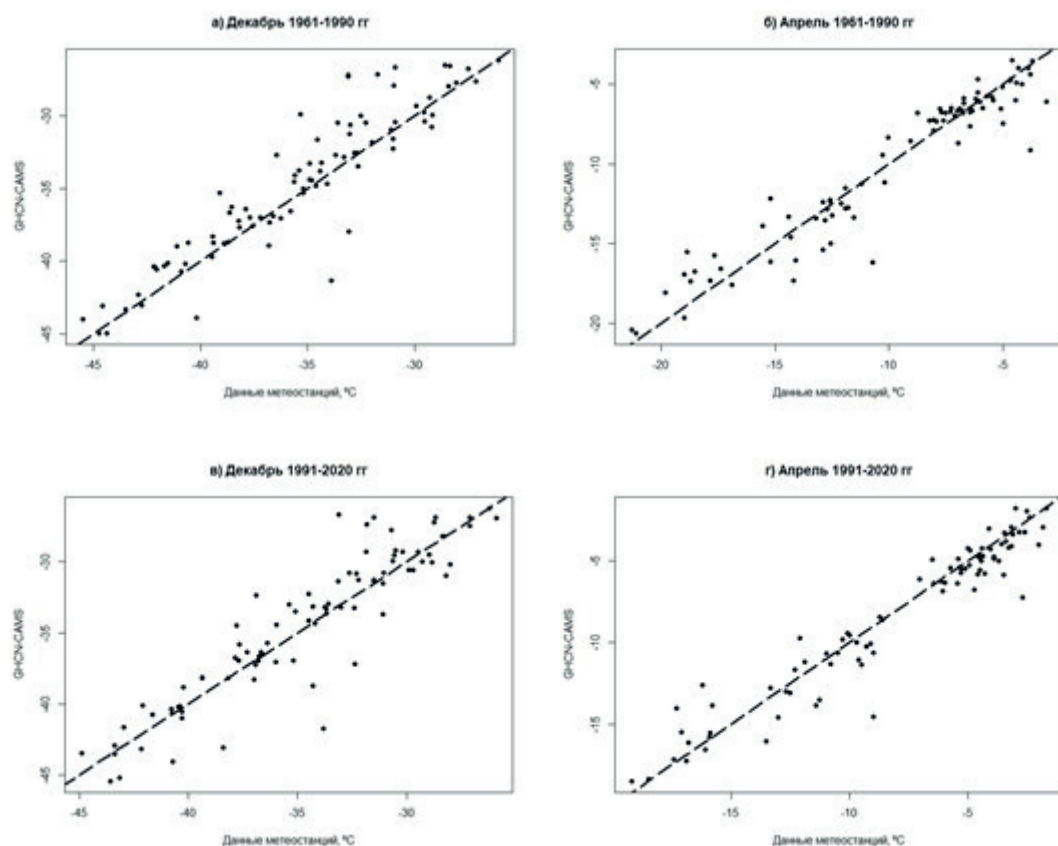


Рис. 1. Сопоставление климатических норм с метеостанций с реанализом GHNC-CAMS, пунктиром нанесена линия конкордации (биссектриса), а, б – декабрь и апрель 1961-1990 гг., в, г. – декабрь, и апрель 1991-2020 гг.

Fig. 1 Comparison of climatic norms from weather stations with GHNC-CAMS reanalysis, dotted line of concordance (bisector), a, б – December and April 1961-1990, в, г – December and April 1991-2020

В декабре для обоих периодов наблюдается довольно широкий разброс точек (рис. 1а, в), тогда как в апреле точки сгруппированы ближе к биссектрисе (рис. 1б, г). Это объясняется большей согласованностью климатических норм температуры воздуха в тёплые периоды с данными реанализа GHNC-CAMS по сравнению с зимним сезоном.

Среднесезонные температуры воздуха. Реанализ GHNC-CAMS с хорошей точностью воспроизводит среднемесячные температуры воздуха, следовательно, предполагается, что и в сезонном разрешении данные этого реанализа будут достаточно точными, хотя весной и летом оценка изменения температуры между периодами также, как ожидается, может иметь низкую точность (см. табл. 1).

Таблица 2 – Метрики точности реанализа GHCN-CAMS для сезонов

Период	Параметр	Зима	Весна	Лето	Осень
1961-1990 гг.	r	0.911	0.952	0.925	0.929
	CCC	0.898	0.951	0.921	0.924
	$RMSE$	2.103	1.326	1.232	1.127
1991-2020 гг.	r	0.924	0.959	0.935	0.939
	CCC	0.919	0.958	0.928	0.931
	$RMSE$	1.969	1.219	1.172	1.017
Изменение	r	0.328	0.123	0.020	0.597
	CCC	0.223	0.107	0.019	0.525
	$RMSE$	1.219	0.665	0.492	0.562

Коэффициенты корреляции среднесезонной температуры воздуха значительно выше критических значений (табл. 2), что свидетельствует об их статистической значимости. Наименьшие значения $r = 0.91$ и $CCC = 0.9$ отмечаем в зимний сезон 1961-1990 гг. Для всех сезонов, наблюдается превышение коэффициента корреляции и конкордации для современного периода над значениями для базового периода. Для обоих периодов реанализ GHCN-CAMS лучше всего описывает распределение температур весеннего сезона, а изменение температур между периодами – в осенний сезон. Корень среднеквадратичной ошибки (RMSE) незначительно отличается между периодами, однако заметно различается между сезонами: в зимний сезон ошибка реанализа почти в два раза больше, чем в другие сезоны, из которых точнее всего реанализ воспроизводит среднюю температуру осени (сентябрь-октябрь-ноябрь).

Наибольшее различие между сезонными средними по данным наблюдений и реанализа E , °C, отмечается в зимний сезон (Табл. 3), для которого отмечаются и сравнительно низкие коэффициенты корреляции и конкордации. Для каждой конкретной метеостанции причины таких различий между наблюдениями и реанализом могут отличаться. Примечательно, что для станций, у которых E близко к максимальным, данные брались из онлайн-базы «Погода и климат». Это ещё раз приводит к вопросу о полноте и достоверности источников информации. Но всё же примерно в половине метеостанций значение E менее 1°C, поэтому в целом реанализ GHCN-CAMS хорошо описывает сезонные температуры воздуха.

Таблица 3 – Максимальные разности между реанализом GHCN-CAMS и сезонными средними метеостанций E , °C

Сезоны	1961-1990 гг.	1991-2020 гг.
Зима	Томмот +5.4	Томмот +5.6
	Восточная –7.7	Восточная –7.7
Весна	Джалинда +1.8	Колымская +3.2
	Усть-Нера –4.8	Усть-Нера –4.8
Лето	Тикси +2.2	Колымская +1.7
	Усть-Нера –5.0	Усть-Нера –4.6
Осень	Тяня +2.2	Тяня +2.7
	Восточная –3.4	Усть-Нера –3.8

Просматривая табличные данные массива GHCN, ассимилированные моделью реанализа, легко убедиться в том, что в этом массиве приведены неполные данные по некоторым метеостанциям, с пропусками в отдельные месяцы или продолжительные периоды. Соответственно, реанализ GHCN-CAMS учитывает эти неполные данные, что может приводить к ошибкам. Предполагаем, что неполнота ассимилированных в модели реанализа рядов объясняет высокие значения E в большинстве случаев.

Среднесезонная температура воздуха увеличивается на всей территории РС (Я) и во все сезоны года (рис. 2), исключая область от истоков р. Томпо до верховьев р. Индигирка, где, как предполагается реанализом, среднезимняя температура воздуха остается неизменной либо снижается на $0.1-0.2^{\circ}\text{C}$. Данные метеостанций частично подтверждают существование такой области (м/с Изма, м/с Оймякон), частично не согласуются с картиной реанализа (м/с Усть-Мома, м/с Усть-Нера). Современная температура зимы по м/с Усть-Мома в данных реанализа, -40.3°C , хорошо согласуется с наблюдаемой, -40.1°C . Следовательно, можно говорить о систематическом завышении зимних температур воздуха исторического периода (1961-1990 гг.) реанализом GHCN-CAMS в этом районе – на восточном склоне массива Черского, в пределах Момо-Селенныхской впадины и Момского хребта. Неясно, каково происхождение такой недооценки; предполагаем, что она связана с особенностями введения топографической поправки в данном регионе в зимний период, когда в долинах действуют мощные температурные инверсии, но это остаётся лишь предположением.

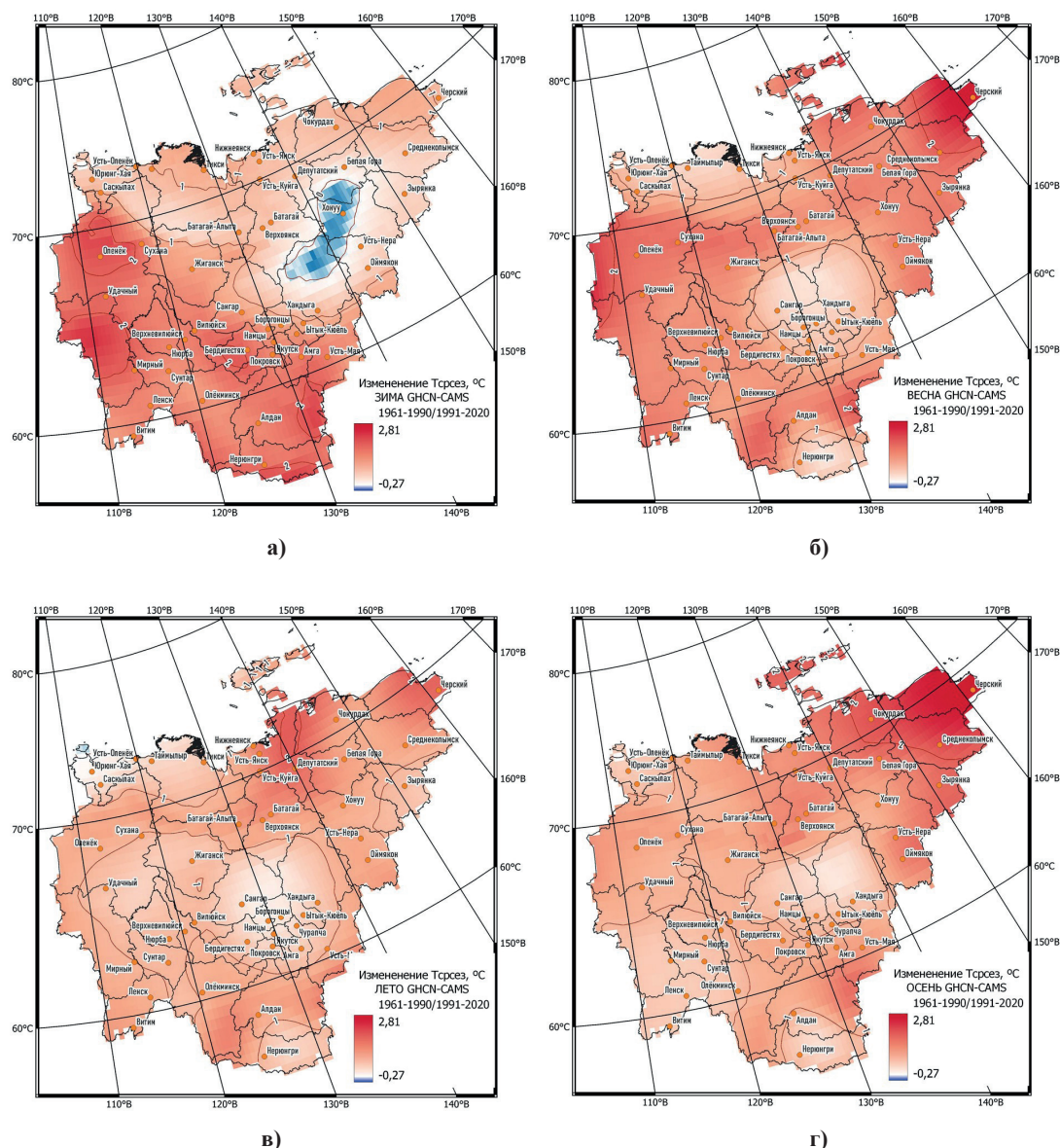


Рис. 2. Изменение климатической нормы сезонной температуры по данным GHCN-CAMS, а – зима, б – весна, в – лето, г – осень

Fig. 2 Change in the climatic norm of seasonal temperature according to GHCN-CAMS data, а – winter, б – spring, в – summer, г – autumn

В зимний период наибольшее потепление отмечается к западу и югу от Верхоянского хребта, в остальные сезоны оно приурочено к северо-восточным районам и весной – также на западе Якутии, в Оленёкском и Мирнинском районах (рис. 2). Как и в среднегодовых данных [3], для всех сезонов, кроме зимнего, отмечается область замедленного потепления с центром в районе узла слияния рр. Лена и Алдан, в виде окружности радиусом около 200 км. Данные наблюдений на м/с Сеген-Кюель, Батамай и Верхоянский Перевоз, расположенных в центре этой области, подтверждают её существование, особенно выраженное в летне-осенний период, месяцы с июля по сентябрь, когда рост СМТВ между периодами не превышает 0.5-0.7°C.

Среднезимняя (декабрь-январь-февраль) температура воздуха на территории РС (Я) за современный климатический период (1991-2020 гг.) составляет $-34.2 \pm 4.3^\circ\text{C}$. Между историческим (1961-1990 гг.) и современным климатическим периодом среднезимняя температура воздуха на территории РС (Я) увеличилась на $+1.2 \pm 0.6^\circ\text{C}$. Средневесенняя (март-апрель-май) температура воздуха на территории РС (Я) за современный климатический период составляет $-10.9 \pm 4.0^\circ\text{C}$. Между историческим и современным климатическим периодом средневесенняя температура воздуха на территории РС (Я) увеличилась на $+1.4 \pm 0.4^\circ\text{C}$. Среднелетняя (июнь-июль-август) температура воздуха на территории РС (Я) за современный климатический период составляет $+11.9 \pm 3.1^\circ\text{C}$. Между историческим и современным климатическим периодом среднелетняя температура воздуха на территории РС (Я) увеличилась на $+1.1 \pm 0.4^\circ\text{C}$. Среднеосенняя (сентябрь-октябрь-ноябрь) температура воздуха на территории РС (Я) за современный климатический период составляет $-11.2 \pm 2.8^\circ\text{C}$. Между историческим и современным климатическим периодом средне-весенняя температура воздуха на территории РС (Я) увеличилась на $+1.3 \pm 0.5^\circ\text{C}$.

Заключение

Проблема согласованности данных станционных наблюдений и реанализа заключается в том, что они относятся к разным климатическим реальностям. Данные наблюдений – точечные, и отражают локальные условия в точке наблюдений, особенности микроклимата. Данные реанализа – площадные, осреднены на площадь пикселя, десятки квадратных километров, и должны сглаживать разнообразие местных условий, потому что идеальное согласие между двумя наборами данных невозможно. Изложенные результаты показывают, что реанализ GHCN-CAMS, успешно воспроизводящий распределение среднегодовых температур воздуха на территории РС (Я), также эффективен для описания полей среднемесячных и среднесезонной температуры воздуха и их изменений между климатическими периодами, хотя в некоторых случаях (весна, лето) он представляет скорее оценку снизу. Данные реанализа позволили оценить изменение среднесезонной температуры воздуха на территории РС (Я) между климатическими периодами, которое составило от $+1.2$ до $+1.4^\circ\text{C}$. Модель реанализа GHCN-CAMS может использоваться в различных расчётных и прогнозных приложениях, в которых необходимы данные о среднегодовой температуре воздуха и её внутригодовом распределении.

Литература

1. Fan, Y. A global monthly land surface air temperature analysis for 1948–present / Y. Fan, H. van den Dool // Journal of Geophysical Research. – 2008. – V. 113. – D01103. DOI: 10.1029/2007JD008470.
2. Hersbach, H. ERA5 reanalysis is in production / H. Hersbach, D. Dee // ECMWF Newsletter. – 2016. – No. 147. URL : <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/147/news/era5-reanalysis-production> (дата обращения : 02.11.2023). – Электронные данные : электронные.
3. Тананаев, Н. И. Подбор оптимальной модели климатического реанализа по среднегодовой температуре воздуха для территории Республики Саха (Якутия) / Н. И. Тананаев // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о Земле. – 2023. – № 2(30). – С. 88-101.

4. Mistry, M. N. Comparison of weather station and climate reanalysis data for modelling temperature-related mortality / M. N. Mistry, R. Schneider, P. Masselot, D. Royé [et al.] // *Scientific Reports*. – 2022. – Vol. 12. – 5178. DOI : 10.1038/s41598-022-09049-4.
5. Бокучава, Д. Д. Анализ аномалий приземной температуры воздуха в Северном полушарии в течение XX века по данным наблюдений и реанализов / Д. Д. Бокучава, В. А. Семенов // *Фундаментальная и прикладная климатология*. – 2018. – Т. 1. – С. 28–51.
6. Демчев, Д. М. Верификация данных реанализов ERA-Interim и ERA5 о приповерхностной температуре воздуха в Арктике / Д. М. Демчев, М. Ю. Кулаков, А. П. Макштас [и др.] // *Метеорология и гидрология*. – 2020. – № 11. – С. 36–45
7. Marshall, G. J. The accuracy of climate variability and trends across Arctic Fennoscandia in four reanalyses / G. J. Marshall, S. Kivinen, K. Julhä, R. M. Vignols [et al.] // *International Journal of Climatology*. – 2018. – Vol. 38. – P. 3878–3895. DOI : 10.1002/joc.5541.
8. Køltzow, M. Value of the Copernicus Arctic Regional Reanalysis (CARRA) in representing near-surface temperature and wind speed in the north-east European Arctic / M. Køltzow, H. Schyberg, E. Støylen, X. Yang // *Polar Research*. – 2022. – Vol. 41. DOI : 10.33265/polar.v41.8002.
9. Васильев, М. С. Сравнение приземной температуры воздуха в Якутии по данным реанализа и наземных наблюдений / М. С. Васильев, С. В. Николашкин, Р. П. Каримов. – Текст : непосредственный // *Вестник СВФУ*. – 2014. – Т. 14. – № 5. – С. 82–88.
10. Лобанов, В. А. Отклик климатических индикаторов на современное потепление климата в Республике Саха (Якутия) / В. А. Лобанов, К. С. Кириллина // *Географический вестник*. № 4 (34). – 2017. – С. 112–122.
11. Гидрометцентр РФ. – URL : <https://meteoinfo.ru/climatecities>, свободный (дата обращения : 15.06.2023). – Электронные данные : электронные.
12. Температура воздуха (месячные данные) : база данных. ВНИИГМИ-МЦД, 2021. Данные в формате DAT. URL : <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index.xhtml?idata=8> (дата обращения : 15.06.2023). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Электронные данные : электронные.
13. Погода и климат. – URL : <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php>, свободный (дата обращения : 15.06.2023). – Электронные данные : электронные.
14. RStudio: Integrated Development for R, 2023.06.01 Build 524. 2023. RStudio, Inc., Boston, MA, USA. – URL: <https://posit.co/products/open-source/rstudio>. – Электронная программа : электронная.
15. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. – 2023. – URL : <https://www.R-project.org/> (дата обращения: 17.10.2023). – Электронная программа : электронная.
16. QGIS Development Team, 2023. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. – URL : <http://qgis.osgeo.org> (дата обращения: 12.05.2023). – Электронная программа : электронная.
17. Hamner, B. Metrics: Evaluation Metrics for Machine Learning / B. Hamner, M. Frasco // R package version 0.1.4. – 2018. – URL : <https://CRAN.R-project.org/package=Metrics> (дата обращения : 15.06.2023).
18. Signorell, A. DescTools: Tools for Descriptive Statistics / A. Signorell // R package version 0.99.49. – 2023. – URL : <https://CRAN.R-project.org/package=DescTools> (дата обращения : 15.06.2023).
19. Научно-прикладной справочник «Климат России» : база данных. ВНИИГМИ-МЦД, 2022. Данные в формате CSV. – URL : <http://aisori-m.meteo.ru/climsprn/faces/index1a.xhtml> (дата обращения : 05.11.2023). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Электронные данные : электронные.
20. Menne, M. The Global Historical Climatology Network Monthly Temperature Dataset, Version 4 / M. Menne, C. N. Williams, B. E. Gleason, J. J. Rennie [et al.]. – Текст : непосредственный // *Journal of Climate*. – 2018. – V. 31, Is. 24. – P. 9835–9854. – DOI : 10.1175/JCLI-D-18-0094.1.
21. Кириллина К. С. Разработка региональной климатической программы для Республики Саха (Якутия) / К. С. Кириллина. Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. СПб., РГГМУ, 2017. – 118 с.

22. Программный комплекс “Гидорасчёты”. URL : <http://hydrotec.spb.ru/> (дата обращения : 05.11.2023).

23. Фибер Л. С. Современные изменения температуры воздуха на северо-западе европейской территории России / Л. С. Фибер // Выпускная квалификационная работа. СПб, РГГМУ, 2022. – 57 с. URL : http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_7679720e0e7e4c248aa616f50aa4d0b2.pdf (дата обращения : 03.11.2023).

References

1. Fan, Y. A global monthly land surface air temperature analysis for 1948–present / Y. Fan, H. van den Dool // *Journal of Geophysical Research*. – 2008. – V. 113. – D01103. DOI: 10.1029/2007JD008470.
2. Hersbach, H. ERA5 reanalysis is in production / H. Hersbach, D. Dee // *ECMWF Newsletter*. – 2016. – No. 147. URL : <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/147/news/era5-reanalysis-production> (data obrashcheniya : 02.11.2023). – Ehlektronnye dannye : ehlektronnye.
3. Tananaev, N. I. Podbor optimal'noi modeli klimaticheskogo reanaliza po srednegodovoi temperature vozdukha dlya territorii Respubliki Sakha (Yakutiya) / N. I. Tananaev // *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. Seriya: Nauki o Zemle*. – 2023. – № 2(30). – S. 88-101.
4. Mistry, M. N. Comparison of weather station and climate reanalysis data for modelling temperature-related mortality / M. N. Mistry, R. Schneider, P. Masselot, D. Royé [et al.] // *Scientific Reports*. – 2022. – Vol. 12. – 5178. DOI : 10.1038/s41598-022-09049-4.
5. Bokuchava, D. D. Analiz anomalii prizemnoi temperatury vozdukha v Severnom polusharii v techenie KHKH veka po dannym nablyudenii i reanalizov / D. D. Bokuchava, V. A. Semenov // *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*. – 2018. – T. 1. – S. 28-51.
6. Verifikatsiya dannykh reanalizov ERA-Interim i ERA5 o pripoverkhnostnoi temperature vozdukha v Arktike / D. M. Demchev, M. YU. Kulakov, A. P. Makshtas [i dr.] // *Meteorologiya i gidrologiya*. – 2020. – № 11. – S. 36-45
7. Marshall, G. J. The accuracy of climate variability and trends across Arctic Fennoscandia in four reanalyses / G. J. Marshall, S. Kivinen, K. Julhä, R. M. Vignols [et al.] // *International Journal of Climatology*. – 2018. – Vol. 38. – P. 3878–3895. DOI : 10.1002/joc.5541.
8. Køltzow, M. Value of the Copernicus Arctic Regional Reanalysis (CARRA) in representing near-surface temperature and wind speed in the north-east European Arctic / M. Køltzow, H. Schyberg, E. Støylen, X. Yang // *Polar Research*. – 2022. – Vol. 41. DOI : 10.33265/polar.v41.8002.
9. Vasil'ev, M. S. Sravnenie prizemnoi temperatury vozdukha v Yakutii po dannym reanaliza i nazemnykh nablyudenii / M. S. Vasil'ev, S. V. Nikolashkin, R. R. Karimov. – Tekst : neposredstvennyi // *Vestnik SVFU*. – 2014. – T. 14. – № 5. – S. 82–88.
10. Lobanov, V. A. Otklik klimaticheskikh indikatorov na sovremennoe poteplenie klimata v Respublike Sakha (Yakutiya) / V. A. Lobanov, K. S. Kirillina // *Geograficheskii vestnik*. № 4 (34). – 2017. – S. 112-122.
11. Gidromettsentr RF. – URL : <https://meteoinfo.ru/climatecities>, svobodnyi (data obrashcheniya : 15.06.2023). – Ehlektronnye dannye : ehlektronnye.
12. Temperatura vozdukha (mesyachnye dannye) : baza dannykh. VNIIGMI-MTSD, 2021. Dannye v fimate DAT. URL : <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index.xhtml?idata=8> (data obrashcheniya : 15.06.2023). Rezhim dostupa: dlya zaregistrir. pol'zovatelei. – Ehlektronnye dannye : ehlektronnye.
13. Pogoda i klimat. – URL : <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php>, svobodnyi (data obrashcheniya : 15.06.2023). – Ehlektronnye dannye : ehlektronnye.
14. RStudio: Integrated Development for R, 2023.06.01 Build 524. 2023. RStudio, Inc., Boston, MA, USA. – URL: <https://posit.co/products/open-source/rstudio>. – Ehlektronnaya programma : ehlektronnaya.
15. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. – 2023. – URL : <https://www.R-project.org/> (data obrashcheniya : 17.10.2023). – Ehlektronnaya programma : ehlektronnaya.

16. QGIS Development Team, 2023. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. – URL : <http://qgis.osgeo.org> (data obrashcheniya: 12.05.2023). – Ehlektronnaya programma : ehlektronnaya.
17. Hamner, B. Metrics: Evaluation Metrics for Machine Learning / B. Hamner, M. Frasco // R package version 0.1.4. – 2018. – URL : <https://CRAN.R-project.org/package=Metrics> (data obrashcheniya : 15.06.2023).
18. Signorell, A. DescTools: Tools for Descriptive Statistics / A. Signorell // R package version 0.99.49. – 2023. – URL : <https://CRAN.R-project.org/package=DescTools> (data obrashcheniya : 15.06.2023).
19. Nauchno-prikladnoi spravochnik «Klimat RossiI» : baza dannykh. VNIIGMI-MTSD, 2022. Dannye v formate CSV. – URL : <http://aisori-m.meteo.ru/climsprn/faces/index1a.xhtml> (data obrashcheniya : 05.11.2023). Rezhim dostupa: dlya zaregistrir. pol'zovatelei. – Ehlektronnaye dannye : ehlektronnaye.
20. Menne, M. The Global Historical Climatology Network Monthly Temperature Dataset, Version 4 / M. Menne, C. N. Williams, B. E. Gleason, J. J. Rennie [et al.]. – Tekst : neposredstvennyi // Journal of Climate. – 2018. – V. 31, Is. 24. – P. 9835–9854. – DOI : 10.1175/JCLI-D-18-0094.1.
21. Kirillina K. S. Razrabotka regional'noi klimaticheskoi programmy dlya Respubliki Sakha (Yakutiya) / K. S. Kirillina. Dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata geograficheskikh nauk. SPb., RGGMU, 2017. – 118 s.
22. Programmnyi kompleks «Gidroraschety». URL : <http://hydrotec.spb.ru/> (data obrashcheniya : 05.11.2023).
23. Fiber L. S. Sovremennye izmeneniya temperatury vozdukha na severo-zapade evropeiskoi territorii Rossii / L. S. Fiber // Vypusknaya kvalifikatsionnaya rabota. SPb, RGGMU, 2022. – 57 s. URL : http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_7679720e0e7e4c248aa616f50aa4d0b2.pdf (data obrashcheniya : 03.11.2023).

Сведения об авторах

ТАНАНАЕВ Никита Иванович – к.г.н., зав. лабораторией по изучению климата и экосистем северных регионов Института естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова, в.н.с. Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН.

e-mail: tanni@s-vfu.ru

TANANAEV Nikita Ivanovich – Candidate of Geographic Sciences, Head, Climate and Northern Regions Ecosystems Research Lab, Institute of Natural Sciences, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University; Leading Researcher, Melnikov Permafrost Institute SB RAS. e-mail: tanni@s-vfu.ru

ТИМОФЕЕВ Максим Аркадьевич – магистрант, инженер-исследователь, лаборатория по изучению климата и экосистем северных регионов Института естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова

e-mail: m.a.timofeev@s-vfu.ru

TIMOFEEV Maxim Arkadyevich – Master's student, research engineer, Climate and Northern Regions Ecosystems Research Lab, Institute of Natural Sciences, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: m.a.timofeev@s-vfu.ru

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

УДК 528.946

DOI 10.25587/2587-8751-2023-4-111-118

К.А. Обутов, А.Н. Саввинова

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

e-mail: obutovkirill@gmail.com

e-mail: sava_73@mail.ru

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ВНУТРИРАЙОННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕВОГО ГИС-АНАЛИЗА (НА ПРИМЕРЕ АНАБАРСКОГО И НИЖНЕКОЛЫМСКОГО УЛУСОВ)

Аннотация. Пространственный анализ внутрирайонной транспортной доступности поселений в арктических районах Республики Саха (Якутия) средствами ГИС является актуальной задачей и может стать необходимой опорой для процессов принятия управленческих решений и планирования устойчивого развития данных территорий. Цель исследования – выполнить пространственный анализ внутрирайонной транспортной доступности поселений отдаленных арктических районов РС (Я) на примере Анабарского и Нижнеколымского улусов. На основе сетевого ГИС анализа и рассчитанных коэффициентов густоты транспортной сети, проведена оценка транспортной доступности территорий исследования по-зимнему и летнему сценариям. Автомобильная и речная сети были построены на основе данных из открытых картографических источников: OpenStreetMaps, Google Earth Engine, атласа автомобильных дорог РС (Я). На основе спутниковых изображений Landsat 5, 8 и Sentinel 2 были дешифрованы и оцифрованы не официальные (неформальные) дороги и автозимники, играющие важную роль в коммуникациях между поселениями. Для осуществления сетевого анализа и построения карты изохрон временной доступности поселений использованы программы QGIS и ArcGIS. Созданные карты наглядно показывают доступность населенных пунктов по временному интервалу. Проведенные исследования позволили определить, что дистанционное зондирование и геоинформационные системы являются ключевыми инструментами для пространственного анализа транспортной инфраструктуры. С их помощью можно проводить сетевой анализ различного уровня сложности, а также строить графы транспортной сети значительно упрощая процедуру подсчета. В работе протестирован метод позволяющий выделять неофициальные дороги в Арктике, а представленные методы ГИС анализа и моделирования можно использовать для последующей более глубокой сетевой аналитики и теории графов для усовершенствования методики изучения транспортной доступности РС (Я).

Ключевые слова: пространственный сетевой анализ, геоинформационные системы, внутрирайонная транспортная доступность, арктические улусы.

K. A. Obutov, A. N. Savvinova

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

e-mail: obutovkirill@gmail.com

e-mail: sava_73@mail.ru

A SPATIAL ANALYSIS OF INTRA REGIONAL TRANSPORT ACCESSIBILITY USING THE GIS NETWORK ANALYSIS: THE CASE OF ANABAR AND NIZHNEKOLYMSKY DISTRICTS

Abstract. A spatial analysis of intra-regional transport accessibility of settlements in the Arctic districts of the Sakha Republic (Yakutia) by GIS is an urgent task and can become a necessary support for the processes of decision-making and planning of sustainable development of these territories. The purpose of the study is to perform a spatial analysis of intra-regional transport accessibility of settlements in remote Arctic regions of Yakutia on the example of Anabarsky and Nizhnekolymsky districts. On the basis of the GIS network analysis and calculated coefficients of density of the transport network, the assessment of transport accessibility of the study areas according to winter and summer scenarios was carried out. The automobile and river networks were built on the basis of data from open cartographic sources: OpenStreetMaps and Google Earth Engine, the atlas of highways of the Sakha Republic (Yakutia). On the basis of satellite images of Landsat 5, 8 and Sentinel 2, non-official (informal) roads that play an important role in communications between settlements were decrypted and digitized. QGIS and ArcGIS programs were used to perform network analysis and build a map of time availability of the settlements using isochronous method. The created maps clearly show the availability of settlements by time interval. The conducted research made it possible to determine that remote sensing and geoinformation systems are key tools for a spatial analysis of transport infrastructure. Using this tools, it is possible to conduct network analysis of various levels of complexity, as well as build graphs of the transport network, greatly simplifying the counting procedure. The paper tested a method that allows to identify unofficial roads in the Arctic, and the presented methods of GIS analysis and modeling that can be used for further deeper network analytics and graph theory to improve the methodology for studying the transport accessibility of the Republic of Sakha (Yakutia).

Keywords: spatial network analysis, geoinformation systems, intra-district transport accessibility, Arctic districts.

Введение

Транспортный комплекс Республики Саха (Якутия) на современном этапе характеризуется низким уровнем развития сети путей сообщения с круглогодичной эксплуатацией, 90 % автомобильных дорог общего пользования регионального значения составляют сезонные дороги (автозимники), с низкой пропускной способностью и грузоподъемностью [9]. Со многими улусами до сих пор нет круглогодичного и стабильного транспортного сообщения, что для такого большого региона как Якутия, является угрозой не только для экономической, но и продовольственной безопасности. Относительно благоприятная транспортная доступность по автодорогам с твердым покрытием, характерна только для улусов центральной и южной Якутии. Восток республики транспортно освоен только вдоль федеральной трассы «Колыма», западные улусы связаны со столицей по федеральной автодороге «Вилуй». Арктические улусы практически изолированы в плане наземного транспорта, где дорожная сеть представлена в основном только автозимниками. Районы проживания коренных малочисленных народов Севера (КМНС) в Республике Саха (Якутия) относятся к удаленным и труднодоступным территориям, которые характеризуются сложными природно-климатическими условиями, низкой плотностью населения, значительными расстояниями между населёнными пунктами, слабо развитой транспортной инфраструктурой, которая приводит к транспортной изолированности от регионального и улусных центров и основных транспортных коридоров. Целью исследования является пространственный анализ внутрирайонной транспортной доступности поселений отдаленных арктических районов РС (Я) на примере Анабарского и Нижнеколымского улусов.

Материал и методы исследования

Транспортная доступность как экономико-географическая категория в различных научных работах определяется по-разному: по отношению к транспортному комплексу, она определяется как отраслевой показатель, к социальному развитию как фактор транспортной подвижности населения, к экономическому развитию как фактор эффективности хозяйственных связей [5]. В российских публикациях транспортную доступность определяют, как возможность воспользоваться объектами транспортной инфраструктуры и услугами транспорта для различных групп населения [6, 10]. В зарубежной литературе термин «транспортная доступность» (Transportation accessibility) имеет две трактовки: доступность – полные затраты времени на передвижение, совершаемое с какой-то целью и доступность как возможность получения транспортных услуг людьми с ограниченными физическими возможностями. Также в США и Канаде применяется термин «Transport Affordability» [12], которым обозначается экономическая оценка доступности транспорта (или доступности транспортных услуг), осуществляющаяся в виде мониторинга социально-экономических данных, характеризующих соотношение «стоимость транспортных услуг – доходы». [11] Вопросами оценки доступности транспортной инфраструктуры с использованием сетевого анализа средствами геоинформационных систем (ГИС) и данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) занимаются многие исследователи, в числе которых можно отметить работы Дубовик В.О. [4, 5], Глущенко Е. И. [2] и др.

В данной работе основной упор в оценке транспортной доступности сделан не только на сети автомобильных дорог, в анализе также рассмотрена речная сеть в местах, где наземная дорожная сеть недостаточно развита. В ходе работ, автомобильная и речная сети были построены на основе данных из открытых картографических источников: OpenStreetMaps и Google Earth Engine, атласа автомобильных дорог РС (Я), а также на основе спутниковых изображений Landsat 5, 8 и Sentinel 2. Для осуществления анализа и построения карты изохрон временной доступности наиболее подходящим инструментом для работы было выбрано сочетание программ QGIS (для построения дорожной сети и простых операций с векторными слоями) и инструменты «Service Area» и «Network Analyst» ArcGIS для сетевого анализа и построения изохрон. Данные инструменты ArcGIS обладают наглядной визуализацией, доступной как в линейном, так и в полигональном форматах; высокой точностью оценки; адекватной оценкой доступности местности, при анализе учитывают различные виды дорог.

Результаты исследования и их обсуждение

Арктические улусы не имеют автомобильных дорог с твердым покрытием, связанных с центром региона в летний и межсезонный период. Многие населенные пункты отрезаны от транспортных коридоров и население, для того чтобы добраться до столицы региона г. Якутск вынуждено использовать довольно дорогой авиационный транспорт и речной транспорт в летнее время для внутрирайонных перемещений. В зимнее время, благодаря открытию сети автозимников, картина транспортной доступности меняется. Автозимники в срок своей эксплуатации – ориентировочно с середины декабря до середины апреля, в зависимости от погодных условий, соединяют практически все улусные центры с Якутском. Благодаря наличию зимних дорог транспортная доступность Якутии при зимнем сценарии значительно повышается – населенные пункты, которые были отрезаны в летнее время, способны принимать наземный транспорт повышая грузо- и пассажирооборот. В летнее время и в период межсезонья, обеспечение грузами арктических улусов сильно зависят от «северного завоза» речным, морским, а также авиационным путем. Таким образом, различные виды транспорта в Якутии во многом дополняют или заменяют друг друга там, где какой-либо другой вид транспорта недоступен [8].

Для анализа транспортных систем мест проживания коренных малочисленных народов Севера в связи с разными географическими, экономическими и социальными условиями нами были выбраны два арктических улуса Республики Саха (Якутия), имеющих как сходства, так и значительные различия – это Анабарский и Нижнеколымский улусы. Для выбранных кейсов,

расположенных в арктической зоне и не обладающих достаточно развитым уровнем дорожной сети и где, имеются изолированные в летнее время населенные пункты, были составлены карты транспортной доступности, учитывающие локальную дорожную сеть и возможное перемещение по рекам на частных судах и моторных лодках. Транспортная доступность рассчитывалась от административных центров районов, которые являются локальными хабами и центрами культурной, финансовой и деловой деятельности каждого отдельного улуса. В сетевой ГИС анализ были включены все населенные пункты, зимники, охотничьи домики на территориях традиционного природопользования (ТПП) КМНС. В муниципальном образовании «Анабарский национальный (долгано-эвенкийский) улус (район)» в реестр ТПП входят два имеющихся в улусе наслег: «Саскылахский национальный (эвенкийский) наслег» и «Юрюнг-Хаинский национальный (долганский) наслег» [1]. В муниципальном районе «Нижнеколымский район» в число ТПП входят 3 наслег: Национальное юкагирское муниципальное образование «Олеринский Суктул», «Походский наслег» и «Чукотский национальный Халарчинский наслег» [7].

В состав Анабарского улуса входят два национальных наслег: Саскылахский и Юрюнг-Хаинский, причем оба не имеют круглогодичной дороги – в зимнее время функционируют только автозимники. Транспортная инфраструктура в обоих наслеге расположена меридионально. До села Саскылах (являющегося местным транспортным хабом благодаря наличию аэропорта с регулярными рейсами до г. Якутск) пролегает автозимник республиканского значения «Анабар», остальная часть автозимника до с. Юрюнг-Хая является автозимником муниципального значения. Транспортная сеть весьма ограничена в Юрюнг-Хаинском наслеге – все мелкие населенные места и места зимовок являются изолированными и не имеют обслуживаемых автозимников. Транспортная связность Саскылахского наслег несколько лучше, так-как большая часть населенных мест и зимовок, находятся вблизи реки Анабар. В летнее время, местные жители пользуются собственными моторными лодками и услугами частных извозчиков по р. Анабар. Также между селами Саскылах и Юрюнг-Хая временно курсируют суда на воздушной подушке, предоставляемые администрацией улуса. Для пространственного анализа внутрирайонной транспортной доступности, нами были составлены карты транспортной доступности населенных мест Анабарского улуса по-зимнему (по автозимникам) и летнему (по речной сети) сценариям (рис. 1, а, б). Как видно из рисунка 1, а, по зимнему сценарию чтобы добраться из центра улуса с. Саскылах, до с. Юрюнг-Хая, в необходимо потратить от 3 до

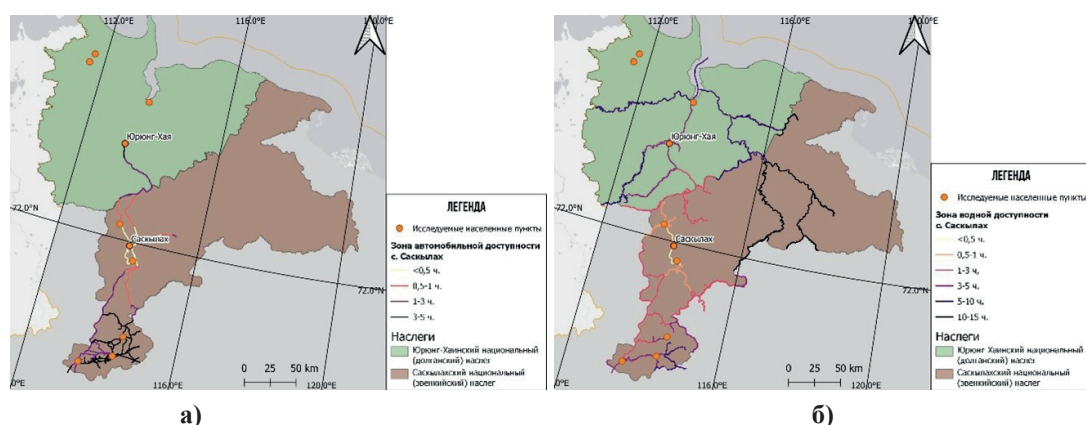


Рис. 1. Транспортная доступность от административного центра с. Саскылах (Анабарский улус)

а) Зона автомобильной доступности от с. Саскылах по автозимникам;

б) Зона водной доступности от с. Саскылах) [Составлено авторами]

Fig. 1 Transport accessibility from the administrative center of the village of Sasykakh (Anabar district)

a) The zone of automobile accessibility from the village of Sasykakh by winter roads; b) The zone of water accessibility from the village of Sasykakh) [Compiled by the authors]

5 часов в зависимости от состояния автозимника. Внутрирайонная транспортная доступность по летнему сценарию всецело зависит от речного транспорта, который практически полностью заменяет автомобильный транспорт.

В Нижнеколымском улусе пространственная организация транспортной инфраструктуры несколько сложнее, через улус проходит автозимник республиканского значения «Арктика», который соединяет Якутию с Чукотским Автономным округом. Автомобильный транспорт представлен автозимниками без твердого покрытия (действующими с середины декабря по апрель), которые соединяют между собой центр улуса – п. Черский и поселения наслегов данного улуса (села Андриюшкино, Колымское, Походск и зимовья). В зимний период наземная транспортная связь осуществляется в основном по руслу р. Колыма и ее притоков, проходит по расчищенному льду. В летний период по реке Колыма развито речное судоходство, через которое осуществляется «северный завоз», большую роль в завозе грузов играет порт Зеленый Мыс. Пассажирские и грузовые речные перевозки от п. Черский в приречные поселения Нижнеколымского улуса осуществляются в основном катерами и частными моторными лодками. Центром притяжения является п. Черский являющийся транспортным хабом всего Северо-Востока Якутии. Аэропорт, реконструкция которого была завершена в ноябре 2023 г. регулярно принимает рейсы из г. Якутск, порт Зеленый Мыс способен принимать суда река-море в период летней навигации.

Проведенный анализ доступности населенных пунктов автомобильным и водным транспортом от п. Черский, показывает временные параметры доступности от получаса до более 10 часов автомобильным транспортом и от менее 1 часа до более 25 часов водным транспортом (отражающее возможное перемещение на частных моторных лодках). Большой временной параметр перемещения водным транспортом объясняется тем, что до некоторых поселений можно добраться, лишь спустившись до устья рек и преодолевая часть маршрутов по открытому морю и далее поднимаясь по рекам. Как видно из рисунков 2 а, б – наиболее труднодоступным в зимнее время является Олеринский Суктул (с. Андриюшкино), где транспортная инфраструктура наименее развита, почти все населенные пункты, зимовья и урочища изолированы друг от друга. В Халарчинском наслеге только наслежный центр – с. Колымское имеет автомобильное зимнее сообщение с остальной частью улуса, то есть остальные населенные места и

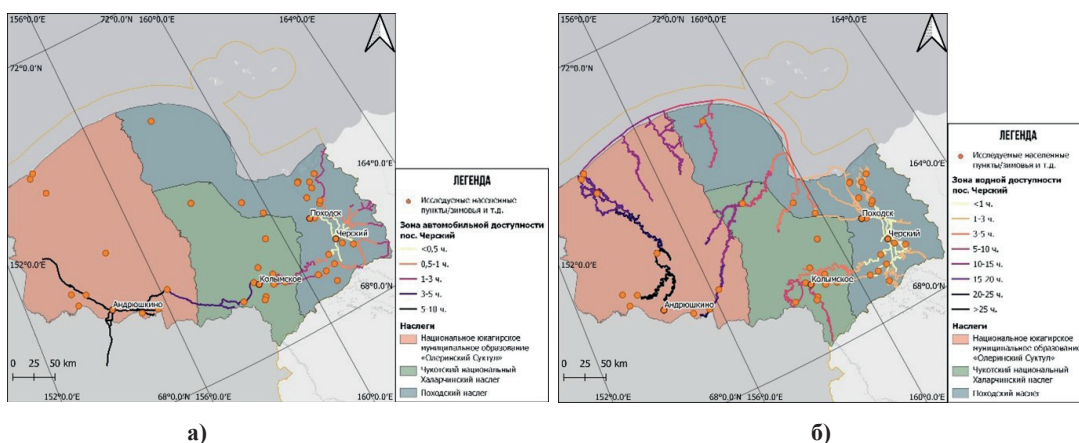


Рис. 2. Транспортная доступность от административного центра п. Черский (Нижнеколымский улус)

- а) Зона автомобильной доступности от п. Черский по автозимникам;
б) Зона водной доступности от п. Черский [Составлено авторами]

Fig. 2 Transport accessibility from the administrative center of the village of Chersky (Nizhnekolymsky district)

- a) The zone of automobile accessibility from the village of Chersky by winter roads;
b) The zone of water accessibility from the village of Chersky [Compiled by the authors]

зимовья изолированы и между собой не связаны, передвигаться между ними можно только на снегоходах или квадроциклах. Часть дороги до с. Колымское и с. Андрюшкино проходит по автозимнику «Арктика» по р. Колыма. По автозимнику спасатели МЧС России устанавливали стационарные необслуживаемые «маяки помощи» – бочки с запасом дров, средств для розжига, продуктов (чай, сахар, консервы, галеты), также имеются аптечка, компас, карта с указанным направлением и расстоянием до ближайшего населенного пункта, инструкция по выживанию и рекомендации для попавших в чрезвычайную ситуацию.

Походский наслег является наиболее транспортно обеспеченным наслегом, благодаря широкому руслу р. Колыма и большому количеству притоков практически все населенные места и зимовья соединены в единую сеть. В зимний период от п. Черский до с. Походск функционирует муниципальный автозимник, в летнее время по р. Колыма и притокам население перемещается на моторных лодках.

Созданные карты доступности населенных пунктов наглядно показывают сколько времени требуется для того чтобы добраться до тех или иных населенных пунктов. Отличительной особенностью является то, что на данных картах помимо официальных дорог были нанесены также не официальные (неформальные) дороги, оцифрованные по космическим снимкам (сезонные, технологические, временные и др.).

Заключение

Обобщив оценку внутрирайонной транспортной доступности арктических улусов (на примере Анабарского и Нижнеколымского) нами выявлена сильнейшая диспропорция и сезонная зависимость всех видов транспорта, за исключением авиационного. Анализ транспортной доступности арктических поселений на примере двух кейсов показал, что большинство поселений практически изолированы, о чем говорит сильная разница между зимним и летним сценариями доступности. Конфигурация дорог меняется в зависимости от сезона: водный вид транспорта сильно зависит от метеоусловий, уровня воды в реках в короткий навигационный период. В зимнее время транспортная связность значительно повышается, позволяя производить завоз товаров первой необходимости и продуктов автозимниками.

На сегодняшний день в связи с отсутствием круглогодичной наземной транспортной связи потенциал взаимодействия между населенными пунктами арктических улусов используется не в полной мере. Строительство круглогодичной инфраструктуры в условиях экстремального климата и наличия многолетнемерзлых грунтов крайне затратно. Для улучшения экономической и продовольственной безопасности отдаленных населенных пунктов необходимо развивать локальную транспортную доступность за счет государственной поддержки развития маломерных транспортных средств, способных к работе в различных сезонных условиях. Например, использование в улусах речных судов на воздушной подушке, которые могут обеспечивать транспортную доступность в периоды ледостава и ледохода, что успешно апробировано в Анабарском улусе. К иным мерам по улучшению транспортной доступности и продовольственной безопасности можно отнести использование вездеходов повышенной проходимости для доставки грузов в труднодоступные населенные пункты.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 21–17–00250 «Межрегиональные и внутрирегиональные коммуникации коренных малочисленных народов Севера в условиях глобальных вызовов: история и современность»

Литература

1. Анабарский улус (район). – URL: республика-саха-якутия.рф/stati/jakutija/anabarskii-ulus-raion.html, свободный (дата обращения 16.10.2022) – Загл. с титул. экрана. – Текст : электронный.
2. Глушенко, Е.И. Построение изохрон транспортной доступности средствами GRASS GIS И QGIS

/ Е.И. Глуценко, А.Е. Боровской, В.Э. Харузин // X Международная студенческая научная конференция Студенческий научный форум, 2018. – URL: <https://scienceforum.ru/2018/article/2018000834>, свободный (дата обращения: 25.09.2023). – Загл. с титул. экрана. – Текст : электронный.

3. Дубовик, В.О. Оценка транспортной доступности городов Уругвая и Боливии / В.О. Дубовик. – Текст: непосредственный // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2014. – № 3. – с.57-63.

4. Дубовик, В. О. Оценка транспортной доступности городов на примере стран Южной Америки : 25.00.24 : диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук : защищена 16.10.14 / Дубовик Василий Олегович. – Москва, 2014. – 294 с. – Текст : непосредственный.

5. Лавриненко, П.А. Транспортная доступность как индикатор развития региона / П.А.Лавриненко, А.А. Ромашина, П.С. Степанов, П.А. Чистяков // Проблемы прогнозирования. 2019. № 6 (177). – с. 136-146 – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transportnaya-dostupnost-kak-indikator-razvitiya-regiona>, свободный (дата обращения 01.10.23). – Загл. с титул. экрана. – Текст : электронный.

6. Неретин, А.С. Транспортное положение и доступность территорий Европейской России : 25.00.24 : / Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук: защищена 15.06.18 / Неретин Александр Сергеевич. – Москва, 2018. – 125 с. – Текст : непосредственный.

7. Нижнеколымский улус (район). URL: respublika-saha-jakutia.rf/stati/jakutija/anabarskii-ulus-raion.html, свободный (дата обращения 16.10.2023). – Загл. с титул. экрана. – Текст : электронный.

8. Обутов, К.А. Применение сетевого анализа для оценки и картографирования транспортной доступности в Республике Саха (Якутия) / К.А. Обутов, А.Н. Саввинова, Захаров М.И. // Тематические карты и атласы: современные концепции научного содержания, новые технологии создания и использования / Материалы XI международной научной конференции по тематической картографии (28 ноября – 2 декабря 2022 г., Иркутск). – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН. – 2022. – С. 179-181. – URL: http://www.irigs.irk.ru/download/2022_conference_materials_XI.pdf, свободный (дата обращения 19.10.2023). – Загл. с титул. экрана. – Текст : электронный.

9. Постановление правительства РС (Я) от 15 сентября 2021 г. № 343 – О государственной программе «Развитие транспортного комплекса Республики Саха (Якутия) на 2020-2024 годы». – URL: <https://mintrans.sakha.gov.ru/deyat/Gosudarstvennie-i-tselevie-programmi/o-gosudarstvennoj-programme-respubliki-saha-jakutija-razvitie-transportnogo-kompleksa-respubliki-saha-jakutija-na-2020-2024-gody>, свободный (дата обращения 17.10.2023). – Загл. с титул. экрана. – Текст : электронный.

10. Строева, Г.Н. Обеспечение транспортной доступности населения как важное направление социально-экономического развития региона / Г.Н. Строева, Д.В. Слободчикова // Ученые заметки ТОГУ. – Ученые заметки ТОГУ: 2016. – С. 673 – 679 – URL: <https://pnu.edu.ru/ejournal/pub/articles/1445/> свободный (дата обращения 17.10.2023). – Загл. с титул. экрана. – Текст : электронный.

11. Affordability and Subsidies in Public Urban Transport: What Do We Mean, What Can Be Done? // The World Bank/Latin America and the Caribbean Region. Sustainable Development Department. December. 2007. 51 p. – URL: www.wds.worldbank.org, свободный (дата обращения 02.11.23). – Загл. с титул. экрана. – Текст : электронный.

12. Litman Todd. Transportation Affordability Evaluation and Improvement Strategies // Victoria Transport Policy Institute, 2010. 9 July 32 <https://trid.trb.org/view/1245894>, свободный (дата обращения 29.10.23). – Загл. с титул. экрана. – Текст : электронный.

References

1. Anabarskij ulus (rajon). – URL: respublika-saha-jakutia.rf/stati/jakutija/anabarskii-ulus-raion.html, svobodnyj (data obrashhenija 16.10.2022) – Zagl. s titul. jekrana. – Tekst : jelektronnyj.
2. Glushhenko, E.I. Postroenie izohron transportnoj dostupnosti sredstvami GRASS GIS I QGIS / E.I. Glushhenko, A.E. Borovskoj, V.Je. Haruzin // X Mezhdunarodnaja studencheskaja nauchnaja konferencija Studencheskij nauchnyj forum, 2018. – URL: <https://scienceforum.ru/2018/article/2018000834>, svobodnyj (data obrashhenija: 25.09.2023). – Zagl. s titul. jekrana. – Tekst : jelektronnyj.

3. Dubovik, V.O. Ocenka transportnoj dostupnosti gorodov Urugvaja i Bolivii / V.O. Dubovik. – Tekst: neposredstvennyj // Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 5. Geografija. – 2014. – № 3. – s.57-63.
4. Dubovik, V. O. Ocenka transportnoj dostupnosti gorodov na primere stran Juzhnoj Ameriki : 25.00.24 : dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata geograficheskikh nauk : zashhishhena 16.10.14 / Dubovik Vasilij Olegovich. – Moskva, 2014. – 294 s. – Tekst : neposredstvennyj.
5. Lavrinenko, P.A. Transportnaja dostupnost' kak indikator razvitiya regiona / P.A.Lavrinenko, A.A. Romashina, P.S. Stepanov, P.A. Chistjakov // Problemy prognozirovaniya. 2019. № 6 (177). – s. 136-146 – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transportnaya-dostupnost-kak-indikator-razvitiya-regiona>, svobodnyj (data obrashhenija 01.10.23). – Zagl. s titul. jekrana. – Tekst : jelektronnyj.
6. Neretin, A.S. Transportnoe polozhenie i dostupnost' territorij Evropejskoj Rossii : 25.00.24 : / Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata geograficheskikh nauk: zashhishhena 15.06.18 / Neretin Aleksandr Sergeevich. – Moskva, 2018. – 125 s. – Tekst : neposredstvennyj.
7. Nizhnekolymskij ulus (rajon). URL: respublika-saha-jakutija.rf/stati/jakutija/anabarskii-ulus-raion.html, svobodnyj (data obrashhenija 16.10.2023). – Zagl. s titul. jekrana. – Tekst : jelektronnyj.
8. Obutov, K.A. Primenenie setevogo analiza dlja ocenki i kartografirovaniya transportnoj dostupnosti v Respublike Saha (Jakutija) / K.A. Obutov, A.N. Savvinova, Zaharov M.I. // Tematicheskie karty i atlasyy: sovremennye koncepcii nauchnogo sodержaniya, novye tehnologii sozdaniya i ispol'zovaniya / Materialy XI mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii po tematicheskoy kartografii (28 nojabrja – 2 dekabrja 2022 g., Irkutsk). – Irkutsk: Izd-vo IG SO RAN. – 2022. – S. 179-181. – URL: http://www.irigs.irk.ru/download/2022_conference_materials_XI.pdf, svobodnyj (data obrashhenija 19.10.2023). – Zagl. s titul. jekrana. – Tekst : jelektronnyj.
9. Postanovlenie pravitel'stva RS(Ja) ot 15 sentjabrja 2021 g. № 343 – O gosudarstvennoj programme «Razvitie transportnogo kompleksa Respubliki Saha (Jakutija) na 2020-2024 gody». – URL: <https://mintrans.sakha.gov.ru/deyat/Gosudarstvennie-i-tselevie-programmi/o-gosudarstvennoj-programme-respubliki-saha-jakutija-razvitie-transportnogo-kompleksa-respubliki-saha-jakutija-na-2020-2024-gody>, svobodnyj (data obrashhenija 17.10.2023). – Zagl. s titul. jekrana. – Tekst : jelektronnyj.
10. Stroeve, G.N. Obespechenie transportnoj dostupnosti naselenija kak vazhnoe napravlenie social'no-jekonomicheskogo razvitiya regiona / G.N. Stroeve, D.V. Slobodchikova // Uchenye zametki TOGU. – Uchenye zametki TOGU: 2016. – S. 673 – 679 – URL: <https://pnu.edu.ru/ejournal/pub/articles/1445/> svobodnyj (data obrashhenija 17.10.2023). – Zagl. s titul. jekrana. – Tekst : jelektronnyj.
11. Affordability and Subsidies in Public Urban Transport: What Do We Mean, What Can Be Done? // The World Bank/Latin America and the Caribbean Region. Sustainable Development Department. December. 2007. 51 p. – URL: www-wds.worldbank.org, svobodnyj (data obrashhenija 02.11.23). – Zagl. s titul. jekrana. – Tekst : jelektronnyj.
12. Litman Todd. Transportation Affordability Evaluation and Improvement Strategies // Victoria Transport Policy Institute, 2010. 9 July 32 <https://trid.trb.org/view/1245894>, svobodnyj (data obrashhenija 29.10.23). – Zagl. s titul. jekrana. – Tekst : jelektronnyj.

Сведения об авторах

ОБУТОВ Кирилл Андреевич – аспирант Эколого-географического отделения Института естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: obutovkirill@gmail.com

OBUTOV Kirill Andreevich – postgraduate student, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: obutovkirill@gmail.com

САВВИНОВА Антонина Николаевна – к.г.н., доцент Эколого-географического отделения Института естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: sava_73@mail.ru

SAVVINOVA Antonina Nikolaevna – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: sava_73@mail.ru

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

№ 4(32) 2023

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

Подписано в печать 19.12.2023. Формат 70х108/16.
Дата выхода в свет 19.12.23.