ISSN 2541-8912 (Print)
ISSN 2713-2161 (Online)

ГЕОСИСТЕМЫ ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН

GEOSYSTEMS of Transition Zones

2022 Том 6 № 1

https://doi.org/10.30730/gtrz

ISSN 2541-8912 (Print)
ISSN 2713-2161 (Online)

ГЕОСИСТЕМЫ ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН

Том 6 № 1 2022 Январь – Март

GEOSYSTEMS OF TRANSITION ZONES

Vol. 6 No. 1 2022 January – March

Научный журнал

Учредитель и издатель:

ФГБУН Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук

Издается с 2017 г.

Периодичность издания 4 раза в год

Scientific journal

Founder and Publisher:

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Published since January 2017

Periodicity: Quarterly

Основная задача журнала – информирование научной общественности, российской и зарубежной, о результатах изучения геосистем переходных зон Земли и связанных с ними проблем геофизики, геологии, геодинамики, сейсмологии, геоэкологии и других наук.

The Journal mission is informing of international scientific community about results of researches in the geosystems of Earth transition zones and related problems in Geophysics, Geology, Geodynamics, Seismology, Geoecology and other sciences.

Журнал:

- индексируется в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ);**
- регистрируется в системе **CrossRef**. Научным публикациям присваивается идентификатор – DOI;
- включен в каталог **Ulrich's Periodicals Directory**;
- включен в международную базу научных журналов открытого доступа – **Directory of Open Access Journals (DOAJ);**
- входит в **Перечень ВАК** – Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, доктора наук по следующим научным специальностям и соответствующим им отраслям науки:

25.00.01. Общая и региональная геология *(геолого-минералогические)*

25.00.03. Геотектоника и геодинамика *(геолого-минералогические)*

25.00.04. Петрология, вулканология *(геолого-минералогические)*

25.00.10. Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых *(геолого-минералогические; физико-математические)*

25.00.25. Геоморфология и эволюционная география *(географические)*

25.00.28. Океанология *(географические; геолого-минералогические; физико-математические)*

25.00.35. Геоинформатика *(геолого-минералогические; физико-математические)*

25.00.36. Геоэкология *(геолого-минералогические; географические)*

01.02.04. Механика деформируемого твердого тела *(физико-математические; технические)*

The Journal is:

- indexed in **Russian Science Citation Index (RISC)**;
- registered in the **CrossRef** system. Scientific publications are assigned an individual identifier DOI;
- included in the **Ulrich's Periodicals Directory** database;
- included in the **Directory of Open Access Journals (DOAJ);**
- included in the **VAK List** – the List of peer reviewed scientific journals, in which main scientific results of dissertations for the Candidate of Sciences and Doctor of Sciences degrees should be published. Scientific specialities of dissertations and their respective branches of science are the following:

25.00.01. General and regional geology *(Geology and Mineralogy)*

25.00.03. Geotectonics and Geodynamics *(Geology and Mineralogy)*

25.00.04. Petrology and volcanology *(Geology and Mineralogy)*

25.00.10. Geophysics, geophysical methods of exploration activity *(Geology and Mineralogy; Physics and Mathematics)*

25.00.25. Geomorphology and evolutionary geography *(Geography)*

25.00.28. Oceanology *(Geography; Geology and Mineralogy; Physics and Mathematics)*

25.00.35. Geoinformatics *(Geology and Mineralogy; Physics and Mathematics)*

25.00.36. Geoecology *(Geology and Mineralogy; Geography)*

01.02.04. Mechanics of deformable solids *(Physics and Mathematics; Engineering)*

Адрес учредителя и издателя

ИМГиГ ДВО РАН
ул. Науки, 1б, Южно-Сахалинск, 693022
Тел./факс: (4242) 791517
E-mail: **gtrz-journal@mail.ru**
Сайт: **http://journal.imgg.ru**

Postal address

IMGG FEB RAS
1B, Nauki Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022
Tel. / Fax: (4242) 791517
E-mail: **gtrz-journal@mail.ru**
Website: **http://journal.imgg.ru**

© ИМГиГ ДВО РАН, 2022

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

Content is available under the Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

Редакционная коллегия

Главный редактор

Левин Борис Вульфович, член-корреспондент РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск; Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

Заместитель главного редактора

Богомолов Леонид Михайлович, д-р физ.-мат. наук, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, директор

Ответственный секретарь

Прытков Александр Сергеевич, канд. физ.-мат. наук, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

- **Адушкин Виталий Васильевич**, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, Институт динамики геосфер РАН; Московский физико-технический институт, Москва
- **Алексанин Анатолий Иванович**, д-р техн. наук, Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток
- **Быков Виктор Геннадьевич**, д-р физ.-мат. наук, Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск
- **Завьялов Петр Олегович,** чл.-корр. РАН, д-р геогр. наук, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва
- **Закупин Александр Сергеевич,** канд. физ.-мат. наук, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск – *зам. главного редактора*
- **Ковалев Дмитрий Петрович,** д-р физ.-мат. наук, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск
- **Кочарян Геворг Грантович,** д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт динамики геосфер РАН, Москва
- **Куркин Андрей Александрович,** д-р физ.-мат. наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород
- **Лабай Вячеслав Степанович**, д-р биол. наук, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Южно-Сахалинск
- **Левин Владимир Алексеевич,** академик РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток; Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
- **Лучин Владимир Александрович**, д-р геогр. наук, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток
- **Марапулец Юрий Валентинович**, д-р физ.-мат. наук, доцент, Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Камчатский край, Паратунка
- **Обжиров Анатолий Иванович**, д-р геол.-минер. наук, профессор, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток
- **Огородов Станислав Анатольевич,** профессор РАН, д-р геогр. наук, чл.-корр. РАЕН, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
- **Плехов Олег Анатольевич**, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь
- **Разжигаева Надежда Глебовна,** д-р геогр. наук, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток
- **Ребецкий Юрий Леонидович**, д-р физ.-мат. наук, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва
- **Родкин Михаил Владимирович,** д-р физ.-мат. наук, Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва

Editorial Board

Editor-in-Chief

Boris W. Levin, Corr. Member of the RAS, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk; P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow, Russia

Deputy Editor-in-Chief

Leonid M. Bogomolov, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Director, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Executive Secretary

Alexander S. Prytkov, Cand. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk

- **Vitaly V. Adushkin**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Geosphere Dynamics of RAS; Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow
- **Anatoly I. Alexanin**, Dr. Sci. (Eng.), The Institute of Automation and Control Processes of the FEB RAS, Vladivostok
- **Victor G. Bykov**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics of the FEB RAS, Khabarovsk
- **Peter O. Zavyalov**, Corr. Member of RAS, Dr. Sci. (Geogr.), P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow
- **Alexander S. Zakupin,** Cand. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk – *Deputy Editor-in-Chief*
- **Dmitry P. Kovalev**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk
- **Gevorg G. Kocharyan**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Geosphere Dynamics of RAS, Moscow
- **Andrei A. Kurkin**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhniy Novgorod
- **Vyacheslav S. Labay,** Dr. Sci. (Biology), Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk
- **Vladimir A. Levin**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, The Institute of Automation and Control Processes of the FEB RAS, Vladivostok; Lomonosov Moscow State University, Moscow
- **Vladimir A. Luchin**, Dr. Sci. (Geogr.), V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of the FEB RAS, Vladivostok
- **Yuri V. Marapulets**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Associate Professor, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation of the FEB RAS, Kamchatka Region
- **Anatoly I. Obzhirov**, Dr. Sci. (Geol. and Miner.), Professor, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of the FEB RAS, Vladivostok
- **Stanislav A. Ogorodov**, Professor of RAS, Dr. Sci. (Geogr.), Corr. Member of RAES, Lomonosov Moscow State University, Moscow
- **Oleg A. Plekhov**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Continuous Media Mechanics of the Ural Branch of RAS, Perm'
- **Nadezhda G. Razjigaeva,** Dr. Sci. (Geogr.), Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok
- **Yuri L. Rebetskiy**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, Moscow
- **Mikhail V. Rodkin**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics of RAS, Moscow

Редакционная коллегия

- **Рыбин Анатолий Кузьмич**, д-р физ.-мат. наук, Научная станция РАН в г. Бишкеке, Бишкек, Киргизия
- **Сасорова Елена Васильевна**, д-р физ.-мат. наук, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва
- **Сергеева Ирина Вячеславовна**, д-р биол. наук, профессор, Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, Саратов
- **Такахаши Хироаки**, профессор, Институт сейсмологии и вулканологии Университета Хоккайдо, Саппоро, Япония
- **Троицкая Юлия Игоревна**, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; Нижегородский гос. университет им Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород
- **Христофорова Надежда Константиновна**, д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАЕН, Заслуженный деятель науки РФ, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток
- **Шакиров Ренат Белалович**, д-р геол.-минер. наук, доцент, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток
- **Шевченко Георгий Владимирович**, д-р физ.-мат. наук, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Южно-Сахалинск
- **Шеменда Александр Ильич**, профессор исключительного класса, Университет Ниццы София-Антиполис, Ницца, Франция
- **Ярмолюк Владимир Викторович**, академик РАН, д-р геол.-минер. наук, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва

Editorial Board

- **Anatoly K. Rybin**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Research Station of RAS in Bishkek City, Bishkek, Kyrgyzstan
- **Elena V. Sasorova**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow
- **Irina V. Sergeeva**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov
- **Hiroaki Takahashi**, Professor, Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, Sapporo, Japan
- **Yuliya I. Troitskaya**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Applied Physics of RAS, Nizhniy Novgorod; Lobachevsky University, Nizhniy Novgorod
- **Nadezhda K. Khristoforova**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Corr. Member of RAES, Far Eastern Federal University, Vladivostok
- **Renat B. Shakirov**, Dr. Sci. (Geol. and Miner.), Associate Professor, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of the FEB RAS, Vladivostok
- **Georgy V. Shevchenko**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk
- **Alexandre I. Chemenda (Shemenda)**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professeur des Universités de Classe Exceptionnelle, Université de Nice Sophia Antipolis, Nice, France
- **Vladimir V. Yarmolyuk**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Geol. and Miner.), Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS, Moscow

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-73243 от 13.07.2018 г.).

Переводчик **Качесова Галина Сергеевна**

Редактор к.ф.н. **Низяева Галина Филипповна**
Дизайн **Леоненкова Александра Викторовна**
Компьютерная верстка **Леоненкова Александра Викторовна**
Корректор **Качесова Галина Сергеевна**

Типография: 693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б.

http://www.imgg.ru

Формат 60 × 84 /8. Усл. печ. л. 8,8.
Тираж 150 экз. Заказ 7983. Свободная цена.
Подписано в печать 30.03.2022.

Подписной индекс в Объединенном интернет-каталоге «Пресса России» (www.pressa-rf.ru) – 80882
По вопросам распространения обращаться также
E-mail: gtrz-journal@mail.ru

Translator **Galina S. Kachesova**

Editor **Galina Ph. Nizyaeva,** Cand. Sci. (Phylology)
Design **Alexandra V. Leonenkova**
Desktop publishing **Alexandra V. Leonenkova**
Proofreader **Galina S. Kachesova**

Publisher: 1B, Nauki Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022.

http://www.imgg.ru

Sheet size 60 × 84 /8. Conv. print. sheets 8,8.
Number of copies 150. Order no. 7983. Free price.
Date of publishing 30.03.2022.

Subscription index in United web-catalogue «Press of Russia» (www.pressa-rf.ru) – 80882
The Editorial Office can also be contacted by:
E-mail: gtrz-journal@mail.ru

ISSN 2541-8912 (Print)
ISSN 2713-2161 (Online)

Геосистемы переходных зон
Том 6 № 1 2022 Январь – Март

http://journal.imgg.ru

https://doi.org/10.30730/gtrz-2022-6-1

Geosystems of Transition Zones
Vol. 6 No. 1 2022 January – March

https://doi.org/10.30730/gtrz-2022-6-1

СОДЕРЖАНИЕ

Региональная геология. Геотектоника и геодинамика

Ю.В. Костров, П.А. Каменев, В.А. Дегтярев. Структурно-геологическое изучение зоны влияния центральной части Западно-Сахалинского разлома 5

Вулканология

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

А.В. Дегтерев, М.В. Чибисова. Активность вулкана Чикурачки (о. Парамушир, северные Курильские острова) в январе–феврале 2022 г. 13

Геоморфология и палеогеография

Т.В. Корнюшенко, Н.Г. Разжигаева, Л.А. Ганзей, Т.А. Гребенникова, Е.П. Кудрявцева, Я.Е. Пискарева, С.Д. Прокопец. Признаки трансформации геосистем при освоении Южного Приморья в средневековье: городище Стеклянуха-2 24

Л.М. Мохова, Е.П. Кудрявцева. Субфоссильные спорово-пыльцевые спектры как отражение высотной поясности Южного Сихотэ-Алиня 43

Океанология

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

А.С. Борисов. Характеристики морского волнения в порту города Холмск (о. Сахалин) 54

Экология

Т.Г. Коренева, Л.Е. Сигарева Пигменты в донных отложениях зал. Анива (Охотское море) 60

От редакции

Правила оформления и публикации рукописей в журнале «Геосистемы переходных зон» 74

CONTENT

Regional geology. Geotectonics and geodynamics

Yu.V. Kostrov, P.A. Kamenev, V.A. Degtyarev. Structural and geological study of the zone of influence of the central part of the West Sakhalin fault 5

Volcanology

TRANSLATION SHORT REPORT

A.V. Degterev, M.V. Chibisova. The activity of Chikurachki volcano (Paramushir Isl., Northern Kuriles) in January–February of 2022 18

Geomorphology and Palaeogeography

T.V. Kornyushenko, N.G. Razjigaeva, L.A. Ganzey, T.A. Grebennikova, E.P. Kudryavtseva, Y.E. Piskareva, S.D. Prokopets. Evidence of geosystems transformation during Medieval development of South Primorye: Steklyanukha-2 fortress 24

L.M. Mokhova, E.P. Kudryavtseva. Subfossil pollen spectra as evidence of the altitudinal zonation of the Southern Sikhote-Alin 43

Oceanology

SHORT REPORT

A.S. Borisov. Sea wave characteristics in the port of Kholmsk (Sakhalin Island) 54

Ecology

T.G. Koreneva, L.E. Sigareva Pigments in the bottom sediments of Aniva Bay (Sea of Okhotsk) 60

Editorial Note

Manuscript formatting and publication guidelines of the “Geosystems of Transition Zones” Journal 74

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

Content is available under the Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

© Авторы 2022 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

© The Authors 2022. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 551.248.2+550.341

https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.005-012

Структурно-геологическое изучение зоны влияния центральной части Западно-Сахалинского разлома

*Ю. В. Костров, П. А. Каменев, В. А. Дегтярев**

**E-mail: degtyarevvladislav96@yandex.com*

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Реферат. В рамках комплексных полевых исследований по изучению геологических и структурных характеристик горных пород в районе с. Бошняково – пос. Шахтерск (Углегорский район о. Сахалин) выполнены структурно-геологические исследования. Показано, что смена структурно-фациальных зон кайнозойского разреза (от среднего эоцена до нижнего миоцена) происходит в междуречье Оннай – Гончаровка. Задокументированы крупные зеркала скольжения в предполагаемой зоне Лесогорско-Углегорского землетрясения 1924 г. с M_{LH} = 7.0. Проведены детальные измерения пространственной ориентировки зеркал скольжения с целью реконструкции тектонических напряжений тектонофизическими методами. В структуре изученных зеркал скольжения преобладает горизонтальное растяжение, реже определяется горизонтальное растяжение в сочетании со сдвигом.

Ключевые слова: кремнистые отложения, напряжения, геологическое строение, тектонические нарушения, зеркала скольжения, трещиноватость

Structural and geological study of the zone of influence of the central part of the West Sakhalin fault

*Yurii V. Kostrov, Pavel A. Kamenev, Vladislav A. Degtyarev**

**E-mail: degtyarevvladislav96@yandex.com*

Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Abstract. Structural and geological studies were carried out as part of a comprehensive field research for studying the geological and structural characteristics in the area of the village of Boshnyakovo – the town of Shakhtyorsk (the Uglegorsky district, Sakhalin Island). It is shown that the change of the structural-facies zones of the Cenozoic section (from the Middle Eocene to the Lower Miocene) occurs in the Onnai – Goncharovka interfluve. Large slickensides have been documented in the supposed zone of the Lesogorsk-Uglegorsk earthquake of 1924 with M_{LH} = 7.0. Detailed measurements of the spatial orientation of slickensides were carried out in order to reconstruct tectonic stresses by tectonophysical methods. There is a predominance of horizontal extension in the structure of the studied slickensides, less often horizontal extension in combination with shear.

Keywords: siliceous deposits, stresses, geological structure, tectonic disturbances, slickensides, fracturing

Для цитирования: Костров Ю.В., Каменев П.А, Дегтярев В.А. Структурно-геологическое изучение зоны влияния центральной части Западно-Сахалинского разлома. *Геосистемы переходных зон*, 2022, т. 6, № 1, с. 5–12. https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.005-012

For citation: Kostrov Yu.V., Kamenev P.A., Degtyarev V.A. Structural and geological study of the zone of influence of the central part of the West Sakhalin fault. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2022, vol. 6, no. 1, pp. 5–12. (In Russ., abstr. in Engl.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.005-012

Введение

В мае 2021 г. сотрудниками Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН) были проведены полевые исследования естественных обнажений в районе с. Бошняково – пос. Шахтерск (Углегорский район о. Сахалин), продолжающие серию тектонофизических исследований, выполненных совместно ИМГиГ ДВО РАН и Институтом физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН) [1, 2, 3]. Следует отметить, что в той или иной степени методики, использованные в нашей работе, применялись ранее другими исследователями как на западном побережье о. Сахалин [4, 5], так и в других регионах России и ближнего зарубежья [6, 7]. При этом, несмотря на внушительный объем проделанной работы [4, 5],

район исследования, затронутый в настоящей статье, не был изучен.

Основными задачами полевых работ являлись изучение области перехода Александровской структурно-фациальной зоны (СФЗ) в Углегорско-Чеховскую, геодинамической активности региона; измерения элементов зеркал скольжения как геологических индикаторов тектонических напряжений. Подобные исследования в Углегорском районе о. Сахалин ранее уже проводились сотрудниками ИМГиГ ДВО РАН и ИФЗ РАН [2, 3], и текущий этап работ можно расценивать как их продолжение. В ходе экспедиции выявлены и задокументированы крупные зеркала скольжения, которые ранее не были отмечены на территории Сахалина. Кроме того, обнаружены другие признаки высокой геодинамической активности региона – естественные выходы на поверхность сероводорода [8].

Полевые исследования и фактический материал

Исследования проходили на западном побережье о. Сахалин, в пределах Западно-Сахалинского осадочного бассейна (ОБ). Тектоника района обусловлена влиянием Западно-Сахалинского разлома, проходящего вдоль береговой линии, и оперяющими разрывными нарушениями второго порядка. Этим объясняется блочное строение кайнозойской толщи разреза, по типу «клавиш», со значительными вертикальными смещениями [9, 10]. В геологическом плане данный участок интересен тем, что здесь происходит резкое изменение условий осадконакопления кайнозойских отложений и смена Александровской СФЗ на Углегорско-Чеховскую [11, 12]. Стратиграфическим совещанием 1994 г. граница СФЗ утверждена по р. Августовка, однако данное разграничение, на наш взгляд, следует считать условным, поскольку изменения фациальных условий происходили постепенно – сверху вниз по разрезу и с севера на юг по латерали в пределах зоны от р. Августовка до р. Лесогорка, причем замещаются и выклиниваются морские и вулканогенные отложения. Состав прибрежно-континентальных – угленосных фаций меняется незначительно.

Несмотря на хорошую обнаженность пород и изученность района, единого мнения по вопросу положения границы Александровской и Углегорско-Чеховской СФЗ не существует. Не решена эта проблема и при издании Государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 третьего поколения [10]. Наиболее детально изучен разрез по р. Августовка (например, [12]), его определенно можно отнести к Александровской СФЗ, кроме курасийской свиты, которая появляется в разрезе севернее устья реки. Кроме того, в монографии [12] в устье р. Августовка показан небольшой блок отложений холмской свиты. Однако южнее, на р. Оннай, авторами данной статьи в 2018–2019 гг. был изучен разрез, в котором, по литологическим признакам, ниже верхнедуйской свиты залегают вулканогенно-осадочные отложения хойнджинской и глинистые алевролиты геннойшинской свиты. На р. Гончаровка, расположенной южнее р. Оннай, авторы наблюдали кайнозойский разрез, литологически соответствующий Углегорской СФЗ. Таким образом, по нашему мнению, смена структурно-фациальных зон кайнозойского разреза (от среднего эоцена до нижнего миоцена) проходит в междуречье Оннай – Гончаровка. Конечно, подобное утверждение требует более представительных доказательств, но это уже материал для отдельной работы.

Исследования проведены в 10 точках наблюдения (т. н.) в породах кайнозойского комплекса – от каменской ($₽_2$km) до курасийской (N_1kr) свиты (рис. 1). Все данные имеют пространственную привязку, полученную с помощью оборудования спутниковой геодезии GPS / ГЛОНАСС.

В рамках экспедиции задокументировано 97 зеркал скольжения различного масштаба, из них 44 высокой степени достоверности (см. таблицу). Выполнены измерения элементов зеркал скольжения с определением кинематического типа относительного смещения бортов нарушения.

Описание результатов наблюдений дается в направлении с севера на юг района исследований. Северная часть маршрута проходила по р. Августовка, где проводится граница структурно-фациальных зон. Данный участок характеризуется крутыми углами залегания пород – до 70°.

Точка наблюдения **21085** расположена вблизи границы меловых и палеогеновых отложений, в поле развития каменской свиты ($₽_2$km), сложенной преимущественно переслаиванием песчаников и конгломератов, с преобладанием последних. Разрез изучался во врезе

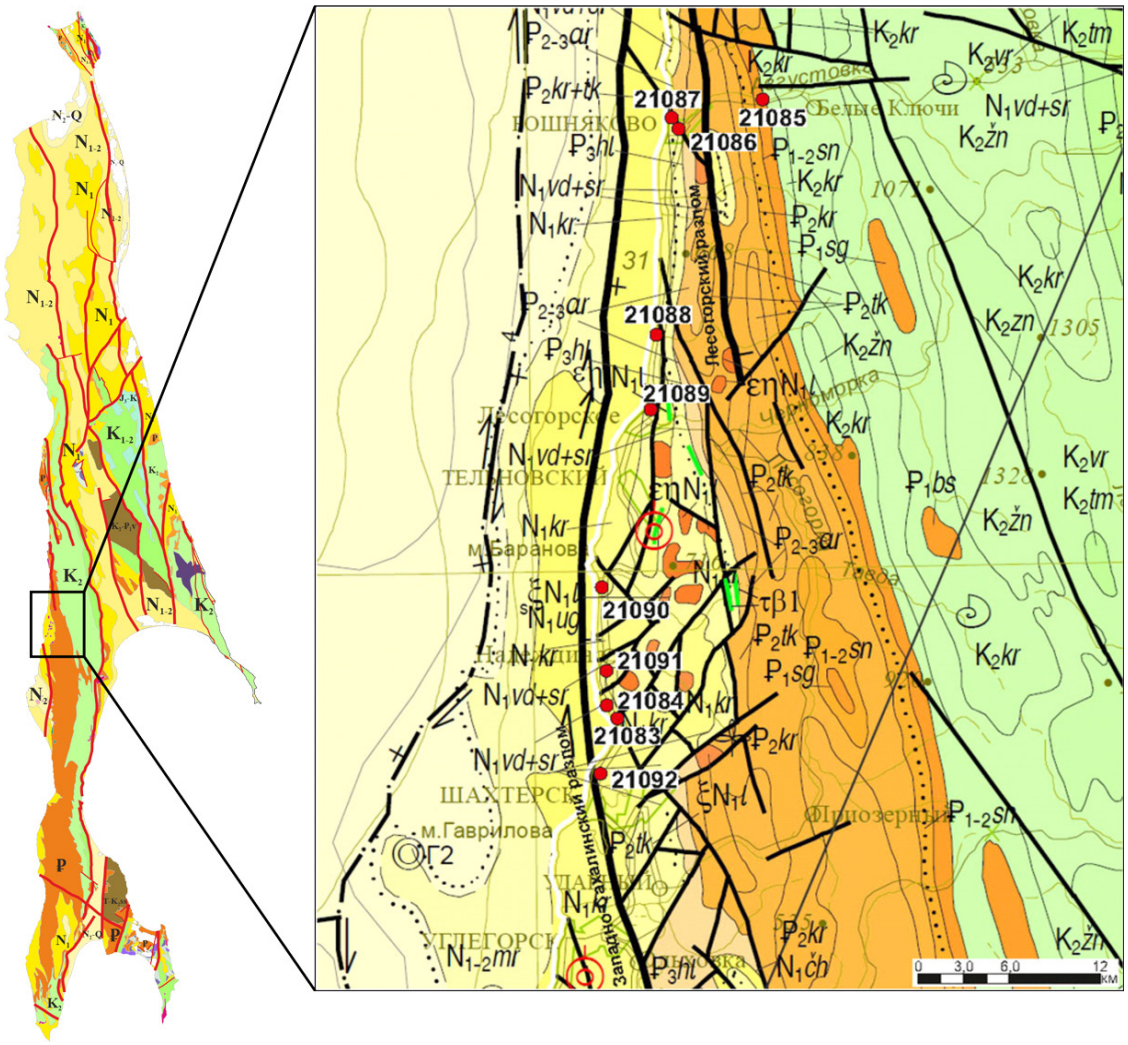


Рис. 1. Карта фактического материала (на основе Государственной геологической карты РФ м-ба 1:1 000 000, 2016 г.). (https://vsegei.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/Dalnevostochnaya/m-54.php).

Fig. 1. Map of the actual material (based on the State Geological Map of the Russian Federation at 1:1 000 000, 2016). (https://vsegei.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/Dalnevostochnaya/m-54.php).

Таблица. Данные о выявленных и описанных зеркалах скольжения

Table. Data on the identified and described slickensides

Точки наблюдения, привязка	Количество зеркал скольжения (в т.ч. высокой достоверности)
21083 (мыс Лесовского, юг)	10 (1)
21084 (мыс Лесовского, север)	10 (6)
21085 (р. Августовка)	10 (10)
21086 (устье р. Августовка)	10 (7)
21087 (устье р. Августовка)	8 (3)
21088 (р. Гончаровка)	9 (–)
21089 (пос. Лесогорск)	11 (7)
21090 (р. Каменка)	11 (6)
21091 (р. Надеждинка)	8 (2)
21092 (протока оз. Тауро)	10 (2)
Итого	*97 (44)*

дороги в левом борту р. Августовка. Породы местами слабо выветренные, «освеженные» при ремонтных работах. В полотне дороги наблюдаются сероводородные источники (геохимический признак активного, проводящего разлома [8]) (рис. 2).

Рис. 2. Точка наблюдения 21085. Крупное зеркало скольжения в конгломератах каменской свиты (слева). Сероводородный источник на границе мела и палеогена (справа).

Fig. 2. Observation point 21085. A large slickenside in the conglomerates of the Kamensk Formation (left). Hydrogen sulfide source at the boundary of the Cretaceous and Paleogene (right).

Рис. 3. Крупное зеркало скольжения на левом берегу р. Августовка (т. н. 21085).

Fig. 3. Large slickenside on the left bank of the Augustovka River (o. p. 21085).

Точка расположена в зоне влияния субширотного разлома, вдоль которого протекает р. Августовка. Разрывное нарушение было заложено, вероятно, в палеоцене, но, судя по сероводородным источникам и относительно хорошо сохранившимся многочисленным зеркалам скольжения, возобновилось в сахалинскую фазу складчатости и является активным до настоящего времени. Отдельного упоминания заслуживает крупное зеркало скольжения размером 10 × 6 м (рис. 3). Плоскость сместителя расположена на поверхности конгломератов крупной фракции. При этом зеркало и борозды скольжения одинаково четко прослеживаются как на цементной матрице, так и на крупной гальке породы. Азимут простирания плоскости сместителя – 113°, следы скольжения образованы правым сдвигом, что очевидно указывает на субширотную ориентацию горизонтального сжатия. Столь мощное смещение может быть реализовано лишь крупным сейсмическим событием, каковым могло быть Лесогорско-Углегорское землетрясение 1924 г. с M_{LH} = 7.0. Подобное по масштабу зеркало было также найдено и задокументировано в точке 21089, на северном въезде в пос. Лесогорск.

Точки наблюдения **21086** и **21087** расположены во врезе дороги в правом борту долины, в устье р. Августовка. Благодаря крутым углам падения в одном обнажении наблюдается верхняя часть хойнджинской (холмской) свиты, полный разрез верхнедуйской и нижняя часть курасийской свиты. Тектоника в обеих точках на-

блюдения связана с диагональным разломом северо-западного простирания, оперяющим Западно-Сахалинский и Лесогорский разломы.

Точка наблюдения **21088** находится во врезе дороги в правом борту долины р. Гончаровка. В придорожном карьере вскрыта интрузия эссекситов Лесогорского комплекса, внедренная в породы курасийской свиты, представленные кремнистыми алевролитами, туфами, туфопесчаниками. Контакт очень неровный, с апофизами. Интрузия внедрена по субмеридиональному разлому (взбросу), расположенному между Лесогорским и Западно-Сахалинским разломами.

Точка наблюдения **21089** находится в правом борту долины р. Лесогорка. В небольшом карьере вскрыт разрез верхнедуйской свиты, представленный песчаниками среднезернистыми, туфопесчаниками крупнозернистыми, туфами трахибазальтов. По трещинам минерализация кальцита, в раздувах до 6 см. Породы раздроблены, склоны карьера интенсивно осыпаются.

В обнажении зафиксировано 11 зеркал скольжения, в том числе крупное зеркало скольжения размером 5 × 10 м (рис. 4). Азимут простирания плоскости сместителя – 134°, следы скольжения образованы левым сдвигом, что очевидно указывает на субширотную ориентацию горизонтального сжатия.

Точка наблюдения **21090** в береговом обрыве в 200 м южнее устья р. Каменка, в приподошвенной части курасийской свиты на границе с верхнедуйской. Алевролиты кремнисто-глинистые, черные, пластинчато-щебенчатые, с редкими линзовидными слойками кремнистых алевролитов. Азимут падения 245°, угол падения 70°.

Тектонически участок локализован в зоне влияния Западно-Сахалинского разлома и оперяющего разрывного нарушения северо-западного простирания, по которому проходит долина р. Каменка. Местами наблюдается довольно интенсивное смятие пород.

Точка наблюдения **21091** расположена в придорожном карьере в 400 м южнее устья р. Надеждинка. В точке вскрыты породы верхнедуйской свиты, представленные переслаиванием туфопесчаников, песчаников мелкозернистых и алевролитов кремнисто-глинистых с пластами углей (до 2 м) и углистых аргиллитов. Азимут падения 230°, угол падения 60°.

Тектонически участок приурочен к зоне влияния Западно-Сахалинского разлома и оперяющего разрывного нарушения северо-восточного простирания, по которому проходит долина р. Надеждинка. Имеет место довольно интенсивное смятие пород, которое увеличивается в северном направлении в сторону разрывного нарушения, где расположена зона дробления (рис. 5).

Точка наблюдения **21083** находится на южной стороне мыса, замыкающего с севера зал. Лесовского (напротив горы Лесовского) (рис. 6). Мыс образован раннеплиоценовой интрузией, прорывающей курасийские

Рис. 4. Крупное зеркало скольжения в туфопесчаниках верхнедуйской свиты (т. н. 21089), северный въезд в пос. Лесогорск.

Fig. 4. Large slickenside in the tuff sandstones of the Verkhneduisk Formation (o. p. 21089), the northern entrance to the village of Lesogorsk.

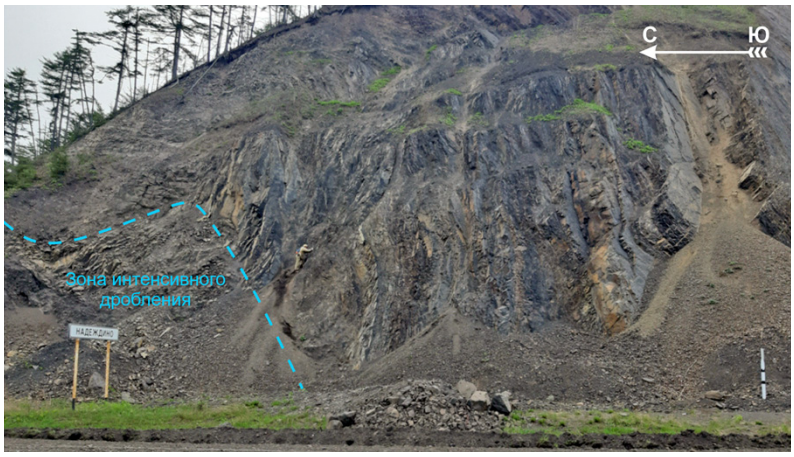


Рис. 5. Точка наблюдения 21091. Пример обнажения с тектонической нарушенностью пород, особенно интенсивной в левой его части.

Fig. 5. Observation point 21091. An example of the outcrop with the tectonic disturbance of rocks, the most intensive in its left part.

Рис. 6. Зеркало скольжения хорошего качества по прожилку кальцита (т. н. 21083).

Fig. 6. Good quality slickenside along the calcite vein (o. p. 21083).

Рис. 7. Точки наблюдения 21083 и 21084. На заднем плане – апофиз интрузии.

Fig. 7. The observation points are 21083 and 21084. The apophysis of the intrusion is in the background.

отложения и сложенной трахиандезитами, сиенитами Лесогорского комплекса, зеленовато-серыми, массивными, глыбовой отдельности. Интрузия прорывается в месте пересечения двух разрывных нарушений – северо-восточного и юго-юго-восточного простирания, оперяющих Западно-Сахалинский разлом, который проходит на расстоянии 2 км западнее точки наблюдения.

Точка наблюдения **21084** в 300 м севернее т. н. 21083, у северного основания вышеописанного мыса. Трахиандезиты темно-серые, массивные, глыбовой отдельности, с карманами и линзами туфов пелито-псаммитовых, светло-серых. В экзоконтакте ороговикованные кремнистые породы, черные, щебенчатые, оскольчатые, мощностью более 10 м, стратиграфически приурочены к подошве курасийской свиты (N_1kr) на границе с сертунайской (N_1sr). Севернее в клифе обнажается апикальная часть апофиза главного тела (рис. 7).

Точка наблюдения **21092** расположена в 300 м к северу от устья протоки оз. Тауро, в береговом клифе, в поле развития курасийской свиты, представленной алевролитами кремнисто-глинистыми, черными, щебенчатыми, крепкими. Азимут падения 235°, угол падения 15°.

В обнажении отмечено разрывное нарушение, вероятно, северо-восточного простирания (рис. 8), зона дробления разлома субвертикальная, шириной около 1 м. Зеркала скольжения зафиксированы в пределах 10 м от разлома, только в южном блоке. Несмотря на то что точка наблюдения находится в непосредственной близости от Западно-Сахалинского разлома, нарушенность пород незначительная, залегание пологое.

Краткие и предварительные итоги тектонофизических исследований заключаются в следующем: в структуре изученных зеркал скольжения преобладает горизонтальное

растяжение, реже наблюдается горизонтальное растяжение в сочетании со сдвигом; смещения в точке 21084 характеризуются как горизонтальный сдвиг.

Предварительные результаты демонстрируют соответствие общему региональному полю напряжений из проекта The World Stress Map [13]. Данный вывод сделан на основе преобладания, в частности на крупных зеркалах скольжения, режима субширотного сжатия. В дальнейшем, после обработки всего массива замеров, предполагается детализация режимов локальных стресс-состояний.

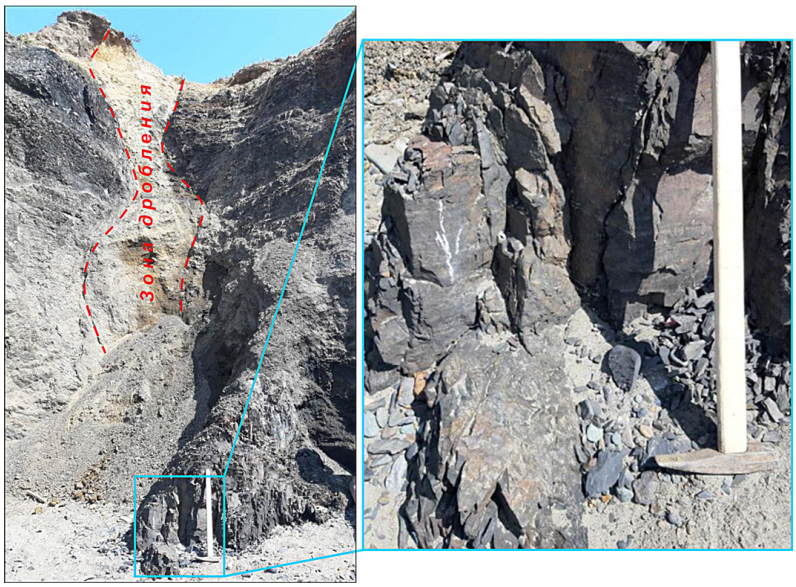


Рис. 8. Точка наблюдения 21092. Разрывное нарушение в породах курасийской свиты. Зеркала скольжения.

Fig. 8. Observation point 21092. Discontinuous disturbance in the rocks of the Kurasi Formation. Slickensides.

Заключение

В работе приведены первичные результаты структурных исследований, проведенных в 2021 г. научной экспедицией ИМГиГ ДВО РАН на западном побережье о. Сахалин, от с. Бошняково до пос. Шахтерск. Приведены описания геологического строения, фотографии и замеры элементов зеркал скольжения в 10 точках наблюдения. Всего обнаружено и задокументировано 97 зеркал скольжения, из них 44 с высокой степенью достоверности. Выявлены такие тектонические элементы в обнажениях, как зоны дробления, интенсивность трещиноватости и смятия, элементы залегания и вторичные изменения пород, и т.п. В статье отражены результаты геодинамической активности региона, в частности активности Западно-Сахалинского разлома, в виде структурных неоднородностей, большого количества зеркал скольжения (в том числе большого масштаба). Показана зависимость степени неоднородности залегания горных пород от близости к разлому.

Результаты экспедиции позволят уточнить региональную схему тектонических напряжений земной коры о. Сахалин, которая создается совместно ИМГиГ ДВО РАН и ИФЗ РАН с 2000 г. Кроме того, ведется работа по созданию цифровой базы данных на основе ГИС-системы, которая позволит системно интерпретировать геолого-геофизические материалы по региону. В комплексе с другими традиционными данными по геологии и геофизике результаты тектонофизических исследований могут существенно расширить возможности как фундаментальной, так и прикладной науки. Планируется дальнейшее изучение активности Западно-Сахалинского разлома, в том числе геохимическими методами.

Список литературы

1. Сим Л.А., Богомолов Л.М., Брянцева Г.В., Саввичев П.А. **2017.** Неотектоника и тектонические напряжения острова Сахалин. *Геодинамика и тектонофизика*, 8(1): 181–202. https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-1-0237
2. Сим Л.А., Каменев П.А., Богомолов Л.М. **2020.** Новые данные о новейшем напряженном состоянии земной коры острова Сахалин (по структурно-геоморфологическим индикаторам тектонических напряжений). *Геосистемы переходных зон*, 4(4): 372–383. https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.4.372-383
3. Bogomolov L., Sim L., Kamenev P. **2020.** Neotectonics and stressed state patterns of the Sakhalin Island. *Intech Open. Engineering Geology*. https://doi.org/10.5772/intechopen.93522
4. Голозубов В.В., Касаткин С.А., Гранник В.М., Нечаюк А.Е. **2012.** Деформации позднемеловых и кайнозойских комплексов Западно-Сахалинского террейна. *Геотектоника*, 5: 22–44.
5. Голозубов В.В., Касаткин С.А., Малиновский А.И., Нечаюк А.Е., Гранник В.М. **2016.** Дислокации меловых и кайнозойских комплексов северной части Западно-Сахалинского террейна. *Геотектоника*, 4: 105–120. https://doi.org/10.7868/S0016853X16040032
6. Маринин А.В., Сим Л.А., Бондарь И.В. **2021.** Вариации напряженно-деформированного состояния в районе Вуоксинской разломной зоны (Выборгский район). *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 66(2): 396–412. https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.211
7. Ребецкий Ю.Л., Маринин А.В., Кузиков С.И., Сычева Н.А., Сычев В.Н. **2020.** Тектонофизические исследования активности разлома Верхового на северном склоне киргизского хребта. *Геодинамика и тектонофизика*, 11(4): 770–784.

8. Обжиров А.И. **2021.** Изучение природных газов и их использование как критериев решения геологических задач. *Итоги науки в теории и практике 2021.* Евразийское научное объединение, 82(12–5). https://doi.org/10.5281/zenodo.5833172
9. Воейкова О.А., Несмеянов С.А., Серебрякова Л.И. **2007.** *Неотектоника и активные разломы Сахалина.* М.: Наука, 187 с.
10. Дымович В.А., Евсеев С.В., Евсеев В.Ф. и др. (сост.) **2017.** *Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Дальневосточная. Лист М-54 (Александровск-Сахалинский)*: Объяснит. записка. СПб.: Картогр. фабрика ВСЕГЕИ, 609 с. URL: https://webftp.vsegei.ru/GGK1000/M-54/M-54_ObZap.pdf
11. Гладенков Ю.Б. (ред.) **1998.** *Решения рабочих Межведомственных региональных стратиграфических совещаний по палеогену и неогену восточных районов России – Камчатки, Корякского нагорья, Сахалина и Курильских островов*: Объяснит. записка к стратигр. схемам: рассмотр. и утв. МСК 28 янв. 1994 г. М.: ГЕОС, 147 с.
12. Гладенков Ю.Б., Баженова О.К., Гречин В.И., Маргулис Л.С., Сальников Б.А. **2002.** *Кайнозой Сахалина и его нефтегазоносность*. М.: ГЕОС, 225 с.
13. Heidbach O., Rajabi M., Cui X., Fuchs K.,Müller K., Reinecker B., Reiter J., Tingay K., Wenzel F., Xie F., Ziegler M., Zoback M.L., Zoback M.D. **2018.** The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. *Tectonophysics*, 744: 484–498. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.007

References

1. Sim L.A., Bogomolov L.M., Bryantseva G.V., Savvichev P.A. **2017.** Neotectonics and tectonic stresses of Sakhalin Island. *Geodynamics & Tectonophysics*, 8(1): 181–202. (In Russ.). https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-1-0237
2. Sim L.A., Kamenev P.A., Bogomolov L.M. **2020.** New data on the latest stress state of the earth's crust on Sakhalin Island (based on structural and geomorphological indicators of tectonic stress). *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 4(4): 372–383. (In Russ.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.4.372-383
3. Bogomolov L., Sim L., Kamenev P. **2020.** Neotectonics and stressed state patterns of the Sakhalin Island. (Chapter). *Intech Open. Engineering Geology*. (In Russ.). https://doi.org/10.5772/intechopen.93522
4. Golozubov V.V., Kasatkin S.A., Grannik V.M., Nechayuk A.E., **2012.** Deformation of the Upper Cretaceous and Cenozoic complexes of the West Sakhalin terrane. *Geotectonics*, 46(5): 333–351. http://dx.doi.org/10.1134/S0016852112050020
5. Golozubov V.V., Kasatkin S.A., Malinovskii A.I., Nechayuk A.E., Grannik V.M. **2016.** Dislocations of the cretaceous and cenozoic complexes of the northern part of the West Sakhalin terrane. *Geotectonics*, 50(4): 439–452. https://doi.org/10.1134/s0016852116040038
6. Marinin A.V., Sim L.A., Bondar I.V. **2021.** Variation of the stress-and-strain state of the Vuoksi Fault Zone area (Vyborg district). *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 66(2): 396–412. (In Russ.). https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.211
7. Rebetsky Yu.L., Marinin A.V., Kuzikov S.I., Sycheva N.A., Sychev V.N. **2020.** Tectonophysical study of the Verkhovoi fault activity on the northern slope of the Kyrgiz ridge. *Geodynamics & Tectonophysics*, 11(4): 770–784. (In Russ.). https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-4-0506
8. Obzhirov A.I. **2021.** Study of natural gases and their use as criteria for solving geological problems. [*The results of science in theory and practice 2021*]. Eurasian Scientific Association, 82(12–5). (In Russ.). https://doi.org/10.5281/zenodo.5833172
9. Voeikova O.A., Nesmeyanov S.A., Serebryakova L.I. **2007.** *Neotectonics and active faults of Sakhalin*. Moscow: Nauka Publ., 187 p.
10. Dymovich V.A., Evseev S.V., Evseev V.F. et al. (comp.) **2017.** *State geological map of the Russian Federation on a scale of 1:1,000,000. Third generation. The Far Eastern series. Sheet M-54 (Alexandrovsk-Sakhalinsky)*: Explanatory note. Saint Petersburg: Kartogr. fabrika VSEGEI, 609 p. (In Russ.). URL: https://webftp.vsegei.ru/GGK1000/M-54/M-54_ObZap.pdf
11. Gladenkov Yu.B. (ed.) **1998.** *Decisions of working Interdepartmental regional stratigraphic meetings on the Paleogene and Neogene of the eastern regions of Russia – Kamchatka, the Koryak Highlands, Sakhalin and the Kuril Islands*: Explanatory note to stratigraphic schemes: Reviewed and approved by the Moscow Time on January 28, 1994. Moscow: GEOS, 147 p. (In Russ.).
12. Gladenkov Yu.B., Bazhenova O.K., Grechin V.I., Margulis L.S., Salnikov B.A. **2002.** *The Cenozoic geology and the oil and gas presence in Sakhalin*. Moscow: GEOS, 225 p. (In Russ.).
13. Heidbach O., Rajabi M., Cui X., Fuchs K., Müller K., Reinecker B., Reiter J., Tingay K., Wenzel F., Xie F., Ziegler M., Zoback M.L., Zoback M.D. **2018.** The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. *Tectonophysics*, 744: 484–498. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.007

Об авторах

Костров Юрий Викторович, ведущий инженер ЦКП, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, kos-geo@yandex.ru

Каменев Павел Александрович (https://orcid.org/0000-0002-9934-5855), кандидат технических наук, старший научный сотрудник ЦКП, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, p.kamenev@imgg.ru

Дегтярев Владислав Анатольевич (https://orcid.org/0000-0001-8922-3654), аспирант, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, degtyarevvladislav96@yandex.ru

About the Authors

Kostrov, Yuri V., Lead Engineer CCU, Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, kos-geo@yandex.ru

Kamenev, Pavel A. (https://orcid.org/0000-0002-9934-5855), Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher of CCU, Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, p.kamenev@imgg.ru

Degtyarev, Vladislav A. (https://orcid.org/0000-0001-8922-3654), Postgraduate, Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Yuzhno-Sakhalinsk, degtyarevvladislav96@yandex.ru

Поступила в редакцию 9.02.2022
После рецензирования 9.03.2022
Принята к публикации 12.03.2022

Received 9 February 2022
Revised 9 March 2022
Accepted 10 March 2022

© Авторы 2022 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

© The Authors 2022. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 551.21

https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.013-018.018-023

Активность вулкана Чикурачки (о. Парамушир, северные Курильские острова) в январе–феврале 2022 г.

А. В. Дегтерев, М. В. Чибисова*

**E-mail: d_a88@mail.ru*

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Реферат. Представлены результаты исследований особенностей кратковременного умеренного эксплозивного извержения влк. Чикурачки (о. Парамушир, северные Курильские острова) по спутниковым данным. В период с 30 января по 3 февраля 2022 г. зафиксировано не менее 8 парогазовых и пепловых выбросов на высоту 2.5–5 км н.у.м. Пепловые шлейфы и облака распространялись преимущественно в юго-западном, западном, южном и юго-восточном направлении на расстояние до 250 км от вулкана. По своим параметрам событие схоже с предыдущими эксплозивными извержениями вулкана Чикурачки. Учитывая относительно высокую частоту умеренных эксплозивных извержений влк. Чикурачки в последние годы, при которых пепловые шлейфы распространялись на несколько сотен километров на высоте до 7.5 км н.у.м., вулкан представляет потенциальную опасность для международных и местных авиалиний.

Ключевые слова: Курильские острова, вулкан, Чикурачки, извержение, Парамушир, вулканический пепел, спутниковые данные

The activity of Chikurachki volcano (Paramushir Isl., Northern Kuriles) in January–February of 2022

Artem V. Degterev, Marina V. Chibisova*

**E-mail: d_a88@mail.ru*

Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk

Abstract. The article considers a short-term moderate explosive eruption of Chikurachki volcano (Paramushir Isl.) on the basis of satellite data. In the period from January 30 to February 3, 2022, at least 8 steam-gas and ash emissions to a height of 2.5–5 km a.s.l. were recorded. Ash plumes and clouds spread mainly in the south-western, western, southern, and south-eastern directions at a distance up to 250 km from the volcano. Its parameters were similar to the previous explosive eruptions of Chikurachki volcano. Due to high frequency of moderate explosive eruptions of Chikurachki volcano in recent years, when ash clouds rise to a height up to 7.5 km a.s.l. and ash plumes are formed that can spread for several hundred kilometers, the volcano poses a potential hazard to international and local airlines.

Keywords: the Kuril Islands, volcano, Chikurachki, eruption, Paramushir, volcanic ash, remote sensing data

Для цитирования: Дегтерев А.В., Чибисова М.В. Активность вулкана Чикурачки (о. Парамушир, северные Курильские острова) в январе–феврале 2022 г. *Геосистемы переходных зон*, 2022, т. 6, № 1, с. 13–23. (In Russ. & Engl.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.013-018.018-023

For citation: Degterev A.V., Chibisova M.V. The activity of Chikurachki volcano (Paramushir Isl., Northern Kuriles) in January–February of 2022. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2022, vol. 6, no. 1, pp. 13–23. (In Russ. & Engl.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.013-018.018-023

Благодарности и финансирование

Работа выполнена в соответствии с планом НИР лаборатории вулканологии и вулканоопасности Института морской геологии и геофизики ДВО РАН (№ 121030100168-3; рук. А.В. Рыбин), при поддержке гранта Президента РФ «Современные газогеохимические особенности газогидротермальных систем, грязевых вулканов, термальных

Acknowledgements and Funding

The work was carried out in accordance with the research plan of the Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS «Volcanism of Sakhalin and the Kuril Islands: monitoring, chronology of activity, material composition of products, hydrothermal systems» (no. 121030100168-3; headed by A.V. Rybin). With the support of grant of the

Статья публикуется в данном номере на русском и английском языках.
The Article published in Russian and in English in this issue.

и минеральных источников острова Сахалин, их связь с сейсмичностью и формированием газоопасных зон заселенных территорий», 2021–2022 гг. (рук. Н.С. Сырбу, Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН им. В.И. Ильичева).

Авторы признательны рецензентам за конструктивную критику и ценные замечания, позволившие улучшить качество представленного материала.

President of the Russian Federation «Modern gas geochemical features of gas hydrothermal systems, mud volcanoes, thermal and mineral springs of Sakhalin Island, their relationship with seismicity and the formation of gas hazardous zones in populated areas», 2021–2022 (headed by N.S. Syrbu, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of the FEB RAS).

The Authors are grateful to the reviewers for their constructive criticism and valuable comments, which made it possible to improve the quality of the material presented.

Введение

Действующий вулкан Чикурачки (1816 м) расположен в северной оконечности хребта Карпинского, протягивающегося вдоль южной части о. Парамушир (северные Курильские острова), в 60 км к юго-западу от г. Северо-Курильск (рис. 1). Чикурачки – один из активнейших вулканов Курильских островов и самый высокий вулкан о. Парамушир. Его постройка состоит из древнего лавового основания, предположительно плейстоценового возраста, и насаженного на него молодого стратовулканического конуса с относительной высотой 250–300 м [1] (рис. 2). На его вершине расположен пологий кратер диаметром ~500 м, открытый на юго-восток и заполненный лавой мощного извержения 1986 г., поверхность которой покрыта многочисленными трещинами. В западно-юго-западной части кратера находится колодцеобразное жерло, которое является центром последних извержений вулкана и характеризуется интенсивной сольфатарной деятельностью. Продукты активности вулкана имеют основной состав и представлены преимущественно базальтами и андезибазальтами [1–4].

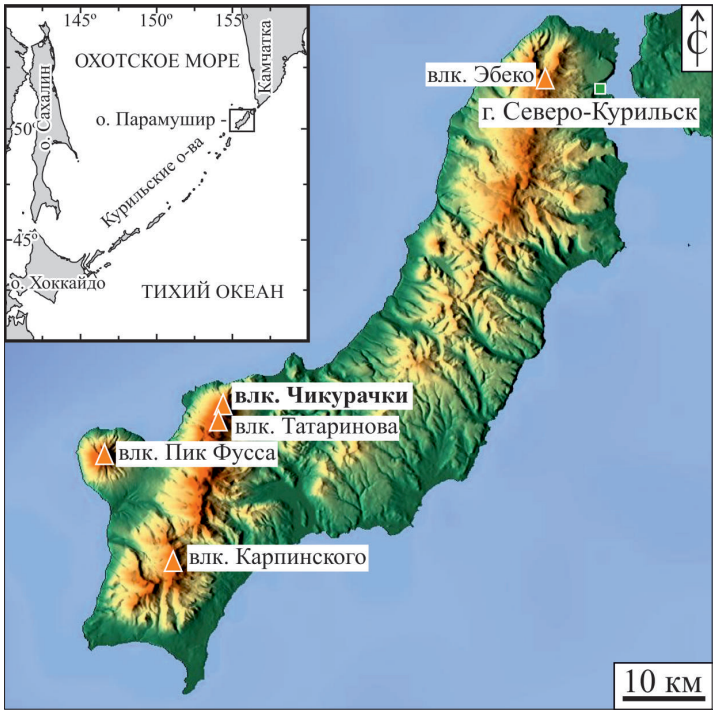


Рис. 1. Географическое положение вулкана Чикурачки и активных вулканов о. Парамушир.

Исторические извержения влк. Чикурачки происходили в 1853–1859, 1958, 1961, 1964, 1973, 1986, 2002, 2003, 2005, 2007 (2 события), 2008, 2015, 2016 гг. [1, 5–12]. Преобладали слабые и умеренные извержения вулканского типа, продолжавшиеся от нескольких дней до нескольких недель. Существенно реже происходили извержения плинианского типа, которые в историческое время имели место дважды – в 1853 и 1986 гг. Высота эруптивной колонны во время этих пароксизмальных извержений составляла 13–14 км, а мощность тефры, на расстоянии 7 км от вулкана по оси пеплопада, достигала 1.2 м [2]. По данным [2], основанным на результатах тефрохронологических исследований, в течение последних тысяч лет извержения подобной силы на влк. Чикурачки происходили регулярно каждые 100–200 лет.

В январе–феврале 2022 г. произошло очередное извержение влк. Чикурачки, первые сведения о котором приводятся в настоящем сообщении. Для наблюдений использовались данные дистанционного зондирования: спутниковые снимки, поставляемые лабораторией дистанционного зондирования Земли (Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск), а также данные информационных систем «ВЕГА-Science» [13] и «Дистанционный мониторинг вулканов Камчатки и Курил» VolSatView [14, 15]. На космических снимках среднего и низкого разрешения NOAA-18/19 (AVHRR/POES), Terra и Aqua (MODIS), SuomiNPP и JPSS-1 (VIIRS) и Himawari-8 по разности инфракрасных каналов 10–12 мкм (4–5 каналы AVHRR, 31–32 каналы MODIS, 14–15 каналы Himawari-8, VIIRS)

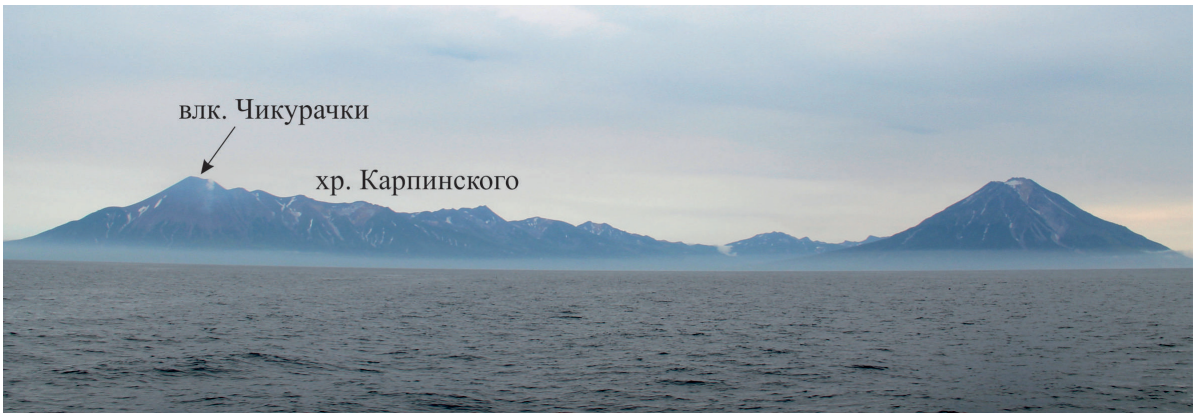


Рис. 2. Вулкан Чикурачки, вид с северо-северо-запада, август 2015 г. *Фото А.В. Дегтерева*

хорошо отслеживаются пепловые шлейфы и эруптивные облака. Использование данных информационных систем позволяет изучать динамику извержений – отслеживать перемещение пепловых облаков и шлейфов, определять их площадь, направление и высоту.

Результаты наблюдений

В январе 2022 г. в СМИ появилась информация о выпадении на о. Парамушир вулканического пепла, который в небольшом количестве был обнаружен 22 января 2022 г. в районе р. Птичья, в 15 км южнее г. Северо-Курильск (https://www.sakhalin.kp.ru/online/news/4602438/). Предполагалось, что его потенциальным источником мог быть влк. Эбеко, расположенный в 7 км к западу от города, хотя на тот момент активная фаза его извержения, продолжавшаяся с октября 2016 г., закончилась: наблюдалась повышенная парогазовая деятельность с редкими, слабыми выбросами. Ситуацию осложняла облачность, не позволявшая провести видеонаблюдение посредством камеры AXIS (0526-001), используемой с октября 2017 г. для отслеживания эксплозий влк. Эбеко. По спутниковым данным из-за облачности, накрывшей остров, никаких признаков вулканической активности за эти и предшествующие дни выявить также не удалось. Позже была опубликована новость об активизации влк. Чикурачки 25 января 2022 г., в которой сообщалось о произошедшем пепловом выбросе и слабом пеплопаде (https://skr.su/news/24/2022-01-26/ebeko-peredal-vlast-chikurachki-peplovyy-vybros-zafiksirovali-na-kurilskom-vulkane-329360). Кроме того, было опубликовано видео с датой 26.01.2022, на котором был запечатлен активизировавшийся влк. Чикурачки – из его кратера интенсивно поступали пар и газ, поднимавшиеся на высоту 600–700 м над кратером.

Эта информация требовала подтверждения и детализации. На спутниковых снимках к этому моменту признаки эксплозивного извержения все еще не проявлялись.

Первое официальное сообщение о начале извержения влк. Чикурачки поступило от группы KVERT (Kamchatka Volcanic Eruption Response Team – Камчатская группа реагирования на вулканические извержения). 31 января 2022 г. в 01:00 UTC (здесь и далее приводится время по UTC, Coordinated Universal Time – всемирное координированное время) была отмечена сильная парогазовая активность вулкана. На спутниковых снимках JPSS-1 (VIIRS), сделанных в 03:18 UTC того же дня, был зафиксирован парогазовый шлейф с примесью пепла, распространявшийся в юго-западном направлении. Его общая протяженность составляла 80 км, при высоте 4–4.5 км н.у.м (http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/?n=2022-10). Позже, ретроспективно удалось идентифицировать пепло-газовый шлейф по данным Suomi NPP (VIIRS), полученным днем ранее. На снимках за 30 января 2022 г. в 16:38 UTC наблюдался парогазовый шлейф с примесью пепла, перемещавшийся на высоте 2.5 км н.у.м в юго-западном направлении на расстояние 65 км от вулкана.

31 января в 07:00 UTC по данным Himawari-8 зафиксирован пепловый выброс на высоту 4.5 км н.у.м., шлейф от которого простирался на юго-юго-запад, а потом сменил направление на юго-юго-восточное. В 08:42 UTC (NOAA-19) шлейф продолжил перемещение в юго-юго-восточном направлении, удалившись от вулкана на 146 км.

Затем в 09:50 UTC произошла очередная эксплозия, пепловый шлейф от которой рас-

пространялся на запад. Согласно спутниковой информации Himawari-8, к 11:30 UTC более насыщенная пеплом часть шлейфа стала смещаться на запад, в то время как «хвост» от предыдущего выброса продолжил движение в юго-юго-восточном направлении со скоростью 22.6 км/ч, переместившись от вулкана на 250 км (рис. 3). К 16:19 UTC пепловый шлейф последнего выброса удалился на 225 км к юго-западу от вулкана, после чего изменил направление на западное. Его общая площадь к этому времени составляла 2282 км^2 (рис. 3).

1 февраля в 14:50 UTC консультативный центр по вулканическим пеплам г. Токио (Volcanic Ash Advisory Center, VAAC) зарегистрировал выброс на высоту 3 км н.у.м. Пепловый шлейф от него перемещался в восток-юго-восточном направлении. К 16:50 UTC, по данным JPSS-1 (VIIRS), его площадь составляла 2408 км^2 (рис. 4). Распространение пепла прослеживалось до 19:10 UTC, к этому времени шлейф удалился на 140 км в юго-восточном направлении.

Позже, в 21:50 UTC, по спутниковой информации Himawari-8, зарегистрирован пепловый выброс на высоту 4.5–5 км н.у.м. К 23:42 UTC общая площадь двух выбросов составляла 6447 км^2, удаление от вулкана – 167 км. По данным NOAA-18, 2 февраля в 00:31 UTC пепловый шлейф имел площадь 6480 км^2 и перемещался в юго-восточном направлении на удалении 175 км от вулкана. В 01:20 UTC (Himawari-8) наблюдалась очередная эксплозия с высокой концентрацией пепла, на высоту 4 км н.у.м. К 02:36 UTC, по данным JPSS-1 (VIIRS), пепловое облако переместилось на 25 км в юго-юго-восточном направлении. Пепел предыдущего выброса продолжил продвижение на юго-восток: его удаление от вулкана достигало 220 км, а площадь – 9460 км^2.

3 февраля 2022 г. интенсивная парогазовая активность влк. Чикурачки продолжалась: в 06:00 UTC (данные спутника Himawari-8) отмечался парогазовый шлейф, протягивающийся на 50 км от вулкана в западно-северо-западном направлении. В 08:08 UTC (данные NOAA-19) зафиксирован слабый парогазовый выброс с небольшой примесью пепла, шлейф от которого распространялся к запад-юго-западу на 42 км. Во все последующие дни вплоть до 28 марта 2022 г. по спутниковой информации никаких признаков эксплозивной активности вулкана не регистрировалось.

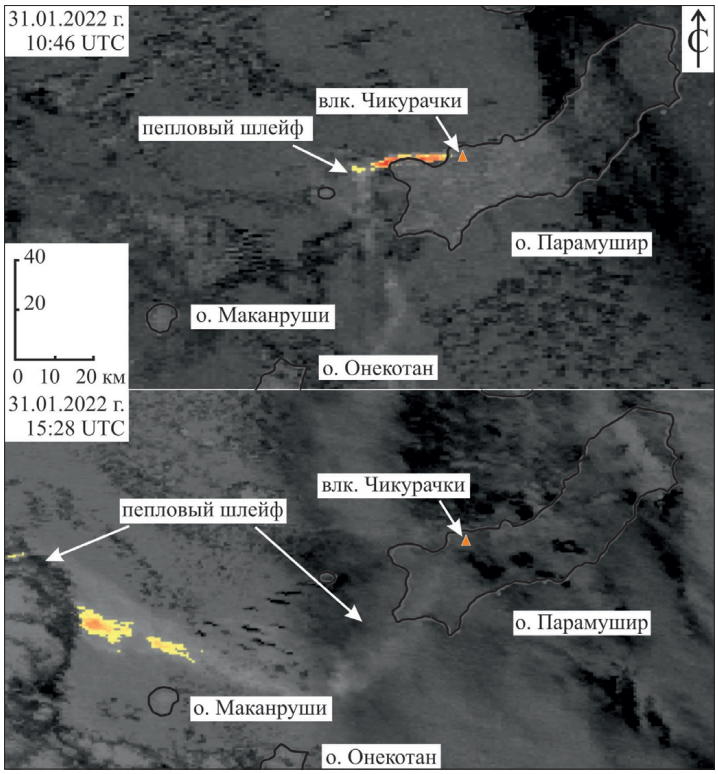


Рис. 3. Пепловый шлейф вулкана Чикурачки на спутниковом снимке JPSS-1 (VIIRS), 10:46 и 15:28 UTC 31.01.2022. Использованы данные информационного сервиса «ВЕГА-Science».

Обсуждение результатов

В текущем столетии произошло 8 извержений влк. Чикурачки – в 2002, 2003, 2005, 2007 (2 события), 2008, 2015, 2016 гг. [1, 7, 8, 12]. Все они были эксплозивными и продолжались от нескольких дней до нескольких недель. Активность вулкана характеризовалась периодическими пепло-газовыми выбросами слабой и умеренной силы на высоту 2.5–7.5 км н.у.м. Пеповые облака и шлейфы, формировавшиеся в результате эксплозий, протягивались на несколько сотен километров от вулкана. Практически все извержения сопровождались пеплопадами на территории Северо-Курильска и его окрестностей [8].

В период с 30 января по 3 февраля 2022 г. на влк. Чикурачки по данным дистанционного зондирования фиксировалось очередное эксплозивное извержение умеренной силы (VEI = 2). По своей продолжительности оно было таким же коротким, как и последние три извержения – в 2008, 2015 и 2016 гг. В целом по своим параметрам оно соответствовало большинству слабых и умеренных вулканских извержений,

происходивших в историческое время. По спутниковым данным зарегистрировано не менее 8 парогазовых и пепловых выбросов на высоту 2.5–5 км н.у.м. Вулкан характеризовался постоянным интенсивным выделением парогазовой смеси с периодическим поступлением пеплового материала. На этом фоне происходили более мощные эксплозии, содержащие значительное количество пеплового материала.

Пепловые шлейфы и облака распространялись преимущественно в юго-западном, западном, южном и юго-восточном направлениях на расстояние до 250 км. Максимальная площадь пеплового шлейфа отмечалась 2 февраля – 9460 км^2. Зоной интенсивного пеплопада на о. Парамушир стал сектор, протянувшийся к юго-юго-востоку от вулкана в форме конуса, отчетливо видимый на снимке Aqua (MODIS) от 3 февраля 02:39 UTC. Его площадь составила ~310 км^2 (рис. 5). Значительных пеплопадов на территории г. Северо-Курильск не наблюдалось.

Выводы

1. В период с 30 января по 3 февраля 2022 г. происходило умеренное эксплозивное извержение влк. Чикурачки, характеризующееся сильной парогазовой активностью и пепловыми выбросами на высоту 2.5–5 км н.у.м., схожее с извержениями последних лет (2008, 2015, 2016 гг.) и характерное для исторического этапа его активности.

2. Учитывая относительно высокую в последние годы частоту умеренных эксплозивных извержений влк. Чикурачки, при которых пепловые тучи поднимаются на высоту до 7.5 км н.у.м. и формируются пепловые шлейфы, способные распространяться на несколько сотен километров, вулкан представляет потенциальную опасность для международных и местных авиалиний.

3. Информационные системы «ВЕГА-Science» и «Дистанционный мониторинг вулканов Камчатки и Курил» VolSatView являются эффективными и удобными инструментами мониторинга эксплозивных извержений, позволяя отслеживать перемещение пепловых облаков и шлейфов, определять их площадь, направление и высоту.

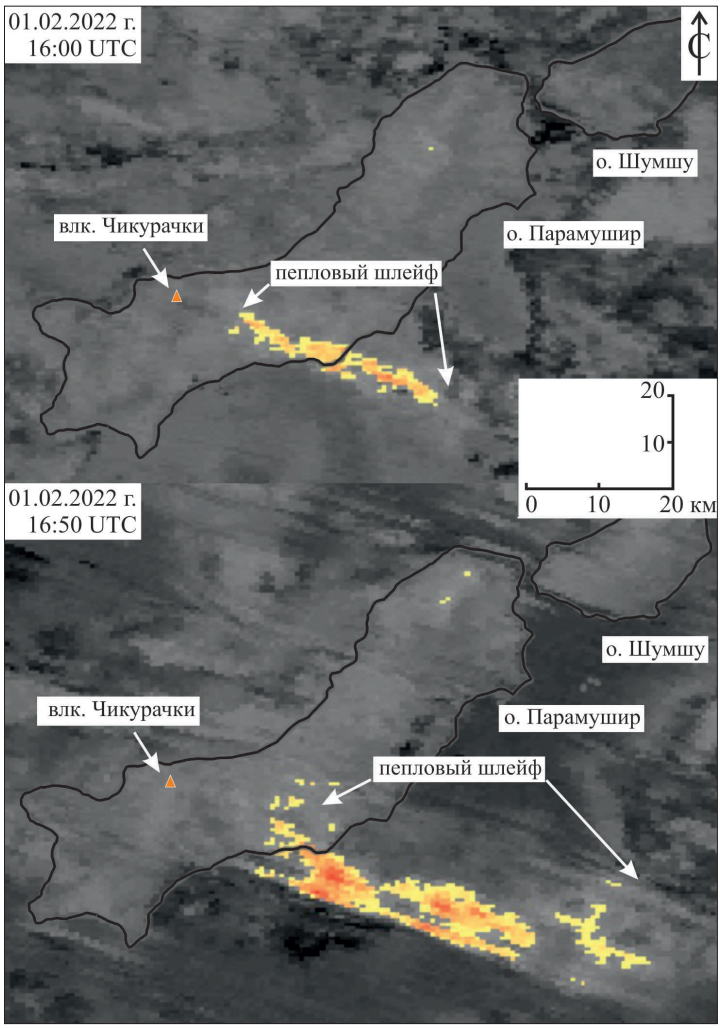


Рис. 4. Эксплозивная активность вулкана Чикурачки на спутниковых снимках JPSS-1 (VIIRS) за 1.02.2022. Использованы данные информационного сервиса «ВЕГА-Science».

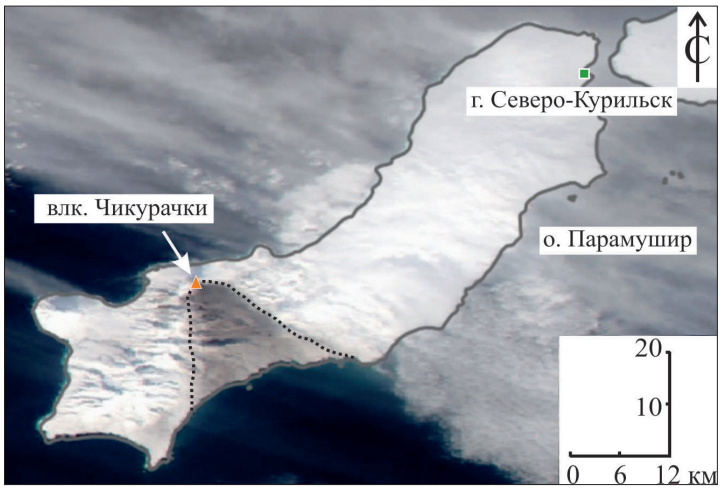


Рис. 5. Спутниковый снимок Aqua (MODIS) о. Парамушир за 3.02.2022: отчетливо видна зона пеплопада (выделена пунктирной линией), протянувшаяся к югу от вулкана Чикурачки. Использованы данные информационного сервиса «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курильских островов» (VolSatView).

Список литературы

1. Горшков Г.С. **1967.** *Вулканизм Курильской островной дуги*. М.: Наука, 287 с.
2. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г., Гришин С.Ю., Крестов П.В. **2003.** Исторические извержения вулкана Чикурачки (о. Парамушир, Курильские острова). *Вулканология и сейсмология*. 3: 15–34.
3. Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И. **1989.** *Вулканизм Курильской островной дуги: геология и петрогенезис*. М.: Наука, 239 с.
4. Hasegawa T., Nakagawa M., Yoshimoto M., Ishizuka Y., Hirose W., Seki S., Ponomareva V., Rybin A. **2011.** Tephrostratigraphy and petrological study of Chikurachki and Fuss volcanoes, western Paramushir Island, northern Kurile Islands: Evaluation of Holocene eruptive activity and temporal change of magma system. *Quaternary International*, 246 (1–2): 278–297. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.06.047
5. Шилов В.Н., Воронова Л.Г. **1962.** Состояние действующих вулканов северной группы Курильских островов летом 1959 г. и некоторые сведения об извержении вулкана Чикурачки в мае 1958 г. *Тр. СахКНИИ*, 12: 114–126.
6. Федорченко В.И., Шилов В.Н. **1963.** Извержение вулкана Чикурачки (о-в Парамушир) в 1961 г. *Бюллетень вулканологических станций*, 34: 36–43.
7. Овсянников А.А., Муравьев Я.Д. **1992.** Извержение вулкана Чикурачки в 1986 г. *Вулканология и сейсмология*, 5–6: 3–20.
8. Гирина О.А., Малик Н.А., Котенко Л.В. **2008.** Активность вулкана Чикурачки (о. Парамушир, Северные Курилы) в 2002–2007 гг. по данным KVERT. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, 1(11): 67–73.
9. Маневич А.Г., Гирина О.А., Мельников Д.В., Малик Н.А., Нуждаев А.А., Ушаков С.В., Демянчук Ю.В. **2010.** Активность вулканов Камчатки и о. Парамушир Северных Курил в 2008 г. В кн.: *Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, Петропавловск-Камчатский, 30–31 марта 2009 г.* Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 7–14.
10. Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В., Нуждаев А.А., Демянчук Ю.В. **2016.** Активность вулканов Камчатки и Северных Курил в 2015 г. и их опасность для авиации. В кн.: *Материалы XIX региональной науч. конф. «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящ. Дню вулканолога, 29–30 марта 2016 г.* Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, с. 35–45.
11. Гирина О.А., Маневич А.Г., Нуждаев А.А., Сорокин А.А. **2016.** Извержение вулкана Чикурачки (о. Парамушир, Северные Курилы) в 2016 г. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 13(2): 235–239. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-2-235-239
12. Рыбин А.В., Чибисова М.В., Дегтерев А.В. **2017.** Активность вулканов Курильских островов в 2016 г. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, 1(33): 83–88.
13. Лупян Е.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. **2015.** Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 12(5): 263–284.
14. Ефремов В.Ю., Гирина О.А., Крамарева Л.С., Лупян Е.А., Маневич А.Г., Матвеев А.М., Мельников Д.В., Прошин А.А., Сорокин А.А., Флитман Е.В. **2012.** Создание информационного сервиса «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил». *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 9(5): 155–170.
15. Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Крамарева Л.С., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Уваров И.А., Бурцев М.А., Романова И.М., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Королев С.П., Верхотуров А.Л. **2016.** Информационная система VolSatView для решения задач мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил. *Вулканология и сейсмология*, 6: 1–16. https://doi.org/10.7868/S0203030616060043

SHORT REPORT

TRANSLATION

https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.013-018.018-023

The activity of Chikurachki volcano (Paramushir Isl., Northern Kuriles) in January–February of 2022

Artem V. Degterev, Marina V. Chibisova*

**E-mail: d_a88@mail.ru*

Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk

Abstract. The article considers a short-term moderate explosive eruption of Chikurachki volcano (Paramushir Isl.) on the basis of satellite data. In the period from January 30 to February 3, 2022, at least 8 steam-gas and ash emissions to a height of 2.5–5 km a.s.l. were recorded. Ash plumes and clouds spread mainly in the south-western, western, southern, and south-eastern directions at a distance up to 250 km from the volcano. Its parameters were similar to the previous explosive eruptions of Chikurachki volcano. Given the relatively high frequency of moderate explosive eruptions of Chikurachki volcano in recent years, when ash clouds rise to a height up to 7.5 km a.s.l. and ash plumes are formed that can spread for several hundred kilometers, the volcano poses a potential hazard to international and local airlines.

Keywords: the Kuril Islands, volcano, Chikurachki, eruption, Paramushir, volcanic ash, remote sensing data

Translation of the article published in the present issue of the Journal: А.В. Дегтерев, М.В. Чибисова. Активность вулкана Чикурачки (о. Парамушир, северные Курильские острова) в январе–феврале 2022 г. *Translation by G.S. Kachesova.*

For citation: Degterev A.V., Chibisova M.V. The activity of Chikurachki volcano (Paramushir Isl., Northern Kuriles) in January–February of 2022. *Geosistemy perehodnykh zon* = Geosystems of Transition Zones, 2022, vol. 6, no. 1, pp. 13–23. (In Russ. & Engl.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.013-018.018-023

Acknowledgements and Funding

The work was carried out in accordance with the research plan of the Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS «Volcanism of Sakhalin and the Kuril Islands: monitoring, chronology of activity, material composition of products, hydrothermal systems» (no. 121030100168-3; headed by A.V. Rybin). With the support of grant of the President of the Russian Federation «Modern gas geochemical features of gas hydrothermal systems, mud volcanoes, thermal and mineral springs of Sakhalin Island, their relationship with seismicity and the formation of gas hazardous zones in populated areas», 2021–2022 (headed by N.S. Syrbu, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of the FEB RAS).

The Authors are grateful to the reviewers for their constructive criticism and valuable comments, which made it possible to improve the quality of the material presented.

Introduction

Chikurachki active volcano (1816 m) is in the northernmost tip of the Karpinsky Ridge, which stretches along the southern part of Paramushir Island (North Kuril Islands), 60 km southwest of the town of Severo-Kurilsk (Fig. 1). Chikurachki is one of the most active volcanoes on the Kuril Islands and the highest volcano on Paramushir Island. Its edifice consists of an ancient lava base, presumably of Pleistocene age, and a young stratovolcano with a relative height of 250–300 m [1] that occupies it (Fig. 2). There is a gentle crater ~500 m in diameter, open to the southeast and filled with lava of a powerful 1986 eruption, the surface of which is covered with numerous cracks. There is a well-shaped vent in the west-southwest part of the crater, that is a center of recent eruptions of the volcano and characterized with intensive solfataric activity. The products of volcano activity have a basic composition and are represented mainly by basalts and andesibasalts [1–4].

Historical eruptions of Chikurachki volcano took place in 1853–1859, 1958, 1961, 1964, 1973, 1986, 2002, 2003, 2005, 2007 (two events), 2008, 2015, 2016 [1, 5–12]. Weak and moderate eruptions of the Vulcanian type prevailed, lasting from several days to several weeks. Eruptions of the Plinian type occurred lesser frequently, they took place twice in historical time – in 1853 and 1986. The height of the eruptive column during these paroxysmal eruptions was 13–14 km and the thickness of the tephra at a distance of 7 km from the volcano along the ashfall axis reached 1.2 m [2]. According to the data [2] based on the results of tephrochronological studies, eruptions of a similar magnitude at Chikurachki volcano occurred regularly, every 100–200 years during the last thousand years.

Another eruption of Chikurachki volcano has occurred in January–February, 2022, and this report presents the first information about it. The remote sensing data were used to observe this event: satellite images provided by the laboratory of the Earth remote sensing (Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk), as well as the data from information systems "VEGA-Science" [13] and "Remote monitoring of Kamchatka and Kurils volcanoes" VolSatView [14, 15]. Ash plumes and eruptive

Fig. 1. Geographical location of Chikurachki volcano and active volcanoes of Paramushir Island.

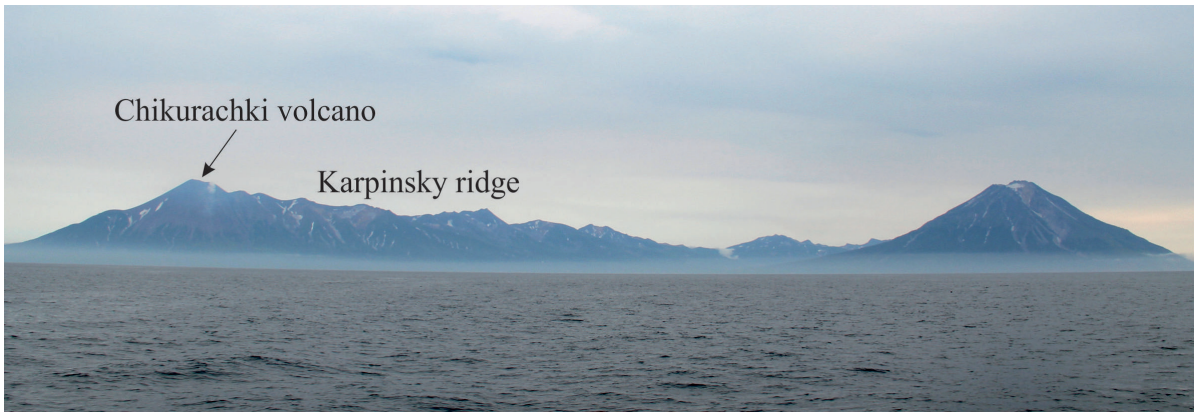


Fig. 2. Chikurachki volcano, view from the north-northwest, August 2015. *Photo by A.V. Degterev*

clouds are clearly traced in the space images of medium and low resolution NOAA-18/19 (AVHRR/POES), Terra and Aqua (MODIS), SuomiNPP and JPSS-1 (VIIRS), and Himawari-8 by the difference of infrared channels of 10–12 μm (4–5 channels of AVHRR, 31–32 channels of MODIS, 14–15 channels of Himawari-8, VIIRS). Using the data of information systems allows to study eruption dynamics, in particular, to trace the movement of ash clouds and plumes and determine their area, direction and height.

Observation results

In January, 2022, the media reported on volcanic ashfall on Paramushir Island, the small amount of which was found on January 22, 2022, in the area of the Ptichya River, 15 km south of Severo-Kurilsk (https://www.sakhalin.kp.ru/online/news/4602438/). Ebeko volcano, located 7 km west of the town, was assumed to be its potential source, although at that time the active phase of its eruption, which had lasted since October 2016, had ended: increased steam and gas activity was observed with rare, weak emissions. The situation was complicated by cloudiness, which did not allow for video surveillance using the AXIS camera (0526-001), which had been used since October 2017 to trace explosions of Ebeko volcano. According to satellite data, due to the cloudiness that covered the island, no signs of volcanic activity for these and previous days could also be detected. The news about Chikurachki volcano activation on January 25, 2022, was published later, which reported on the occurrence of ash emission and weak ashfall (https://skr.su/news/24/2022-01-26/ebeko-peredal-vlast-chikurachki-peplovyy-vybros-zafiksirovali-na-kurilskom-vulkane-329360). In addition, a video dated by 01/26/2022 was published, which captured activated Chikurachki volcano – steam and gas intensively flowed from its crater, rising to a height of 600–700 m above it.

This information required confirmation and detailing. At that moment, the signs of explosive eruptions have not appeared on the satellite images yet.

The first official report on the beginning of Chikurachki volcano eruption was received from the KVERT (Kamchatka Volcanic Eruption Response Team) group. Strong steam and gas activity of the volcano were recorded on January 31, 2022, 01:00 UTC (hereinafter the time is given in UTC, Coordinated Universal Time). The JPSS-1 (VIIRS) satellite images taken at 03:18 UTC on the same day recorded a steam-gas plume with an ash admixture, propagating in the southwestern direction. Its total length was 80 km, at an altitude of 4–4.5 km a.s.l. (http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/?n=2022-10). Later, it was able to retrospectively identify an ash-gas plume according to the data of Suomi NPP (VIIRS) obtained the previous day. On the images taken on January 30, 2022, at 16:38 UTC, a steam-gas plume with an ash admixture was observed moving at an altitude of 2.5 km a.s.l. in a southwestern direction at a distance of 65 km from the volcano.

According to the Himawari-8 data, an ash emission was recorded on January 31, at 7:00 UTC, the plume from which stretched to the south-southwest, and then changed its direction to the south-southeast. At 08:42 UTC (NOAA-19), the plume continued its southeast-

ward movement, moving 146 km away from the volcano.

Then at 09:50 UTC, another explosion occurred, the ash plume from which spread westward. According to the Himawari-8 satellite data, the most ash-saturated part of the plume began to shift westward by 11:30 UTC, while the «tail» from the previous emission continued movement to the southeast at a speed of 22.6 km/h, moving 250 km away from the volcano (Fig. 3). By 16:19 UTC, the ash plume of the last emission moved 225 km southwest of the volcano, then changing a direction to the west. Its total area was 2282 km^2 at that time (Fig. 3).

On February 1, at 14:50 UTC, the Tokyo Volcanic Ash Advisory Center (VAAC) registered an emission to a height of 3 km a.s.l. The ash plume from it moved in the east-southeast direction. According to JPSS-1 (VIIRS) data, by 16:50 UTC, its area was 2408 km^2 (Fig. 4). The ash propagation was traced until 19:10 UTC, by this time the plume had moved 140 km away in a southeast direction.

Later, at 21:50 UTC, an ash emission to a height of 4.5–5 km a.s.l. was recorded according to the satellite information of Himawari-8. By 23:42 UTC, total area of these two emissions was 6447 km^2, the distance from the volcano was 167 km. According to the data of NOAA-18, on February 2, at 00:31 UTC, an ash plume had an area of 6480 km^2 and moved to the southeast at a distance of 175 km from the volcano. At 01:20 UTC (Himawari-8), another explosion was observed with a high ash concentration to a height of 4 km a.s.l. According to the data of JPSS-1 (VIIRS), by 02:36 UTC, an ash cloud moved 25 km south-southeastward. The ash of the previous emission continued moving to the southeast: its distance from the volcano reached 220 km, and its area was 9460 km^2.

As of February 3, 2022, the intense steam and gas activity of Chikurachki volcano had continued: a steam-gas plume was observed at 06:00 UTC (data from the Himawari-8 satellite), stretching west-northwestward for 50 km from the volcano. A weak steam and gas emission with a small ash admixture was recorded at 08:08 UTC (the data from NOAA-19), the plume from which spread to the west-southwest for 42 km. After that, according to satellite information, no signs of explosive activity of the volcano were recorded over the following days until now (March 28, 2022).

Result discussion

Eight eruptions of Chikuracki volcano have occurred in this century – in 2002, 2003, 2005, 2007 (two events), 2008, 2015, 2016 [1, 7, 8, 12]. All of them were explosive and lasted from a few days to several weeks. The volcano activity was characterized by periodic ash and gas emissions of weak and moderate force at a height of 2.5–7.5 km a.s.l. Ash clouds and plumes formed as a result of explosions have stretched for several hundred kilometers from the volcano. Almost all eruptions were accompanied by ashfalls on the territory of Severo-Kurilsk and its vicinity [8].

During the period from January 30 to February 3, 2022, another explosive eruption of moderate strength (VEI = 2) occurred on Chikurachki volcano. In terms of duration, it was

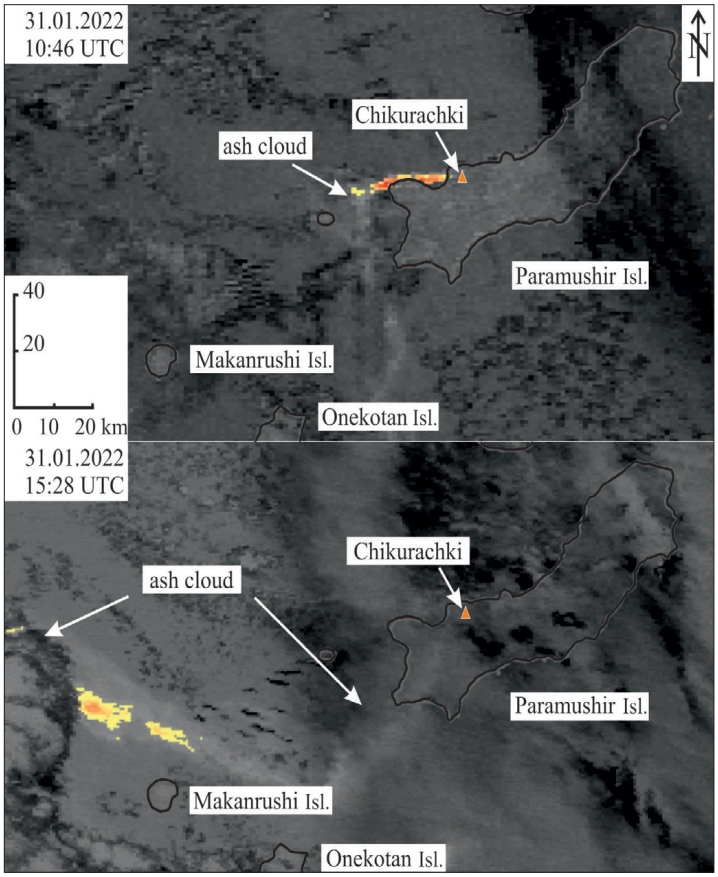


Fig. 3. Ash plume of Chikurachki volcano on the satellite image JPSS-1 (VIIRS), 10:46 and 15:28 UTC, January 31, 2022. Data of the «VEGA-Science» information service were used.

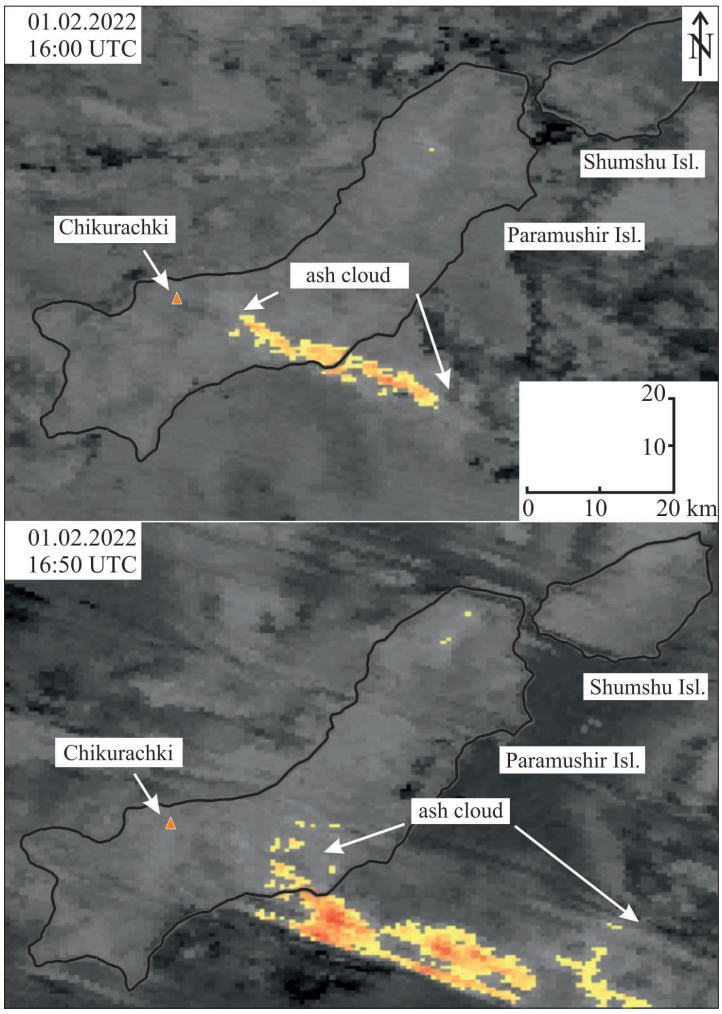


Fig. 4. Explosive activity of Chikurachki volcano on the JPSS-1 (VIIRS) satellite images for February 1, 2022. Data of the VEGA-Science information service were used.

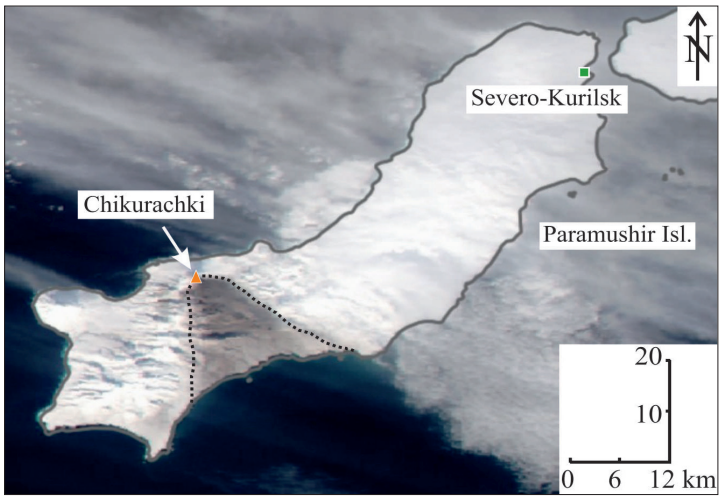


Fig. 5. Satellite image from Aqua (MODIS) of Paramushir Island for February 3, 2022: the ashfall zone is clearly visible (highlighted by a dotted line), stretching to south from Chikurachki volcano. The data of the information service «Remote monitoring of the volcanoes of Kamchatka and the Kuril Islands» (VolSatView) were used.

as short as the last three eruptions in 2008, 2015 and 2016. Generally, it was consistent by its parameters with most of the weak and moderate Vulcanian eruptions that occurred in historical times. According to the satellite data, at least eight steam-gas and ash emissions to a height of 2.5–5 km a.s.l. were recorded. The volcano was characterized by a constant intense release of a steam and gas mixture with a periodic influx of ash material. Against this background, more powerful explosions occurred, containing a significant amount of ash material.

The ash plumes and clouds spread predominantly in southwest, west, south and southeast directions up to 250 km. The maximum area of the ash plume of 9460 km^2 was recorded on February 2. The area of the intense ashfall was a sector stretching southeast of the volcano in the shape of a cone, clearly visible in the image from Aqua (MODIS) from February 3, 02:39 UTC. Its area was ~310 km^2 (Fig. 5). There were no significant ashfalls in the territory of Severo-Kurilsk.

Conclusion

1. There was a moderate explosive eruption of Chikurachki volcano during the period from January 30 to February 3, 2022, characterized by strong steam and gas activity and ash emissions to a height of 2.5–5 km a.s.l., similar to the eruptions of recent years (2008, 2015, 2016) and typical for the historical stage of its activity.

2. The volcano is a potential danger to international and local airlines due to the relatively high frequency of moderate explosive eruptions of Chikurachki volcano in recent years, at which ash clouds rise to a height of 7.5 km a.s.l. and form ash plumes that can stretch for several hundred kilometers.

3. Information systems «VEGA-Science» and «Remote monitoring of the volcanoes of Kamchatka and the Kuril Islands» VolSatView are effective and convenient tools for monitoring explosive eruptions, allowing to track the movement of ash clouds and plumes, determine their area, direction and height.

References

1. Gorshkov G.S. **1967.** [*Volcanism of the Kuril island arc*]. Moscow: Nauka Publ., 287 p. (In Russ.).
2. Belousov A.B., Belousova M.G., Grishin S.Yu., Krestov P.V. **2003.** Historical eruptions of Chikurachki volcano. Paramushir I., Kuriles. *J. of Volcanology and Seismology*, 3: 15–34. (In Russ.).
3. Fedorchenko V.I., Abdurakhmanov A.I., Rodionova R.I. **1989.** *Vulkanizm Kuril'skoy ostrovnoy dugi: geologiya i petrogenezis* [*Volcanism of the Kuril island arc: geology and petrogenesis*]. Moscow: Nauka Publ., 239 p. (In Russ.).
4. Hasegawa T., Nakagawa M., Yoshimoto M., Ishizuka Y., Hirose W., Seki S., Ponomareva V., Rybin A. **2011.** Tephrostratigraphy and petrological study of Chikurachki and Fuss volcanoes, western Paramushir Island, northern Kurile Islands: Evaluation of Holocene eruptive activity and temporal change of magma system. *Quaternary International*, 246 (1–2): 278–297. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.06.047
5. Shilov V.N., Voronova L.G. **1962.** [The state of active volcanoes of northern group of the Kuril Islands in summer of 1959, and some information about Chikurachki volcano eruption in May, 1958.]. *Trudy SakhKNII SO AN SSSR* [*Transactions of the Sakhalin Complex Scientific Research Institute SB AS of USSR*], 12: 114–126. (In Russ.).
6. Fedorchenko V.I., Shilov V.N. **1963.** Izverzhenie vulkana Chikurachki (o-v Paramushir) v 1961 g. [Eruption of Chikurachki volcano (Paramushir Island) in 1961]. *Byulleten' vulkanologicheskikh stantsiy* [*Bull. of Volcanological Stations*], 34: 36–43. (In Russ.).
7. Ovsyannikov A.A., Murav'ev Ya.D. **1992.** 1986 Eruption of Chikurachki volcano. *Volcanology & Seismology*, 5–6: 3–20. (In Russ.).
8. Girina O.A., Malik N.A., Kotenko L.V. **2008.** 2002–2007 activity of Chikurachki volcano (Paramushir Island, Northern Kuriles) based on KVERT data. *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle,* 1(11): 67–73. (In Russ.).
9. Manevich A.G., Girina O.A., Mel'nikov D.V., Malik N.A., Nuzhdaev A.A., Ushakov S.V., Demyanchuk Yu.V. **2010.** [Activity of the volcanoes of Kamchatka and Paramushir Island of Northern Kurils in 2008]. In: *Materialy konferentsii, posvyashchennoy Dnyu vulkanologa, Petropavlovsk-Kamchatskiy, 30–31 marta 2009 g.* [*Proceedings of the Conference devoted to the Day of volcanologist, Petropavlovsk-Kamchatskiy, March 30–31, 2009*]. Petropavlovsk-Kamchatskiy: IViS DVO RAN, p. 7–14.
10. Girina O.A., Manevich A.G., Mel'nikov D.V., Nuzhdaev A.A., Demyanchuk Yu.V. **2016a.** [Activity of the volcanoes of Kamchatka and Northern Kurils in 2015, and their threat to aviation]. In: *Materialy XIX regional'noy nauchnoy konferentsii «Vulkanizm i svyazannye s nim protsessy», posvyashchennoy Dnyu vulkanologa, 29–30 marta 2016 g.* [*Proceedings of the XIX Regional scientific conference devoted to the Day of volcanologist, March 29–30, 2016*]. Petropavlovsk-Kamchatskiy: IViS DVO RAN, p. 35–45.
11. Girina O.A., Manevich A.G., Nuzhdaev A.A., Sorokin A.A. **2016б.** 2016 explosive eruption of Chikurachki volcano (Paramushir Island, Northern Kuriles). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa = Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 13(2): 235–239. (In Russ.). https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-2-235-239
12. Rybin A.V., Chibisova M.V., Degterev A.V. **2017.** Activity of the Kurile Islands volcanoes in 2016. *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle*, 1(33): 83–88.
13. Loupian E.A., Bourtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., KashnitskiyA.V., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sudneva O.A., Suchugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A. **2015.** IKI Center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa = Current problems in remote sensing of the Earth from space,* 12(5): 263–284. (In Russ.).
14. Efremov V.Yu., Girina O.A., Kramareva L.S., Lupyan E.A., Manevich A.G., Matveev A.M., Mel'nikov D.V., Proshin A.A., Sorokin A.A., Flitman E.V. **2012.** Creating an Information Service "Monitoring of active volcanoes of Kamchatka and the Kuril Islands". *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa = Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 9(5): 155–170. (In Russ.).
15. Gordeev E.I., Girina O.A., Lupyan E.A., Sorokin A.A., Kramareva L.S., Efremov V.Yu., Kashnitskii A.V., Uvarov I.A., Burtsev M.A., Romanova I.M., Mel'nikov D.V., Manevich A.G., Korolev S.P., Verkhoturov A.L. **2016.** The VolSatView information system for monitoring the volcanic activity in Kamchatka and on the Kuril Islands. *J. of Volcanology and Seismology*, 10(6): 382–394. https://doi.org/10.1134/s0742046316060043

Об авторах

Дегтерев Артем Владимирович (https://orcid.org/0000-0001-8291-2289), кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, лаборатория вулканологии и вулканоопасности, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, d_a88@mail.ru

Чибисова Марина Владимировна (https://orcid.org/0000-0003-0677-6945), старший научный сотрудник, лаборатория вулканологии и вулканоопасности, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, m.chibisova@imgg.ru

About the Authors

Degterev, Artem V. (https://orcid.org/0000-0001-8291-2289), Cand. of Sci. (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Laboratory of volcanology and volcanic hazard, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, d_a88@mail.ru

Chibisova, Marina V. (https://orcid.org/0000-0003-0677-6945), Senior Researcher, Laboratory of volcanology and volcanic hazard, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, m.chibisova@imgg.ru

Поступила 13.01.2022
После доработки 28.02.2022
Принята к печати 03.03.2022

Received 13 January 2022
Revised 28 February 2022
Accepted 3 March 2022

© Авторы 2022 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)

© The Authors 2022. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 551.89 https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.024-042

Признаки трансформации геосистем при освоении Южного Приморья в средневековье: городище Стеклянуха-2

Т. В. Корнюшенко[1], *Н. Г. Разжигаева*[*1], *Л. А. Ганзей*[1], *Т. А. Гребенникова*[1], *Е. П. Кудрявцева*[1], *Я. Е. Пискарева*[2], *С. Д. Прокопец*[2]

[*]*E-mail: nadyar@tigdvo.ru*

[1]*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия*

[2]*Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток, Россия*

Реферат. На примере средневекового городища Стеклянуха-2, которое является многослойным археологическим памятником, проанализировано антропогенное воздействие на ландшафты в пределах памятника и близлежащих территорий. В городище опробованы погребенные почвы, заполнитель вала, культурный слой и поверхностные почвы. Наряду с материалом, отобранным на городище, изучено два разреза верхнеголоценовых отложений высокой поймы р. Стеклянуха. Представлены результаты изучения спорово-пыльцевых спектров и диатомовых водорослей. Восстановлены палеоландшафтные условия во время формирования разных археологических культур и выделены признаки антропогенного воздействия на растительность. Погребенная почва в разрезе высокой поймы является природным архивом для восстановления условий времени появления на территории представителей янковской культуры. Почва образовалась в условиях снижения обводнения долины, возраст оценивается более 2 тыс. кал. лет. Старичные отложения накапливались от 1.6 до 0.5 тыс. кал. л.н., когда шло активное освоение долины в средние века. Пойменные отложения в кровле разрезов свидетельствуют, что в малый ледниковый период долина была сильно обводнена. Найдены палинологические признаки заселения нижней части долины в раннем железном веке, временах мохэ и позднем средневековье. Выделены сигналы развития вторичных березовых и дубовых лесов. В культурном слое и отложениях, которые формировались в средние века, найдена пыльца амброзии и дурнишника, которые являются надежными свидетельствами сельскохозяйственной активности в долине. Также найдена пыльца растений, распространенных на антропогенно нарушенных территориях. Изучение диатомовых водорослей в западине в пределах городища подтвердило предположение археологов, что его использовали для хранения запасов воды. Палиноспектры из поверхностных почв в городище и высокой пойме отражают активное сельскохозяйственное освоение близлежащих речных долин со второй половины XIX в. Здесь встречено наибольшее количество пыльцы заносных, синантропных растений и сорняков, а также споры грибов-патогенов (возбудителей болезней сои и риса) и индикаторов пожаров.

Ключевые слова: спорово-пыльцевой анализ, диатомеи, ландшафты, антропогенный фактор, средневековое городище, Приморский край

Evidence of geosystems transformation during Medieval development of South Primorye: Steklyanukha-2 fortress

Tatiana V. Kornyushenko[1], *Nadezhda G. Razjigaeva*[*1], *Larisa A. Ganzey*[1], *Tatiana A. Grebennikova*[1], *Ekaterina P. Kudryavtseva*[1], *Yana E. Piskareva*[2], *Stanislav D. Prokopets*[2]

[*]*E-mail: nadyar@tigdvo.ru*

[1]*Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia*

[2]*Institute of History, Archaeology, and Ethnography of the Peoples of the Far East, FEB RAS, Vladivostok, Russia*

Abstract. We analyzed human impact on landscapes on the example of Steklyanukha-2 Medieval fortress, which is a multi-layered archaeological site, and adjacent territories. Buried soils, rampart matrix, cultural layer and surface soils were sampled within the fortress. Along with the material sampled at the site, two sections of the Upper Holocene deposits of the high floodplain of the Steklyanukha River were studied. The results of studying the sporo-pollen spectra and diatoms are presented. The paleo-landscapes during the formation of various archaeological cultures have been restored and the signs of anthropogenic impact on vegetation have been identified. The buried soil in the section of the high floodplain is a natural archive for the environment history during the appearance of the people of the Yankovskaya

Culture on this territory. The soil was formed under conditions of decreasing watering in the valley; the age is estimated at more than 2 ka. Oxbow lake deposits had been accumulated from 1.6 to 0.5 ka, when the valley was actively developed in the Middle Ages. Floodplain deposits at the top of the sections indicate that the valley has been heavily watered during the Little Ice Age. Pollen signs of settlements of the lower part of the valley in the Early Iron Age, Mohe and Late Middle Ages were found. Signals of the development of secondary birch and oak forests are identified. *Ambrosia* and *Xanthium* pollen, which are reliable evidence of agricultural activity in the valley, was found in the cultural layer and sediments that formed in the Middle Ages. The pollen of plants common in anthropogenically disturbed territories was also found. The study of diatoms in a depression within the fortress confirmed the archaeologists' assumption that it was used to store water reserves. The pollen spectra from the surface soils in the fortress and the high floodplain reflect the active agricultural development of the nearby river valleys since the second half of the 19th century. The largest amount of pollen of alien and synanthropic plants and weeds, as well as spores of pathogenic fungi (pathogens of soybeans and rice) and fire indicators were found here.

Keywords: pollen analysis, diatoms, landscapes, human impact, Medieval fortress, Primorye

Для цитирования: Корнюшенко Т.В., Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Кудрявцева Е.П., Пискарева Я.Е., Прокопец С.Д. Признаки трансформации геосистем при освоении Южного Приморья в средневековье: городище Стеклянуха-2. *Геосистемы переходных зон*, 2022, т. 6, № 1, с. 24–42. https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.024-042

For citation: Kornyushenko T.V., Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Kudryavtseva E.P., Piskareva Y.E., Prokopets S.D. Evidence of geosystems transformation during Medieval development of South Primorye: Steklyanukha-2 fortress. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2022, vol. 6, no. 1, pp. 24–42. (In Russ., abstr. in Engl.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.024-042

Благодарности и финансирование

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИИАЭ ДВО РАН, принимавшим участие в раскопках. Работа выполнена в рамках государственных программ Тихоокеанского института географии ДВО РАН (тема № 122020900184-5) и Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН (тема № 121022500181-3).

Acknowledgements and Funding

Authors are grateful to the staff of Institute of History, Archaeology and Ethnology of the People of the Far East, FEB RAS, who took part in excavations. The work is done within the framework of state programs of the Pacific Institute of Geography, FEB RAS (theme no. 122020900184-5) and the Institute of History, Archaeology and Ethnology of the People of the Far East, FEB RAS (theme no. 121022500181-3).

Введение

Южное Приморье является одним из наиболее освоенных районов Дальнего Востока. Геосистемы здесь в разной степени преобразованы в ходе хозяйственной деятельности, большие площади занимают земли сельскохозяйственного назначения, широко представлены вторичные леса [1]. Хотя до середины XIX в. это была мало заселенная территория, трансформация природных геосистем имеет древние корни – первые земледельцы на территории юга Приморья появились в неолите [2]. Одной из причин расселения земледельцев из внутриконтинентальных районов на побережье были природные факторы, в том числе похолодания в среднем–позднем голоцене [3, 4]. В раннем средневековье территория Приморья входила в государство Бохай, земледелие стало одним из ведущих направлений природопользования [5, 6]. В археологических памятниках бохайского времени начинают встречаться орудия труда, связанные с пашенным земледелием, и фиксируется устойчивая тенденция роста производства культурных растений: найдены остатки семян 14 видов культурных растений: зерновых, бобовых, масличных, овощных и технических культур [7].

Несмотря на большое количество исследований по развитию ландшафтов юга Приморья в ходе климатических изменений в голоцене [8–13; etc.] и палеогеографических работ по изучению конкретных археологических памятников [4, 14–17; etc.], антропогенная трансформация ландшафтов в пределах поселений и близлежащих территорий плохо изучена. Актуальность таких работ связана с реконструкцией развития региональных экосистем в условиях глобальных климатических изменений [18]. Одним из информативных методов выяснения сигналов антропогенного воздействия на геосистемы является спорово-пыльцевой анализ [15, 19, 20]. Несмотря на то что палинологическим критериям выделения антропогенного нарушения растительного покрова уделялось много внимания [16, 18, 21, 22; etc.], для Дальнего Востока этот вопрос разработан недостаточно. А.М. Короткий, который много занимался восстановлением палеогеографической обстановки во время формирования археологических памятников на территории Примо-

рья, подчеркивал, что корректные результаты получаются только при сопряженном изучении материала, отобранного на стоянках и в близлежащих природных разрезах [15].

Цель статьи – выделить признаки антропогенного воздействия на ландшафты на фоне их естественной динамики в ходе климатической ритмики в позднем голоцене в одном из земледельческих районов Приморья – в бассейне р. Шкотовка и ее правого притока р. Стеклянуха. В задачи входит биостратиграфическое изучение разрезов рыхлых отложений с культурным слоем и погребенными почвами в пределах городища Стеклянуха-2 и естественных разрезов высокой поймы в долине р. Стеклянуха.

Бассейн р. Шкотовка был одним из заселенных в средние века [23]. Здесь на сопках и в долине находится несколько городищ [6]. Городище Стеклянуха-2 расположено на сопке Бойцовой (абс. высота 204 м) между долинами рек Стеклянуха и Шкотовка. Памятник является многослойным, ранний этап заселения относится к раннему железному веку (янковская археологическая культура, IX–IV вв. до н.э.), следующий этап – к мохэской культуре (VI–VII вв. н.э.), есть признаки присутствия представителей бохайского времени (VIII–X вв.); городище, скорее всего, построено чжурчжэнями (XII–XIII вв.). На вершине сопки хорошо сохранился каменно-земляной вал, окаймляющий южную и западную стены городища [24]. В 1.5 км к юго-западу в долине находится хорошо сохранившееся крупное городище Стеклянуха-1 (Саинбар), также представляющее многослойный памятник. Люди на этом месте жили с эпохи палеометалла (янковская культура), городище строили во время государства Бохай и Цзинь [25]. В XIX в. в бассейне р. Шкотовка были одни из самых богатых китайских поселений [26].

Современный этап освоения Шкотовского района начался в 1865 г., когда образовался пос. Шкотово (изначально Цемухинская слобода), 18 лет это было единственное поселение между Владивостоком и Ольгой [27]. Поселенцы применяли однопольную систему полеводства: 3–6 лет подряд сеяли пшеницу, а затем на истощенную почву – бобы и гречиху; занимались огородничеством, садоводством и пчеловодством. Активное заселение этой части Приморья началось на рубеже XIX и XX вв. [28]. Село Стеклянная (будущая Стеклянуха) возникло в 1905 г., переселенцы были из Черниговской губернии, в 1919 г. корейские поселенцы основали рядом село Саинбар [27].

Материал и методы

Для получения наиболее длительной летописи развития ландшафтов опробованы 2 разреза верхнеголоценовых отложений на высокой пойме р. Стеклянуха, вскрытых в естественных обнажениях по правому борту в 3.6 км от впадения в р. Шкотовка (рис. 1). Палеореконструкции также проведены по разрезам отложений в пределах городища Стеклянуха-2, где в 2020 г. проводились раскопки [24]. Для палеогеографических целей опробован заполнитель грубообломочного материала, слагающего вал, а также погребенная (мощность до 20 см) и поверхностная (7 см) почвы (разрез 320). Вторым объектом был раскоп 2 внутри городища, включающий маломощный (11 см) культурный слой, подстилающую погребенную почву (мощность 5 см) и склоновые отложения, представленные супесью с дресвой (разрез 520). Для этих разрезов сделан спорово-пыльцевой анализ. В южной части городища опробовано дно западины (разрез 620), которая предположительно использовалась древним населением для хранения воды. Здесь были взяты пробы на диатомовый анализ: опробован почвенный профиль с погребенной почвой (общая мощность 35 см) и подстилающая супесь с дресвой и щебнем (5 см).

Биостратиграфические анализы выполнены по стандартным методикам [29, 30]. При определении эколого-географических характеристик видов диатомей использованы сведения из работ [31–33]. Из-за обедненности материала пыльцой и спорами просматривалось до 3–4 капель. Для построения спорово-пыльцевых диаграмм использована программа Tilia v. 2-0-41 [34]. При просмотре препаратов отмечалось наличие непыльцевых палиноморф и микроуглей. Радиоуглеродное датирование выполнено в Институте наук о Земле СПбГУ, калибровка проведена с помощью программы OxCal 4.4.1 с использованием калибровочной кривой IntCal20 [35–37].

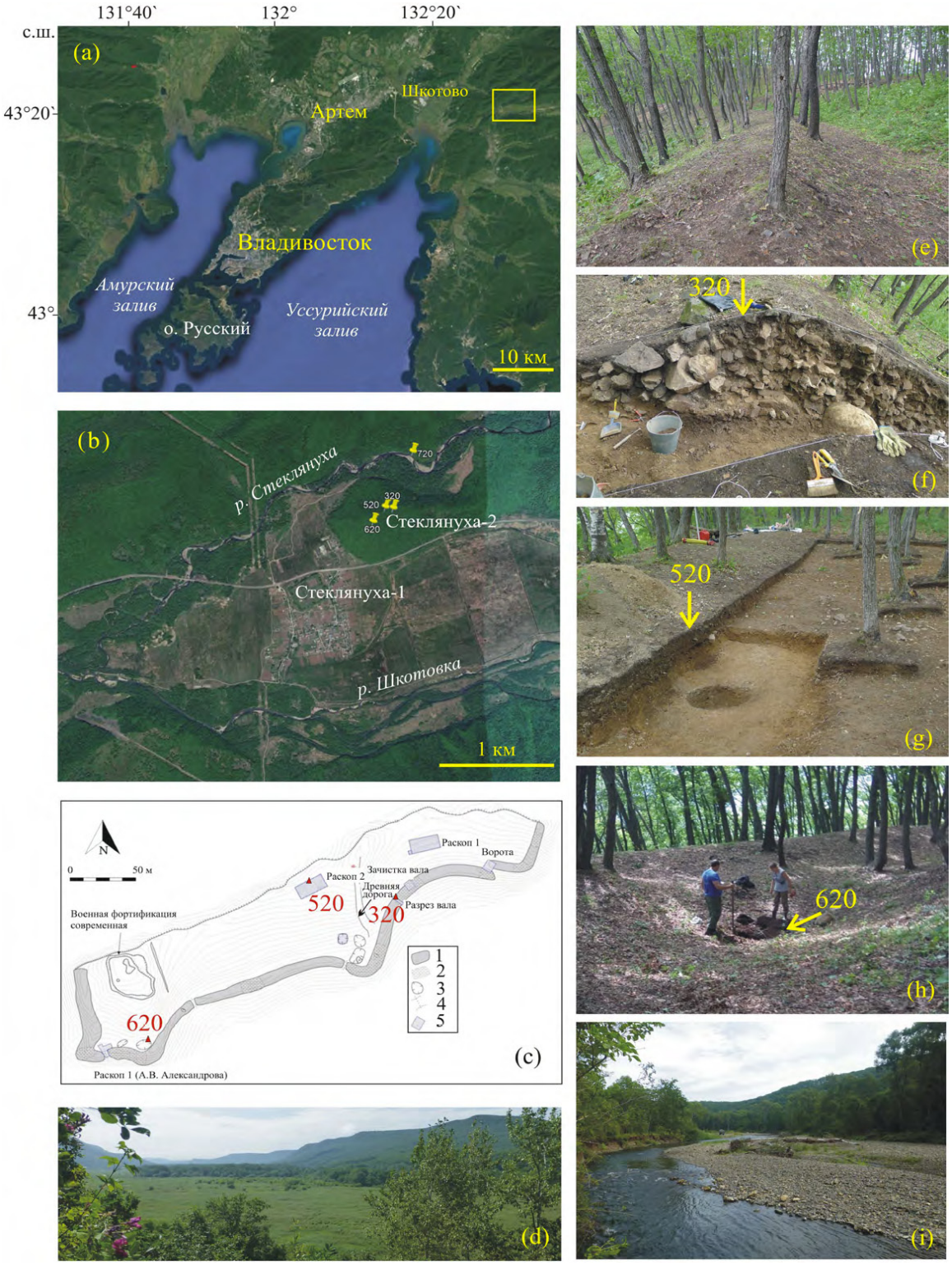


Рис. 1. Район работ, городище Стеклянуха-2, долина р. Стеклянуха, Приморский край. (a) положение района работ на юге Приморского края; (b) расположение городища Стеклянуха-2 и изученных разрезов; (c) схема городища Стеклянуха-2 [24] с точками опробования: 1 – вал (земляной), 2 – вал (каменный), 3 – западина, 4 – разрыв на валу (ворота), 5 – раскоп; (d) долина р. Стеклянуха в нижнем течении (вид с городища); (e) вал городища; (f) разрез вала (разрез 320); (g) раскоп 2, вскрывший культурный слой (разрез 520); (h) западина (разрез 620); (i) р. Стеклянуха (вид с разреза 720).

Fig. 1. Study area, Steklyanukha-2 fortress, and the Steklyanukha River valley, Primorye. (a) position of study area in south of Primorye; (b) position of the Steklyanukha-2 fortress and the studied sections; (c) the Steklyanukha-2 fortress scheme [24] with sampling sites: 1 – earthen wall, 2 – stone wall, 3 – depression, 4 – break of the wall (gates), 5 – excavation; (d) the Steklyanukha River valley low course (view from the fortress); (e) fortress wall; (f) section of the wall (section 320); (g) excavation 2 with culture layer (section 520); (h) depression (section 620); (i) the Steklyanukha River (view from section 720).

Результаты и обсуждение

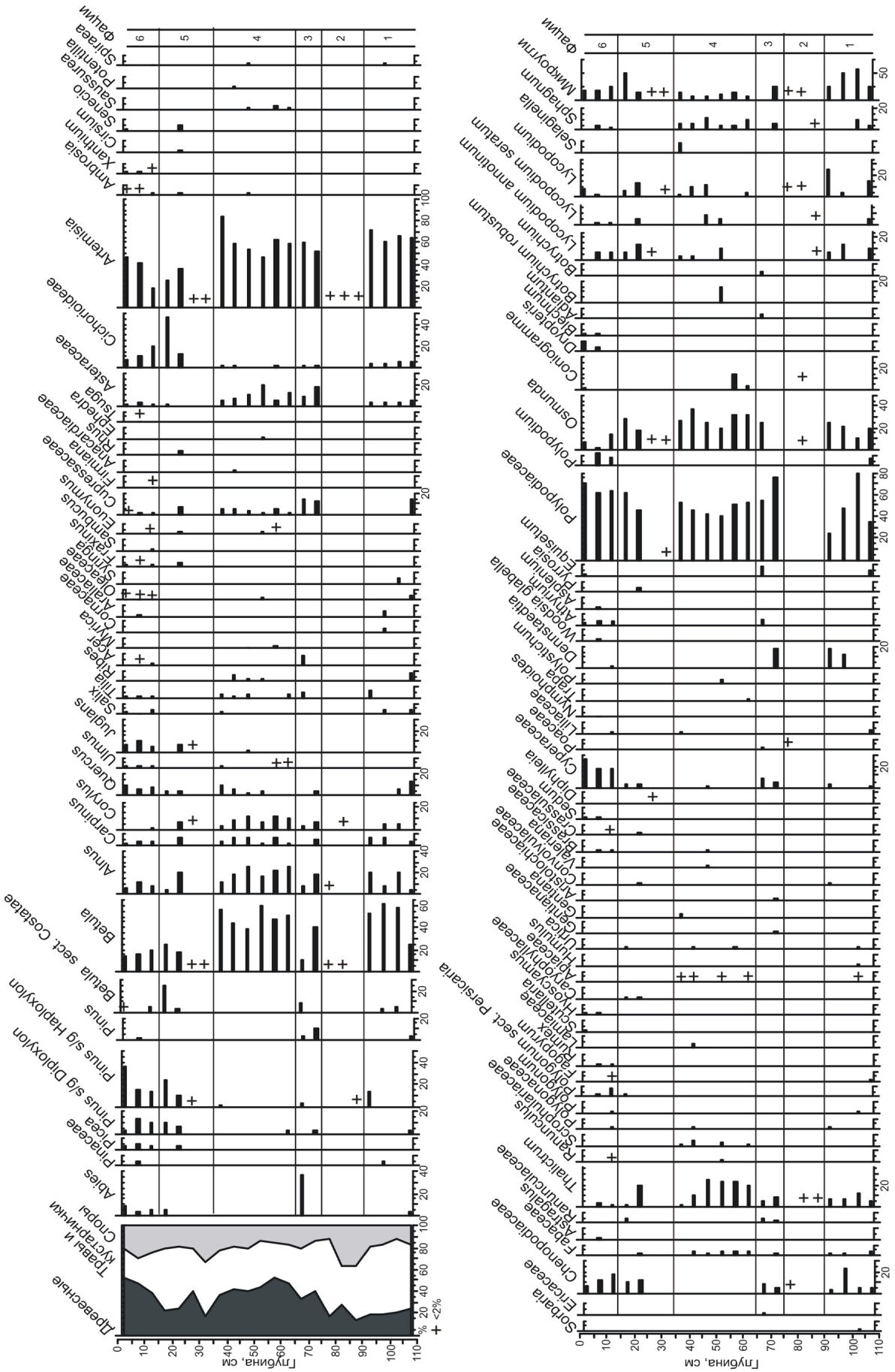
Динамика ландшафтов бассейна р. Стеклянуха в позднем голоцене. В разрезе речной террасы на русловых галечниках (до 90 см) лежит погребенная почва (мощностью 20 см), отвечающая снижению водности водотока. Таксономический состав диатомей в почве довольно беден (29–34 таксона), ведущее положение занимают донные виды (до 61.3 %). Доминируют почвенные *Hantzschia amphioxys, Luticola mutica, Pinnularia borealis, P. obscura* (до 51.4 %), указывающие на существование сухих условий. Не противоречит этому и низкое содержание (<1 %) ацидофилов, характерных для болотных обстановок. Из верхней части почвы получена ^{14}C-дата 2170±100 л.н., 2160±140 кал л.н., ЛУ-9983. Аналогичный возраст (^{14}C-дата 2110±80 л.н., 2100±110 кал. л.н., ЛУ-8854) имеет погребенная почва в разрезах пойменных отложений в долине р. Раздольная около Староречанского городища, образованная в условиях снижения аллювиального влияния [11].

В палиноспектрах из погребенной почвы (рис. 2) преобладает пыльца трав (до 67.8 %). Среди древесных доминирует пыльца берез (до 65.4 %), много пыльцы ольхи (до 21 %) и широколиственных (17.3 %) – *Quercus, Carpinus, Corylus, Tilia*, доля которых уменьшается к верхней части. Из хвойных встречена пыльца кедра корейского (до 13.3 %) и единично пихты, в основании – фрагменты пыльцы хвойных. Палиноспектры отвечают развитию кедрово-широколиственных лесов с участием берез и подлеском богатого состава (*Corylus*, *Syringa*, *Physocarpus*). Возможно, в долине были участки, занятые березовыми редколесьями. На пойме кроме ольхи были широко представлены ива, смородина, рябинник, кизиловые. На крутых склонах росли можжевельник (Cupressaceae – до 13.8 %), спирея. Среди пыльцы трав преобладает полынь (*Artemisia* – до 71.2 %) и маревые (Chenopodiaceae – до 22.4 %), что отвечает широкому распространению разнотравных лугов с участием сложноцветных, цикориевых, бобовых, лилейных, вьюнковых. Влажные местообитания занимали ограниченное пространство на пойме, здесь росли осоковые, лютиковые, гречишные, зонтичные. Споры представлены папоротниками (Polypodiaceae, *Osmunda*, *Dennstaedtia*), довольно много спор плаунов (*Lycopodium annotinum*, *L. serratum*), которые, вероятно, принесены водными потоками из верховьев р. Стеклянуха. В нижней части есть споры сфагновых мхов.

В основании палеопочвы найдена единичная пыльца гречихи (*Fagopyrum*), которая наряду с пыльцой крапивы (*Urtica* – до 3.3 %) может быть сигналом антропогенной деятельности в железном веке. Артефакты янковской археологической культуры раннего железного века обнаружены и в городище Стеклянуха-1 [25], и в городище Стеклянуха-2 [24]. Найдена также пыльца хмеля (*Humulus*), который рассматривается как вид, подтверждающий близкое проживание человека [38]. В пыльцевых ассоциациях из поверхностного слоя почв антропогенно-нарушенных территорий северо-восточного Китая пыльца *Humulus* характерна для пустошей [39]. Из непыльцевых палиноморф в палеопочве встречены споры *Cercophora*, возбудителя болезни дикой и культурной сои. Традиция выращивания сои в Китае имеет историю более 3000 лет [40]. Нельзя исключать, что ее использовал и древний человек в Приморье. Найдены споры *Gelasinospora* – гриба, селящегося на выгоревших местах. Находки спор гриба *Glomus* свидетельствуют о почвенной эрозии [41, 42], в том числе и в результате хозяйственной деятельности древнего человека [17]. В верхней части почвы много микроуглей, что могло быть связано с антропогенными пожарами в долине. Также найдены коловратки (*Rotatoria)*, которые жили на влажной почве или занесены в наводнения.

Полученные материалы подтверждают данные о нестабильности климатических условий в эпоху палеометалла, которая выражалась в экстремальных засухах, сменявшихся редкими сильными паводками. Изменение агроклиматических условий приводило к неоднократной миграции земледельческого населения в Восточной Маньчжурии и Приморье [4].

В прислоненных пойменных отложениях, представленных серыми супесями и суглинками, обнаружено 50 таксонов диатомей, среди которых ведущими являются виды обрастаний (83.6 %). Доминируют озерно-реофильные *Cocconeis placentula, Gomphonema grunowii, Reimeria sinuata, Cymbella tumidula*.


Глубина, см
Древесные
Травы и кустарнички
Споры
Abies
Pinaceae
Picea
Pinus
Pinus s/g Diploxylon
Pinus s/g Haploxylon
Betula
Betula sect. Costatae
Alnus
Carpinus
Corylus
Quercus
Ulmus
Juglans
Salix
Tilia
Ribes
Acer
Moraceae
Cornaceae
Aralia
Oleaceae
Syringa
Fraxinus
Sambucus
Euonymus
Cupressaceae
Firmiana
Aceraceae
Rhus
Ephedra
Tsuga
Asteraceae
Cichorioideae
Artemisia
Ambrosia
Xanthium
Cirsium
Senecio
Saussurea
Potentilla
Spiraea
Polypodiaceae
Equisetum
Polypodium
Osmunda
Coniogramme
Dryopteris
Blechnum
Adiantum
Botrychium
Botrychium robustum
Lycopodium
Lycopodium annotinum
Lycopodium serratum
Selaginella
Sphagnum
Mnium
Sorbaria
Ericaceae
Chenopodiaceae
Fabaceae
Astragalus
Rosaceae
Ranunculaceae
Thalictrum
Ranunculus
Scrophulariaceae
Polygonaceae
Polygonum
Rumex
Lamiaceae
Scutellaria
Hyoscyamus
Caryophyllaceae
Rhamnaceae
Urtica
Gentianaceae
Gentiana
Asteraceae
Artemisia
Convolvulaceae
Valerian
Brassicaceae
Cruciferae
Sedum
Dipsacaceae
Dipsacum
Cyperaceae
Poaceae
Liliaceae
Lilium
Umbelliferae
Apiaceae
Polystichum
Dennstaedtia
Woodsia glabella
Athyrium
Asplenium
Pteridium
Equisetum
Polypodiaceae
Osmunda
Coniogramme
Botrychium robustum
Botrychium
Lycopodium
Lycopodium annotinum
Lycopodium serratum
Selaginella
Sphagnum
Mnium
Сорбария
Ерик
Маршанция
Папоротники
Хвощи
Плаун
Кустарники
Травы
Споры
Пыльца
Споры
Пыльца
Споры
Пыльца

Заметную долю составляют виды, предпочитающие проточные хорошо аэрированные воды и способные удерживаться на дне при больших скоростях течения: *Hannaea arcus* (4.1 %), *Meridion circulare* (1.8 %), присутствует *Didymosphenia geminata*, что является одним из критериев выделения аллювия [43]. По отношению к pH среды преобладают алкалифилы (53.8 %), доля ацидофилов составляет 5.3 %. Здесь найдено мало пыльцы, что характерно для пойменной фации [44].

В перекрывающих суглинках обнаружено мало диатомей (25 таксонов), состав характерен для отложений речных долин: присутствуют виды разных экологических групп, включая типичные реофилы и почвенные. Количество пыльцы древесных здесь несколько выше (до 40.8 %). Меньше встречено пыльцы берез (до 40.8 %), широколиственных – до 16.3 %, найдена пыльца клена. В верхней части довольно много пыльцы пихты, вероятно занесенной в наводнения с верхней части бассейна. Единично встречена пыльца сосны густоцветковой. Среди пыльцы трав снизилась доля полыни. Появилась пыльца кирказоновых, горечавковых, вересковых кустарничков, злаков и споры гроздовника, кониограммы, адиантума, зеленого мха *Scorpidium*. Набор пыльцы характеризует хорошо развитый долинный лес. На пойме было много хвоща, росли сфагновые мхи. Непыльцевые палиноморфы включают споры грибов *Bryophytomyces*, которые поражают сфагновые мхи.

Выше лежат оторфованные суглинки, накопление которых шло при заболачивании старицы. В отложениях обнаружено до 45 таксонов диатомей, содержание донных видов достигает 59.8 %. Доля видов обрастаний, включая реофильные виды, остается достаточно высокой (до 46.6 %). Доминирует населяющий в основном олиготрофные воды ацидофил *Pinnularia schroederi*, заметных количеств (до 4 % и более) достигают *Placoneis elginensis, Surirella minuta, S. angusta, Pinnularia subcommutata*, предпочитающие мезотрофные и мезотрофно-эвтрофные воды. Присутствуют характерные для небольших озер *Pinnularia acrosphaeria, Nitzschia hybrida, Neidium ampliatum, Frustulia vulgaris*. Найдены и почвенные *Hantzschia amphioxys, Pinnularia borealis, Luticola mutica*; наиболее высокое содержание этих видов (до 22.2 %) отмечено в подошве слоя. Характер диатомовой флоры указывает на существование мелководной старицы, которая временами пересыхала. Из нижней части слоя получена ^{14}C-дата 1670±60 л.н., 1560±80 кал л.н., ЛУ-9985, из верхней – 480±100 л.н., 490±100 кал. л.н., ЛУ-9984.

Пыльца древесных (до 52.8 %) в старичных отложениях отражает растительность нижнего пояса Сихотэ-Алиня. Увеличилось количество пыльцы берез и широколиственных, особенно в отложениях, образованных в малый оптимум голоцена (до 24 %). В долинных лесах стало больше ореха и ильма, на горных склонах – лещины, а в начале малого ледникового периода – дуба. В пробе, где зафиксирован пик пыльцы берез (60.7 %), найдена пыльца хвойника (*Ephedra*), что может говорить о более засушливых условиях около 1130–920 кал. л.н. Теплая и более сухая фаза около 1200–935 кал. л.н. фиксируется и в разрезе торфяника на Шкотовском плато (Ларченково болото) [45]. В старичных отложениях более разнообразно представлена пыльца трав, широко были развиты разнотравные луга, появилась пыльца соссюреи, норичниковых, яснотковых, горечавковых, капустных, валерианы. Стало много пыльцы василистника, типичного представителя суходольных и пойменных лугов, ряд видов растет в лесу. В старице рос водяной орех. Количество спор достигает 22.8 %. Среди папоротников найдены споры чистоуста многорядника, гроздовника мощного, щитовника, кониограммы, часто встречаются споры сфагновых мхов, в верхней части отложений – споры плаунка. Встречены коловратки.

В ходе археологических работ установлено, что пик заселения городища Стеклянуха-2 приходился на период раннего средневековья, он соотносится с мохэской археологической культурой [24]. Сигналом заселения долины во времена мохэ является находка пыльцы крапивы (*Urtica*). Находки спор гриба *Entorrhiza*, который развивается на ситнике, может служить косвенным признаком широкого использования этого растения для плетения циновок. Нельзя исключать, что заселение территории сопровождалось вырубкой хвойных деревьев и пожарами, в результате которых появлялись вторичные березовые леса. Обращает внимание и большое количество пыльцы василистника. Обилие этой пыльцы (до 24.6 %)

отмечено для отложений, образованных с 1560 до 700 кал. л.н. В отложениях старицы, образованных около 920–700 кал. л.н., найдена пыльца амброзии, что является свидетельством сельскохозяйственной активности во времена чжурчжэней. В отложениях начала малого ледникового периода встречена пыльцы крапивы и лапчатки (*Potentilla*). В современной флоре этот род включает виды, которые растут вблизи мест проживания человека. Пыльца таких растений, как лапчатка гусиная (*Potentilla anserina*), характерна для вторичных местообитаний и рассматривается как свидетельство существования выгонов и пастбищ в голоцене [42]. Об эрозии почвы свидетельствуют и находки в изученном разрезе спор гриба *Glomus*, интерпретируемые как показатель повышенной эрозии при вытаптывании [42]. Среди непыльцевых палиноморф встречены также споры *Valsaria*, гриба, поражающего яблони и орехи, которые могли активно собирать в средние века.

Пойменные отложения, венчающие разрез, образовались в малом ледниковом периоде, который характеризовался в Приморье высоким увлажнением, обводнением речных долин и частыми паводками [45, 46]. Состав диатомей показывает, что отложения накапливались в условиях нарастающего влияния речных вод. В основании на фоне высокого содержания почвенных видов (33.6 %) установлено значительное содержание видов обрастаний (53.4 %), среди которых выделяются *Gomphonema grunowii, Reimeria sinuata, Cocconeis placentula, Meridion circulare*. Вверх по разрезу содержание видов обрастаний повышается до 71.2 %, доля почвенных снижается до 17.6 %. Появились признаки заболачивания поймы, доля ацидофилов достигает 4.7 %.

В основании пойменных отложений залегает слой супеси с повышенным содержанием глинистой фракции, образованный в сильное наводнение. Здесь найдено малое количество пыльцы берез, полыни и споры папоротников и плаунов. В перекрывающем слое песка также мало пыльцы. В группе трав встречена пыльца двулистника (*Diphylleia*), характерного для сырых тенистых мест. Это сахалинско-японский вид, отсутствующий в современной флоре Приморского края. Выше в гумусированном песке преобладает пыльца трав (до 57 %). В группе древесных наряду с пыльцой берез встречено больше пыльцы хвойных, представленных кедром корейским (до 25 %), сосной густоцветковой (до 10 %), небольшим количеством пыльцы пихты и ели, занесенной, скорее всего, со Шкотовского плато. Среди пыльцы трав стало меньше пыльцы полыни, встречено много пыльцы маревых, цикориевых, василистника, больше стало пыльцы влаголюбивых (Cyperaceae, Ranunculaceae), появилась пыльца гвоздичных, крестовника (*Senecio*), *Polygonum* sect. *Persicaria.* Обнаружены споры редкого в настоящее время растения пиррозии язычной (*Cyclophorus linqua*), произраставшего на скалах. Найдена пыльца сумаха (*Rhus*), сахалинско-японского вида, отсутствующего в современной флоре Приморского края.

Сочетание пыльцы крапивы (апофит), бодяка (*Cirsium*), амброзии может указывать на присутствие человека на близлежащих участках долины. В верхней части слоя песка увеличивается доля цикориевых. Встречены микрочастицы древесного угля.

В поверхностной почве увеличивается содержание и разнообразие пыльцы древесных таксонов. Обнаружено больше пыльцы хвойных, включая кедр корейский, пихту и ель, более активным стал ветровой занос пыльцы с плато. Распределение пыльцы сосны густоцветковой, доля которой резко снижается в кровле (с 13.7 до 2.5 %), подтверждает сведения о ее более широком распространении на территории до освоения ее переселенцами из центральной части Российской империи [26]. Сосна активно использовалась для строительства в дореволюционный период [47]. В поверхностной почве несколько увеличилось количество и разнообразие пыльцы широколиственных, в том числе дуба, что отвечает развитию вторичных дубняков. На склонах и в подлеске стал широко распространен пузыреплодник (*Physocarpus*). В группе трав к кровле увеличивается доля пыльцы полыни, стало больше пыльцы влаголюбивых растений, особенно осоковых (до 26.4 %), появилась пыльца болотоцветника (*Nymphoides*), водного растения, принесенная из стариц. Более разнообразным стал и состав спор. Появились споры папоротников, предпочитающих скальные местообитания (*Woodsia* на открытых скалах, *Blechnum* – на затененных). В лесном покрове стало больше щитовника (*Dryopteris* – 9.2 %). Встречены споры сфагновых мхов и единично – хвоща.

В почве обнаружено наибольшее число таксонов, свидетельствующих о хозяйственной деятельности. В каждой пробе встречается пыльца заносных растений – амброзии и дурнишника (*Xanthium*). Очень много пыльцы цикориевых. В основании встречена пыльца гречихи посевной. Появилась пыльца щавеля (*Rumex*), который рассматривают как синантропное растение [20, 38]. Найдена пыльца белены (*Hyoscyamus* – до 2.3 %), которая часто растет вблизи жилья, на пустырях, мусорных кучах, у зимовок скота, на выгонах и у дорог.

Из аллохтонной пыльцы, перенесенной ветром на значительные расстояния, вероятно, с юга (Япония, Китай), обнаружена пыльца *Tsuga* и *Firmiana*. Единичные пыльцевые зерна тсуги могли быть перенесены с района гор Чанбайшань, где есть искусственные посадки этой хвойной породы [38].

Из непыльцевых палиноморф в почве встречены споры грибов-патогенов: *Clasterosporium*, который вызывает болезнь диких и культурных косточковых деревьев; *Curvularia*, вызывающего пятнистость листьев; *Cercophora*, возбудителя болезней сои и риса; а также гриба *Gelasinospora*, индикатора пожаров. По всему разрезу встречаются угли.

Палеоландшафтные условия в районе городища Стеклянуха-2. Городище Стеклянуха-2 являлось сторожевой крепостью на сопке, расположенной на удалении от поселения Стеклянуха-1 в долине р. Шкотовка, где велась основная хозяйственная деятельность. Городище окружено каменно-земляным валом (протяженностью 500 м) (рис. 1 e, f), который проходит по наиболее пологому склону в привершинной части сопки, северная часть оконтурена неприступными отвесными скалами (высотой до 7 м). Найдены археологические свидетельства, что заселение памятника началось в раннем железном веке (янковская культура). Территория активно использовалась во времена мохэ. Установлено, что строительство крепости шло в средние века, но основные фортификационные укрепления построены позже мохэского периода, предположительно во времена чжурчжэней. Однозначных данных о точной возрастной привязке крепости пока нет [24].

Как и на других археологических памятниках [15], на городище отложения в разрезах обеднены пыльцой и спорами.

Под валом обнаружена погребенная почва (рис. 1 f), из верхней части которой получена ^{14}C-дата 4200±110 л.н., 4720±160 кал. л.н., ЛУ-9982. Почва формировалась, по-видимому, в похолодание на границе среднего–позднего голоцена и маркирует состояние территории до прихода на эту территорию строителей городища. В палиноспектрах (рис. 3) преобладает пыльца древесных пород. Доминирует пыльца *Betula* (в сумме до 69 %) и *Corylus* (до 64 %), что отвечает развитию березовых лесов и широкому участию лещины в подлеске. Пыльца широколиственных (*Quercus, Ulmus, Juglans, Fraxinus*) в небольшом количестве (до 8.3 %) присутствует только в верхней части почвы. Пыльца хвойных (*Pinus* s/g *Haploxylon*) единична. Из кустарников встречена пыльца бересклета, который мог расти в лесном подлеске ольховника, восковника и березы овальнолистной, пыльца которых могла быть перенесена с заболоченных участков Шкотовского плато [45] или из речных долин. Из долины могла заноситься и пыльца ольхи. Содержание пыльцы трав менее 15.2 %, преобладают представители родов, характерных для сухих местообитаний (полынь и другие сложноцветные, маревые). Единично встречена пыльца маковых, василистника, живучки, горечавки, подорожника, а также гюльденштедтии из семейства бобовых, характерной для очень сухих местообитаний. Часть этих растений могли расти на скалах и крутых склонах сопки. Встречены единичные зерна водных растений (кубышка, болотноцветник) и осок. Доля спор не превышает 2 %, найдены в основном папоротники и плауны и единичные споры сфагновых мхов и плаунка. Здесь же найдена пыльца гречихи татарской (*Fagopyrum tataricum* – 2 зерна). В настоящее время она рассматривается как сорное растение в посевах яровых культур, произрастающее также по обочинам дорог, на насыпях, в нарушенных местах. В отличие от гречихи посевной (*F. esculentum*), этот вид более морозоустойчив, его использование в качестве зерновой культуры известно в Китае со среднего голоцена. Археоботанические данные указывают на выращивание гречихи в северном Китае начиная с 5500 кал. л.н., ее первое распространение отмечалось около 5000–4000 кал. л.н., второе – около 1600–1000 кал. л.н., в Японию она попала около 4000 кал. л.н. [48].

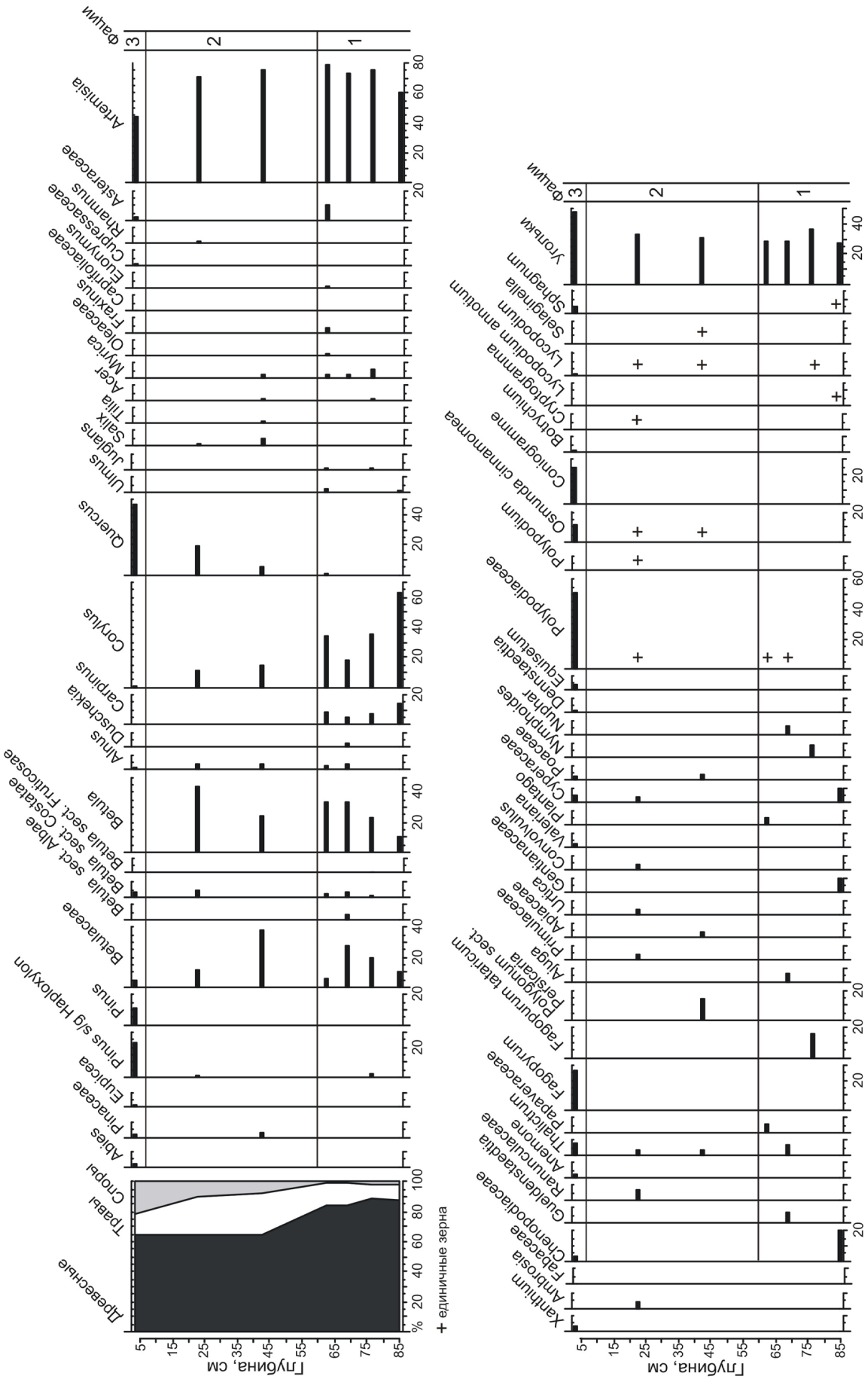


Рис. 3. Спорово-пыльцевая диаграмма разреза вала городища Стеклянуха-2 (разрез 320). Фации: 1 – погребенная почва, 2 – заполнитель между глыб, слагающих вал городища, 3 – почва.

Fig. 3. Pollen diagram of section of the wall of Steklyanukha-2 fortress (section 320). Facies: 1 – buried soil, 2 – fill material between the blocks formed the fortress wall, 3 – soil.

Маньчжурия расположена на периферии предполагаемого центра первоначального культивирования гречихи [49]. К настоящему времени найдены свидетельства выращивания гречихи в Маньчжурии в средневековье. Первые палинологические свидетельства культивирования гречихи в районе Чаньбайшаня датированы первой половиной IX в. нашей эры [38]. Учитывая ограниченный ветровой перенос пыльцы *Fagopyrum*, ее присутствие указывает на наличие сельскохозяйственных культур в прошлом в непосредственной близости от изученных разрезов. Отмечены также мелкие угольки.

В заполнителе вала также много пыльцы древесных (до 65 %), но повышается количество пыльцы трав (до 27 %) и спор (до 10 %). На фоне преобладания пыльцы берез (до 62 %) увеличивается доля широколиственных, представленных в основном дубом (до 19 %), встречена также пыльца клена, липы. Сильно сократилась пропорция пыльцы лещины (<14.5 %), из кустарников найдена пыльца крушины. Среди мелколиственных появилась пыльца ивы, увеличилась доля ольхи. Единично встречена пыльца кедра корейского. Среди трав доминирует пыльца полыни. Единично присутствует пыльца зонтичных, злаков, василистника, лютиковых, первоцветовых, вьюнковых. Признаком антропогенного влияния может быть находка пыльцы крапивы и амброзии. Последняя представляет собой палеоинвазивный вид, найдена в ряде археологических стоянок Приморья [50, 51]. Пыльца амброзии была обнаружена и в культурном слое Староречанского городища в бассейне р. Раздольная [52, 11]. В заполнителе вала найдена также пыльца *Polygonum* sect. *Persicaria.* Некоторые исследователи *Polygonum persicaria* рассматривают в качестве индикатора земледелия [19]. Из спор в заполнителе наряду с плаунами присутствуют папоротники, включая *Osmunda* и *Cryptogramma*, последний характерен для скал. Палиноспектры показывают, что заполнитель вала, скорее всего, представлен смесью материала склоновых отложений и разновозрастных почв: погребенной почвы и почвы на момент строительства крепости, образованной при широком участии широколиственных пород в лесной растительности. В заполнителе обнаружено большое количество мелких углей.

Почва, которая лежит на поверхности вала, включает относительное обилие пыльцы древесных, отвечающих развитию вторичных дубовых лесов (*Quercus* – 46 %) и заносу пыльцы из кедрово-широколиственных лесов (*Pinus* s/g *Haploxylon* – 24 %). В группе трав наряду с обилием пыльцы полыни обнаружено большое содержание пыльцы гречихи посевной (10 пыльцевых зерен), которая могла заноситься с полей, расположенных в речных долинах. Эту культуру использовали с конца XIX в. не только, как зерновую, но и для освоения целины. Обычно это была первая культура, которой засевали целинные земли [47], она хорошо разрыхляет почву и препятствует развитию сорняков. В поверхностной почве найдена и пыльца дурнишника, одного из заносных растений. Здесь обнаружено большое количество спор, включающих разнообразные папоротники (в том числе *Osmunda, Coniogramme, Dennstaedtia*, *Botrychium*), а также единичные споры хвоща и сфагновых мхов.

В раскопе 2 внутри городища (рис. 1 g) в палиноспектрах из почвы, залегающей под культурным слоем, и склоновых супесей из основания разреза преобладают древесные (до 65 %) (рис. 4). Здесь доминирует пыльца берез (до 66 %), встречено много пыльцы лещины. Пыльца дуба найдена только в склоновых отложениях. В погребенной почве широколиственные представлены небольшим количеством пыльцы липы, клена, сирени, здесь также встречена единичная пыльца хвойных. В группе трав (до 20 %) преобладает пыльца полыни, единично присутствует пыльца соссюреи, лютиковых, василистника, валерианы, лилейных. В погребенной почве найдена пыльца дурнишника, которая могла быть вымыта из культурного слоя. Встречены споры папоротников, плаунов и одно зерно *Sphagnum*. В целом состав палиноспектров сходен со спектрами, полученными из погребенной почвы под валом.

В отложениях под почвой найдены споры *Byssothecium circinans* – гриба, обитающего на древесных субстратах и важной кормовой культуре – люцерне. Встречены споры съедобного древесного гриба *Leucopholiota lignicola,* а также *Savoryella*, обитающего на гниющей древесине. Найдены также коловратки, которые могли обитать на влажных почвах.

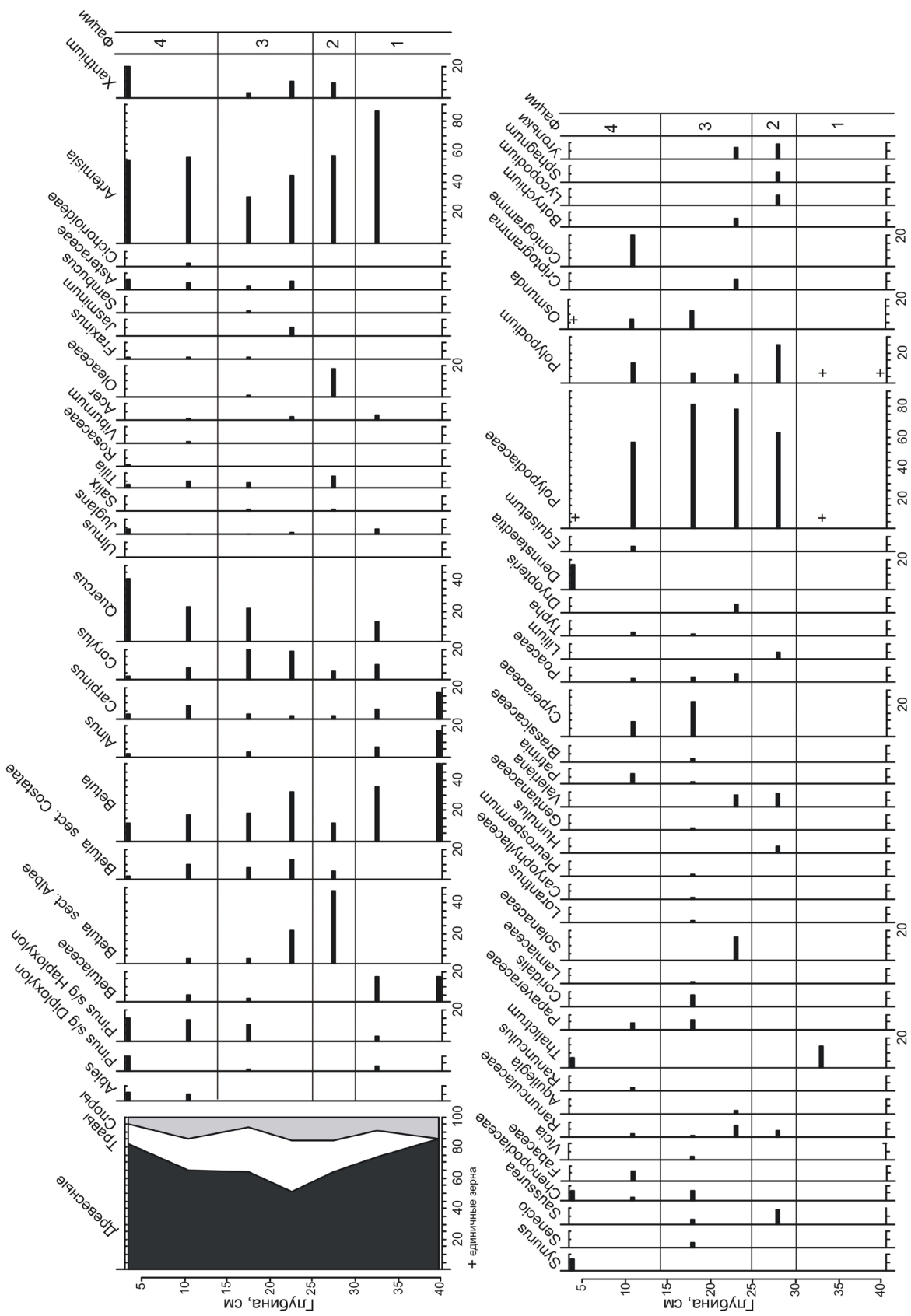


Рис. 4. Спорово-пыльцевая диаграмма разреза раскопа 2 городища Стеклянуха-2 (разрез 520). Фации: 1 – склоновые супеси, 2 – палеопочва, 3 – культурный слой, 4 – почва.

Fig. 4. Pollen diagram of a section of excavation 2 of the Steklyanukha-2 fortress (section 520). Facies: 1 – slope sandy loam, 2 – fossil soil, 3 – cultural layer, 4 – soil.

В культурном слое обнаружены богатые спорово-пыльцевые спектры. В группе древесных наряду с преобладанием пыльцы берез (в основании слоя до 67 %) в кровле появляется пыльца дуба (22 %), встречена пыльца других широколиственных (ильм, орех, липа, ясень и сирень), из кустарников обнаружено много пыльцы лещины (до 19 %), бересклет, чубушник, появляется пыльца хвойных – кедра корейского (11 %) и сосны густоцветковой (1 %). Увеличивается количество и разнообразие пыльцы трав (до 33 %), что подтверждает вывод о том, что лес на склоне сопки, обращенном на долину и городище Стеклянуха-1, в древности был частично сведен [24]. В группе травянистых также преобладает пыльца полыни (до 42 %), присутствуют соссюрея, крестовник и другие представители сложноцветных, единично встречена пыльца лютиковых, появляется пыльца маревых, яснотковых, горечавковых, капустных, бобовых, злаков, хохлатки, патрэнии, водосбора. Из пыльцы растений, сопутствующих антропогенной деятельности, можно выделить дурнишник. Пыльца этого растения была обнаружена и на Староречeнском городище [52, 11]. В Китае это сорное растение появилось около 2100 кал. л.н. [53, 38]. Находки пыльцы *Xanthium* интерпретируются как свидетельство активизации сельскохозяйственной деятельности [54]. Распространение дурнишника в Маньчжурии в позднем голоцене свидетельствует об усилении человеческой деятельности или изменении в землепользовании [38]. С человеческим жильем может быть также связано аномально высокое содержание в спектрах пыльцы пасленовых (Solanaceae – 15.4 %) и присутствие маковых (Papaveraceae). В кровле обнаружено много пыльцы осок (22 %) и пыльца рогоза. Можно предположить, что эти растения использовались для хозяйственных нужд (изготовление циновок, подстилок и т.п.). Споры представлены исключительно папоротниками. В целом данные, полученные для культурного слоя, схожи со спектрами из заполнителя вала – растительность, окружающая городище, отвечала более теплым условиям, чем те, в которых формировалась погребенная почва; есть признаки антропогенного влияния на ландшафты. В культурном слое и погребенной почве обнаружены микроугли.

Из непыльцевых палиноморф обнаружены споры-патогены растений: плесени *Pleurophragmium*, *Caeumannomyces* (гниль у злаковых), Xylariaceae, обитающих на древесине, семенах, фруктах, листьях растений; *Bactrodesmium*, распространенного на древесине и коре лиственных (дуб, ясень), а также обитающего на иголках ели (возможно, люди приносили лапник). Наличие спор копрофильных грибов *Delitshia* свидетельствует о присутствии домашних животных в крепости. Данный вывод подтверждается костными остатками лошади, которые были найдены в культурном слое раскопа-2 [24].

Палиноспектры из поверхностной почвы, как и из почвы на валу, отражают развитие вторичных дубняков (*Quercus* – до 41 %). Из других широколиственных встречена пыльца ореха, липы, ясеня, клена, резко сократилась доля пыльцы лещины. Стало много пыльцы хвойных – кедра корейского (до 14 %), сосны густоцветковой (9 %), появилась пыльца пихты (до 6 %), которая заносится, скорее всего, со Шкотовского плато. Состав пыльцы трав стал менее разнообразный, особенно в поверхностной почве, где встречены только пыльца полыни и других сложноцветных, в том числе дурнишника, маревых и василистника. Из непыльцевых палиноморф найдены споры грибов *Gelasinospora*, которые развиваются на горелых субстратах, *Glomus*, *Caeumannomyces, Leucopholiota lignicola*, клетки *Zygnema* (пресноводные нитчатые водоросли), споры черной плесени *Mitteriella, Zizyphus*, поражающей крушиновые [55].

В южной части городища около вала обнаружены две западины, которые предположительно использовались для накопления питьевой воды [24]. На дне крупной западины (рис. 1 h) во всех пробах почвенного профиля присутствуют диатомовые водоросли. Встречены виды, характерные как для водных местообитаний (стоячие и текучие воды – озера, пруды, болота, реки, ручьи, источники), так и для субаэральных с постоянно или периодически увлажняемым субстратом (влажные скалы и камни, моховые подушки и почвы). Насыщенность отложений створками диатомей низкая. Наиболее часто встречаются почвенные виды: *Hantzschia amphioxys*, *Pinnularia borealis* – и *Caloneis aerophila*, населяющий, в основном, мокрые камни и скалы. Из диатомей, характерных для водной среды, встречены планктонные *Aulacoseira distans*, *A. italica*, *A. granulata*, *A. granulata* var. *angus-*

tissima, *Cyclotella meneghiniana*, обрастатели *Epithemia porcellus*, *E. gibba*, *Ulnaria ulna*, *Fragilariforma nitzschioides*, донный *Pinnularia viridis*. Присутствие озерно-реофильных видов может свидетельствовать о том, что воду в крепость могли приносить из реки.

Палиноспектры аллювиальных отложений и материал, собранный в городище, различаются соотношением пыльцы древесных и травянистых таксонов. В отложениях поймы повышено содержание пыльцы трав, что отвечает наличию открытых пространств и развитию луговых сообществ в долине. Довольно много пыльцы переносилось со скальных местообитаний, включая северный склон сопки Бойцовской. Изученные разрезы фиксируют несколько стадий развития долины, отличавшиеся разной водностью. В условиях снижения обводнения сформировалась погребенная почва, возраст которой оценивается более 2 тыс. лет. Почва является палеоархивом для восстановления условий во время появления на территории представителей янковской культуры. Старичные отложения накапливались от 1.6 до 0.5 тыс. л.н., когда шло активное освоение долины в средние века. Наиболее обводненным водоток был в малый ледниковый период.

Палиноспектры из проб, отобранных на городище, относятся к лесному типу и в основном отражают растительность нижнего пояса гор. Городище окружали широколиственные и кедрово-широколиственные леса, климатические условия отвечали теплым условиям малого оптимума голоцена. В целом палинологические данные показывают ограниченный масштаб вырубки лесов.

Следы антропогенного воздействия на геосистемы фиксируются как в отложениях природного аллювиального разреза в долине р. Стеклянуха, так и на участке средневекового городища, представляющего сторожевую крепость на возвышенном участке, расположенном на некотором удалении от основного поселения, где была сконцентрирована хозяйственная деятельность. Найдена пыльца растений, которые использовались в хозяйстве, а также адвентивных видов.

Сигналы заселения нижней части долины в ранний железный век найдены в отложениях пойменного разреза. Косвенными признаками присутствия человека являются находки пыльцы крапивы, а также гречихи и непыльцевых палиноморф, возбудителей болезней растений (сои), которые могли собирать люди.

Активное заселение долины во времена мохэ, скорее всего, сопровождалось вырубкой хвойных и лиственных лесов, пожарами и появлением вторичных березовых и дубовых лесов.

В старичных отложениях, которые формировались в средние века, и в культурном слое городища найдена пыльца амброзии и дурнишника, которые являются надежными свидетельствами сельскохозяйственной активности в долине. А также найдена пыльца апофитов (крапива, лапчатка), как правило распространенных на антропогенно нарушенных территориях. Аномальное содержание отдельных таксонов среди пыльцы трав также указывает на их использование человеком: пасленовые, маковые – земледельческие культуры, пришли из Китая, осоковые, рогоз – использовались в хозяйственных нуждах. Повышенное содержание пыльцы трав в палиноспектрах из культурного слоя может говорить о частичной вырубке леса в привершинной части сопки для лучшего обзора. Изучение диатомовых водорослей из отложений западины показало, что такие котлованы использовали для хранения воды, в том числе принесенной из реки.

Наибольшее число пыльцевых таксонов, свидетельствующих о хозяйственной деятельности, обнаружено в поверхностных почвах, как на высокой пойме, так и в городище. Палиноспектры отражают развитие вторичных дубовых лесов и активное сельскохозяйственное освоение близлежащих речных долин, начавшееся с конца XIX в. Здесь встречена пыльца заносных растений (амброзия, дурнишник, белена) и апофитов (щавель), а также споры грибов-патогенов, в том числе возбудителя болезней сои и риса, и индикаторы пожаров.

Список литературы

1. Краснопеев С.М., Розенберг В.А. (ред.) **2005.** *Атлас лесов Приморского края*. Владивосток: ДВО РАН, 76 с.
2. Вострецов Ю.Е. **2009.** Первые земледельцы на побережье залива Петра Великого. *Вестник НГУ. Серия История, филология*, 8(3): 113–120.
3. Вострецов Ю.Е. **2006.** Изучение влияния природных изменений на культурную адаптацию населения Приморья в среднем – начале позднего голоцена (методический аспект). *Россия и АТР*, 3: 32–38.
4. Вострецов Ю.Е. **2013.** Экологические факторы формирования культурной динамики в прибрежной зоне Восточной Азии в эпоху палеометалла. *Вестник ДВО РАН*, 1: 109–116.
5. Шавкунов В.Э. (ред.) **1994.** *Государство Бохай (698–926 гг.) и племена Дальнего Востока России*. М.: Наука, 219 с.

6. Асташенкова Е.В., Бакшеева С.Е., Гельман Е.И., Гридасова И.В., Ивлиев А.Л., Клюев Н.А., Крадин Н.Н., Пискарева Я.Е., Прокопец С.Д., Сергушева Е.А. **2018.** *Города средневековых империй Дальнего Востока*. М.: ИВЛ, 367 с.
7. Сергушева Е.А. **2012.** Земледелие на территории Приморья в период существования государства Бохай (по археоботаническим и археологическим данным). *Вестник ДВО РАН*, 1: 100–107.
8. Короткий А.М., Гребенникова Т.А., Пушкарь В.С., Разжигаева Н.Г., Волков В.Г., Ганзей Л.А., Мохова Л.М., Базарова В.Б., Макарова Т.Р. **1997.** Климатические смены на территории юга Дальнего Востока в позднем плейстоцене – голоцене. *Вестник ДВО РАН*, 3: 121–143.
9. Микишин Ю.А, Петренко Т.И., Гвоздева И.Г. **2019.** Поздняя фаза атлантического периода голоцена на юге Приморья. *Успехи современного естествознания*, 12: 96–107.
10. Андерсон П.М., Белянин П.С., Белянина Н.И., Ложкин А.В. **2017.** Эволюция растительного покрова западного побережья залива Петра Великого в позднем плейстоцене – голоцене. *Тихоокеанская геология*, 36(4): 99–108.
11. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Корнюшенко Т.В., Ганзей К.С., Кудрявцева Е.П., Гридасова И.В., Клюев Н.А., Прокопец С.Д. **2020.** Соотношение природных и антропогенных факторов в становлении ландшафтов бассейна реки Раздольная, Приморье. *Изв. РАН. Серия географическая*, 84(2): 246–258.
12. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Макарова Т.Р., Корнюшенко Т.В., Кудрявцева Е.П, Ганзей К.С., Судьин В.В., Харламов А.А. **2020.** Палеоозеро острова Шкота (залив Петра Великого): природный архив изменений климата и ландшафтов. *Геосистемы переходных зон*, 2: 230–249. https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.2.230-249
13. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Lyaschevskaya M.S., Makarova T.R., Kudryavtseva E.P., Grebennikova T.A., Panichev A.M., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Petrov A.Yu., Malkov S.S. **2019.** Climatic and human impacts on landscape development of the Murav'ev Amursky Peninsula (Russian South Far East) in the Middle/Late Holocene and historical time. *Quaternary International*, 516: 127–140. https://doi.org/10.1016/j.quaint. 2017.12.007
14. Верховская Н.Б. **1996.** Палиностратиграфическая корреляция отложений в пределах археологического памятника Бойсмана-1, юг Российского Дальнего Востока. В кн.: *Поздний палеолит – ранний неолит Восточной Азии и Северной Америки*. Владивосток: ДВО РАН, 39–48.
15. Короткий А.М. **2009.** Использование геологических данных при изучении археологических памятников южного Приморья (голоцен). *Вестник ДВО РАН*, 1: 62–73.
16. Сергушева Е.А., Рябогина Н.Е., Лящевская М.С., Гольева А.А. **2016.** Аргументация земледелия на археологических памятниках Приамурья и Приморья: результаты применения палеоботанических методик. *Вестник ТГУ*, 402: 99–108. https://doi.org/10.17223/15617793/402/14
17. Лящевская М.С., Макарова Т.Р., Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Кудрявцева Е.П., Паничев А.М., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю. **2017.** Развитие ландшафтов полуострова Муравьева-Амурского в среднем–позднем голоцене по данным изучения отложений побережья бухты Муравьиная (Южное Приморье). *Успехи современного естествознания*, 2: 110–122.
18. Novenko E.Yu., Tarasov P.E., Olchev A.V. **2019.** Climate-vegetation interaction: natural processes versus human impact. *Geography, Environment, Sustainability*, 2(12): 128–131.
19. Носова М.Б., Новенко Е.Ю., Зерницкая В.П., Дюжова К.В. **2014.** Палинологическая индикация антропогенных изменений растительности Восточно-Европейских хвойно-широколиственных лесов в позднем голоцене. *Изв. РАН. Серия географическая*, 4: 72–84.
20. Руденко О.В., Новенко Е.Ю. **2019.** Сигналы антропогенного преобразования лесных ландшафтов в пыльцевых записях из голоценовых торфяников южной периферии зоны смешанных широколиственных лесов Восточно-Европейской равнины. В кн.: *Природные ресурсы Центрального региона России и их рациональное использование*. Орел: ОГУ, 93–102.
21. Александровский А.Л., Анненков В.В., Глушко Е.В., Истомина Э.Г., Николаев В.И., Постников А.В., Хотинский Н.А. **1991.** Антропогенные индикаторы в пыльцевых спектрах голоценовых отложений. В кн.: *Источники и методы исторических реконструкций изменений окружающей среды.* М.: ВИНИТИ, с. 7–18. (Итоги науки и техники, Сер. палеогеография, т. 8).
22. Новенко Е.Ю. **2016.** *Изменения растительности и климата Центральной и Восточной Европы в позднем плейстоцене и голоцене в межледниковые и переходные этапы климатических циклов.* М.: ГЕОС, 228 с.
23. Крушанов А.И. (ред.) **1991.** *Памятники истории и культуры Приморского края*: Материалы к своду. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 268 с.
24. Пискарева Я.Е., Прокопец С.Д., Асташенкова Е.В., Белова И.Е., Сергушева Е.А., Бакшеева С.Е., Белов Д.М., Шаповалов Е.Ю., Якупов М.А. **2021.** Исследования городища Стеклянуха-2. *Труды ИИАЭ ДВО РАН*, 31: 186–207.
25. Александров А.В. **1985.** *Отчет о разведке археологических памятников в долинах рек Шкотовки и Стеклянухи Шкотовского района Приморского края в 1985 г.* Архив ИА РАН. Р-1. № 10812. 139 л.
26. Будищев А.Ф. **1898.** *Описание лесов южной части Приморской области*. Хабаровск: Тип. канцелярии Приамурского Генерал-Губернатора, 488 с.
27. Колягин В.В. **2012.** *Шкотово: дорога из прошлого в будущее*. Владивосток: ОИАК, 324 с.
28. Горчаков А.А. и др. (сост.). **2017.** *Из истории заселения Шкотовского района: документы и материалы*. Владивосток: Рея, 347 с.
29. Глезер З.И., Жузе А.П., Макарова И.В., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова-Порецкая В.С. (ред.) **1974.** *Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные*. Л.: Наука, т. 1, 403 с.
30. Покровская И.М. **1966.** Методика камеральных работ. В кн.: *Палеопалинология*. Л.: Недра, т. 1: 32–61.
31. Krammer K., Lange-Bertalot H. **1986.** *Bacillariophyceae.* Jena: VEB Gustav Fischer Verlag. Teil 1. *Naviculaceae*. 876 p.
32. Krammer K., Lange-Bertalot H. **1988.** *Bacillariophyceae.* Jena: VEB Gustav Fischer Verlag. Teil 2. *Bacillariophyceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. 536 p.
33. Krammer K., Lange-Bertalot H. **1991.** *Bacillariophyceae.* Jena: VEB Gustav Fischer Verlag. Teil 3. *Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. 576 p.
34. Grimm E. **2004.** *Tilia software 2.0.2*. Springfield: Illinois State Museum Research and Collection Center.
35. Ramsey B.C. **2017.** Methods for summarizing radiocarbon datasets. *Radiocarbon*, 59(2), 1809–1833. https://doi.org/10.1017/RDC.2017.108
36. Ramsey B.C. **2021.** *OxCal 4.4.* Available at: http://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal (accessed 7.07.2021).
37. Reimer P. **2020.** Letter from the Guest Editor. *Radiocarbon*, 62(4): v–vii. http://dx.doi.org/10.1017/RDC.2020.99

38. Makohonienko M., Kitagawa H., Fujikid T., Liu X., Yasuda Y., Huaining Yin H. **2008.** Late Holocene vegetation changes and human impact in the Changbai Mountains area, Northeast China. *Quaternary International*, 184: 94–108. http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2007.09.010

39. Li M.Yu., Li Y.C., Xu Q.H., Pang R.M., Ding W., Zhang S.R., He Z.G. **2012.** Surface pollen assemblages of human-disturbed vegetation and their relationship with vegetation and climate in Northeast China. *Chinese Sci. Bull*., 57(5): 535–547. http://dx.doi.org/10.1007/s11434-011-4853-9

40. Lee G-A., Crawford G.W., Liu L., Sasaki Y., Chen X. **2011.** Archaeological soybean (Glycine max) in East Asia: Does Size Matter? *PLoS ONE,* 6(11): e26720. http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0026720

41. Рудая Н.А. **2010.** *Палинологический анализ:* учеб.-метод. пособие. Новосибирск: НГУ; ИФЭ СО РАН, 48 с.

42. Miehe G., Miehe S., Kaiser K., Reudenbach C., Behrendes L., Duo L., Schlütz F. **2009.** How old is pastoralism in Tibet? An ecological approach to the making of a Tibetan landscape. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 276: 130–147. http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.03.005

43. Алешинская З.В. **1968.** Диатомеи в аллювиальных отложениях Енисея. В кн.: *Ископаемые диатомовые водоросли СССР*. М.: Наука, 88–92.

44. Короткий А.М. **2002.** *Географические аспекты формирования субфоссильных спорово-пыльцевых комплексов (юг Дальнего Востока)*. Владивосток: Дальнаука, 271 с.

45. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Мохова Л.М., Макарова Т.Р., Паничев А.М., Кудрявцева Е.П., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Старикова А.А. **2016.** Развитие ландшафтов Шкотовского плато Сихотэ-Алиня в позднем голоцене. *Изв. РАН. Серия географическая*, 3: 65–80.

46. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Копотева Т.А., Климин М.А., Паничев А.М., Кудрявцева Е.П., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю. **2019.** Летопись речных паводков в предгорьях Сихотэ-Алиня за последние 2.2 тысячи лет. *Изв. РАН. Серия географическая*, 2: 85–99.

47. Буссе Ф.Ф. **1898.** *Переселение крестьян морем в Южно-Уссурийский край в 1883–1893 годах: с картою*. СПб.: Тип. Высочайше утвержд. Тов-ва «Общественная Польза», 4, 165 с.

48. Hunt H.V., Shang X., Jones M.K. **2018.** Buckwheat: a crop from outside the major Chinese domestication centers? A review of the archaeobotanical, palynological and genetic evidence. *Vegetation History and Archaeobotany*, 27: 493–506. https://doi.org/10.1007/s00334-017-0649-4

49. Ohnishi O. **1998.** Search for the wild ancestor of buckwheat. III. The wild ancestor of cultivated common buckwheat, and of Tatary buckwheat. *Economic Botany*, 52: 123–133. https://doi.org/10.1007/bf02861199

50. Верховская Н.Б., Есипенко Л.П. **1993.** О времени появления *Ambrosia artemisiifolia* L. (Asteraceae) на юге Российского Дальнего Востока. *Ботанический журнал*, 78(2): 94–101.

51. Кудрявцева Е.П., Базарова В.Б., Лящевская М.С., Мохова Л.М. **2018.** Амброзия полынолистная: современное распространение, структура сообществ и присутствие в голоценовых отложениях Приморского края (юг Дальнего Востока России). *Комаровские чтения*, 66: 125–146.

52. Корнюшенко Т.В., Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Кудрявцева Е.П. **2019.** Природные и антропогенные факторы в развитии ландшафтов среднего течения долины р. Раздольная, Приморье. В кн.: *География: развитие науки и образования: Материалы ежегодной Междунар. науч.-практ. конф. с междунар. участием: LXXII Герценовские чтения*. СПб: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2: 118.

53. Chen Y., Hind D.J.N. **2011.** Heliantheae. In: *Flora of China, Asteraceae.* Beijing: Sci. Press; St. Louis: Missouri Botan. Garden Press, 20–21: 852–878.

54. Jia W. **2005.** *Transition from Foraging to Farming in Northeast China*: (PhD thesis). Sydney: University of Sydney.

55. Gautam A.K., Avasthi S. **2016.** *Mitteriella ziziphi* (Ascomycota) on *Zizyphus nummularia* from the Himachal Pradesh and its distribution extension in India. *Tropical* Plant Research, 3(2): 341–343.

References

1. Krasnopeev S.M., Rozenberg V.A. (eds) **2005.** *Atlas lesov Primorskogo kraya* [*The atlas of forests in Primorsky Kray*]. Vladivostok: DVO RAN, 76 p. (In Russ.).

2. Vostretsov Yu.E. **2009.** First cultivators in the in the coast of the Peter the Great Bay. *Vestnik NGU. Seriya Istoriya, filologiya*, 8(3): 113–120. (In Russ.).

3. Vostretsov Yu.E. **2006.** [Studying the influence of nature changes on the cultural adaptation of the Primorye population in the Middle – beginning of the Late Holocene (methodological aspect)]. *Rossiya i ATR = Russia and the Pacific*, 3: 32–38. (In Russ.).

4. Vostretsov Yu.E. **2013.** Ecological factors of the forming of cultural dynamic on the East Asia coastal zone during bronze and iron ages. *Vestnik DVO RAN = Vestnik of the FEB RAS*, 1: 109–116. (In Russ.).

5. Shavkunov V.E. (ed.) **1994.** *Gosudarstvo Bokhay (698–926 gg.) i plemena Dal'nego Vostoka Rossii* [*The state of Bohai (698–926) and the tribes of the Russian Far East*]. Moscow: Nauka, 219 p. (In Russ.).

6. Astashenkova E.V., Baksheeva S.E., Gel'man E.I., Gridasova I.V., Ivliev A.L., Klyuev N.A., Kradin N.N., Piskareva Ya.E., Prokopets S.D., Sergusheva E.A. **2018.** *Goroda srednevekovykh imperiy Dal'nego Vostoka* [*The cities of the medieval empires of the Far East*]. Moscow: IVL, 367 p. (In Russ.).

7. Sergusheva E.A. **2012.** The agriculture on Primorye during the existence of Bohai state according to archaeobotanical and archaeological data. *Vestnik DVO RAN = Vestnik of the FEB RAS*, 1: 100–107. (In Russ.).

8. Korotkii A.M., Grebennikova T.A., Pushkar' V.S., Razjigaeva N.G., Volkov V.G., Ganzey L.A., Mokhova L.M., Bazarova V.B., Makarova T.R. **1997.** [Climatic changes in the southern Russian Far East during Late Pleistocene – Holocene]. *Vestnik DVO RAN = Vestnik of the FEB RAS*, 3: 121–143. (In Russ.).

9. Mikishin Yu.A, Petrenko T.I., Gvozdeva I.G. **2019.** Late phase of Atlantic stage of the Holocene in Southern Primorye (Russian Far East). *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*, 12: 96–107. (In Russ.).

10. Anderson P.M., Belyanin P.S., Belyanina N.I., Lozhkin A.V. **2017.** Evolution of the vegetation cover of Peter the Great Bay western coast in the Late Pleistocene – Holocene. *Tikhookeanskaya geologiya*, 36(4): 99–108. (In Russ.).

11. Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Kornyushenko T.V., Ganzey K.S., Kudryavtseva E.P., Gridasova I.V., Klyuev N.A., Prokopets S.D. **2020.** Interaction of natural and anthropogenic factors in landscape development of Razdolnaya River basin, Primorye. *Izv. RAN. Seriya Geograficheskaya*, 84(2): 246–258. (In Russ.).

12. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Makarova T.R., Kornyushenko T.V., Kudryavtseva E.P., Ganzei K.S., Sudin V.V., Kharlamov A.A. **2020.** Paleolake of Shkot Island: natural

archive of climatic and landscape changes. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2: 230–249. (In Russ.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.2.230-249

13. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Lyaschevskaya M.S., Makarova T.R., Kudryavtseva E.P., Grebennikova T.A., Panichev A.M., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Petrov A.Yu., Malkov S.S. **2019.** Climatic and human impacts on landscape development of the Murav'ev Amursky Peninsula (Russian South Far East) in the Middle/Late Holocene and historical time. *Quaternary International*, 516: 127–140. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.12.007
14. Verkhovskaya N.B. **1996.** [Pollen and stratigraphic sediment correlation within the boundaries of the Boysmana-1 archaeological site, the south of the Russian Far East]. In: *Pozdniy paleolit – ranniy neolit Vostochnoy Azii i Severnoy Ameriki* [*The Late Paleolithic and Early Neolithic of the East Asia and Northern America*]. Vladivostok: DVO RAN, 39–48. (In Russ.).
15. Korotky A.M. **2009.** [Use of the geological data when studying the archaeological sites of the Southern Primorye (Holocene)]. *Vestnik DVO RAN = Vestnik of the FEB RAS*, 1: 62–73. (In Russ.).
16. Sergusheva E.A., Ryabogina N.E., Lyashchevskaya M.S., Gol'eva A.A. **2016.** Argumentation of agriculture in archaeological sites of Priamurye and Primorye: results of palaeobotanical method application. *Vestnik TGU*, 402: 99–108. (In Russ.). https://doi.org/10.17223/15617793/402/14
17. Lyashchevskaya M.S., Makarova T.R., Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Kudryavtseva E.P., Panichev A.M., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Petrov A.Yu. **2017.** Development of Muravyov-Amursky peninsula landscapes during Middle-Late Holocene based on research of coast Muravyinaya bay sediments data (Southern Primorye). *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*, 2: 110–122. (In Russ.).
18. Novenko E.Yu., Tarasov P.E., Olchev A.V. **2019.** Climate-vegetation interaction: natural processes versus human impact. *Geography, Environment, Sustainability*, 2(12): 128–131.
19. Nosova M.B., Novenko E.Yu., Zernitskaya V.P., Dyuzhova K.V. **2014.** Palynological indication of anthropogenic plant cover changes in the Eastern-European coniferous-broadleaf forests in the Late Holocene. *Izv. RAN. Seriya Geograficheskaya*, 4: 72–84. (In Russ.).
20. Rudenko O.V., Novenko E.Yu. **2019.** [The signals of anthropogenic transformation of the forest landscapes in the pollen records from the Holocene peats in the southern periphery of the zone of mixed broadleaf forests of the East European Plain]. In: *Prirodnye resursy Tsentral'nogo regiona Rossii i ikh ratsional'noe ispol'zovanie* [*Natural resources of the Central Region of Russia and their rational use*]. Orel: OGU, 93–102. (In Russ.).
21. Aleksandrovskiy A.L., Annenkov V.V., Glushko E.V., Istomina E.G., Nikolaev V.I., Postnikov A.V., Khotinskiy N.A. **1991.** [Anthropogenic indicators in the pollen spectra of the Holocene sediments]. In: *Istochniki i metody istoricheskikh rekonstruktsiy izmeneniy okruzhayushchey sredy* [*Sources and methods of the historical reconstructions of the environment changes*]. Moscow: VINITI, p. 7–18. (Itogi nauki i tekhniki, Ser. Palaeogeography, 8). (In Russ.).
22. Novenko E.Yu. **2016.** *Izmeneniya rastitel'nosti i klimata Tsentral'noy i Vostochnoy Evropy v pozdnem pleystotsene i golotsene v mezhlednikovye i perekhodnye etapy klimaticheskikh tsiklov* [*Change in flora and climate of the Central Europe in the Late Pleistocene and Holocene during the interglacial and transition stages of the climatic cycles*]. Moscow: GEOC, 228 p. (In Russ.).
23. Krushanov A.I. (ed.) **1991.** *Pamyatniki istorii i kul'tury Primorskogo kraya* [*Historical and cultural sites of Primorsky Kray*]: Materialy k svodu [The materials to a compendium]. Vladivostok: Dal'nevost. kn. izd-vo, 268 p. (In Russ.).
24. Piskareva Ya.E., Prokopets S.D., Astashenkova E.V., Belova I.E., Sergusheva E.A., Baksheeva S.E., Belov D.M., Shapovalov E.Yu., Yakupov M.A. **2021.** Issledovaniya gorodishcha Steklyanukha-2 [Researches of the Steklyanukha-2 walled ancient town]. *Trudy IIAE DVO RAN = Proceedings of the Institute of History, Archaeology and Ethnology FEB RAS*, 31: 186–207. (In Russ.).
25. Aleksandrov A.V. **1985.** Otchet o razvedke arkheologicheskikh pamyatnikov v dolinakh rek Shkotovki i Steklyanukhi Shkotovskogo rayona Primorskogo kraya v 1985 g. [Report on the reconnaissance of archaeological sites in the valleys of Shkotovka and Steklyanukha rivers of the Shkotovsky district of the Primorie Region in 1985] *Arkhiv IA RAN*. R-1. № 10812. 139 l. (In Russ.).
26. Budishchev A.F. **1898.** *Opisanie lesov yuzhnoy chasti Primorskoy oblasti* [*Description of the forests of the southern part of the Primorye Region*]. Khabarovsk: Tip. kantselyarii Priamurskogo General-Gubernatora [Type. *Chancellery* of the Priamurye *Governor-General*], 488 p. (In Russ.).
27. Kolyagin V.V. **2012.** *Shkotovo: doroga iz proshlogo v budushchee* [*Shkotovo: the road from the past to the future*]. Vladivostok: OIAK, 324 p. (In Russ.).
28. Gorchakov A.A. et al. (comp.). **2017.** *Iz istorii zaseleniya Shkotovskogo rayona: dokumenty i materialy* [*From the history of colonization of Shkotovsky district: documents and materials*]. Vladivostok: Reya, 347 p. (In Russ.).
29. Glezer Z.I., Zhuze A.P., Makarova I.V., Proshkina-Lavrenko A.I., Sheshukova-Poretskaya V.S. (eds) **1974.** *Diatomovye vodorosli SSSR. Iskopaemye i sovremennye* [*Diatoms of the USSR. Fossil and modern*]. Leningrad: Nauka, 1, 403 p. (In Russ.).
30. Pokrovskaya I.M. **1966.** [The method of cameral works]. In: *Palaeopalynology*. Leningrad: Nedra, vol. 1: 32–61.
31. Krammer K., Lange-Bertalot H. **1986.** *Bacillariophyceae.* Jena: VEB Gustav Fischer Verlag. Teil 1. *Naviculaceae*. 876 p.
32. Krammer K., Lange-Bertalot H. **1988.** *Bacillariophyceae.* Jena: VEB Gustav Fischer Verlag. Teil 2. *Bacillariophyceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. 536 p.
33. Krammer K., Lange-Bertalot H. **1991.** *Bacillariophyceae.* Jena: VEB Gustav Fischer Verlag. Teil 3. *Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. 576 p.
34. Grimm E. **2004.** *Tilia software 2.0.2.* Springfield: Illinois State Museum Research and Collection Center.
35. Ramsey B.C. **2017.** Methods for summarizing radiocarbon datasets. *Radiocarbon*, 59(2), 1809–1833. https://doi.org/10.1017/RDC.2017.108
36. Ramsey B.C. **2021.** *OxCal 4.4.* Available at: http://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal (accessed 7.07.2021).
37. Reimer P. **2020.** Letter from the Guest Editor. *Radiocarbon*, 62(4): v–vii. http://dx.doi.org/10.1017/RDC.2020.99
38. Makohonienko M., Kitagawa H., Fujikid T., Liu X., Yasuda Y., Yin H. **2008.** Late Holocene vegetation changes and human impact in the Changbai Mountains area, Northeast China. *Quaternary International*, 184: 94–108. http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2007.09.010

39. Li M.Yu., Li Y.C., Xu Q.H., Pang R.M., Ding W., Zhang S.R., He Z.G. **2012.** Surface pollen assemblages of human-disturbed vegetation and their relationship with vegetation and climate in Northeast China. *Chinese Sci. Bull*., 57(5): 535–547. http://dx.doi.org/10.1007/s11434-011-4853-9
40. Lee G-A., Crawford G.W., Liu L., Sasaki Y., Chen X. **2011.** Archaeological soybean (Glycine max) in East Asia: Does Size Matter? *PLoS ONE,* 6(11): e26720. http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0026720
41. Rudaya N.A. **2010.** *Palinologicheskiy analiz* [*Palinological analysis*]: ucheb.-metod. posobie [Study guide]. Novosibirsk: NGU; IFE SO RAN, 48 p. (In Russ.).
42. Miehe G., Miehe S., Kaiser K., Reudenbach C., Behrendes L., Duo L., Schlütz F. **2009.** How old is pastoralism in Tibet? An ecological approach to the making of a Tibetan landscape. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 276: 130–147. http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.03.005
43. Aleshinskaya Z.V. **1968.** [Diatoms in alluvial sediments of the Yenisei River]. In: *Iskopaemye diatomovye vodorosli SSSR* [*Fossil diatoms of the USSR*]. Moscow: Nauka, 88–92. (In Russ.).
44. Korotkii A.M. **2002**. *Geograficheskie aspekty formirovaniya subfossil'nykh sporovo-pyl'tsevykh kompleksov (yug Dal'nego Vostoka)* [*Geographical aspects of forming of subfossil sporen-pollen complexes (South of Far East)*]. Vladivostok: Dal'nauka, 271 p. (In Russ.).
45. Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Mokhova L.M., Makarova T.R., Panichev A.M., Kudryavtseva E.P., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Starikova A.A. **2016.** The development of landscapes of the Shkotovo plateau of Sikhote-Alin in the Late Holocene. *Izv. RAN. Seriya Geograficheskaya*, 3: 65–80. (In Russ.).
46. Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Kopoteva T.A., Klimin M.A., Panichev A.M., Kudryavtseva E.P., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Petrov A.Yu. **2019.** Paleoflood records within Sikhote-Alin foothills during last 2.2 ka. *Izv. RAN. Seriya Geograficheskaya*, 2: 85–99. (In Russ.).
47. Busse F.F. **1898.** *Pereselenie krest'yan morem v Yuzhno-Ussuriysky kray v 1883–1893 godakh: s kartoyu* [*Sea resettlements of peasants in the Yuzhno-Ussuriysky Kray in 1883–1893: with a map*]. Saint Petersburg: Tip. Vysochaishe utverzhd. Tov-va «Obshchestvennaya Pol'za», 4, 165 p. (In Russ.).
48. Hunt H.V., Shang X., Jones M.K. **2018.** Buckwheat: a crop from outside the major Chinese domestication centers? A review of the archaeobotanical, palynological and genetic evidence. *Vegetation History and Archaeobotany*, 27: 493–506. https://doi.org/10.1007/s00334-017-0649-4
49. Ohnishi O. **1998.** Search for the wild ancestor of buckwheat. III. The wild ancestor of cultivated common buckwheat, and of Tatary buckwheat. *Economic Botany*, 52: 123–133. https://doi.org/10.1007/bf02861199
50. Verkhovskaya N.B., Esipenko L.P. **1993.** [On the time of appearance of the *Ambrosia artemisiifolia* L. (Asteraceae) in the south of the Russian Far East]. *Botanicheskiy zhurnal*, 78(2): 94–101. (In Russ.).
51. Kudryavtseva E.P., Bazarova V.B., Lyashchevskaya M.S., Mokhova L.M. **2018.** Common ragweed (*ambrosia artemisifolia*): the present-day distribution and the presence in the Holocene deposits of Primorsky Krai (south of the Russian Far East). *Komarovskie chteniya*, 66: 125–146. (In Russ.).
52. Kornyushenko T.V., Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Kudryavtseva E.P. **2019.** [Natural and anthropogenic factors in the development of landscapes of the middle flow of the valley of the Razdol'naya River, Primorye]. In: *Geografiya: razvitie nauki i obrazovaniya: Materialy ezhegodnoy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem: LXXII Gertsenovskie chteniya* [*Geography: development of the science and education: Proceedings of the annual International scientific and practical conference with international participation: LXXII Herzen readings*]. Saint Petersburg: Izd-vo RGPU im A.I. Gertsena, 2: 118. (In Russ.).
53. Chen Y., Hind D.J.N. **2011.** Heliantheae. In: *Flora of China, Asteraceae.* Beijing: Sci. Press; St. Louis: Missouri Botan. Garden Press, 20–21: 852–878.
54. Jia W. **2005.** *Transition from Foraging to Farming in Northeast China*: (PhD thesis). Sydney: University of Sydney.
55. Gautam A.K., Avasthi S. **2016.** *Mitteriella ziziphi* (Ascomycota) on *Zizyphus nummularia* from the Himachal Pradesh and its distribution extension in India. *Tropical Plant Research*, 3(2): 341–343.

Об авторах

Корнюшенко Татьяна Валерьевна (https://orcid.org/0000-0001-5750-9762), младший научный сотрудник, аспирант лаборатории палеогеографии и геоморфологии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, tatyana.kornyushyenko@yandex.ru

Разжигаева Надежда Глебовна (https://orcid.org/0000-0001-7936-1797), доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории палеогеографии и геоморфологии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, nadyar@tigdvo.ru

Ганзей Лариса Анатольевна (https://orcid.org/0000-0002-2538-6603), кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории палеогеографии и геоморфологии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, lganzey@mail.ru

Гребенникова Татьяна Афанасьевна (https://orcid.org/0000-0002-5805-391X), кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории палеогеографии и геоморфологии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, tagrebennikova@mail.ru

About the Authors

Kornyushenko, Tatiana V. (https://orcid.org/0000-0001-5750-9762), Junior Researcher, Postgraduate, Laboratory of paleogeography and geomorphology, Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, tatyana.kornyushyenko@yandex.ru

Razjigaeva, Nadezhda G. (https://orcid.org/0000-0001-7936-1797), Doctor of Geography, Principal Researcher, Laboratory of paleogeography and geomorphology, Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, nadyar@tigdvo.ru

Ganzey, Larisa A. (https://orcid.org/0000-0002-2538-6603), Cand. Sci. (Geography), Leading Researcher, Laboratory of paleogeography and geomorphology, Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, lganzey@mail.ru

Grebennikova, Tatiana A. (https://orcid.org/0000-0002-5805-391X), Cand. Sci. (Geography), Leading Researcher, Laboratory of paleogeography and geomorphology, Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, tagrebennikova@mail.ru

Кудрявцева Екатерина Петровна (https://orcid.org/0000-0003-4135-8300), старший научный сотрудник лаборатории биогеографии и экологии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, katya@tigdvo.ru

Пискарева Яна Евгеньевна (https://orcid.org/0000-0002-9102-0730), кандидат исторических наук, старший научный сотрудник сектора раннесредневековой археологии, Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток, lab39@mail.ru

Прокопец Станислав Данилович (https://orcid.org/0000-0002-8121-6625), кандидат исторических наук, старший научный сотрудник сектора историко-культурных экспертиз, Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток, stas842005@mail.ru

Kudryavtseva, Ekaterina P. (https://orcid.org/0000-0003-4135-8300), Senior Researcher of the Laboratory of biogeography and ecology, Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, katya@tigdvo.ru

Piskareva, Yana E. (https://orcid.org/0000-0002-9102-0730), Cand. Sci. (History), Senior Researcher of the Sector of Middle Age archaeology, Institute of History, Archaeology and Ethnology of the Peoples of the Far East of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, Lab39@mail.ru

Prokopets, Stanislav D. (https://orcid.org/0000-0002-8121-6625), Cand. Sci. (History), Senior Researcher of the Sector of historical-culture expertizes, Institute of History, Archaeology and Ethnology of the Peoples of the Far East of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, stas842005@mail.ru

Поступила в редакцию 10.09.2021
После доработки 14.10.2021
Принята к публикации 27.10.2021

Received 10 September 2021
Revised 14 October 2021
Accepted 27 October 2021

© Авторы 2022 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

© The Authors 2022. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 551.79+551.8+551.796 https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.043-053

Субфоссильные спорово-пыльцевые спектры как отражение высотной поясности Южного Сихотэ-Алиня

Л. М. Мохова, Е. П. Кудрявцева*

**E-mail: nadyar@tigdvo.ru*

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

Реферат. Проанализировано соответствие палиноспектров из поверхностных почвенных проб горы Ольховая (абс. высота 1669 м) растительности вертикальных поясов: хвойно-широколиственных, елово-пихтовых лесов и гольцовой зоны. Уделено внимание анализу палиноспектров, сформировавшихся под высокогорной растительностью, в том числе под ельниками на высоте 1600 м и на заболоченном участке около оз. Алексеевское, единственного высокогорного озера Южного Сихотэ-Алиня. В субфоссильных спектрах почвенных проб всех растительных поясов преобладала пыльца древесной растительности, состав пыльцы травянистых растений и спор беден. Определено 16 таксонов древесных пород, 8 таксонов трав и кустарничков, 5 таксонов спор. Установлено, что соотношение основных таксонов в целом соответствует доминантному составу растительного покрова. Показано, что в субфоссильных спектрах в поясе гольцов неполно отражается локальная растительность, особенно мало пыльцы кустарников, кустарничков и трав, слабо отражены переувлажненные местообитания. Выявлено, пыльца каких растений из ведущих семейств и родов флоры высокогорья не отражена в палиноспектрах. Установлено, какое количество аллохтонной пыльцы переносится ветром на вершину с более низких элементов рельефа. Обнаружены таксоны, имеющие удаленные источники. В целом, палиноспектры из высокогорья горы Ольховая отражают широкое развитие ельников в привершинной части. Наличие ельников и небольшая площадь гольцовой зоны – главные причины того, почему в лесных спектрах, полученных выше границы леса, преобладает пыльца темнохвойных пород. Проведено сравнение результатов с данными по субфоссильным спектрам из почв и очесов на болотах Сергеевского и Шкотовского плато, а также бассейнов рек Партизанская и Киевка. Полученные данные важны для более корректных палеогеографических реконструкций, в том числе развития методов биомизации горных территорий юга Дальнего Востока и разработки методических приемов оценки количественных палеоклиматических параметров.

Ключевые слова: гора Ольховая, Алексеевский хребет, гольцовая зона, елово-пихтовые леса, кедрово-широколиственные леса, спорово-пыльцевой анализ

Subfossil pollen spectra as evidence of the altitudinal zonation of the Southern Sikhote-Alin

Ludmila M. Mokhova, Ekaterina P. Kudryavtseva*

**E-mail: nadyar@tigdvo.ru*

Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract. The correspondence of pollen spectra from surface soil samples from the Olkhovaya Mountain (height 1669 m) to vertical belt vegetation (coniferous-broadleaved forests, spruce-fir forests and golets belt) was analyzed. Attention is paid to the analysis of the pollen spectra formed under alpine vegetation, including spruce forests at an altitude of 1600 m and on a swampy area near the Alekseevskoye Lake, a unique alpine lake in the Southern Sikhote-Alin. Pollen of woody vegetation prevailed in subfossil spectra from all vegetation belts, the composition of pollen of herbaceous plants and spores was poor. 16 taxa of arboreal, 8 taxa of nonarboreal, 5 taxa of spores were identified. It was found that the ratio of the main taxa, in general, corresponds to the dominant plants of the vegetation cover. It is shown that the local vegetation is not fully reflected in the subfossil spectra in the alpine belt, especially there is little pollen from shrubs and grasses, and waterlogged habitats are poorly reflected. It was revealed which pollen from the leading plant families and genera of flora of the highlands is not reflected in the pollen spectra. It has been established how much allochthonous pollen and what taxa were carried by the wind from lower relief levels. Taxa with remote sources were found. In general, the pollen spectra from the Olkhovaya Mountain highlands reflect the widespread development of spruce forests near the peak. Presence of spruce forests and a small area of the alpine zone are the main reasons explaining why forest pollen spectra with a predominance of dark coniferous pollen were obtained above the forest boundary. The results obtained

were compared with the data on subfossil spectra from soils and surface peat of the bogs of the Sergeevskoye and Shkotovskoye plateaus, as well as the Partizanskaya and the Kievka rivers basins. The data obtained are important for more correct paleogeographical reconstructions: biomization methods in the mountainous areas of the south Far East and the development of methodological techniques for assessing quantitative paleoclimatic parameters.

Keywords: Olkhovaya Mountain, Alexeevsky Ridge, golets belt, spruce-fir forests, Korean pine-broadleaved forests, pollen analysis

Для цитирования: Мохова Л.М., Кудрявцева Е.П. Субфоссильные спорово-пыльцевые спектры как отражение высотной поясности Южного Сихотэ-Алиня. *Геосистемы переходных зон*, 2022, т. 6, № 1, с. 43–53. https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.043-053

For citation: Mokhova L.M., Kudryavtseva E.P. Subfossil pollen spectra as evidence of the altitudinal zonation of the Southern Sikhote-Alin. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2022, vol. 6, no. 1, pp. 43–53. (In Russ., abstr. in Engl.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.043-053

Благодарности и финансирование

Работа выполнена в рамках государственной программы Тихоокеанского института географии ДВО РАН (тема № 122020900184-5).

Авторы благодарны Наталии Степановне Болиховской и анонимному рецензенту за конструктивные замечания, позволившие улучшить статью.

Acknowledgements and Funding

The work is carried out within the framework of the state program of Pacific Geographical Institute FEB RAS (theme no. 122020900184-5).

The Authors are grateful to Nataliya S. Bolikhovskaya and the anonymous Reviewer for constructive comments that allowed us to improve the article.

Введение

В последнее время большое внимание уделяется устойчивому развитию горных территорий, ландшафты которых являются динамичными геосистемами, чувствительными к изменениям природной среды [1, 2]. Одной из проблем при реконструкции ландшафтов горных стран является восстановление смещения границ высотных поясов при климатических изменениях [3, 4]. На изменения климата очень чутко реагирует верхняя граница леса, поэтому выявление характера изменчивости в структуре вертикальной поясности горных стран и соответствие этих изменений климатической составляющей голоцена представляет значительный интерес для решения ряда палеогеографических задач [3, 5], в том числе для восстановления истории растительности на основе метода биомов [6]. Для обоснованных реконструкций важным яляется изучение субфоссильных спорово-пыльцевых комплексов на уровне верхней границы леса и выше в горах южной части Дальнего Востока.

Цель статьи – сопоставить палиноспектры из поверхностных почвенных проб горы Ольховая с современными высотными растительными поясами. Гора Ольховая (абс. высота 1669 м) одна из шести крупных вершин Южного Сихотэ-Алиня, где развиты горные тундры. В привершинной части (абс. высота 1600 м) расположено оз. Алексеевское, единственное высокогорное озеро Южного Сихотэ-Алиня. Для горных территорий юга Дальнего Востока очень мало данных по изучению субфоссильных спектров и анализу их соответствия современной растительности. Отдельные аспекты рассматривались в работе А.М. Короткого [7]. В последние годы получены данные для горных плато Сихотэ-Алиня. Изучение субфоссильных спектров на Шкотовском и Сергеевском плато выполнено при комплексных палеогеографических работах по развитию горных ландшафтов [8, 9].

Краткая характеристика района исследований

Гора Ольховая (до переименования называлась Китайской, а ранее – Туанисуан) (43°20′35″ с.ш., 133°39′21″ в.д.) является наивысшей точкой хребта Алексеевский, разделяющего вместе с Партизанским хребтом бассейны рек Партизанская и Киевка (рис. 1). Несмотря на относительную доступность вершины, данные по ее растительному покрову введены в научный оборот совсем недавно [10, 11, 12]. Эта вершина рассматривается как крупный орографический узел в южной части Алексеевского хребта. Гора Ольховая является ступенчатым пологовершинным массивом с крутосклонными водосборными воронками, дающими начало ручьям Ималиновский и Алексеевский. Ширина уплощенного водораздела, осложненного рядом останцов, составляет 1–1.2 км. Здесь хорошо выделяется мерзлотно-нивационный ров (ширина от 80–100 до 10–12 м), выработанный за счет литоморфных процессов по линейной тектонической зоне, с рядом понижений, в которых образовались озера. Нижнее понижение занимает оз. Алексеевское (40 × 20 м, глубина 3 м), которое окружают террасовидные поверхности [3].

Приморский край расположен на окраине Азиатского материка в непосредственной близости Тихого океана, что обусловливает муссонный характер климата. С учетом региональных вертикальных градиентов [13] среднегодовая температура на вершине горы Ольховая составляет около 0.5 °С, количество атмосферных осадков – более 1100 мм/год, климат муссонный, с преобладанием летних осадков над зимними.

Характерной чертой растительности Приморского края является существование широтной зональности и вертикальной поясности [14]. На Южном Сихотэ-Алине высотная поясность имеет свои особенности: пояс тундры выражен слабо, подгольцовые кустарники занимают незначительное место [15]. В бассейнах рек Партизанская и Киевка четко выражены следующие высотные растительные пояса:

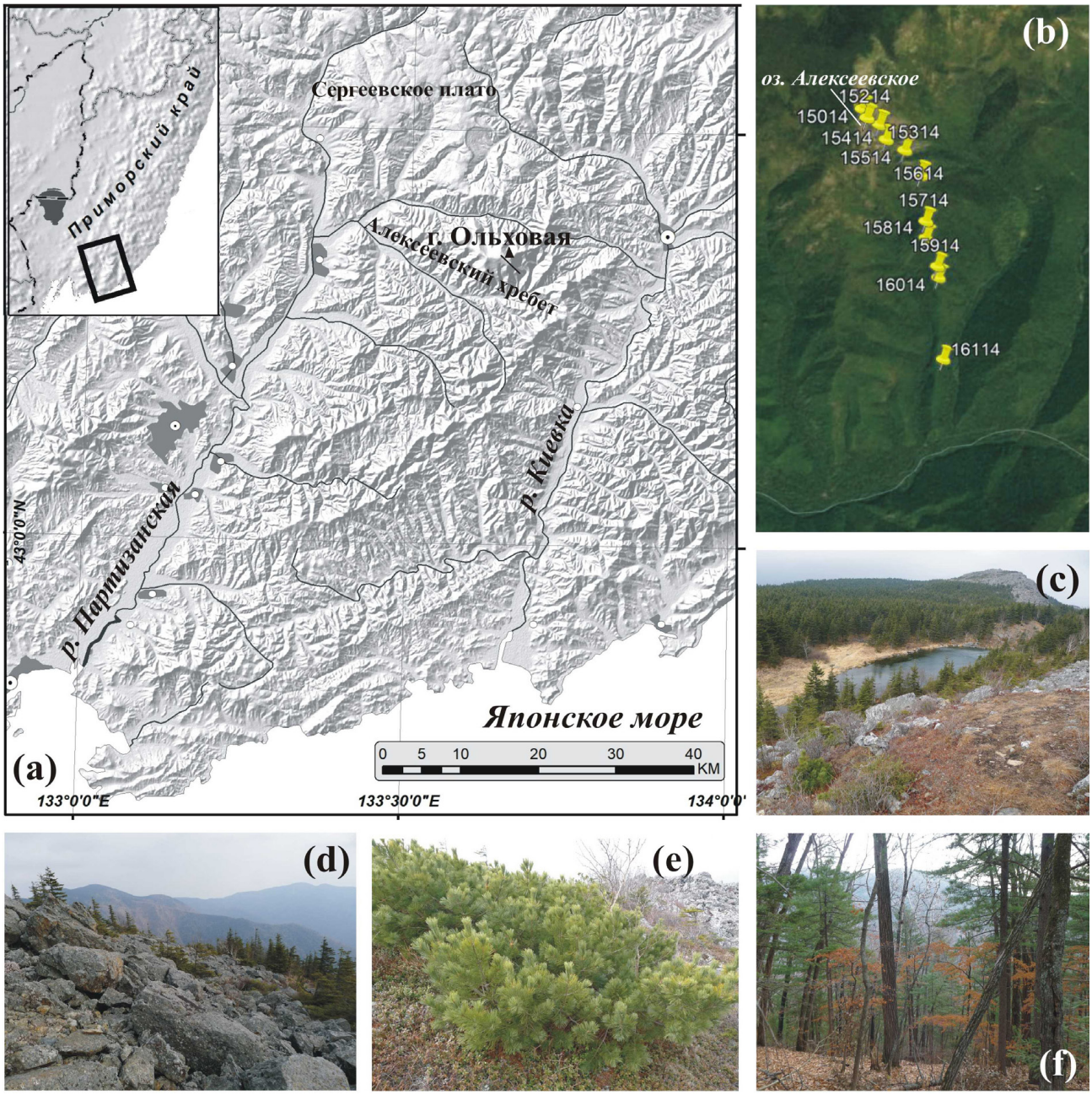


Рис. 1. Район работ: (a) положение горы Ольховая на водоразделе рек Партизанская и Киевка; (b) точки опробования 2014 г.; (c) вершина горы Ольховая (абс высота 1669 м) и оз. Алексеевское (абс. высота 1600 м); (d) гольцовый пояс (1400–1600 м); (e) кедровый стланик; (f) пояс кедрово-елово-широколиственных лесов (700–900 м).

Fig. 1. Study area: (a) position of Olkhovaya Mountain within watershed of Partizanskaya and Kievka rivers; (b) sites of 2014; (c) head of Olkhovaya Mountain (1669 m) and Alekseevskoye Lake (1600 m); (d) golets belt (1400–1600 m); (e) dwarf pine; (f) Korean pine-spruce-broadleaved forest belt (700–900 m).

широколиственные леса, в основном из дуба монгольского (0–400 м); кедрово-широколиственные леса (400–700 м); кедрово-елово-широколиственные (700–900 м); елово-пихтовые (900–1400 м); подгольцовые стелющиеся леса (1400–1600 м); горные тундры (более 1600 м). Зональная верхняя граница леса проходит на уровне 1450–1550 м [15].

Верхняя граница леса на горе Ольховая проходит на высоте 1600 м над уровнем моря, местами опускаясь до 1450 м. Около границы леса находятся высокогорные зеленомошные еловые леса в сочетании с лесами из каменной березы. В высотной полосе 1400–1600 м расположена гольцовая зона, где растительность имеет комплексный характер и представлена небольшими по площади зарослями кедрового стланика, участками высокогорных высокотравных лугов, низкотравных альпийских лужаек и участков горной кустарничковой тундры (ее площадь составляет всего 180–200 м^2) [12], единично встречаются куртинки можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica*). Важной особенностью горы Ольховая является тот факт, что верхняя граница леса на этой вершине не климатическая, а эдафическая, именно поэтому она имеет столь низкие отметки. Это вызвано древними (их точная датировка затруднительна) пожарами, в результате которых были уничтожены значительные площади лесных массивов. О старых пожарах свидетельствует широкое развитие каменистых осыпей в привершинной части. Предположение о пирогенном характере разреженных ивово-березовых группировок (*Salix reinii*, *Betula lanata*) сделано в работе С.В. Прокопенко [12].

Подгольцовые заросли стлаников на горе Ольховая практически отсутствуют. Как и на других высоких вершинах [12], гольцовой растительностью заняты выпуклые элементы рельефа – гребни и вершины, а также курумы. Преобладают сухие каменистые местообитания; переувлажненные участки приурочены только к берегу оз. Алексеевское. Уплощенный участок, защищенный от ветров, занимают зеленомошные и злаковые высокогорные ельники. В их составе помимо основных лесообразующих пород – ели аянской (*Picea ajanensis)* и пихты белокорой (*Abies nephrolepis*) – принимают участие береза шерстистая (*Betula lanata*), клены зеленокорый и желтый (*Acer tegmentosum, A. ukurunduense*) [11]. В подлеске ельников и на каменистых россыпях встречается заманиха (*Oplopanax elatus*). Зона тундры контактирует с ельниками и березовым криволесьем. Кедровый стланик очень редок, зарослей не образует, единично встречаются стелющиеся формы можжевельника сибирского. Напочвенный покров состоит из хорошо плодоносящих брусники, голубики и других вересковых растений.

Материалы и методы

Спорово-пыльцевые спектры изучены по современным поверхностным почвенным пробам под кедрово-широколиственным, елово-пихтовым лесами и в гольцовом поясе. Образцы отобраны по профилю на юго-восточном склоне горы Ольховая в лесной зоне на абс. высотах от 660 до 1480 м, две пробы взяты около границы леса (абс. высота 1420–1480 м), восемь – выше границы леса и вблизи вершины (абсолютная высота от 1550 до 1611 м), включая зеленомошный ельник около оз. Алексеевское (абс. высота 1600 м) (рис. 1, 2). Высота мест отбора проб определялась с помощью GPS.

Пробы обрабатывались сепарационным методом с использованием тяжелой жидкости H_2O : CdI_2 : KI (2.2 г/см^3) без ацетолиза [16]. Рассчитывалось соотношение трех групп: 1) пыльцы древесных; 2) пыльцы трав и кустарничков; 3) спор, а также пропорции таксонов в каждой группе. Кластерный анализ выполнен с помощью пакета программ Past 3.26 [17]. В качестве меры сходства выбрано расстояние Евклида.

Результаты и обсуждение

Во всех пробах доминирует пыльца древесных пород (рис. 2). Найдена пыльца 16 таксонов, среди которых преобладают хвойные растения. Источником пыльцы *Pinus* s/g *Haploxylon* в поясе кедрово-широколиственных лесов является кедр корейский (*Pinus koraiensis*), около вершины – кедровый стланик (*Pinus pumila*). Кедр корейский на горе Ольховая встречен и выше границы леса, но только в вегетативной форме [12]. Источником пыльцы *Picea* sect. *Omorica* является ель аянская (*Picea ajanensis*), а *Picea* sect. *Eupicea* – ель корейская (*P. koraiensis*), которая встречается на скалистых гребнях и каменных развалах до высоты 1300 м, а вегетативные особи – до 1600 м [12]. Количество пыльцы трав и кустарничков в спектрах проб из лесной зоны не превышает 2 % от общего набора таксонов, оно увеличи-

вается до 5 % на границе леса, максимальное зафиксировано на курумнике (16 %) и вершине (11 %). Найдено 8 таксонов, наиболее распространены вересковые (Ericaceae). Содержание спор (5 таксонов) неравномерно по профилю, максимум зафиксирован на границе кедрово-широколиственных и темнохвойных лесов (17 %), в высокогорном ельнике (15 %) и на вершине (21 %). Преобладают споры папоротников (Polypodiaceae).

В почвах, отобранных в верхней части пояса кедрово-широколиственных лесов, доминирует пыльца кедра корейского (*Pinus* s/g *Haploxylon* – до 67 %), а в почвах у границы с поясом елово-пихтовых лесов – пыльца ели аянской (*Picea* – в сумме до 55 %). Здесь увеличивается и доля пыльцы пихты. Пыльцы берез мало (*Betula* – <11 %), что отвечает незначительному участию берез в древостое. Из пыльцы широколиственных деревьев встречена только пыльца ореха маньчжурского (до 1.7 %), перенесенная из долин ручьев. Орех маньчжурский на Сихотэ-Алине не поднимается выше 500–600 м [18]. Найдена пыльца ольховника (1.6 %), занесенная из привершинной части.

В почвах из верхней части пояса кедрово-елово-широколиственных и нижней части пояса елово-пихтовых лесов (высота 890–1030 м) встречено много пыльцы кедра корейского, что отвечает его значительному участию в лесах. В отдельных пробах высокое (до 76 %) содержание пыльцы кедра корейского не соответствует доле его участия в составе древостоя на рассматриваемых высотах. Выше 1110 м – преобладает пыльца темнохвойных (*Picea* – до 45 %, *Abies* – 6 %). Здесь встречено больше пыльцы ели аянской (до 27 %), доля пыльцы ели корейской увеличивается на верхней границе леса (до 32 %). Ель корейская обычно встречается на горных прогоревших склонах до высот 1400–1500 м [19]. Встречено много пыльцы берез (до 25 %, на участке развития березы шерстистой – до 71 %), которой особенно много в почвах на заросших гарях, где развиты вторичные березовые ассоциации со злаковым покровом или в сочетании со злаковыми луговинами. Среди пыльцы берез преобладает пыльца *Betula* sect. *Costatae*, что отвечает широкому развитию березы шерстистой (*Betula lanata*), которая является эдификатором лесов на верхней границе [12]. Доля пыльцы кедра корейского на высоте более 1100 м резко снижается (<10 %). С нижнего пояса в небольшом количестве (до 3.4 %) заносится пыльца широколиственных деревьев – дуба, липы, ильма, ореха и ольхи, поступающая из долин низкопорядковых водотоков, врезанных в юго-восточный и южный склоны. Пыльцы трав и кустарничков (злаки, полынь, лютиковые, вересковые) мало, часть могла заноситься с верхних уровней. Кроме спор папоротников начали встречаться споры плаунов, которых стало больше около границы леса. Близкие по составу палиноспектры получены около верхней границы леса (абс. высота около 1420–1480 м). В этой части юго-восточного склона горы Ольховая в палиноспектрах несколько увеличивается доля пыльцы ольхи (*Alnus* – 4 %), обычно распространенной в подгольцовом поясе.

Субфоссильные палиноспектры из пояса елово-пихтовых лесов горы Ольховая несколько отличаются от спорово-пыльцевых данных, полученных для Сергеевского плато (абс. высота 900 м), расположенного в 25 км к северо-западу и покрытого елово-пихтовым лесом [9]. В спектрах плато несколько выше (до 16 %) содержание пыльцы пихты, что отражает ее большее участие в лесных насаждениях, и меньше (17–25 %) пыльцы кедра корейского, который приурочен к краевым частям плато. Здесь больше аллохтонной пыльцы широколиственных пород (до 7–10 %), распространенных на склонах плато и более низких уровнях рельефа. В спектрах плато встречено больше пыльцы трав (5–10 %), что связано с отбором проб на поверхности болотных массивов и около крупной гари.

На Шкотовском плато (абс. высота 700–740 м), расположенном в 60 км к западу от горы Ольховая, на котором также распространены елово-пихтовые леса, в составе субфоссильных спектров преобладает пыльца темнохвойных пород (*Picea* – до 53 %, *Abies* – до 16.5 %, в краевых частях – 34 %). Больше встречено пыльцы берез, особенно на участках с ее преобладанием в древостое (19–62 %). Здесь, так же как и на Сергеевском плато, больше пыльцы широколиственных пород (9 %), их доля уменьшается (до 2.2 %) в поверхностных пробах из лесных почв по мере продвижения вглубь плато. В очесе на Ларченковом болоте содержание пыльцы широколиственных деревьев достигает 11 % благодаря ветровому привносу с краевых частей плато. Пыльцы трав и кустарничков в спектрах проб из лесных почв мало, а их состав беден (полыни, осоки, вересковые). Количество спор сильно варьирует (от 1.6 до 34 %)

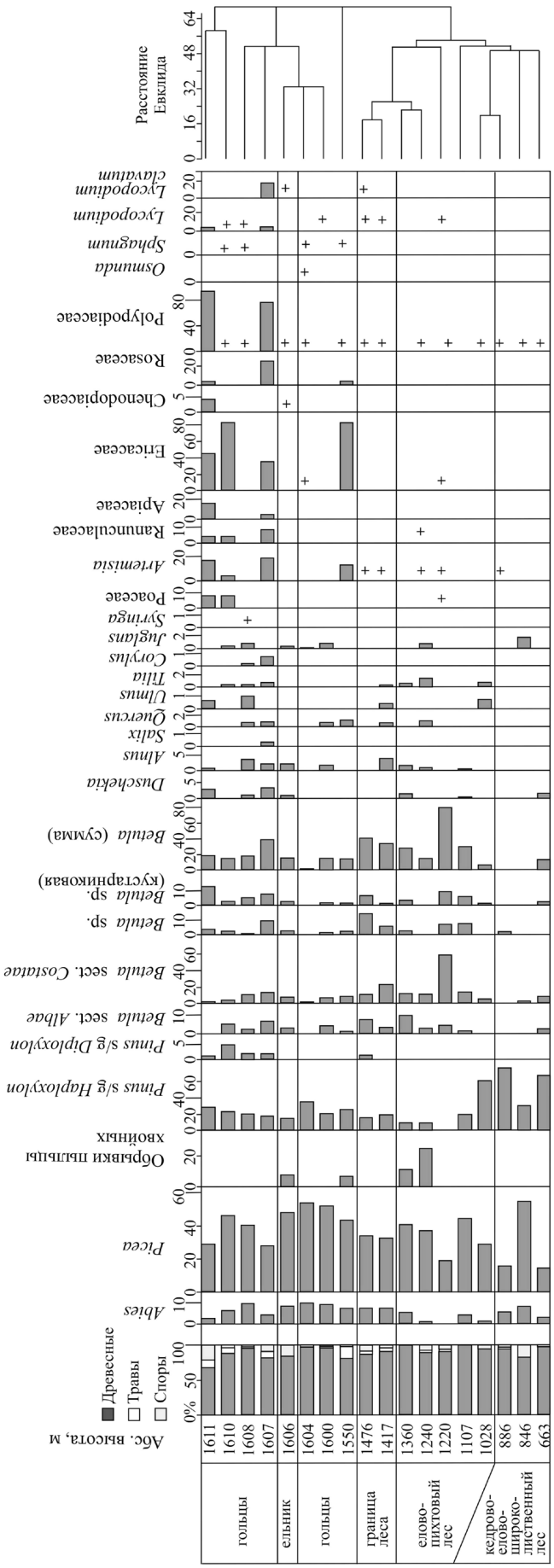


Рис. 2. Субфоссильные спорово-пыльцевые спектры из разных высотных поясов горы Ольховая, Южный Сихотэ-Алинь.

Fig. 2. Subfossil pollen spectra from different altitudinal belts of Olkhovaya Mountain, the Southern Sikhote-Alin.

в зависимости от характера напочвенного покрова в разных частях леса. Как и на горе Ольховая, преобладают споры папоротников, единично встречены споры плаунов и сфагновых мхов [8].

На горе Ольховая выше границы леса на высотах 1550–1610 м в палиноспектрах из почв сохраняется преобладание пыльцы древесных пород, которая заносится с нижних поясов, главным образом из елово-пихтовых лесов. Пыльца поступает также из ельника, расположенного на уплощенной поверхности вблизи вершины (абс. высота 1590–1600 м) и закрытого гребнем от ветрового воздействия. Некоторое уменьшение пропорции пыльцы древесных пород (до 68 %) в общем палиноспектре отмечено только на самой вершине, т.е. на участке, наиболее удаленном от границы леса.

Преобладает пыльца темнохвойных (*Picea* sect. *Omorica* – до 34 %, *Picea* sect. *Eupicea* – до 39 %, *Abies* – до 10 %), доля ее несколько снижается около вершины (в сумме *Picea* – до 29 %, *Abies* – 2.6 %). Пихта белокорая встречается выше границы леса в вегетативном состоянии [12]. На долю пыльцы кедрового стланика (*Pinus* s/g *Haploxylon*) приходится до 29 %, встречается также аллохтонная пыльца сосны *Pinus* s/g *Diploxylon* (до 7.7 %), обладающая высокой летучестью [20]. Возможно, ее источником являются посадки в долине р. Партизанская [21].

В меньшем количестве встречена пыльца мелколистных видов. На долю *Betula* sect. *Costatae* приходится 13.4 %. Вероятно, источником является береза шерстистая. Береза ребристая (*B. costata*) на горе Ольховая не отмечена [12]. Обычно береза ребристая поднимается в горы до высот 1200–1300 м [19]. Встречена пыльца, сходная по морфологии с *Betula* sect. *Albae* (до 6.9 %). Береза плосколистная на Ольховой хотя и не найдена, но известна на других высокогорных вершинах Сихотэ-Алиня, где принимает участие в высокогорных ельниках, зарослях кустарников и горных тундрах [12]. Отмечено значительное количество пыльцы фригидных кустарников (*Betula middendorffii* – 13.3 %, *Duschekia* – до 3.4 %) и *Betula* sp. (до 10 %). Ольховник маньчжурский (*Duschekia manshurica*) встречается среди зарослей кустарников, на курумах, скалах, иногда в горных тундрах. Береза Миддендорфа в растительности горы Ольховая не отмечена – возможно, пыльца древесных берез имеет сходство с кустарниковой в силу неблагоприятных условий. Присутствие пыльцы березы Миддендорфа можно объяснить и дальним заносом. Единично встречена пыльца *Salix,* хотя на вершине хорошо представлены группировки с ивой Рейна (*Salix reinii*) и березой шерстистой [12]. Количество пыльцы мелколиственных видов в целом соответствует их участию в различных растительных ассоциациях.

Занос пыльцы широколиственных пород (меньше 3 %), вероятно, связан с ветровыми потоками. Горно-долинные ветры, как правило, направлены в дневное время вверх, а ночью – вниз по долине [5]. Состав широколиственных разнообразен: дуб, ильм, липа, орех, лещина. Присутствие пыльцы перечисленных неморальных видов в рассматриваемом диапазоне высот обусловлено ветровым заносом из нижележащих поясов: дуб (обычно до 700 м) [22], ильм лопастной (900–1000 м) [19], липа (700–800 м) [22], орех (500–600 м), лещина (1000–1100 м) [19]. В составе высокогорной растительности известна только липа амурская в составе каменноберезняков горы Снежная (вегетативный экземпляр), на Ольховой она не обнаружена [12]. Из долины в зону гольцов выносится и пыльца ольхи, ее содержание невысокое (до 3.8 %). В одной пробе найдена единичная пыльца *Syringa.* Сирень Вольфа (*S. wolfii*) встречается на каменных россыпях и в ельниках [12], поднимается до 1000–1100 м [19]. Единичные экземпляры встречены на плато в районе Лазовского перевала в поясе кедрово-елово-пихтовых лесов на 900 м над уровнем моря в 22–25 км к северу от горы Ольховая [15].

Доля пыльцы трав и кустарничков незначительная, но на отдельных участках (почва среди глыб курумника и на вершине) ее содержание увеличивается до 10 %. Особенно много пыльцы вересковых кустарников, которые имеют ведущее значение для растительности высокогорий Южного Сихотэ-Алиня [15, 12]. На горе Ольховая отмечено 9 видов этого семейства. В тундровом сообществе на террасе на высоте 1600 м преобладает рододендрон лапландский (*Rhododendron lapponicum,* покрытие 70–80 %), который цветет и плодоносит, сообщество описано В.Ю. Баркаловым в 1986 г. [12]. Часто встречается рододендрон золотистый (*Rhododendron aureum*) и другие

виды рододендронов, а также багульники (*Ledum decumbens, L. macrophyllum*), брусника (*Rhodococcum vitis-idaea*), голубика (*Vaccinium uliginosu*m). Найдено много пыльцы полыни. Полынь заячьеголовая (*Artemisia lagocephala*) распространена в ксерофитных группировках на каменных россыпях, высокогорных лужайках и горных тундрах [12]. Пыльца зонтичных (Apiaceae) в палиноспектрах на вершине достигает 15 %. Представители этого семейства характерны для горных тундр, низкотравных лужаек, на горе Ольховая встречено 9 видов этого семейства [12]. Много (8.5 %) пыльцы лютиковых (Ranunculaceae), которые также встречаются на вершине. Некоторые виды являются доминантами для низкотравных лужаек (*Anemonastrum brevipedunculatum*) и растут на высокотравных лугах, а калужница болотная (*Caltha palustris*) типична для сырых мест [12]. В отдельных пробах много (до 25 %) пыльцы розоцветных (Rosaceae), входящих в сообщества высокогорных лужаек с кустарниками и скалах. На горе Ольховая известно 11 видов из этого семейства [12]. На самой вершине встречена пыльца злаков (8.3 %), растущих в горных тундрах, на скалах и на инсолированных каменистых склонах (*Calamagrostis korotkyi*). Вейник Ландсдорфа (*C. langsdorfii*) часто выступает как доминант высокотравных лугов, зарослей кустарников, встречается в покрове каменноберезняков и ельников [12]. Единично отмечена пыльца осоковых и маревых. Осоки в обилии встречаются в ельниках и каменноберезняках, а также на седловинах в зарослях ольховника, на высокогорных лужайках, в горных тундрах [15, 12]. Пыльца маревых, скорее всего, аллохтонная и имеет далекий источник. В высокогорных сообществах это семейство не представлено [12].

Количество спор, как правило, небольшое и не соответствует широкому распространению и разнообразию в гольцовой зоне мхов и папоротников. В отдельных пробах почвы на вершине их доля достигает 80 %. Преобладают споры папоротников, из которых в составе высокогорной растительности встречается многоножка сибирская (*Polypodium sibiricum*) [15, 12]. Споры чистоустника азиатского (*Osmunda asiatica*) встречены единично в очесе на болоте. Вид встречается выше границы леса на высокотравных лугах [15]. Встречено много спор плаунов (до 18 %). Род *Lycopodium* – один из ведущих для высокогорной флоры Южного Сихотэ-Алиня [12]. В отдельных пробах (почва в ельнике) много спор плауна булавовидного (*L. clavatum*), характерного для ельников и каменноберезняков, реже – для зарослей кустарников [12]. В одной пробе почвы в зоне гольцов на высоте 1608 м много спор сфагновых мхов.

В почве под высокогорными ельниками в палиноспектре также преобладает пыльца ели (48 %), мало аллохтонной пыльцы – почти нет пыльцы широколиственных. До высотного уровня 1600–1700 м поднимается только клен желтый. Несколько снижена доля пыльцы кедрового стланика (15 %). Встречено много спор плаунов (84 % в группе спор).

Близкий палиноспектр получен из очеса небольшого болота на берегу оз. Алексеевское, расположенного около ельника. Также преобладает пыльца ели (54 %), больше пыльцы пихты (10 %), мало пыльцы берез, но выше доля пыльцы кедрового стланика (35 %). Аллохтонная пыльца представлена единичным зерном *Juglans,* что связано с действием горно-долинных ветров. Встречены споры сфагновых мхов. Как и в озерных отложениях в долинах [21], палиноспектр в большей степени отражает окружающие группировки растительности.

В поясе гольцов в субфоссильных палиноспектрах неполно отражается локальная растительность, особенно кустарники и травы. Например, не отражена пыльца можжевельника сибирского. Проба, отобранная в непосредственной близости от куртин можжевельника сибирского (абс. высота 1608 м), из локальной растительности включает только пыльцу кедрового стланика и ольховника, не встречена пыльца можжевельника, а также рябины, брусники, голубики, ивы, растущих вблизи точки опробования. Проба, отобранная под голубикой и рододендроном золотистым (абс. высота 1607 м), содержит 21 пыльцевое зерно семейства вересковых, что составляет 36 % в группе пыльцы трав и кустарничков. В пробе из осыпи под можжевельником сибирским (абс. высота 1611 м) не обнаружено пыльцевых зерен можжевельника.

В палиноспектрах мало пыльцы ивы. В гольцовой зоне горы Ольховая произрастает 5 видов ивы [12]. Нет пыльцы жимолости, вейгелы, спиреи, рябинника, рябины амурской и

бузинолистной (*Sorbus amurensis, S. sambucifolia*), малины, смородины, бузины. Нет и пыльцы аралиевых, представленных заманихой высокой (*Oplopanax elatus*).

Из 10 ведущих семейств высокогорной флоры [12] не встречена пыльца астровых (Asteraceae, за исключением *Artemisia*), гвоздичных (Caryophyllaceae), камнеломковых (Saxifragaceae), гречишных (Polygonaceae), толстянковых (Crassulaceae). Нет пыльцы бобовых (Fabaceae), часто представленных на низкотравных лужайках, Polemoniaceae, хотя синюха рыхлоцветковая (*Polemonium laxiflorum*) обычна для высокотравных лугов. Мало отражены переувлажненные местообитания, даже в пробе из очеса на заболоченном участке около оз. Алексеевское встречены только единичные пыльцевые зерна осоковых (Cyperaceae) и споры сфагновых мхов. Нет пыльцы Onagraceae, в то время как кипрей головчаторыльцевый (*Epilobium cephalostigma*) растет на лужайке у озера. Из 19 ведущих родов высокогорной флоры Южного Сихотэ-Алиня [12] не встречена пыльца *Saussurea, Aconitum, Viola, Bistorta, Ribes, Cacalia, Thalictrum.* Не найдена пыльца дерена канадского, который часто обилен в поясе каменноберезняков и в ельниках.

Из древесных пород, которые встречаются в составе высокогорной растительности, не обнаружено пыльцы тополя, осины, клена. На горе Ольховая эти породы развиваются как вегетативные формы [12]. В поясе кедрово-широколиственных лесов разнообразие пыльцы широколиственных деревьев очень низкое, не встречено пыльцы дуба монгольского, липы, клена, осины и других древесных пород.

Состав спор не отражает также разнообразие папоротников, характерных для гольцовой зоны. Не встречено спор щитовника (*Dryopteris*), одного из ведущих родов высокогорной флоры, который распространен в покровах высокогорных ельников (часто доминант), каменноберезняков, зарослях ольховника [12]. В почвах под зеленомошным ельником нет спор зеленых мхов. Нет спор плаунков, характерных для скальных местообитаний.

На дендрограмме (рис. 2) пробы из лесной зоны объединены в одну группу. К той же группе отнесены и палиноспектры из почв на границе леса, сходные со спектрами из верхней части пояса темнохвойных лесов. Палиноспектры из зоны гольцов, включая высокогорные ельники, образуют свою группу. В целом, палиноспектры из высокогорья горы Ольховая отражают широкое развитие ельников в привершинной части. Такая же картина – преобладание пыльцы древесных пород в субфоссильных палиноспектрах горно-тундрового пояса – отмечена и в других регионах, например на Южном Урале, что связано с влиянием горно-долинных ветров, переносящих на вершины пыльцу из лесных поясов [5].

Для сравнения рассмотрим субфоссильные спорово-пыльцевые спектры, полученные в бассейне рек Партизанская и Киевка [21]. Несмотря на то что пробы были отобраны на разных высотах и в разных растительных поясах, в составе спорово-пыльцевых спектров преобладает пыльца хвойных. Сумма пыльцы *Picea* sect. *Omorica* и *Picea* sect. *Eupicea* в некоторых пробах достигает 60 %. Второе место в большинстве проб занимает пыльца *Pinus koraiensis*. В отдельных пробах ее количество превышает 30 %. Пыльца *Abies* встречается в меньших количествах. Даже в пробах, отобранных в поясе широколиственных лесов, доля пыльцы широколиственных не превышает 10 %, и только непосредственно вблизи устьев рек и в старицах ее содержание поднимается до 28–40 %.

Состав спорово-пыльцевых комплексов по простиранию долин рек Партизанская и Киевка отвечает развитию в бассейнах рек кедрово-пихтово-еловых лесов и слабо отражает существующую поясность [7, 21]. Особенно трудно по этим спектрам выделить пояс широколиственных и кедрово-широколиственных лесов. В пробах, отобранных в верховьях рек, в небольших количествах появляется пыльца *Duschekia* и кустарниковых берез. В нижнем течении р. Партизанская, в районе интенсивного освоения, снижается доля пыльцы хвойных и увеличивается количество пыльцы широколиственных пород (более 20 %), а также увеличивается и разнообразие видов. Содержание пыльцы трав по всему простиранию долин также незначительно, и только в пробах, отобранных вблизи устьев рек, ее количество увеличивается до 24 % [21]. Споры при умеренном количественном содержании представлены достаточно разнообразно. Такие палиноспектры соответствуют региональному типу растительности. Доля аллохтонной пыльцы остается значительной, что не позволяет выделить пояс широколиственного леса.

Заключение

Несмотря на то что все разнообразие растительных ассоциаций горы Ольховая не отражено в палиноспектрах, соотношение основных таксонов пыльцы и спор в целом соответствует доминантному составу растительного покрова на изученных высотных уровнях. В субфоссильных спорово-пыльцевых спектрах преобладает автохтонная пыльца, соответствующая растительности верхней части пояса хвойно-широколиственных лесов, елово-пихтовых лесов, а также подгольцовой и гольцовой зоны с высокогорными ельниками. Наличие еловой рощи и небольшая площадь гольцовой зоны и горных тундр, а также ветровой занос пыльцы, в том числе с восходящими воздушными потоками, объясняют тот факт, что выше границы леса были получены лесные спектры с преобладанием пыльцы темнохвойных пород, в первую очередь ели, занимающей на этой же высоте уплощенные местообитания, защищенные гребнями от ветрового воздействия. Высокогорный пояс на хребте Алексеевский не развит: есть только одна гольцовая вершина, высота ее не намного превышает отметку верхней границы леса, поэтому мала площадь экотопов высокогорного пояса. Достаточно четко вырисовывается верхняя граница леса. Выше верхней границы леса на уровне семейств определенной пыльцы четко выявляется комплексность растительности. Большое влияние на формирование палиноспектров высокогорного пояса оказывают восходящие воздушные потоки. Из 10 ведущих семейств высокогорной растительности в палиноспектрах представлено всего 5.

Полученные данные по особенностям формирования спорово-пыльцевых спектров должны учитываться при палеогеографических реконструкциях (восстановление развития ландшафтов, положения верхней границы леса и разработка методов количественной оценки палеотемператур и увлажнения).

Список литературы

1. Баденков Ю.П., Котляков В.М., Чистяков К.В. **2014.** Горы в стратегиях развития: роль и вклад науки. *Вопросы географии*, 137: 13–28.
2. Oliva M., Ruiz-Fernandez J., Nývlt D. **2018.** Past environments in mid-latitude mountain regions. *Quaternary International*, 420: 1–3. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.03.011
3. Короткий А.М., Скрыльник Г.П., Коробов В.П. **2009.** Изменение растительности в верхнем поясе гор под действием экзогенных процессов (поздний плейстоцен – голоцен). *Бюлл. Ботанического сада-института ДВО РАН*, 4: 41–49.
4. Ганюшкин Д.А., Чистяков К.В. 2014. Горные геосистемы внутриконтинентальных регионов Азии – структура и современная динамика. *Вопросы географии*, 137: 83–106.
5. Лаптева Е.Г. **2013.** Субфоссильные спорово-пыльцевые спектры современной растительности Южного Урала. *Вестник Башкирского университета*, 18(1): 77–81.
6. Mokhova L.M., Tarasov P., Bazarova V.B., Klimin M. **2009.** Quantitative biome reconstruction using modern and late Quaternary pollen data from the southern part of the Russian Far East. *Quaternary Science Reviews*, 28: 2913–2926. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.07.018
7. Короткий А.М. **2002.** *Географические аспекты формирования субфоссильных спорово-пыльцевых комплексов (юг Дальнего Востока)*. Владивосток: Дальнаука, 271 с.
8. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Мохова Л.М., Макарова Т.Р., Паничев А.М., Кудрявцева Е.П., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Старикова А.А. **2016.** Развитие ландшафтов Шкотовского плато Сихотэ-Алиня в позднем голоцене. *Известия РАН. Серия географическая*, 3: 65–80.
9. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М., Копотева Т.А., Кудрявцева Е.П., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю., Климин М.А. **2019.** Развитие природной среды среднегорья Южного Сихотэ-Алиня, запечатленное в разрезах торфяников Сергеевского плато. *Тихоокеанская геология*, 38(1): 13–31. https://doi.org/10.30911/0207-4028-2019-38-1-13-31
10. Вышин И.Б. **1990.** *Сосудистые растения высокогорий Сихотэ-Алиня*. Владивосток: ДВО АН СССР, 186 с.
11. Скирин Ф.В., Скирина И.Ф. **2012**. Эколого-субстратная приуроченность эпифитных лишайников пихтово-еловых и кедрово-широколиственных лесов Южного Сихотэ-Алиня. *Turczaninowia*, 15(1): 70–79.
12. Прокопенко С.В. **2011.** Таксономический состав и анализ высокогорной флоры Южного Сихотэ-Алиня. *Комаровские чтения*, 58: 37–131.
13. Марченко Н.А. **1991**. Вертикальные градиенты метеоэлементов в Приморском крае и возможности экстраполяции данных метеостанций. *География и природные ресурсы*, 3: 138–143.
14. Колесников Б.П. **1961.** Растительность. В кн.: *Дальний Восток*. М.: Изд-во АН СССР, 183–246.
15. Киселев А.Н., Кудрявцева Е.П. **1992.** *Высокогорная растительность южного Приморья.* М.: Наука, 117 с.
16. Покровская И.М. **1966.** Методика камеральных работ. В кн.: *Палеопалинология*. Л.: Недра, 1, 32–61.
17. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. **2001.** PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 1–9.
18. *Ареалы деревьев и кустарников СССР*. **1977.** Т. 1. Л.: Наука, 164 с.
19. Кудрявцева Е.П. **2012.** Уточнение высотных пределов распространения некоторых видов дендрофлоры на Южном Сихотэ-Алине. В кн.: *Леса российского Дальнего Востока: мониторинг динамики лесов российского Дальнего Востока*. Владивосток: ЛАИНС, 87–91.
20. Новенко Е.Ю., Мазей Н.Г., Зерницкая В.П. **2017.** Рецентные спорово-пыльцевые спектры заповедных территорий Европейской части России как ключ к интерпретации ре-

зультатов палеоэкологических исследований. *Nature Conservation Research. Заповедная наука*, 2(2): 55–65.

21. Мохова Л.М. **2020.** Анализ состава спорово-пыльцевого дождя и субфоссильных палиноспектров в долинах рек Партизанская и Киевка (южное Приморье) для палеоландшафтных исследований. *Вестник СВНЦ ДВО РАН*, 2: 10–21.
22. Воробьев Д.П. **1968.** *Дикорастущие деревья и кустарники Дальнего Востока*. Л.: Наука, 277 с.

References

1. Badenkov Yu.P., Kotlyakov V.M., Chistyakov K.V. **2014.** Mountains in regional development strategies: the role and investment of science. *Voprosy geografii* [*Problems of Geography*], 137: 13–28. (In Russ.).
2. Oliva M., Ruiz-Fernandez J., Nývlt D. **2018.** Past environments in mid-latitude mountain regions. *Quaternary International,* 420: 1–3. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.03.011
3. Korotkiy A.M., Skryl'nik G.P., Korobov V.P. **2009.** Vegetation changes in the upper mountain belts under influence of exogenous processes (Late Pleistocene – Holocene). *Bull. Botanicheskogo sada-instituta DVO RAN* [*Bull. of Botanical Garden-Institute of FEB RAS*], 4: 41–49. (In Russ.).
4. Ganyushkin D.A., Chistyakov K.V. **2014.** Mountain geosystems of the intercontinental regions of Asia: structure and modern dynamics-2014. *Voprosy geografii* [*Problems of Geography*], 137: 83–106.
5. Lapteva E.G. **2013.** Subfossil pollen spectra of the modern vegetation in Southern Urals. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [*Bulletin of Bashkir University*], 18(1): 77–81. (In Russ.).
6. Mokhova L.M., Tarasov P., Bazarova V.B., Klimin M. **2009.** Quantitative biome reconstruction using modern and late Quaternary pollen data from the southern part of the Russian Far East. *Quaternary Science Reviews*, 28: 2913–2926. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.07.018
7. Korotkii A.M. **2002.** [*Geographical aspects of the formation of subfossil sporen-pollen complexes (south of the Far East)*]. Vladivostok: Dal'nauka, 271 p. (In Russ.).
8. Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Mokhova L.M., Makarova T.R., Panichev A.M., Kudryavtseva E.P., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Starikova A.A. **2016.** The development of landscapes of the Shkotovo plateau of Sikhote-Alin in the Late Holocene. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 3: 65–80. (In Russ.).
9. Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Mokhova L.M., Kopoteva T.A., Kudryavtseva E.P., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Petrov A.Yu., Klimin M.A. **2019.** Development of the natural environment of midlands of the Southern Sikhote-Alin recorded in the Sergeev plateau peat bogs. *Russian J. of Pacific Geology*, 13(1): 11–28. https://doi.org/10.1134/s1819714019010056
10. Vyshin I.B. **1990.** [*Vascular plants of the Sikhote-Alin highlands*]. Vladivostok: DVO AN SSSR, 186 p. (In Russ.).
11. Skirin F.V., Skirina I.F. **2012.** [Ecology-substrate confinement of epiphytic lichens of the fir-spruce and cedar-broad-leaved forests of the Southern Sikhote-Alin]. *Turczaninowia*, 15(1): 70–79. (In Russ.).
12. Prokopenko S.V. **2011.** Taxonomic composition and analysis of the high-mountains flora of the Southern Sikhote-Alin Range. *Komarovskie chteniya = V.L. Komarov Memorial Lectures*, 58: 37–131. (In Russ.).
13. Marchenko N.A. **1991.** [Vertical gradients of the meteorological elements in Primorsky Krai and possibilities of extrapolating the data of weather stations]. *Geografiya i prirodnye resursy = Geography and Natural Resources*, 3: 138–143. (In Russ.).
14. Kolesnikov B.P. **1961.** Vegetation. In: *Dal'niy Vostok* [*The Far East*]. Moscow: AN SSSR, 183–246. (In Russ.).
15. Kiselev A.N., Kudryavtseva E.P. **1992.** [*High-mountain vegetation of South Primorie*]. Moscow: Nauka, 117 p. (In Russ.).
16. Pokrovskaya I.M. **1966.** [A technique of cameral works]. In: [*Paleopalynology*]. Leningrad: Nedra, 1, 32–61. (In Russ.).
17. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. **2001.** PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 1–9.
18. [*Distribution ranges of trees and shrubs in USSR*]. **1977.** Vol. 1. Leningrad: Nauka, 164 p. (In Russ.).
19. Kudryavtseva E.P. **2012.** [Updating the altitudinal limits of the distribution of some dendroflora species in the South Sikhote-Alin]. In: [*Forests of the Russian Far East: monitoring of forests dynamics of the Russian Far East*]. Vladivostok: LAINS, 87–91. (In Russ.).
20. Novenko E.Yu., Mazey N.G., Zernitskaya V.P. **2017.** [Recent spore-pollen spectra of the protected areas of the European part of Russia as a key to the interpretation of the results of paleoecological studies]. *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka* [*Conservation Science*], 2(2): 55–65. (In Russ.).
21. Mokhova L.M. **2020.** [Analysis of the composition of spore-pollen rain and subfossil pollen spectrum in the valleys of Partizanka and Kievka rivers (South Primorye) for the paleolandscape investigations]. *Vestnik SVNTs DVO RAN = Bull. of the North-East Scientific Center FEB RAS*, 2: 10–21. (In Russ.).
22. Vorob'ev D.P. **1968.** [*Wild trees and shrubs of the Far East*]. Leningrad: Nauka, 277 p. (In Russ.).

Об авторах

Мохова Людмила Михайловна (https://orcid.org/0000-0003-0396-4756), научный сотрудник лаборатории палеогеографии и геоморфологии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, nadyar@tigdvo.ru

Кудрявцева Екатерина Петровна (https://orcid.org/0000-0003-4135-8300), старший научный сотрудник лаборатории биогеографии и экологии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, katya@tigdvo.ru

About the Authors

Mokhova, Ludmila M. (https://orcid.org/0000-0003-0396-4756), Researcher, Laboratory of palaeogeography and geomorphology, Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, nadyar@tigdvo.ru

Kudryavtseva, Ekaterina P. (https://orcid.org/0000-0003-4135-8300), Senior Researcher, Laboratory of biogeography and ecology, Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, katya@tigdvo.ru

Поступила 13.01.2022
После доработки 28.02.2022
Принята к печати 03.03.2022

Received 13 January 2022
Revised 28 February 2022
Accepted 3 March 2022

© Автор 2022 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

© The Author 2022. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 551.46

https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.054-059

Характеристики морского волнения в порту города Холмск (о. Сахалин)

А. С. Борисов

E-mail: a.borisov@imgg.ru

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Реферат. В строительстве и реконструкции портов руководствуются расчетными характеристиками ветровых волн, штормовых нагонов, низкочастотных колебаний акваторий (сейш). Однако корректное определение этих характеристик невозможно без учета натурных наблюдений морского волнения в конкретном порту в разных условиях. Настоящая работа дополняет существующие данные по характеристикам волнения в главном порту о. Сахалин на основе измерений уровня моря, проведенных в 2007 г. Выполнена оценка амплитуд колебаний морской поверхности, пиковых составляющих энергетического спектра волнения и соответствующих им периодов колебаний. При этом пиковые составляющие определялись в диапазоне периодов от ветрового волнения до низкочастотных, сейшевых колебаний. Проанализированы штормовые ситуации и условия спокойного моря. Показан резонансный характер колебаний. Установлено, что в тихую погоду пиковые составляющие в энергетическом спектре сосредоточены в области нулевой моды собственных колебаний в порту, соответствующей 500 с. В наиболее активной фазе штормов пиковая составляющая проявляет себя преимущественно в окрестности периода 8 с, а в начале и конце шторма – в окрестности периода 182 с, соответствующего первой моде собственных колебаний. Анализ пиковых спектральных компонент в широком диапазоне периодов позволяет проследить динамику морского волнения в порту и процесс «раскачки» сейшевых колебаний.

Ключевые слова: морское волнение, энергетический спектр, пиковая составляющая, период пиковой составляющей

Sea wave characteristics in the port of Kholmsk (Sakhalin Island)

Alexander S. Borisov

E-mail: a.borisov@imgg.ru

Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk

Abstract. During construction and reconstruction of ports, they are guided by the calculated characteristics of wind waves, storm surges, low-frequency oscillations of water areas (seiches). However, the correct determination of characteristics is impossible without taking into account field observations of sea waves in a particular port under different conditions. This work supplements the existing data on wave characteristics in the main port of Sakhalin Island on the basis of sea level measurements carried out in 2007. The main characteristics of sea waves in the port area were estimated: amplitudes of sea surface oscillations, peak components of the wave energy spectrum and the corresponding periods of oscillations. In this case, the peak components were determined in the range of periods from wind waves to low-frequency seiche oscillations. Storm situations and calm sea conditions were analyzed. The resonant nature of oscillations is shown. It has been established that in calm weather the peak components in the energy spectrum are concentrated in the region of the zero mode of natural oscillations in the port corresponding to 500 s. In the most active phase of storms, the peak component manifests itself mainly near the period of 8 s, and at the beginning and end of the storm it is near the period of 182 s, corresponding to the first mode of natural oscillations. The analysis of peak spectral components in a wide range of periods allows us tracing the dynamics of sea waves in the port and the process of build-up of seiche oscillations.

Keywords: sea waves, energy spectrum, wave energy, peak wave period

Для цитирования: Борисов А.С. Характеристики морского волнения в порту города Холмск (о. Сахалин). *Геосистемы переходных зон*, 2022, т. 6, № 1, с. 54–59. https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.054-059

For citation: Borisov A.S. Sea wave characteristics in the port of Kholmsk (Sakhalin Island). *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2022, vol. 6, no. 1, pp. 54–59. (In Russ., abstr. in Engl.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.054-059

Введение

Обычно характеристики морского волнения в портах анализируются в двух диапазонах частот (периодов). Первый находится в пределах от 5–8 до 10–15 с. В этом диапазоне анализируется влияние штормовых волн на подходах к порту на возможные колебания уровня моря в порту. Результаты учитываются при проектировании строительства и модернизации портов с целью обеспечения защищенности находящихся в них судов. Второй диапазон – более низкочастотный, включающий собственные колебания (сейши) внутрипортовой акватории. Анализ собственных колебаний необходим для учета резонансных эффектов, которые могут усиливать приходящие внешние волны, вызывать такие опасные явления, как тягун [1]. Параметры резонансных колебаний достаточно хорошо описаны в научных работах, например применительно к порту Холмск в [2, 3, 4]. Однако анализ волнового процесса во всем частотном диапазоне, сравнение максимальных амплитуд в спектре морского волнения при различных условиях волнения в портах еще не проводился. Такой подход позволит проследить динамику морского волнения – зависимость амплитуд собственных колебаний от амплитуд волн штормового диапазона и ее изменение во времени.

В настоящей работе на основе обработки цифровых записей придонного давления определены основные характеристики морского волнения в порту г. Холмск в 2007 г.: пиковые составляющие энергетического спектра волнения и соответствующие им периоды колебаний, а также амплитуды колебаний морской поверхности (амплитуды волнения). Проанализированы штормовые ситуации и условия спокойного моря. Записи были сделаны с односекундной дискретностью автономным регистратором волнения АРВ-К10, установленным на дне южной гавани морского торгового порта «Холмск» на глубине 5 м. Место установки показано на рис. 1. Принцип действия и технические параметры регистратора подробно описаны в работе [5].

Рис. 1. Место установки регистратора в акватории порта г. Холмск обозначено белой точкой (карта https://www.google.com/maps/@47.0503978,142.0423041,915m/data=!3m1!1e3).

Fig. 1. The installation site of the registrar in the water area of the port of Kholmsk is marked by a white dot (the map: https://www.google.com/maps/@47.0503978,142.0423041,915m/data=!3m1!1e3).

Анализ экспериментальных данных

Измерения в порту проводились с июля по октябрь 2007 г. На рис. 2 представлена запись измерений придонного давления (рис. 2 а), текущий энергетический спектр, т.е. изменение энергетического спектра во времени (рис. 2 б), и усредненные энергетические спектры: для штормовой погоды, для всей записи и для тихой погоды (рис. 2 в). Для вычисления спектров использовалось скользящее временно́е окно длительностью 100 мин и 50%-е перекрытие.

За время регистрации наблюдались различные состояния моря: спокойное, несколько небольших штормов в июле–сентябре и сильные штормы в сентябре–октябре, что можно видеть на рис. 2 а по отклику поверхности моря в порту. Спектр на рис. 2 б позволяет сделать вывод, что максимальные компоненты энергетического спектра сосредоточены в окрестностях периодов 10, 35, 180 и 500 с. Энергии и соотношения энергий этих компонент не постоянны и зависят от состояния поверхности моря (волнения).

Обращаясь к рис. 2 в, уточним общую картину энергетического спектра. Видно, что спектр носит линейчатый характер, имея несколько устойчивых пиков, которые существуют как в спектре всей реализации, так и в спектрах для штормовой и спокойной погоды. Максимумы в энергетическом спектре находятся на периодах собственных частот акватории порта. При этом период 500 с соответствует периоду нулевой моды собственных колебаний порта [4].

В таблице приведены усредненные значения характеристик максимальных энергетических компонент. Заметим, что значение периода компоненты является также усредненной величиной, поскольку зависит от объема воды в

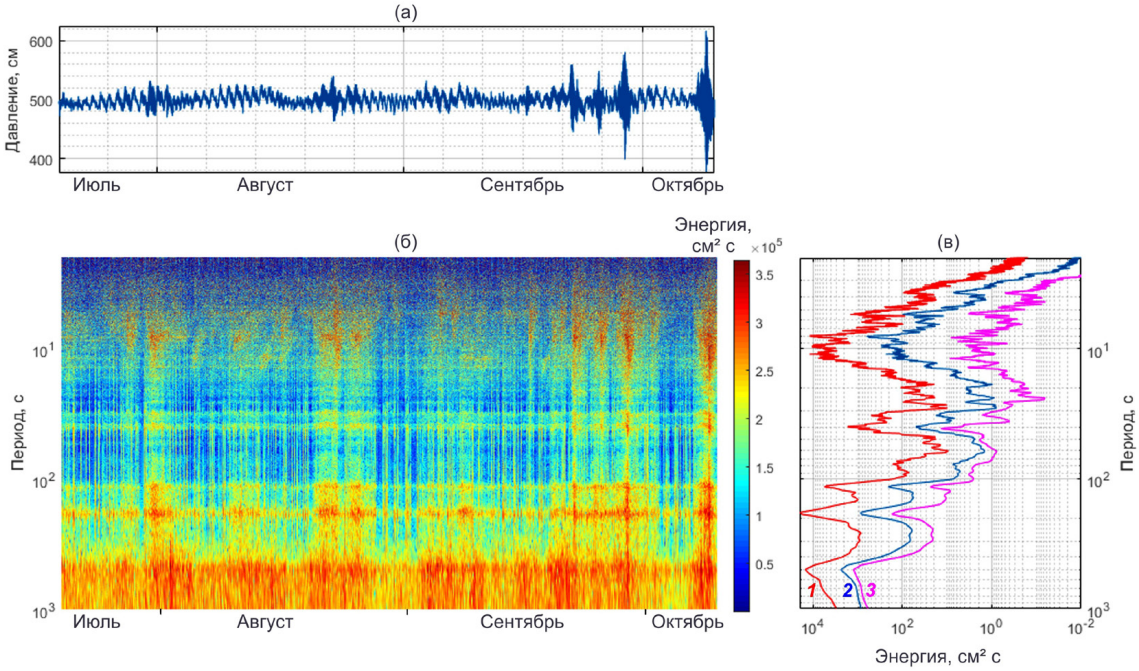


Рис. 2. (а) – запись придонного давления в порту г. Холмск, пересчитанная в см водного столба, в период с 19 июля по 10 октября 2007 г.; (б) – изменение энергетического спектра во времени; (в) – энергетические спектры: *1* – с 8 по 10 октября 2007 г. (шторм), *2* – за все время наблюдений, *3* – с 4 по 9 августа (спокойное море).

Fig. 2. (а) – bottom pressure record in the port of Kholmsk, converted in cm of water column, for the period from July 19 to October 10, 2007; (б) – change in the energy spectrum in time; (в) energy spectra: *1* – from October 8 to October 10, 2007 (storm), *2* – for the entire observation period, *3* – from August 4 to 9 (calm sea).

гавани, а следовательно, от таких явлений, как приливы, нагоны, штормы, цунами [6]. Приближенная оценка отклонения значения периода от среднего показывает, что девиация не превышает ±7 % для первых пяти мод колебаний. Для удобства сравнения энергий на разных периодах величины в таблице были нормированы к максимуму энергетического спектра. Так, для случая энергетического спектра всей реализации (рис. 2 в, *2*) максимальное значение в спектре энергии колебаний равно 2387 см^2·с и находится на периоде 500 с, второй по величине максимум соответствует периоду 182 с, третий – 8 с, четвертый – 115.5 с. Далее энергия локальных максимумов в спектре отличается от энергии основного уже более чем в 10 раз. Для энергетического спектра волнения в спокойную погоду (рис. 2 в, *3*) первый и второй максимумы также наблюдаются на периодах 500 и 182 с соответственно, при этом значение первого максимума составляет 1232 см^2·с. Третий максимум находится на периоде 115.5 с, однако его величина уже более чем в 50 раз меньше величины первого. В шторм порядок расположения максимальных компонент в энергетическом спектре (рис. 2 в, *1*) меняется, и можно выделить уже 5 наиболее «мощных» компонент. Максимум в спектральной энергии приходится на период 182 с и составляет величину 19 820 см^2·с, второй по величине максимум обнаруживает себя на периоде 500 с, третий – 8 с, четвертый – 115.5 с и пятый – 39.5 с. Такое перераспределение спектральных максимумов по периодам наблюдается для всех четырех сильных штормов, происходивших в сентябре–октябре.

Проведенные усредненные оценки указывают на резонансный характер колебаний уровня в порту. Максимальная энергия в спектре колебаний сосредоточена на периодах 500 и 182 с. Однако усредненная во времени оценка не дает достаточно полного представления о развитии волнового процесса, о том, меняется ли соотношение энергий на разных периодах в разные моменты времени. Поэтому интерес представляет анализ энергии E_p и периода T_p пиковой составляющей энергетического спектра волнения на более коротких временных участках. Для этого была проведена оценка значений величин E_p и T_p в 100-минутных интервалах (рис. 3 а и б). Для наглядности каждая оценка E_p и T_p в 100-минутном интервале показана в виде точки на соответствующем рисунке. Такое пред-

Таблица. Усредненные значения характеристик максимальных энергетических компонент
Table. Averaged values of characteristics of the peak energy components

Период компоненты, с	Отношение энергий, дБ		
	Для всей реализации	Для фрагмента со штормом	Для фрагмента со спокойной погодой
500	0	–1.2	0
182	–4.4	0	–8.6
115.5	–10.6	–5.5	–17.1
77	–	–20.8	–
39.5	–16.8	–10.7	–19.6
32.5	–21.3	–15.9	–28.7
26	–27.9	–23.1	–
22	–	–23.2	–
20	–	–22.6	–
14	–	–	–25.5
12	–	–	–21.5
8	–5.8	–2.2	–21.7
5.5	–13.9	–11.3	–25.7
3.5	–25.2	–23.2	–33.8

Примечание. Прочерк означает отсутствие в энергетическом спектре максимума на данном периоде.
Note. A dash means the absence of maximum in the energy spectrum for a given period.

ставление позволяет сразу наблюдать тот факт, что пиковые компоненты сосредоточены только в окрестностях трех периодов колебаний: 500, 182 и 8 с. Для удобства сравнения пиковых энергетических компонент и амплитуд колебаний уровня моря на рис. 3 в приведен график колебаний уровня (амплитуды волнения H), из которого удалены приливные составляющие. Колебания уровня пересчитаны из исходной записи придонного давления (рис. 2 а) согласно методике [7], определяющей связь между компонентами давления на заданной глубине и смещением водной поверхности в Фурье-спектрах волновых полей.

Результаты на рис. 3 иллюстрируют, что бóльшую часть времени регистрации, когда наблюдается спокойное море с максимальными амплитудами H, не превышающими 20 см, пиковая энергетическая составляющая спектра находится в области периода 500 с, а ее величина составляет в среднем 1950 см^2·с. Реже пиковая составляющая проявляется в области 182 с с энергией, равной в среднем 235 см^2·с. Следует отметить, что здесь не учитывался интервал времени с 6 до 12 ч 2 августа 2007 г., когда в порт пришло цунами от Невельского землетрясения. Во время прихода цунами значения H в точке измерения достигали 25 см, а пиковая составляющая энергии проявилась на периоде $T_р$ = 500 с и имела максимальное значение $E_р = 4.3 \cdot 10^5$ см^2·с.

Во время умеренных штормов в море, случившихся 9 раз в июле–сентябре, максимальное значение H волн в порту лежало в пределах 25–40 см. Наиболее сильные штормы наблюдались в конце сентября – начале октября. За период с 21 сентября до окончания наблюдений 10 октября произошли четыре сильных шторма, величина H в порту достигала 70–146 см. Для всех штормовых ситуаций характерно то, что в максимальной фазе развития шторма пиковая составляющая проявляется на периоде $T_р$ = 8 с. Для самого сильного за время наблюдения шторма, который рассматривался выше, средние значения $E_р$ составили $2.8 \cdot 10^5$ см^2·с на периоде $T_р$ = 8 с и $6.5 \cdot 10^4$ см^2·с на периоде $T_р$ = 182 с.

Двумерная гистограмма распределения пиковой составляющей в энергетическом спектре морского волнения в порту (рис. 4) показывает, что наиболее часто повторяющиеся (порядка 80 % от общего числа оценок) значения $T_р$ находятся в окрестности периода 500 с, однако максимальная энергия $E_р$ в этом диапазоне периодов меньше, чем на периодах в окрестностях 8 и 182 с. Максимальное значение $E_р$ на периоде 500 с составило приблизительно $1.8 \cdot 10^5$ см^2·с против значения

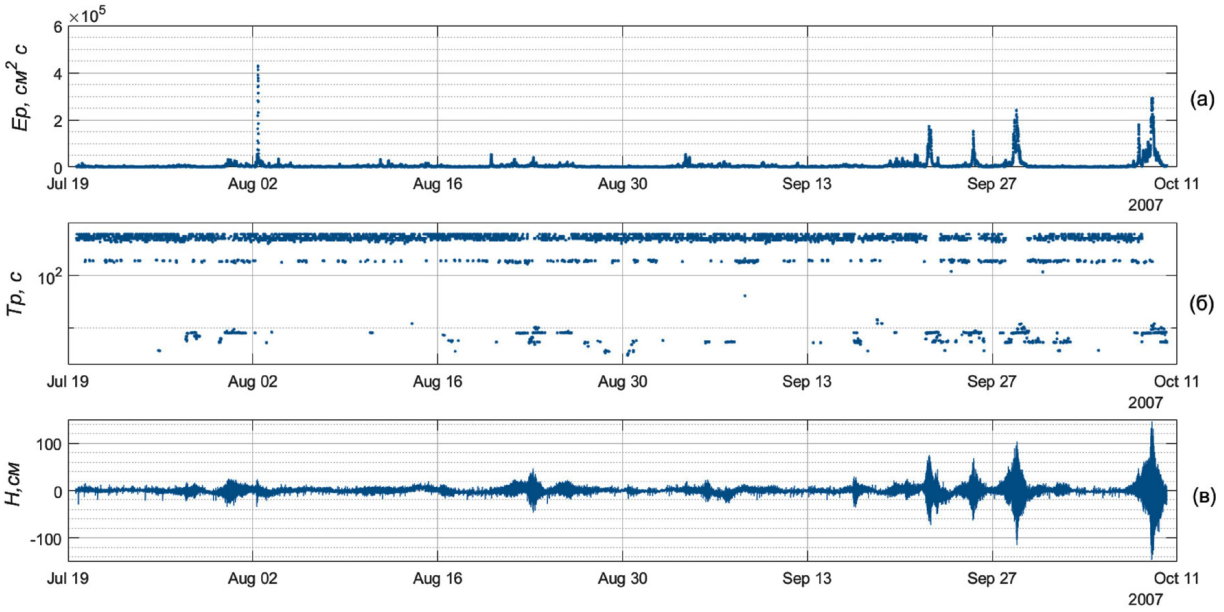


Рис. 3. Характеристики морского волнения в порту г. Холмск: энергия пиковой составляющей в спектре (а), период максимальной составляющей в спектре (б), амплитуда колебаний поверхности моря в точке измерения (в).

Fig. 3. Sea wave characteristics in the port of Kholmsk: the energy of the peak component in the spectrum (а), the period of the peak component in the spectrum (б), the amplitude of sea surface oscillations at the measurement point (в).

$E_p = 2.8 \cdot 10^5$ см^2·с, зарегистрированного на периодах 8 и 182 с. Исключение составляет случай Невельского цунами, записанного в порту г. Холмск, когда энергия E_p достигала величины $4.3 \cdot 10^5$ см^2·с. Повторяемость проявления пиковой составляющей на периодах 8 и 182 с приблизительно одинакова и составляет порядка 10 %. Следует отметить также, что на периодах колебаний в окрестности 182 с E_p имеет две условные области значений: в диапазоне от приблизительно $2.4 \cdot 10^5$ до $2.8 \cdot 10^5$ см^2·с и в диапазоне от условно 0 до $0.8 \cdot 10^5$ см^2·с. В первом диапазоне пиковая компонента на периоде 182 с наблюдается во время штормов, в во втором – в спокойную погоду. Вероятность перехода пиковой составляющей на другие периоды, в частности на видимый на гистограмме диапазон в районе 115.5 с, пренебрежимо мала (менее 0.001 %).

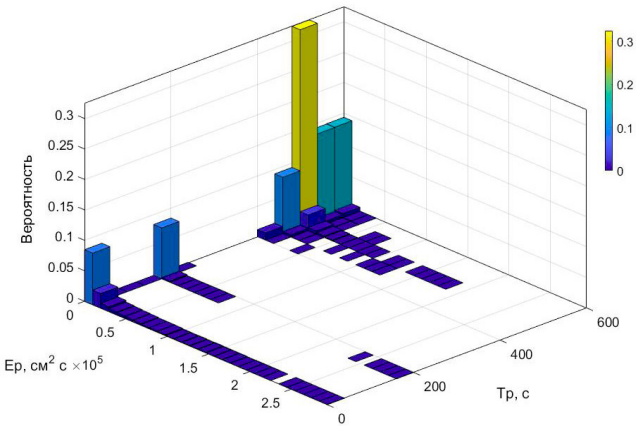


Рис. 4. Гистограмма распределения пиковой составляющей в энергетическом спектре.

Fig. 4. Histogram of distribution of the peak component in the energy spectrum.

Обсуждение результатов и выводы

В работе выполнен анализ основных характеристик морского волнения в акватории порта Холмск по данным инструментальных измерений в штормовых и спокойных условиях. Измерения проводились в одной точке, что накладывает некоторые ограничения на анализ пространственного распределения волнения. Например, амплитуда колебания на нулевой моде в дальней части порта будет несколько больше по сравнению с точкой измерения, а амплитуды штормового волнения в кутовой части порта будут меньше измеренных. Однако проведенные исследования позволяют установить общие параметры морского волнения в порту.

Итак, колебания уровня моря в порту как в спокойную, так и штормовую погоду имеют резонансный характер, т.е. во время штормов не происходит разрушения резонансной структуры колебаний. Но если в спокойную погоду пиковая энергетическая составляющая в спек-

тре морского волнения проявляется преимущественно на периоде 500 с, соответствующем нулевой моде акватории порта, то в штормы пики в энергетическом спектре волнения наблюдаются на периодах 182 с, соответствующем первой моде, и 8 с, т.е. в диапазоне периодов, характерных для штормового волнения. В спокойную погоду значения E_p составляли $10^2 – 10^3$ см^2·с, а наибольших значений ($E_p = 2.8·10^5$ см^2·с) пиковая составляющая достигала во время штормов. Причем как в диапазоне периодов в окрестности 8 с, так и в диапазоне в окрестности периода 182 с, который считается наиболее опасным с точки зрения возникновения тягуна в порту Холмск.

Проведенные исследования дополняют имеющиеся данные по описанию характеристик морского волнения в порту «Холмск». Предложенный подход, заключающийся в оценке пиковых спектральных компонент в широком диапазоне периодов, позволяет проследить динамику морского волнения в порту и процесс «раскачки» сейшевых колебаний. Оценки пиковых спектральных компонент пропорциональны значимой высоте волны, поэтому могут использоваться в расчетах режима волнения в порту.

Список литературы

1. Ковалев П.Д., Шевченко Г.В., Ковалев Д.П. **2007**. Экспериментальные исследования явления тягуна в порту г. Холмск. *Изв. Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова*, 20: 106–112.
2. Ковалев П.Д., Ковалев Д.П. **2013.** Особенности сейшевых колебаний в заливах и бухтах Дальнего Востока: Приморья, Сахалина, южных Курильских островов. *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*, 18(4): 1377–1382.
3. Ковалев П.Д., Шевченко Г.В., Ковалев Д.П., Чернов А.Г., Золотухин Д.Е. **2009**. Регистрация Симуширского и Невельского цунами в порту города Холмск. *Тихоокеанская геология*. Т. 28, № 5. С. 36–43.
4. Шевченко Г.В., Лоскутов А.В. **2017.** Особенности проявления цунами в портах Сахалинской области по данным инструментальных измерений и численного моделирования. *Геосистемы переходных зон*, 1(2): 35–49. https://doi.org/10.30730/2541-8912.2017.1.2.035-049
5. Ковалев П.Д., Ковалев Д.П. **2010**. *Техника исследования опасных морских явлений в прибрежной зоне океана*. Владивосток: Дальнаука, 2010. 152 с.
6. Ковалев П.Д., Ковалев Д.П. **2018.** Модуляция коротких инфрагравитационных волн приливом. *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*, 11(1): 21–27.
7. Заславский М.М., Красицкий В.П. **2001.** О пересчете данных волнографа с датчиком давления на спектр поверхностных волн. *Океанология*, 41(2): 195–200.

References

1. Kovalev P.D., Shevchenko G.V., Kovalev D.P. **2007.** [Experimental studies of the harbor oscillation phenomenon in the port of Kholmsk]. *Izv. Akademii inzhenernykh nauk im. A.M. Prokhorova = News Academy of Engineering Sciences A.M. Prokhorov*, 20: 106–112. (In Russ.).
2. Kovalev P.D., Kovalev D.P. **2013.** Seiche vibrations features in bays and inlets of Far East: Primorye, Sakhalin, Southern Kuril Islands. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 18(4): 1377–1382. (In Russ.).
3. Kovalev P.D., Shevchenko G.V., Kovalev D.P., Chernov A.G., Zolotukhin D.E. **2009.** Registration of the Simushir and Nevelsk tsunamis in the port of Kholmsk. *Russian J. of Pacific Geology*, 3(5): 443–449.
4. Shevchenko G.V., Loskutov A.V. **2017.** Features of tsunamis in the ports of the Sakhalin Region inferred from the data of instrumental measurements and numerical modeling. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 1(2): 35–49. (In Russ.). https://doi.org/10.30730/2541-8912.2017.1.2.035-049
5. Kovalev P.D., Kovalev D.P. **2010.** *Tekhnika issledovaniya opasnykh morskikh yavlenii v pribrezhnoi zone okeana* [*Technique for the study of hazardous marine phenomena in the coastal zone of the ocean*]. Vladivostok: Dal'nauka, 152 p. (In Russ.).
6. Kovalev P.D., Kovalev D.P. **2018.** Modulation of short infragravity waves by tide. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*, 11(1): 21–27. (In Russ.). https://doi.org/10.7868/S2073667318010021
7. Zaslavskiy M.M., Krasitskiy V.P. **2001.** [About recalculation wave recorder data with a pressure sensor on the spectrum surface waves]. *Okeanologiya = Oceanology*, 41(2): 195–200. (In Russ.).

Об авторах

Борисов Александр Сергеевич (https://orcid.org/0000-0002-9026-4258), кандидат технических наук, старший научный сотрудник, лаборатория волновой динамики и прибрежных течений, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, a.borisov@imgg.ru

About Author

Borisov, Alexander S. (https://orcid.org/0000-0002-9026-4258), Cand Sci. (Engineering), Senior Researcher, Laboratory of wave dynamics and coastal currents, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, a.borisov@imgg.ru

Поступила 28.02.2022
После доработки 18.03.2022
Принята к печати 22.03.2022

Received 28 February 2022
Revised 18 March 2022
Accepted 22 March 2022

© Авторы 2022 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

© The Authors 2022. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 556.555.6:581.132.1

https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.060-073

Пигменты в донных отложениях зал. Анива (Охотское море)

Т. Г. Коренева[*1], *Л. Е. Сигарева*[2]

[*]*E-mail: t.koreneva@sakhniro.ru*

[1]*Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), Южно-Сахалинск, Россия*

[2]*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина (ИБВВ РАН), Борок, Россия*

Реферат. Приведены данные спектрофотометрического определения содержания растительных пигментов в донных отложениях зал. Анива (Охотское море), полученные осенью 2013 г. Показано, что содержание осадочных пигментов количественно связано с гидрологическими характеристиками водной толщи и типологическими показателями донных отложений. Содержание хлорофилла *a* с феопигментами в отложениях залива характеризуется в целом величинами олиготрофной категории. Пигментные характеристики донных отложений залива представлены значениями показателей, которые существенно отличаются от таковых у функционирующих растительных организмов за счет сильной деградации пигментного фонда. Отмечено превалирование концентрации феопигментов над хлорофиллом *a*, увеличение вклада вспомогательных хлорофиллов в общую их сумму, а также возрастание общих каротиноидов по сравнению с хлорофиллом *a*. Экологическая интерпретация полученных сведений о пигментах и их соотношениях дает представление о механизме взаимодействия продукционных и деструкционных процессов в водоемах, что придает пигментным характеристикам значение интегральных экосистемных показателей.

Ключевые слова: залив Анива, пигментные характеристики, донные отложения

Pigments in the bottom sediments of Aniva Bay (Sea of Okhotsk)

Tatyana G. Koreneva[*1], *Lyubov E. Sigareva*[2]

[*]*E-mail: t.koreneva@sakhniro.ru*

[1]*Sakhalin Branch, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (SakhNIRO), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

[2]*Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences (IBIW RAS), Borok, Russia*

Abstract. The data of spectrophotometric determination of the content of plant pigments in the bottom sediments of Aniva bay (the Sea of Okhotsk) obtained in autumn 2013 are presented. The content of sedimentary pigments is shown to be quantitatively related to the hydrological characteristics of the water column and the typological indicators of bottom sediments. The content of chlorophyll *a* with phaeopigments in the sediments of the bay is generally characterized by values of the oligotrophic category. The pigment characteristics of the bottom sediments of the bay are represented by the values of indicators that differ significantly from those of functioning plant organisms due to the strong degradation of the pigment fund. The prevalence of the concentration of phaeopigments over chlorophyll *a*, an increase in the contribution of additional chlorophylls to their total amount, as well as an increase in total carotenoids compared to chlorophyll *a* were noted. The ecological interpretation of the data obtained on pigments and pigment ratios gives an idea of the mechanism of interaction between production and destruction processes in water bodies, which gives to the pigment characteristics meaning of integral ecosystem indicators.

Keywords: Aniva Bay, pigment characteristics, bottom sediments

Для цитирования: Коренева Т.Г., Сигарева Л.Е. Пигменты в донных отложениях зал. Анива (Охотское море). *Геосистемы переходных зон*, 2022, т. 6, № 1, с. 60–73. https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.060-073

For citation: Koreneva T.G., Sigareva L.E. Pigments in the bottom sediments of Aniva Bay (Sea of Okhotsk). *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2022, vol. 6, no. 1, pp. 60–73. (In Russ., abstr. in Engl.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2022.6.1.060-073

Благодарности и финансирование

Исследования выполнены в рамках государственных программ СахНИРО (тема № 076-00002-21-00), ИБВВ РАН

Acknowledgements and Funding

The research was carried out within the framework of state programs of SakhNIRO (theme No. 076-00002-21-00),

(тема № 121051100099-5) и в рамках договора о научно-исследовательском сотрудничестве между Институтом биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН и СахНИРО.

Авторы благодарны сотрудникам отдела исследований среды и мониторинга антропогенного воздействия СахНИРО, принимавшим участие в экспедиционных работах, за отбор и первичную обработку проб, а также лично к.б.н. Елене Максимовне Латковской за организацию исследований.

IBIW RAS (theme No. 121051100099-5) and within the framework of the agreement on research cooperation between the Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS and SakhNIRO.

The Authors are grateful to the staff of the Department of Environmental Studies and Monitoring of Anthropogenic Impact of SakhNIRO, who took part in expeditionary work, for sampling and primary processing of samples, as well as personally to Elena Maksimovna Latkovskaya for organizing the research.

Введение

Зал. Анива – один из наиболее продуктивных районов южного Сахалина, являющийся местом обитания и воспроизводства ценных видов рыб и беспозвоночных. Объекты и инфраструктура нефтегазоперерабатывающего комплекса в его прибрежной части создают риск загрязнения ценной рыбопромысловой акватории и несут в себе угрозу дальнейшему развитию рыбного хозяйства – одной из приоритетных отраслей экономики Сахалинской области. В условиях антропогенного пресса на залив и экономических трудностей в организации регулярных комплексных исследований актуален поиск доступных (малозатратных) подходов к оценке состояния экосистемы зал. Анива и ее мониторингу.

Среди апробированных на водоемах разного типа продукционных показателей особое место принадлежит хлорофиллу *a* (Хл *a*) – основному фотосинтетическому пигменту растительных организмов. Предложение Г.Г. Винберга (1961) использовать концентрацию хлорофилла *a* в качестве показателя биомассы и фотосинтеза планктонных водорослей дало начало одному из направлений гидробиологических (экологических) исследований [1]. Содержание хлорофилла *a* служит исходным показателем для оценки первичной продукции Мирового океана и пресноводных экосистем с помощью моделей, в основе которых лежит зависимость скорости фотосинтеза от подводной освещенности [2, 3]. Наряду с Хл *a* в экологии изучаются другие растительные пигменты и продукты их деградации как показатели динамики состава и физиологического состояния планктонных и бентосных водорослей. Итогом процессов деструкции, трансформации и седиментации новообразованного органического вещества является накопление растительных пигментов в донных отложениях, поэтому закономерности формирования пигментного комплекса в отложениях дают представление о характере многолетней динамики первичной продукции. Исключительно высокая информационная значимость сведений о пространственно-временном распределении пигментов дает основание применять их для оценки влияния природных и антропогенных факторов на экологическое состояние разнотипных водоемов. Наличие объективных инструментальных методов, их доступность и оперативность обусловливают широкое использование растительных пигментов (и их дериватов) в водной экологии [4, 5].

Первые данные о количественном распределении Хл *a* в морских осадках были получены в начале XX в. [6]. В связи с развитием системного подхода к изучению водных объектов в настоящее время растительные пигменты морских донных отложений вызывают все более широкий интерес [7–10]. Большая часть экологических исследований по пигментам в водоемах, включая зал. Анива, выполняется на фитопланктоне [11–16]. Аналогичные сведения для донных отложений зал. Анива касаются лишь хлорофилла *a* и продукта его деградации [17]. Данных о вспомогательных пигментах в донных отложениях залива нами не встречено. Недостаточная освещенность этого вопроса послужила основой для постановки цели настоящего исследования.

Цель работы – получить данные по содержанию вспомогательных пигментов в донных отложениях зал. Анива, оценить связь пигментов с абиотическими факторами и возможность применения пигментных характеристик для мониторинга экологического состояния залива. Для достижения цели необходимо определить содержание основных групп растительных пигментов в донных отложениях, установить связи пигментных показателей донных отложений с характеристиками водных масс (глубина, температура, соленость, pH) и свойствами донных отложений (тип, влажность, содержание органического вещества).

Район исследований и методика

Зал. Анива – обширная акватория с площадью 5.809 тыс. км^2 и объемом вод 306.2 км^3, глубоко вдающаяся в южную часть о. Сахалин и расположенная между мысами Крильон (45.54° N, 142.05° E) и Анива (46.01° N, 142.25° E) [18]. От Татарского пролива зал. Анива отделяет п-ов Крильонский, а от Охотского моря – п-ов Тонино-Анивский[1]. Осевая протяженность зал. Анива варьирует от 80 до 110 км. Протяженность береговой линии, по современным данным, составляет около 245 км [16]. Вследствие антропогенной нагрузки в последнее десятилетие усиливается интенсивность и активность размыва берегов. Средняя глубина залива, по данным 1999 г.[2], составляет 63 м. Относительная прозрачность вод изменяется от 8–10 м в северной прибрежной части залива осенью до 15–18 м в центральной и юго-восточной глубоководной его частях весной [14].

По концентрации Хл *a* в планктоне залив относится к мезотрофному типу водоемов весной и олиготрофному в летне-осенний период [14], по биомассе и первичной продукции фитопланктона – к мезоэвтрофному типу [20].

В мелководной зоне залива с глубинами 0–15 м встречаются плотные монодоминантные заросли *Saccharina japonica* [21]. Промысловый запас этого вида макрофитов оценен в диапазоне от 40.90 тыс. т в 2009 г. [22] до 42.41 тыс. т в 2010 г., площадь зарослей – 15.27 км^2 [23]. В прибрежной зоне залива на глубинах 0–10 м с песчаными и песчано-галечными грунтами наиболее часто встречается *Zostera marina* + *Scaphechinus griseu*. Основу фитомассы на участках с гравийно-песчаным грунтом в юго-западной части залива с глубинами от 8–10 до 20–25 м создает бурая водоросль (*Agarum cribrosum*). Для скалисто-каменистых грунтов северного побережья характерно доминирование сублиторальных видов бурых водорослей (*Laminaria japonica, Pervetia wrightii, Cystoseira crassipes*). Значительную часть занимают красные и зеленые водоросли (*Laurencia nipponica, Corallina officinalis, Gloiopeltis furcata, Neorhodomela teres, Porphyra preudocrassa, Ulva fenestrate* и др.) [24]. В целом список микроводорослей, составленный для зал. Анива, включает в себя более 200 видов и внутривидовых таксонов. Весной и летом преобладают диатомовые водоросли (48 видов), среди которых наиболее распространены *Cocconeis sculelum, Leptocylindrus danicuc* и *Cylindrotheca closterium*. Осенью и зимой доминируют динофлагелляты (49 видов). Наиболее часто встречаются *Cymnodinium albulum и Gonyaulax spinifera* [20, 25–27]. Летом в районе завода СПГ отмечено активное развитие потенциально токсичного вида *Pseudo-nitzschia sp*. Осенью из потенциально токсичных и вредоносных водорослей отмечены виды рода *Pseudo-nitzschia*, *Dinophysis acuminata* и *Ostreopsis siamensis* [28].

Материалом для настоящего исследования послужили пробы донных отложений, отобранные с борта НИС «Дмитрий Песков» во время комплексной экспедиции в октябре 2013 г. в зал. Анива на 24 станциях четырех стандартных океанографических разрезов [29]. Схема расположения станций и разрезов представлена на рис. 1.

Донные отложения отбирали дночерпателем типа Ван-Вина (материал – нержавеющая сталь, объем ковша 50 л, площадь захвата 0.2 м^2). Придонную воду удаляли из дночерпателя, пробы набирали методом квартования из центральной части верхнего 5-сантиметрового слоя, упаковывали в полиэтиленовые пакеты и хранили в замороженном виде не более 1 мес. Перед анализом исходный образец отложений тщательно перемешивали

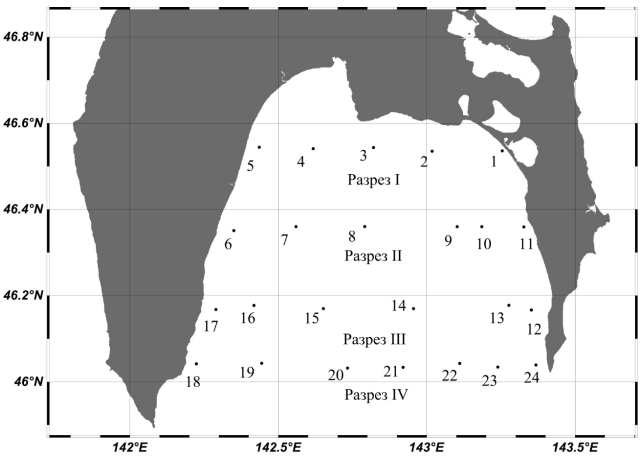


Рис. 1. Карта-схема расположения станций в зал. Анива.
Fig. 1. Schematic map of the location of the stations in Aniva Bay.

[1] *Атлас Сахалинской области*. **1967.** М.: ГУГК при СМ СССР, 135 с. [*Atlas of Sakhalin Oblast*]. **1967**. Moscow: GUGK pri SM SSSR, 135 p. (In Russ.).]

[2] *Лоция Охотского моря*. **1999**. СПб.: ГУНиОМО РФ. Вып. 2, 325 с. [*Sailing directions of the Sea of Okhotsk*]. **1999**. Saint Petersburg: GUNiOMO RF, Iss. 2, 325 p. (In Russ.).]

до однородного состояния, делили на две части для определения пигментов и влажности. Навеску донных отложений массой около 1 г помещали в пробирку с притертой пробкой, приливали 10 мл 90%-го ацетона, тщательно перемешивали стеклянной палочкой и ставили в холодильник на сутки. После отстаивания ацетоновый экстракт отделяли центрифугированием взвеси в течение 15 мин при 8 тыс. об/мин. Затем выдерживали осадок в свежей порции растворителя 1 ч и проводили повторное извлечение пигментов. В объединенном ацетоновом экстракте измеряли оптические плотности на спектрофотометре UV-3600 (Shimadzu, Япония). Концентрацию пигментов в образце донных отложений рассчитывали по формулам для фитопланктона по ГОСТ 17.1.4.02[3], используя вместо объема профильтрованной воды сухую массу донных отложений в анализируемой сырой навеске [30]. Содержание пигментов выражали в мкг на 1 г сухого осадка (мкг/г с.о.). Влажность образцов донных отложений оценивали по разнице между массами сырой и высушенной при 105 ºС навесок.

Содержание органического вещества (ОВ) в донных отложениях определяли фотометрическим методом после его окисления раствором двухромовокислого калия в серной кислоте по ГОСТ 26213[4]. При подготовке к анализу долю хлоридов доводили до <0.6 %, промывая пробу дистиллированной водой. Тип донных отложений оценивали по гранулометрическому составу в соответствии с ГОСТ 12536[5] и по распространенной в морской геологии классификации [31].

В работе использовали показатели абсолютного и относительного содержания хлорофиллов, феопигментов и каротиноидов. Первая группа показателей: хлорофилл *a* общий в сумме с продуктом его деградации – феофитином (Хл *a*+Ф), хлорофилл *b* (Хл *b*), хлорофилл *c* (Хл *c*), хлорофилл *a* без продуктов его деградации – чистый Хл $a_ч$, продукт деградации хлорофилла – феофитин *a* (Ф *a*) и каротиноиды (К). Вторая группа: процентный вклад хлорофиллов Хл $a_ч$, Хл *b*, Хл *c* в сумме (Хл $a_ч$+Хл *b*+Хл *c*), процентный вклад феофитина (Ф *a*) в сумме с чистым хлорофиллом (Хл $a_ч$+Ф), отношения Ф *a* и Хл $a_ч$, К и Хл *a*+Ф, а также К и Хл *a* в виде пигментного индекса E_{430}/E_{664}. В тексте термин «феопигменты» употребляется в том же смысле, что и «феофитин». Тесноту корреляционной связи между сравниваемыми признаками оценивали по значению коэффициента детерминации [32], достоверность коэффициента корреляции – по критерию Стьюдента.

Результаты

Исследования показали, что донные отложения в центральной (станции 8–10, 14, 15), южной глубоководной (станции 19–24) и восточной прибрежной (станции 11, 12) частях залива представлены в основном алевритами и пелитами с примесью песка, а в южной (станция 3) и западной прибрежной (станции 16–18) частях – галечником и гравием с илом. При уменьшении доли песчаной фракции увеличивались естественная влажность и концентрация ОВ (табл. 1).

Пространственное распределение пигментов неоднородно и изменяется в зависимости от типов и свойств донных отложений. Сравнительно высокое содержание Хл *a*+Ф (9.1–19.5 мкг/г) отмечено в илах с высокой влажностью и максимальным содержанием ОВ (табл. 1; рис. 2 А). Фактором, способствующим накоплению пигмента в центре и юго-восточной части залива (станции 14, 15, 21, 22 и 24), наряду с другими (особенности гидродинамики, наличие зон аккумуляции, бактериопланктон и пр.), была, вероятно, существенная глубина (71–100 м), поскольку от нее зависит суммарное количество взвеси в толще воды. На других станциях (5 и 18) причиной повышенного содержания Хл *a*+Ф могло быть усиленное развитие планктонных и бентосных водорослей вследствие поступления элементов минерального питания с поверхностными водами. Особо следует вы-

[3] ГОСТ 17.1.4.02-90. **2001**. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. М.: Изд-во стандартов, с. 551–563. [GOST 17.1.4.02-90. **2001**. Water. Spectrophotometric determination of chlorophyll *a*. Moscow: Standards Publ. House, p. 551–563.]

[4] ГОСТ 26213-91. **1992**. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Изд-во стандартов, 6 с. [GOST 26213-91. **1992**. Soils. Methods for determination of organic matter. Moscow: Standards Publ. House, 6 p.]

[5] ГОСТ 12536-2014. **2015**. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 19 с. [GOST 12536-2014. **2015**. Soils. Methods of laboratory granulometric (grain-size) and microaggregate distribution. Moscow: Standartinform, 19 p.]

Таблица 1. Абиотические условия и физико-химические характеристики донных отложений зал. Анива, октябрь 2013 г.
Table 1. Abiotic conditions and physicochemical characteristics of the bottom sediments of Aniva Bay, October 2013.

Номер станции	Глубина, м	Температура воды, °С	Соленость воды, ‰	pH, ед.	Влажность донных отложений, %	Содержание ОВ, %	Тип донных отложений
1	16	7.8	30.5	8.1	7.0	0.2	2
2	41	7.7	30.5	7.9	38.2	1.1	2
3	35	7.5	30.8	8.0	35.4	1.2	3
4	40	7.6	30.6	8.0	39.7	1.6	1
5	24	8.2	30.8	8.1	51.1	2.7	1
6	16	7.8	30.5	8.1	13.6	0.4	2
7	48	8.7	31.6	8.0	33.7	1.1	2
8	62	0.4	33.0	8.0	35.6	1.2	1
9	71	1.7	32.8	7.9	20.8	1.1	1
10	65	3.6	30.4	7.9	32.4	1.2	1
11	33	7.2	30.3	7.9	24.8	1.0	2
12	60	8.0	32.2	7.9	32.8	2.3	1
14	84	0.5	32.8	7.6	42.7	2.5	1
15	71	0.1	32.9	7.9	39.9	1.9	3
16	56	9.1	32.2	8.0	38.1	1.7	4
17	28	8.3	30.8	8.1	25.6	1.6	3
18	28	8.4	31.0	8.1	43.8	2.0	3
19	77	1.0	32.2	8.0	43.7	1.6	1
20	87	1.2	32.6	7.9	32.7	1.8	2
21	97	0.4	30.4	7.8	40.5	2.2	1
22	100	0.6	32.7	7.8	48.8	2.2	2
24	72	1.0	30.3	7.8	43.4	1.9	2

Примечание. Тип донных отложений: 1 – алевриты и пелиты; 2 – алевриты и пелиты с примесью песка; 3 – илистый песок; 4 – галечник и гравий с илистым заполнителем.

Note. Type of bottom sediments: 1 – silts and pelites; 2 – silts and pelites with an admixture of sand; 3 – silty sand; 4 – gravel and gravel with silty aggregate.

делить станцию 5 – наиболее продуктивную по фитопланктону за счет биогенных веществ, поступающих с водами лососевых рек, впадающих в бухту Лососей, и минерализации органического вещества, накопленного за период нереста. Невысокая гидродинамическая активность (судя по значениям температуры) также могла способствовать накоплению пигмента в донных отложениях залива.

Небольшие концентрации (4.4–4.9 мкг/г) Хл *a*+Ф были отмечены в донных отложениях с минимальными значениями влажности и содержания ОВ на станциях (1, 6) прибрежной зоны с илистыми отложениями, включающими песок. Причиной низкого уровня накопления пигмента на этих станциях, вероятно, была повышенная гидродинамическая активность, характерная для относительно мелководной зоны (16 м). В среднем концентрация Хл *a*+Ф в осадках залива составляла 6.5±0.7 мкг/г с.о., что дает основание (по W. Möller и B. Scharf) считать залив олиготрофной акваторией [33]. Средние концентрации отдельных хлорофиллов были ниже: Хл $a_ч$ – 1.2±0.3; Хл *b* – 1.6±0.1; Хл *c* – 1.9±0.1 мкг/г с.о. (табл. 2). На большинстве станций (17 из 22) Хл *c* доминировал по отношению к другим хлорофиллам (рис. 3 А), его доля от общей суммы составляла 42.2±1.6 %.

Обсуждение результатов

Известно, что состав пигментов в клетках водорослей зависит от их таксономической принадлежности. Для фитопланктона показано, что преобладание Хл *a* при невысокой концентрации Хл *b* и Хл *c* свидетельствует о доминировании синезеленых водорослей, преобладание Хл *c* над Хл *b* – о доминировании диатомовых и динофитовых водорослей. От-

сутствие Хл *a* и высокое содержание Ф *a* отражают нежизнеспособность водорослей и наличие растительного детрита [34]. Донные отложения большинства станций характеризовало превышение значений соотношения Хл *c* / Хл *a* над величинами Хл *b* / Хл *a*, что свидетельствует о происхождении осадочных пигментов преимущественно из диатомовых водорослей и связано, очевидно, с их доминированием в фитопланктоне зал. Анива [20, 25–28].

Высокое содержание Хл *b* в донных отложениях, наряду с другими источниками (остатки высших растений, эвгленовые, зеленые водоросли и др.), может быть следствием лучшей его сохранности в осадках (по сравнению с Хл *a*) и способности к накоплению при низкой освещенности. Это подтверждается значительной долей пигмента от суммы хлорофиллов (37.2–45.0 %) на глубоководных станциях. Из причин повышенного содержания Хл *b* в донных отложениях нельзя исключить наличие большой концентрации дериватов Хл *a*, у которых максимум поглощения сдвигается по отношению к таковому для чистого Хл *a*, а само поглощение дериватов уменьшается в 1.7 раза [35]. Кроме того, представители других отделов водорослей, высшие водные растения, а также растительные остатки, поступающие с приливно-отливными водами, могут вносить значительный вклад в содержание Хл *b* в донных отложениях [36].

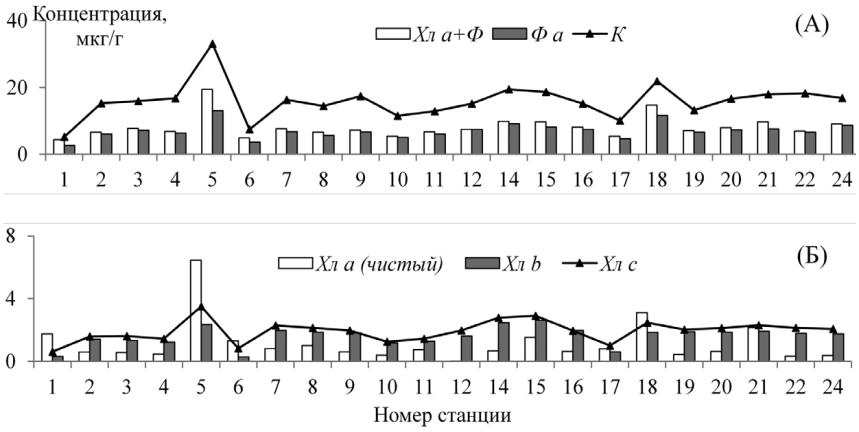


Рис. 2. Распределение концентраций хлорофилла *a* общего (Хл *a*+Ф), феофитина *a*, каротиноидов (А) и хлорофиллов Хл $a_ч$, Хл *b*, Хл *c* (Б) в донных отложениях зал. Анива, октябрь 2013 г.

Fig. 2. Distribution of concentrations of Chl *a*+Ph (chlorophyll *a* with the products of its degradation), Ph *a* (pheophitin *a*), C (carotenoids) (A) and Chl a_p («pure» chlorophyll, chlorophyll without the products of its degradation), Chl *b*, Chl *c* (Б) in the bottom sediments of Aniva Bay, October 2013.

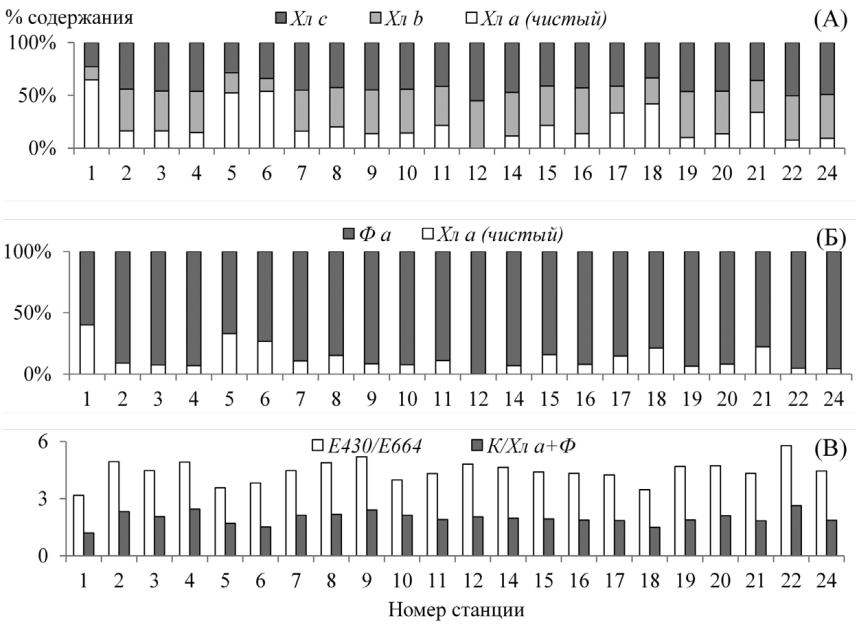


Рис. 3. Соотношения концентраций пигментов в донных отложениях зал. Анива, октябрь 2013 г.

Fig 3. Ratios of pigment concentrations in the bottom sediments of Aniva Bay, October 2013.

Концентрации К и Ф *a* варьировали синхронно с изменением Хл *a*+Ф и составляли в среднем 15.9±1.2 и 7.0±0.5 мкг/г соответственно (рис. 2 А; табл. 2). Продукты деградации составляли основную долю от их суммы с хлорофиллом (в среднем 86.9±2.1 %) (рис. 3 Б), в отличие от фитопланктона, где степень деградации хлорофилла *a* значительно ниже (45.1–52.8 %) [14]. Средняя величина соотношения К / Хл *a*+Ф (1.98±0.07), обычно используемого в качестве индикатора трансформации фитопигментов, выше ее значения в фитопланктоне (1.28±0.08), что указывает на более сильное разрушение пигментов в донных отложениях по сравнению с водной толщей.

Таблица 2. Диапазон варьирования и средние значения пигментных характеристик в донных отложениях зал. Анива, 2013 г.

Table 2. Range of variation and the average values of pigment characteristics in the bottom sediments of Aniva Bay, 2013

Пигментные характеристики	Пределы варьирования	Среднее значение со стандартной ошибкой
Хл *a*+Ф, мкг/г	4.4–19.5	6.5±0.7
Хл $a_ц$, мкг/г	<0.02–6.5	1.2±0.3
Хл *b*, мкг/г	0.3–2.6	1.6±0.1
Хл *c*, мкг/г	0.6–3.5	1.9±0.1
Ф *a*, мкг/г	2.6–13.0	7.0±0.5
К, мкг/г	5.3–33.2	15.9±1.2
Хл *a*, %	0.0–64.9	22.8±3.6
Хл *b*, %	12.2–45.0	35.0±2.1
Хл *c*, %	22.9–55.0	42.2±1.6
Ф *a*, %	59.9–100.0	86.9±2.1
К/Хл *a*+Ф	1.20–2.64	1.98±0.07
E_{430}/E_{664}	3.16–5.78	4.44±0.13

В целом для донных отложений залива характерно превышение количества К и Ф *a* над остальными пигментами, что свидетельствует о нежизнеспособности водорослей и детритном происхождении пигментов, а также о высокой устойчивости каротиноидов и феопигментов [37]. О фитопланктонном происхождении желтых пигментов свидетельствуют высокие коэффициенты корреляции между содержанием каротиноидов и биомассой фитопланктона (0.89–0.91) [38, 39], а также сходный характер изменения концентрации каротиноидов в клетке [40]. На основании этих данных некоторые исследователи рекомендуют оценивать биомассу водорослей именно по суммарному содержанию желтых пигментов [41, 42].

Значения пигментного индекса E_{430}/E_{664} (3.16–5.78) (рис. 3 В), характеризующего функциональную активность водорослей [43–45], показывают, что осенью в донных отложениях преобладают деструкционные процессы. Минимальные значения этого индекса (3.16–3.82) и соотношений К / Хл *a*+Ф (1.20–1.70) отмечены для песчаных донных отложений мелководных станций залива в северо-восточном и северо-западном прибрежье (станции 1, 5, 6). Максимальные значения соотношений (3.82–5.78 и 1.70–2.74 соответственно) наблюдали в алевритовых илах глубоководной центральной и юго-восточной частей залива (станции 4, 7–9, 12 и станции 19, 20, 22), что обусловлено деградацией хлорофилла и его производных в процессах трансформации в составе ОВ. Достаточно тесная связь пигментов с органическим веществом, по нашему мнению, может свидетельствовать об их растительном происхождении.

Корреляционный анализ подтверждает существование тесной связи между пигментами, свойствами донных отложений и абиотическими параметрами вод в заливе. Концентрация Хл *a*+Ф в осадках (мкг/г с.о.) нелинейно сопряжена с глубиной станции ($R^2 = 0.56$ при $n = 20$, $p < 0.05$), влажностью ($R^2 = 0.54$) и содержанием ОВ ($R^2 = 0.68$) (рис. 4 А–В). Наличие связи ($R^2 = 0.67$) между содержанием ОВ и глубиной станции (рис. 4 Г) свидетельствует о фитопланктонном происхождении органического вещества, а зависимости между содержанием основного пигмента и свойствами донных отложений (рис. 4 Д–З) отражают непосредственное влияние микроводорослей и растительных организмов на формирование структуры осадочного пигментного комплекса в заливе. Связь между Хл *a*+Ф и свойствами донных отложений нарушалась в случае привлечения данных по мелководным станциям 5 и 18, находящимся под влиянием определенных природных и антропогенных факторов (сток рек, нерест лососевых рыб) и содержащим высокую долю ОВ. Из этого следует, что степень зависимости между основным пигментом и свойствами донных отложений обусловлена происхождением ОВ.

Связь между Хл *a* и влажностью, а также содержанием ОВ отсутствовала, а каротиноиды и феофитин, напротив, были тесно связаны с характеристиками донных отложений ($R^2 = 0.68–0.77$) (рис. 5 А–В). Тесная связь отмечена между содержанием дополнительных хлорофиллов (*b* и *c*) и свойствами донных отложений ($R^2 = 0.66–0.78$ при $n = 22$, $p < 0.05$). Отношение К / Хл *a*+Ф положительно коррелировало с относительным содержанием Ф *a* ($R^2 = 0.54$), Хл *b* ($R^2 = 0.61$) и Хл *c* ($R^2 = 0.61$) (рис. 5 Г–Е), т.е. с ростом доли каротиноидов увеличивалось содержание вспомогательных пигментов и деградированных форм Хл *a*. Это указывает на то, что деградации подвергаются все компоненты пигментного фонда, сформированного при активном функционировании растительных организмов.

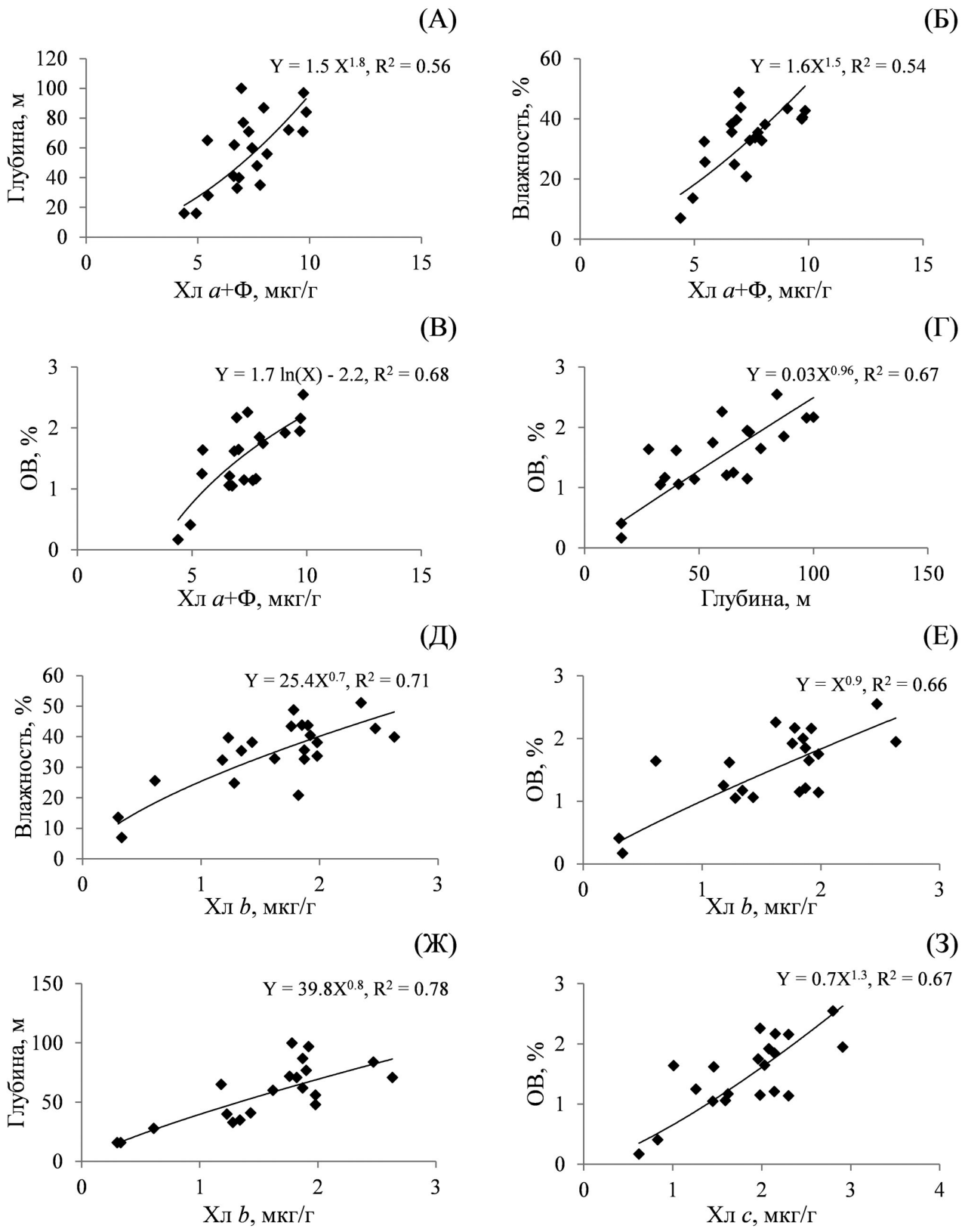


Рис. 4. Связь содержания Хл *a*+Ф с глубиной (А), влажностью донных отложений (Б) и концентрацией ОВ (В); содержания ОВ с глубиной (Г); содержания Хл *b* с влажностью (Д), концентрацией ОВ (Е) и глубиной (Ж); содержания Хл *c* с ОВ (З). Октябрь–ноябрь 2013 г.

Fig. 4. Correlation of Chl *a*+Ph content with depth (А), humidity of the bottom sediments (Б) and concentration of organic matter (В); organic matter content with depth (Г); Chl *b* content with humidity (Д), concentration of organic matter (Е), and depth (Ж); content of Chl *c* with organic matter (З). October–November 2013.

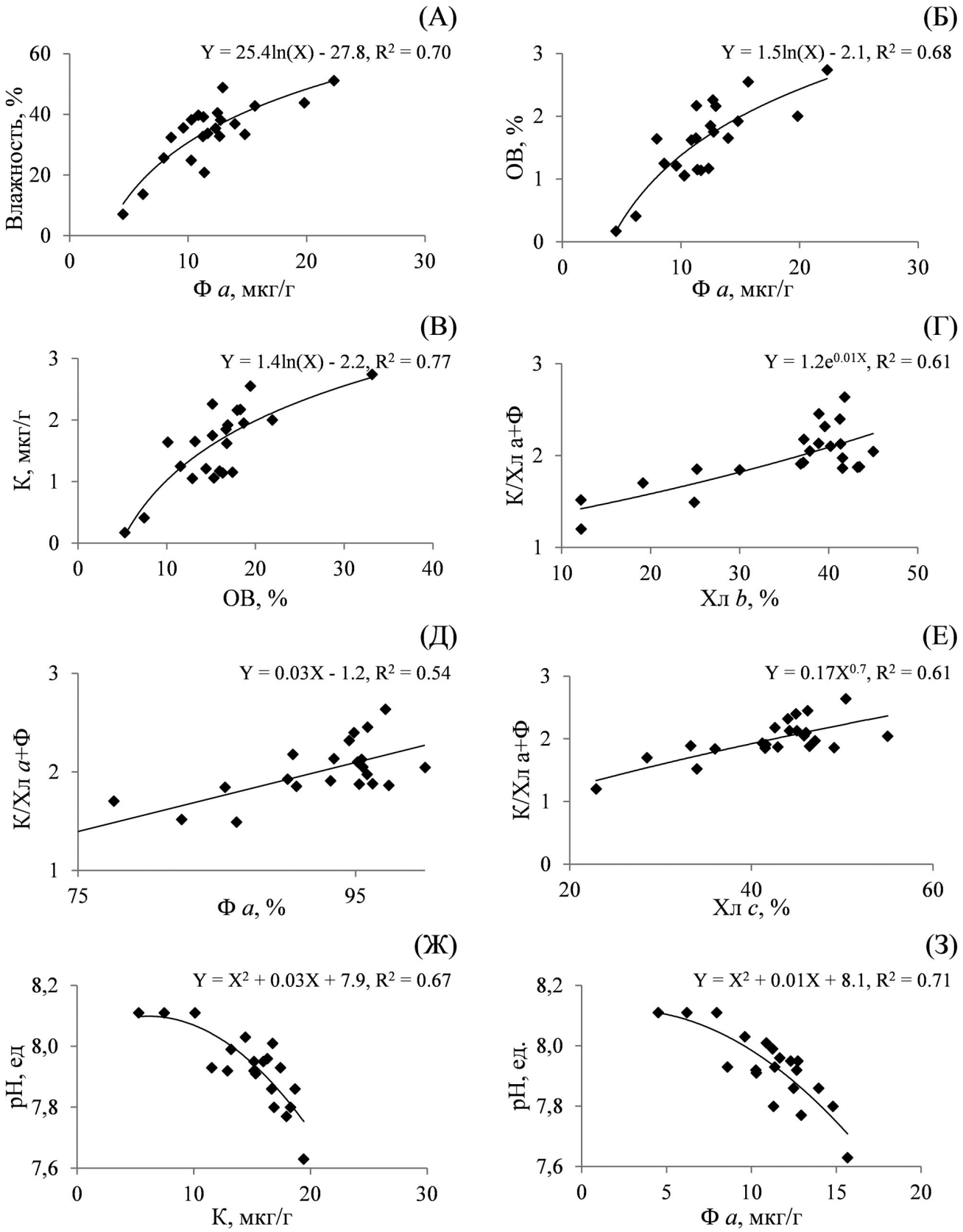


Рис. 5. Связь содержания Ф *а* с влажностью (А) и концентрацией ОВ (Б); содержания К с ОВ (В); К / Хл *а*+Ф с Хл *b* (Г), с Ф *а* (Д) и с Хл *с* (Е); pH с содержанием К (Ж) и Ф *а* (З). Октябрь–ноябрь 2013 г.

Fig. 5. The relationship of pheophitin *a* content with humidity (A) and the concentration of organic matter (Б); carotenoids content with organic matter (B); C / Chl *a*+Ph with Chl *b* (Г), C / Chl *a*+Ph with Ph *a* (Д), C / Chl *a*+Ph with Chl *c* (E); pH with carotenoids (Ж) and pheophitin *a* (З) content. October–November 2013.

Связь концентрации пигментов с гидрологo-химическими параметрами воды выражена слабее, чем со свойствами донных отложений. Только содержание К и Ф *a* было тесно сопряжено с величиной pH (R^2 = 0.67–0.71) (рис. 5 Ж, З). Содержание этих пигментов растет с уменьшением значений водородного показателя, что подтверждается их максимальным накоплением в донных отложениях глубоководных станций. Это отражается в наличии корреляции между содержанием этих пигментов и глубиной (R^2 = 0.58–0.78). Связь между пигментами и температурой, а также соленостью практически отсутствовала.

Существование тесной связи между пигментными характеристиками и параметрами, обусловленными морфометрией залива и его гидродинамической активностью, свидетельствует о зависимости характера варьирования содержания пигментов от абиотических условий, отражая связь между биотическими и абиотическими процессами формирования донных отложений и трофическим статусом залива. Корреляция пигментов с физико-химическими свойствами донных отложений может использоваться для характеристики состояния экосистемы зал. Анива, так как эти свойства взаимосвязаны с процессами новообразования и трансформации органических веществ в водной толще, отражая их результат и влияя на численность, состав и разнообразие населяющих их организмов [24, 46].

Сравнение полученных результатов с опубликованными данными по некоторым другим водоемам региона показало сопоставимость уровня накопления и сходный характер распределения пигментов в донных отложениях (табл. 3). Так, содержание основного пигмента (Хл *a*+Ф) в донных отложениях зал. Анива (4.4–19.5 мкг/г с.о.) осенью 2013 г. согласуется с его содержанием в лагуне Буссе (0.2–21.6 мкг/г с.о.) осенью 2013 г. и эстуарии р. Раздольная (3.0–19.0 мкг/г с.о.) зимой 2008 г. (табл. 3) [47, 48].

Таблица 3. Содержание пигментов в донных отложениях некоторых водоемов в районе умеренно-муссонного климата

Table 3. The content of pigments in the bottom sediments of some water bodies in the temperate monsoon climate

Пигмент	Период исследования	Содержание пигментов	Источник информации
Эстуарий р. Раздольная (впадает в Амурский залив в Японском море)			
Хл+Ф (в районе бара) Хл+Ф (залив) Хл+Ф (река)	Январь–февраль 2008 г.	3.0 мкг/г 10.0 мкг/г 19.0 мкг/г	А.А. Марьяш с соавт., 2010 [47]
Лагуна Буссе (соединена с зал. Анива в Охотском море)			
Хл *a*+Ф Ф *a* Хл *a*+Ф Ф *a*	Июль 2013 г. Ноябрь 2013 г.	0.2–70.2 мкг/г 42.2–94.1 % 0.2–21.6 мкг/г 35.5–64.1 %	Т.Г. Коренева с соавт., 2021 [48]
Залив Анива (Охотское море)			
Хл *a* + Ф Ф *a* Хл *a* + Ф Ф *a*	Май 2005 г. Октябрь–ноябрь 2013 г.	1.9–9.0 мкг/г 63.7–93.1 % 4.4–19.5 мкг/г 59.9–100 %	Т.Г. Коренева и Л.Е. Сигарева, 2019 [17]

Доля Ф *a* от его суммы с Хл *a* в зал. Анива (71.9–100 %) была выше аналогичного показателя для лагуны Буссе (35.5–64.1 %). Более значительная деградация хлорофилла и его производных в процессе трансформации ОВ, очевидно, связана с глубоководностью зал. Анива (до 110 м, тогда как максимальная глубина в лагуне Буссе всего около 6 м). Это дает основание говорить о единых закономерностях функционирования водных экосистем.

Заключение

Получены данные о пигментах и их соотношениях в донных отложениях зал. Анива (Охотское море). Отмечено превалирование концентрации феопигментов над хлорофиллом *a*; увеличение, по сравнению с функционирующими растительными организмами, вклада вспомогательных хлорофиллов в общую их сумму за счет сильной деградации пигментного фонда, а также возрастание содержания об-

щих каротиноидов по сравнению с хлорофиллом *a*. Хлорофилл *a* вовлекается в процессы трансформации органических веществ в донных отложениях и разрушается быстрее, чем каротиноиды и феофитин. Показатели соотношения каротиноидов и хлорофилла в донных отложениях зал. Анива свидетельствуют о преобладании деструкционных процессов. Между всеми пигментными характеристиками донных отложений отмечены тесные корреляционные связи, указывающие на то, что деградации подвергаются все компоненты пигментного фонда, сформированного при активном функционировании растительных организмов.

Содержание и распределение пигментов по площади залива связано с гидродинамическими условиями в местах расположения станций и типологическими показателями донных отложений. Максимальные концентрации пигментов отмечены в илистых осадках в центре залива, где их формирование и накопление обусловлено значительной глубиной, минимальные – в песчаных осадках прибрежной части залива, гидродинамически активной и мелководной.

Концентрация пигментов, варьируя в зависимости от глубины в точке отбора, типа донных отложений и их физико-химических характеристик, отражает непосредственное влияние фитопланктона и других растительных организмов на формирование осадочного комплекса пигментов в заливе. Существование тесной связи между осадочными пигментами и глубиной (R^2 = 0.58–0.78), величиной pH (R^2 = 0.67–0.71), содержанием органического вещества (R^2 = 0.67–0.68), типом и свойствами донных отложений (R^2 = 0.54–0.71) позволяет использовать пигменты в качестве интегральных биоиндикаторов для характеристики экологического состояния залива.

Список литературы

1. Винберг Г.Г. **1961.** Современное состояние и задачи изучения первичной продукции водоемов. В кн.: *Первичная продукция морей и внутренних вод*. Минск: Изд-во Минва высшего, среднего и проф. образования, с. 11–24.
2. Звалинский В.И. **2006**. Формирование первичной продукции в море. *Известия ТИНРО*, 147: 276–302.
3. Petrenko D., Pozdnyakov D., Sychov V., Johannessen J., Counillon F. **2013.** Satellite-derived multi-year trend in primary production in the Arctic Ocean. *International J. of Remote Sensing*, 34(11): 3903–3937.
4. Sigareva L.E., Zakonnov V.V., Timofeeva N.A., Kasyanova V.V. **2013.** Sediment pigments and silting rate as indicators of the trophic condition of the Rybinsk reservoir. *Water Resources*, 40(1): 54–60. https://doi.org/10.1134/s0097807813010090
5. Sigareva L.E., Timofeeva N.A. **2014.** The phytoplankton role in formation of bottom sediment productivity in a large reservoir in the years with different temperature conditions. In: *Phytoplankton: biology, classification and environmental impacts*. New York: Nova Sci. Publ. Chapter 6: 161–175.
6. Раузер-Черноусова Д.М. **1930.** О количественном распределении хлорофилла в современных и ископаемых морских осадках. *Бюл. Московского общества испытателей природы. Отд. геол*., 8(3–4): 285–299.
7. Минкина Н.И., Самышев Э.З., Копытов Ю.П. **2015.** Многолетние изменения уровня загрязнения и развития планктона в Севастопольской бухте. *Системы контроля окружающей среды*, 1(21): 82–93.
8. Chen J., Oseji O., Mitra M. et al. **2016.** Phytoplankton pigments in Maryland coastal bay sediments as biomarkers of sources of organic matter to benthic community. *J. of Coastal Research*, 32(4): 768–775. https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00223.1
9. Naeher S., Suga H., Ogawa N. et al. **2016.** Distributions and compound-specific isotopic signatures of sedimentary chlorins reflect the composition of photoautotrophic communities and their carbon and nitrogen sources in Swiss lakes and the Black Sea. *Chemical Geology*, 443: 198–209. https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.04.029
10. Krajewska M., Rajewska M., Szymczak-Żyła M., Kowalewska G. **2017.** Algal pigments in Hornsund (Svalbard) sediments as biomarkers of Arctic productivity and environmental conditions. *Polish Polar Research*, 38(4): 423–443. https://doi.org/10.1515/popore-2017-0025
11. Гаврина Л.Ю., Цхай Ж.Р., Шевченко Г.В. **2005.** Сезонная изменчивость концентрации хлорофилла в проливе Лаперуза по спутниковым и судовым измерениям. *Труды СахНИРО*, 7: 156–178.
12. Пропп Л.Н., Гаврина Л.Ю. **2005.** Сезонные вариации соединений биогенных элементов и продукционных характеристик в водах залива Анива по результатам экспедиционных исследований 2001–2002 гг. *Труды СахНИРО*, 7: 111–155.
13. Lazzari P., Solidoro C., Ibello V. et al. **2012.** Seasonal and inter-annual variability of plankton chlorophyll and primary production in the Mediterranean Sea: a modelling approach. *Biogeosciences*, 9: 217–233. https://doi.org/10.5194/bg-9-217-2012
14. Коренева Т.Г., Латковская Е.М. **2013.** Характеристика изменчивости вод залива Анива по содержанию пигментов фитопланктона. *Вода: химия и экология*, 10: 68–78.
15. Коренева Т.Г., Латковская Е.М., Частиков В.Н. **2014.** Сезонная динамика гидролого-гидрохимических характеристик и концентрации хлорофилла *a* в зал. Анива в 2003 г. *Вода: химия и экология*, 4: 33–45.
16. Захарков С.П., Штрайхерт Е.А., Шамбарова Ю.В. и др. **2016.** Определение концентрации хлорофилла *a* в Японском море с использованием зондирующего и проточного флуориметров. *Океанология*, 56(3): 482–490. https:// doi: 10.7868/S0030157416020210
17. Коренева Т.Г., Сигарева Л.Е. **2019.** Распределение хлорофилла *a* в донных отложениях залива Анива (Охотское море). *Биология моря*, 45(5): 299–308.
18. Леонов А.В., Пищальник В.М. **2012.** *Моделирование природных процессов в водной среде. Теоретические основы*. Южно-Сахалинск: СахГУ, 228 с.
19. Афанасьев В.В. **2020.** *Морфолитодинамические процессы и развитие берегов контактной зоны субарктических*

и умеренных морей Северной Пацифики. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 171 с. https://doi:10.30730/978-5-6040621-8-0.2020-1

20. Орлова Т.Ю., Селина М.С., Стоник И.В. и др. **2007.** Фитопланктон прибрежных вод острова Сахалин и потенциально токсичные виды в его составе. В кн.: *Реакция морской биоты на изменения природной среды и климата*. Владивосток: Дальнаука, с. 233–263.
21. Балконская Л.А., Чумаков А.А. **2005.** Современное состояние *Laminaria japonica* Aresch в традиционных районах промысла у берегов Южного Сахалина. В кн.: *Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки*: Тез. докл. 2-й междунар. науч.-практ. конф. М.: ВНИРО, с. 13–16.
22. Евсеева Н.В., Репникова А.Р. **2010.** Ресурсы промысловых водорослей Сахалино-Курильского региона. *Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов*, 3: 14–21.
23. Аминина Н.М., Вишневская Т.И., Галанин Д.А. и др. **2014.** Характеристика промысловых запасов сахарины японской в заливе Анива (Охотское море). *Известия ТИНРО*, 178: 116–123.
24. Щукина Г.Ф., Галанин Д.А., Балконская Л.А. **2003.** Структура и распределение прибрежных донных сообществ залива Анива. *Труды СахНИРО*, 5: 3–24.
25. Киселев И.А. **1959.** Качественный и количественный состав фитопланктона и его распределение в водах у Южного Сахалина и южных Курильских островов. *Исследования дальневосточных морей*, 9: 58–77.
26. Орлова Т.Ю., Селина М.С., Стоник И.В. **2004.** Видовой состав микроводорослей планктона Охотоморского прибрежья острова Сахалин. *Биология моря*, 30(2): 96–104.
27. Селина М.С., Стоник И.В., Кантаков Г.А., Орлова Т.Ю. **2005.** Сезонная и межгодовая изменчивость видового состава фитопланктона залива Анива Охотского моря. *Труды СахНИРО*, 7: 179–196.
28. Могильникова Т.А., Никулина Т.В., Коренева Т.Г. и др. **2017.** Фитопланктон и химические показатели прибрежных вод юго-западного и южного Сахалина (Татарский пролив, залив Анива). В кн.: *Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова*, вып. 7: 151–167.
29. Пищальник В.М., Климов С.М. **1991.** *Каталог глубоководных наблюдений, выполненных в шельфовой зоне острова Сахалин в период 1948–1987 гг.* Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 166 с.
30. Сигарева Л.Е. **2012.** *Хлорофилл в донных отложениях волжских водохранилищ*. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 217 с.
31. Лисицын А.П., Безруков П.Л. **1960.** Классификация осадков современных морских водоемов. *Геологические исследования в дальневосточных морях*: Тр. Ин-та океанологии, 32: 3–14.
32. Лакин Г.Ф. **1990.** *Биометрия*. М.: Высшая школа, 352 с.
33. Möller W.A.A., Scharf B.W. **1986.** The content of chlorophyll in the sediment of the volcanic maar lakes in the Eifel region (Germany) as an indicator for eutrophication. *Hydrobiologia*, 143: 327–329. https://doi.org/10.1007/bf00026678
34. Сиренко Л.А. **1988.** Информационное значение хлорофиллного показателя. *Гидробиологический журнал*, 24(4): 49–53.
35. Lorenzen C.J. **1967.** Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 12(2): 343–346. https://doi.org/10.4319/lo.1967.12.2.0343
36. Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А., Законнов В.В. **2004.** Особенности распределения растительных пигментов в донных отложениях Чебоксарского водохранилища. *Гидробиологический журнал*, 40(5): 27–35.
37. Breton E., Brunet C., Sautour B., Brylinski J.-M. **2000.** Annual variations of phytoplankton biomass in the Eastern English Channel: comparison by pigment signatures and microscopic counts. *J. of Plankton Research*, 22(8): 1423–1440. https://doi.org/10.1093/plankt/22.8.1423
38. Елизарова В.А. **1974**. Содержание фотосинтетических пигментов в единице биомассы фитопланктона. *Труды Ин-та биологии внутр. вод АН СССР*, 28(31): 46–64.
39. Yacobi Y.Z., Pollingher U., Gonen Y. **1996**. HPLC analysis of phytoplankton pigments from Lake Kinneret with special reference to the bloom-forming dinoflagellate Peridiniumgatunense (Dinophyceae) and chlorophyll degradation products. *J. Plankton Research*, 18(10): 1781–1796.
40. Goericke R., Montoya J.P. **1998**. Estimating the contribution of microalgal taxa to chlorophyll a in the field-variations of pigments ratios under nutrient and light limited growth. *Marine Ecology Progress Series*, 169: 97–112.
41. Gieskes W.W., Kraay G.W., Nontij A. et al. **1988**. Monsoonal alteration of a mixed and layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): a mathematical analysis of algal pigment fingerprints. *Netherlands J. of Sea Research*, 22: 123–137.
42. Leavitt P.R. **1993**. A review of factors that regulate carotenoid and chlorophyll deposition and fossil pigment abundance. *J. Paleolimnology*, 9: 109–127.
43. Margalef R. **1966.** Ecological correlations and the relationship between primary productivity and community structure. In: *Primary productivity in aquatic environments*. Berkeley: Univ. California Press, p. 355–364. https://doi.org/10.1525/9780520318182-026
44. Бульон В.В. **1978.** Содержание феопигментов в планктоне (обзор). *Гидробиологический журнал*, 14(3): 62–69.
45. Курейшевич А.В., Сиренко Л.А., Медведь В.А. **1999.** Многолетняя динамика содержания хлорофилла *a* и особенности развития фитопланктона в Днепродзержинском водохранилище. *Гидробиологический журнал*, 35(2): 49–62.
46. Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А. **2011.** Межгодовая динамика содержания хлорофилла *a* в донных отложениях Рыбинского водохранилища (Россия). *Альгология*, 21(2): 190–201.
47. Марьяш А.А., Ходоренко Н.Д., Звалинский В.И., Тищенко П.Я. **2010.** Хлорофилл, гуминовые вещества и органический углерод в эстуарии реки Раздольная в период ледостава. *Вестник ДВО РАН*, 6: 44–51.
48. Коренева Т.Г., Сигарева Л.Е., Латковская Е.М. **2021**. Содержание хлорофилла *a* в донных отложениях мелководной лагуны Буссе (остров Сахалин). *Биология моря*, 47(5): 299–308.

References

1. Vinberg G.G. **1961**. Current state and problems of studying the primary production of water bodies. In: *Primary production of seas and inland waters*. Minsk: Publ. House of the Ministry of Higher, Secondary and Vocational Education, p. 11–24.
2. Zvalinsky V.I. **2006**. Formation of primary production in the sea. *Izvestiya TINRO*, 147: 276–302.
3. Petrenko D., Pozdnyakov D., Sychov V., Johannessen J., Counillon F. **2013**. Satellite-derived multi-year trend in

primary production in the Arctic Ocean. *International J. of Remote Sensing*, 34(11): 3903–3937.

4. Sigareva L.E., Zakonnov V.V., Timofeeva N.A., Kasyanova V.V. **2013**. Sediment pigments and silting rate as indicators of the trophic condition of the Rybinsk reservoir. *Water Resources*, 40(1): 54–60. https://doi.org/10.1134/s0097807813010090
5. Sigareva L.E., Timofeeva N.A. **2014.** The phytoplankton role in formation of bottom sediment productivity in a large reservoir in the years with different temperature conditions. In: *Phytoplankton: biology, classification and environmental impacts*. New York: Nova Sci. Publ. Chapter 6: 161–175.
6. Rauzer-Chernousova D.M. **1930.** [On the quantitative distribution of chlorophyll in modern and fossil marine sediments]. *Byul. Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otd. geol*., 8(3–4): 285–299. (In Russ.).
7. Minkina N.I., Samyshev E.Z., Kopytov Yu.P. **2015.** [Long-term changes in pollution level and plankton development in the Bay of Sevastopol]. *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy*, 1(21): 82–93. (In Russ.).
8. Chen J., Oseji O., Mitra M. et al. **2016.** Phytoplankton pigments in Maryland coastal bay sediments as biomarkers of sources of organic matter to benthic community. *J. of Coastal Research*, 32(4): 768–775. https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00223.1
9. Naeher S., Suga H., Ogawa N. et al. **2016.** Distributions and compound-specific isotopic signatures of sedimentary chlorins reflect the composition of photoautotrophic communities and their carbon and nitrogen sources in Swiss lakes and the Black Sea. *Chemical Geology*, 443: 198–209. https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.04.029
10. Krajewska M., Rajewska M., Szymczak-Żyła M., Kowalewska G. **2017.** Algal pigments in Hornsund (Svalbard) sediments as biomarkers of Arctic productivity and environmental conditions. *Polish Polar Research*, 38(4): 423–443. https://doi.org/10.1515/popore-2017-0025
11. Gavrina L.Yu., Tskhai Zh.R., Shevchenko G.V. **2005.** [Seasonal variability of chlorophyll concentration in the La Pérouse Strait according to the satellite and shipboard measurements]. *Trudy SakhNIRO = Transactions of the "SakhNIRO"*, 7: 156–178. (In Russ.).
12. Propp L.N., Gavrina L.Yu. **2005.** [Seasonal variations in nutrient compounds and production characteristics in the waters of Aniva Bay according to the results of expedition studies 2001–2002]. *Trudy SakhNIRO*, 7: 111–155. (In Russ.).
13. Lazzari P., Solidoro C., Ibello V. et al. **2012.** Seasonal and inter-annual variability of plankton chlorophyll and primary production in the Mediterranean Sea: a modelling approach. *Biogeosciences*, 9: 217–233. https://doi.org/10.5194/bg-9-217-2012
14. Koreneva T.G., Latkovskaya E.M. **2013.** Characteristics of water variability in the Aniva Bay in content of phytoplankton pigments. *Voda: khimiya i ekologiya*, 10: 68–78. (In Russ.).
15. Koreneva T.G., Latkovskaya E.M., Chastikov V.N. **2014.** Seasonal changes in the hydrological and hydrochemical characteristics and in the concentration of *a*-chlorophyll in Aniva Bay in 2005. *Voda: khimiya i ekologiya*, 4: 33–45. (In Russ.).
16. Zakharkov S.P., Shtraikhert E.A., Shambarova Y.V., Gordeichuk T.N., Shi X. **2016.** Measuring chlorophyll *a* concentrations in the Sea of Japan using probe and flow fluorimeters. *Oceanology*, 56(3): 444-451. https://doi.org/10.1134/s000143701602020x
17. Koreneva T.G., Sigareva L.E. **2019.** The distribution of chlorophyll *a* in the bottom sediments of Aniva Bay (Sea of Okhotsk). *Russian J. of Marine Biology*, 45(5): 341–349. https://doi.org/10.1134/s1063074019050067
18. Leonov A.V., Pishchal'nik V.M. **2012.** [*Modelling of natural processes in aquatic environment. Fundamentals.*]. Yuzhno-Sakhalinsk: SakhGU, 228 p. (In Russ.).
19. Afanasiev V.V. **2020**. *Morpholithodynamic processes and development of the shores of the contact zone of the subarctic and temperate seas of the North Pacific*. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGG FEB RAS, 171 p. https://doi:10.30730/978-5-6040621-8-0.2020-1
20. Orlova T.Yu., Selina M.S., Stonik I.V. et al. **2007.** [Phytoplankton of coastal waters of the Island of Sakhalin and potentially toxic species of its composition]. In: *Reaktsiya morskoi bioty na izmeneniya prirodnoi sredy i klimata* [*Response of marine organisms to the climate and environment changes*]. Vladivostok: Dal'nauka, p. 233–263. (In Russ.).
21. Balkonskaya L.A., Chumakov A.A. **2005.** [Current state of Laminaria japonica Aresch in the tradition fishing areas near the Southern Sakhalin coast]. In: *Morskie pribrezhnye ekosistemy: vodorosli, bespozvonochnye i produkty ikh pererabotki*: Tez. dokl. 2 mezhdunar. nauch-prakt. konf. [*Marine coastal ecosystems: algae, invertebrates and products of their processing*: Abstracts of 2 Intern. scientific and pract. conf.]. Moscow: VNIRO, p. 13–16. (In Russ.).
22. Evseeva N.V., Repnikova A.R. **2010.** [Commercial algae resources of the Sakhalin-Kuril region]. *Rybprom: tekhnologii i oborudovanie dlya pererabotki vodnykh bioresursov* [*Rybprom: technologies and equipment for the processing of water bioresources*], 3: 14–21. (In Russ.).
23. Aminina N.M., Vishnevskaya T.I., Galanin D.A., Repnikova A.R., Guruleva O.N. **2014.** Description of *Saccharina japonica* commercial stock in the Aniva Bay (Okhotsk Sea). *Izvestiya TINRO = Transactions of the Pacific Research Institute of Fisheries and Oceanography*, 178: 116–123. (In Russ.). https://doi.org/10.26428/1606-9919-2014-178-116-123
24. Shchukina G.F., Galanin D.A., Balkonskaya L.A. **2003.** [Structure and distribution of the coastal benthos communities of Aniva Bay]. *Trudy SakhNIRO*, 5: 3–24. (In Russ.).
25. Kiselev I.A. **1959.** Qualitative and quantitative composition of phytoplankton and its distribution in the waters near South Sakhalin and the southern Kuril Islands. *Research of the Far Eastern Seas*, 9: 58–77.
26. Orlova T.Yu., Selina M.S., Stonik I.V. **2004.** Species composition of plankton microalgae of the Sea of Okhotsk coast of Sakhalin Island. *Russian J. of Marine Biology*, 30(2): 96–104.
27. Selina M.S., Stonik I.V., Kantakov G.A., Orlova T.Yu. **2005**. Seasonal and interannual variability of the species composition of phytoplankton in the Aniva Bay of the Sea of Okhotsk. *Trudy SakhNIRO*, 7: 179–196. (In Russ.).
28. Mogil'nikova T.A., Nikulina T.V., Koreneva T.G. et al. **2017.** [Phytoplankton and chemical indices of coastal waters of the Southwestern and South Sakhalin (Tatar Strait, Aniva Bay)]. In: *Chteniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova* [*Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings*], 7: 151–167. (In Russ.).
29. Pishchal'nik V.M., Klimov S.M. **1991.** [*Catalog of deep-water observations carried out in the shelf zone of Sakhalin Island during the 1948–1987 period*]. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGiG DVO RAN, 166 p. (In Russ.).
30. Sigareva L.E. **2012.** [*Chlorophyll in bottom sediments of the Volga reservoirs*]. M.: Tovarishchestvo nauchnykh izdanii KMK, 217 p. (In Russ.).
31. Lisitsin A.P., Bezrukov P.L. **1960**. Classification of sediments of modern marine reservoirs. *Geological research in the Far Eastern seas: Tr. of the Institute of Oceanology*, 32: 3–14.
32. Lakin G.F. **1990.** [*Biometry*]. Moscow: Vysshaya shkola, 352 p. (In Russ.).

33. Möller W.A.A., Scharf B.W. **1986.** The content of chlorophyll in the sediment of the volcanic maar lakes in the Eifel region (Germany) as an indicator for eutrophication. *Hydrobiologia*, 143: 327–329. https://doi.org/10.1007/bf00026678

34. Sirenko L.A. **1988.** [Informational meaning of the chlorophyll index]. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 24(4): 49–53. (In Russ.).

35. Lorenzen C.J. **1967.** Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 12(2): 343–346. https://doi.org/10.4319/lo.1967.12.2.0343

36. Sigareva L.E., Timofeeva N.A., Zakonnov V.V. **2004.** [Peculiarities of the distribution of plant pigments in bottom sediments of the Cheboksary reservoir]. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 40(5): 27–35. (In Russ.).

37. Breton E., Brunet C., Sautour B., Brylinski J.-M. **2000.** Annual variations of phytoplankton biomass in the Eastern English Channel: comparison by pigment signatures and microscopic counts. *J. of Plankton Research*, 22(8): 1423–1440. https://doi.org/10.1093/plankt/22.8.1423

38. Elizarova V.A. **1974**. The content of photosynthetic pigments in a unit of phytoplankton biomass. *Proceedings of the Institute of Biology of Inland Waters of the USSR Academy of Sciences*, 28(31): 46–64.

39. Yacobi Y.Z., Pollingher U., Gonen Y. **1996**. HPLC analysis of phytoplankton pigments from Lake Kinneret with special reference to the bloom-forming dinoflagellate Peridiniumgatunense (Dinophyceae) and chlorophyll degradation products. *J. Plankton Research*, 18(10): 1781–1796.

40. Goericke R., Montoya J.P. **1998**. Estimating the contribution of microalgal taxa to chlorophyll a in the field-variations of pigments ratios under nutrient and light limited growth. *Marine Ecology Progress Series*, 169: 97–112.

41. Gieskes W.W., Kraay G.W., Nontij A. et al. **1988**. Monsoonal alteration of a mixed and layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): a mathematical analysis of algal pigment fingerprints. *Netherlands J. of Sea Research*, 22: 123–137.

42. Leavitt P.R. **1993**. A review of factors that regulate carotenoid and chlorophyll deposition and fossil pigment abundance. *J. Paleolimnology*, 9: 109–127.

43. Margalef R. **1966.** Ecological correlations and the relationship between primary productivity and community structure. In: *Primary productivity in aquatic environments*. Berkeley: Univ. California Press, p. 355–364. https://doi.org/10.1525/9780520318182-026

44. Bul'on V.V. **1978.** [Content of phaeopigments in plankton (review)]. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 14(3): 62–69. (In Russ.).

45. Kureishevich A.V., Sirenko L.A., Medved' V.A. **1999.** [Multiyear dynamics of chlorophyll *a* content and the features of phytoplankton development in Dneprodzerzhinsk reservoir]. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 35(2): 49–62. (In Russ.).

46. Sigareva L.E., Timofeeva N.A. **2011.** [Interannual dynamics of chlorophyll *a* content in bottom sediments of the Rybinsk reservoir (Russia)]. *Al'gologiya*, 21(2): 190–201. (In Russ.).

47. Maryash A.A., Khodorenko N.D., Zvalinsky V.I., Tishchenko P.Ya. **2010.** Chlorophyll, humic substances and organic carbon in estuary of the Razdolnaya River during a freeze-up. *Vestnik of the FEB RAS*, 6: 44–51. (In Russ.).

48. Koreneva T.G., Sigareva L.E., Latkovskaya E.M. **2021.** The content of chlorophyll *a* in the bottom sediments of the shallow lagoon Busse (Sakhalin Island). *Russian J. of Marine Biology*, 47(5): 299–308. https://doi.org/10.31857/s0134347521050077

Об авторах

Коренева Татьяна Георгиевна (https://orcid.org/0000-0003-1030-3286), кандидат биологических наук, заведующая лабораторией исследований среды и мониторинга антропогенного воздействия, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), Южно-Сахалинск, t.koreneva@sakhniro.ru

Сигарева Любовь Евгеньевна (https://orcid.org/0000-0003-4894-3262), доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории альгологии Института биологии внутренних вод РАН им. И.Д. Папанина (ИБВВ РАН), пос. Борок, Ярославская область, sigareva@ibiw.ru

About the Authors

Koreneva, Tatiana G. (https://orcid.org/0000-0003-1030-3286), Cand. Sci. (Biology), Head of the Laboratory of environmental research and monitoring of anthropogenic impact, Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (SakhNIRO), Yuzhno-Sakhalinsk, t.koreneva@sakhniro.ru

Sigareva, Lubov E. (https://orcid.org/0000-0003-4894-3262), Doctor of Biology, Leading Researcher, Laboratory of algology, Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Yaroslavl Region, sigareva@ibiw.ru

Поступила в редакцию 9.03.2022
После рецензирования 24.03.2022
Принята к публикации 25.03.2022

Received 9 March 2022
Revised 24 March 2022
Accepted 25 March 2022

Правила оформления и публикации рукописей в журнале «Геосистемы переходных зон»

E-mail: gtrz-journal@mail.ru

Список научных специальностей

и соответствующих им отраслей науки, по которым журнал «Геосистемы переходных зон» включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук

Шифр	Наименование группы научных специальностей, наименование научной специальности	Наименование отраслей науки, по которым присуждается ученая степень
25.00.00	**Науки о Земле**	
25.00.01	Общая и региональная геология	Геолого-минералогические
25.00.03	Геотектоника и геодинамика	Геолого-минералогические
25.00.04	Петрология, вулканология	Геолого-минералогические
25.00.10	Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых	Геолого-минералогические Физико-математические
25.00.25	Геоморфология и эволюционная география	Географические
25.00.28	Океанология	Географические Геолого-минералогические Физико-математические
25.00.35	Геоинформатика	Геолого-минералогические Физико-математические
25.00.36	Геоэкология	Геолого-минералогические Географические
01.02.00	**Механика**	
01.02.04	Механика деформируемого твердого тела	Физико-математические Технические

График выхода журнала: № 1 – март; № 2 – июнь; № 3 – сентябрь; № 4 – декабрь.

Журнал публикует оригинальные и обзорные научные статьи, краткие научные сообщения, письма с дискуссией по статьям, рецензии на научные издания, а также сообщения о конференциях, семинарах, экспедициях, об изданной научной литературе.

Научным статьям и сообщениям присваивается идентификатор CrossRef – *DOI (Digital Object Identification)*.

Журнал «Геосистемы переходных зон» имеет DOI: https://doi.org/10.30730/gtrz

Рукописи принимаются в электронной форме в течение года по e-mail: gtrz-journal@mail.ru

Заказные и ценные письма и бандероли редакция не получает.

В журнале принято *двустороннее слепое рецензирование* (подробнее о порядке рецензирования см. на сайте журнала). В качестве рецензентов выступают известные специалисты по данному направлению, имеющие публикации по тематике статьи и необходимый уровень цитирования.

Выбор рецензента – прерогатива редколлегии, но авторы могут указать в сопроводительном письме 4–6 потенциальных рецензентов своей работы (минимум из 2 разных регионов или разных стран; эксперты в данной области; отсутствие сотрудничества, в том числе соавторства за последние 3 года; не члены редколлегии журнала). Авторы также имеют право указать имена тех специалистов, кому, по их мнению, не следует отправлять работу в связи с возможным конфликтом интересов. Данная информация является строго конфиденциальной и принимается во внимание при организации рецензирования, кроме случаев, когда у редактора есть более веские основания, чем у автора.

Если статья не отвечает тематике журнала, не содержит предмета научного исследования, не соответствует этическим требованиям, дублирует опубликованные материалы, логически не выстроена, изложена неудобоваримым языком и т.п., редакция может аргументированно отказать автору в публикации на основании первичного скрининга, до проведения рецензирования.

Решение о публикации принимает редакционная коллегия в течение 3–4 месяцев со дня получения материалов на основании минимум 2 рецензий. Рецензии хранятся в редакции в течение 5 лет.

Решение о публикации принимает редакционная коллегия в течение 3–4 месяцев со дня получения материалов на основании минимум 2 рецензий. Рецензии хранятся в редакции в течение 5 лет.

Статью с копиями рецензий и редакционными замечаниями высылают автору. Возвращение рукописи на доработку еще не означает принятия ее к публикации. Вся дальнейшая работа над статьей идет в редакционном файле, в котором автор дорабатывает текст и присылает его вместе с ответным письмом. Ответное письмо следует писать в файле с рецензией или редакционным заключением. В нем нужно:

- ответить на каждый комментарий рецензентов;
- указать конкретно, какие именно изменения внесены в статью;
- написать убедительное, вежливое возражение, если, по мнению автора, рецензент неправ.
- поблагодарить рецензента за полезные замечания и конструктивную критику.

Редколлегия на основании рецензий и ответной реакции автора определяет дальнейшую судьбу рукописи.

Принятую к печати статью снова читает редактор и согласовывает с автором правки, связанные с содержанием. Готовый к верстке файл следует внимательно вычитать, поскольку в верстке допустима только мелкая правка.

Работу включают в план номера. Содержание номера утверждает ответственный за номер и/или главный редактор, за которым остается право отклонить статью по серьезным на то основаниям (конфликт интересов, недостаточный уровень новизны исследования и т.п.). В случае принятия статьи к публикации автору сообщают, в каком номере она будет опубликована.

Авторы статей несут ответственность за содержание статей и факт их публикации, о чем подписывают авторское заявление.

Редакция вправе изъять уже опубликованную статью, если выяснится, что в процессе ее публикации были нарушены чьи-либо права или общепринятые нормы научной этики. О факте изъятия статьи редакция сообщает ее автору, специалистам, давшим рекомендацию или рецензию, организации, где работа выполнялась, и в базу научного цитирования, в которой журнал индексируется.

Публикация статей бесплатна для авторов. По запросу авторов редакция после выхода журнала в свет высылает pdf-файл с опубликованной статьей. Печатные экземпляры издания можно приобрести в редакции или оформив подписку по интернет-каталогу «Пресса России» (индекс 80882). Подписавшиеся на журнал, сделав своевременно по электронной почте запрос в редакцию, получат бесплатно pdf-файл с электронной версией журнала в течение недели после подписания его в печать.

Структура основного файла

Тематическая рубрика из приведенного выше списка специальностей.

Индекс УДК по таблицам Универсальной десятичной классификации, имеющимся в библиотеках, или с помощью интернет-ресурса http://teacode.com/online/udc/

Заглавие. 10–12 слов. Короткое, емкое. По возможности избегайте общих слов, научных жаргонизмов и аббревиатур. В идеале все слова названия могут служить ключевыми при научном поиске.

Инициалы и фамилии авторов (отметить звездочкой автора для контактов и указать e-mail для переписки).

Полные названия учреждений (как они значатся в Уставе), к которым аффилированы авторы, и их местонахождение (город, страна).

Реферат (*резюме, аннотация*) – ***Abstract***. Объем 200–300 слов. Без прочтения всей статьи дает четкое представление о цели статьи, ее научной новизне и достигнутых результатах.

Для иностранных ученых абстракт зачастую является единственным источником информации о содержании русскоязычной статьи и изложенных в ней результатах исследования.

Авторский реферат должен:

- описать основные цели исследования («Describe the main objective(s) of the study»);
- объяснить, как было проведено исследование, без методических деталей («Explain how the study was done, including any model organisms used, without methodological detail»);
- суммировать наиболее важные результаты и их важность («Summarize the most important results and their significance»);
- не должен содержать ссылок на литературу и аббревиатуры (если возможно) («Abstracts should not include: Citations; Abbreviations, if possible»).

Избегайте пассивных глагольных форм (*The study tested*, но не *It was tested in this study*. *Мы доказали* звучит лучше, чем *Нами доказано*). Классическое безличное *было продемонстрировано, описано* как бы переводит на второй план личную ответственность.

Ключевые слова (не более 10, допустимы словосочетания из двух слов) в оптимальном варианте отражают: предмет исследования, методы, объект, специфику данной работы. Используются для индексирования и поиска. Призваны облегчить нахождение статьи в базах данных.

Благодарности *и сведения о* ***финансовой поддержке*** работы (с номерами грантов в скобках).

Текст статьи с вставленными в текст иллюстрациями и таблицами в программе Word любой версии без использования макросов. Если в статье есть формулы, символы и т.п., продублируйте файл в pdf.

Список цитируемых источников.

Сведения о всех авторах (в конце статьи): фамилия, имя, отчество, ученая степень, должность, лаборатория, кафедра или отдел с полным и сокращенным названием (аббревиатурой) учреждения (как в Уставе), ORCID (Open Researcher and Contributor ID), почтовый адрес, e-mail; телефон контактного автора.

Отдельными файлами прилагаются:

1) Авторское заявление (форму скачать на сайте журнала);

2) скан-копия Экспертного заключения (по форме, принятой в организации автора) о возможности опубликования в открытой печати;

3) графические материалы;

4) в случае необходимости разрешения на публикацию отдельных материалов (см. файл *О разрешениях на использование материалов третьих лиц* на сайте журнала).

На ***английском языке*** в файле со статьей дублируются:

- заглавие,
- имена и фамилии авторов,
- наименования организаций (как они значатся в Уставе),
- реферат и ключевые слова,
- подрисуночные подписи,
- заголовки и примечания к таблицам,
- сведения о финансовой поддержке работы и благодарности,
- полные сведения о всех авторах.

Транслитерация элементов (при необходимости) производится в системе BSI – с помощью сайта http://translit.ru/

Схему оформления статьи и рекомендуемый перевод званий и должностей см. на сайте журнала в файле «Образец оформления статьи».

Для лучшего восприятия и цитирования статьи желательно придерживаться четкой структуры, учитывая рекомендации АНРИ (Ассоциации научных редакторов и издателей), а также рекомендации EASE (European Association of Science Editors) для авторов и переводчиков научных статей, которые должны быть опубликованы на английском языке.

Введение

Осветите следующие вопросы:

- Современные взгляды на проблему.
- Что было сделано ранее (обзор литературы; укажите оригинальные и важные работы, в том числе последние обзорные статьи). Избегайте ссылок на устаревшие результаты. Выделите нерешенные вопросы в пределах общей проблемы.
- Какова ваша гипотеза, каковы ваши цели (постановка задачи с упором на новизну, четко сформулируйте цель статьи).
- Что было проделано вами.

Материал (объект) и методы исследования

- Опишите, как вы изучали поставленную проблему.
- Не описывайте процедуры и методы, данные о которых публиковались ранее.
- Укажите применяемое оборудование и опишите использованные материалы.

Результаты исследования или Эксперимент (исследование, моделирование и т.п.)

- Систематизированный авторский аналитический и статистический материал (ключевое слово здесь – систематизированный).
- Таблицы, графики и текст не должны дублировать друг друга.
- Рисунки и таблицы – это фактологическая история исследования. Они должны быть понятными и без текста, таблицы – не перегруженными, всё подписано и на своем месте. Не забудьте привести подрисуночные подписи и заголовки таблиц помимо русского на английском языке.

Обсуждение результатов – очень важный раздел.

- Желательно сравнить результаты с предыдущими работами в этой области как автора, так и других исследователей. Самый очевидный способ поднять цитирование – это не только представить свои данные, но и сопоставить их с мировыми или региональными аналогами. Модель и выводы должны быть универсальны с точки зрения восприятия учеными не только вашей специальности. Если модель хорошая, если выводы сделаны и обоснованы правильно, то они должны быть понятны любому.
- Не стоит игнорировать работы, чьи результаты противоречат вашим – вступите с ними в конструктивную дискуссию и убедите читателя в своей правоте.
- Чтобы предвосхитить возможные замечания рецензентов, обсудите ограничения ваших результатов – что не удалось сделать и почему.

При необходимости введите тематические подзаголовки, объедините некоторые разделы (Введение и методы, Результаты и обсуждение, Обсуждение и заключение, и т.п.).

Выводы и Заключение – это не одно и то же, но их, как правило, объединяют под заголовком Заключение.

Выводы лаконично излагают главные результаты, желательно фразами, отличающимися от высказанных в основной части статьи.

Важно: выводы должны четко коррелировать с формулировкой цели и задач работы, с результатами и содержанием аннотации.

Заключение

- Дает ответ на вопросы, что нового статья добавляет к уже опубликованным результатам и насколько работа позволяет продвинуться вперед в данной области знаний.
- Предлагает обобщения и рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивает их практическую значимость, определяет направления для дальнейшего исследования в этой области и, желательно, прогноз развития рассмотренных вопросов.

Список литературы

Обязательны работы последних 5–10 лет. Не забывайте о работах иностранных коллег. В обзорных статьях наряду с современными, новейшими источниками укажите те, в которых исследуемая тематика была затронута или разработана впервые. Минимизируйте ссылки на учебные пособия, справочники, энциклопедии и т.п., которые не могут быть серьезной основой для научного исследования.

Цитирование собственных работ не должно превышать 15–20 % от общего числа в списке.

Данные

В этом разделе автор может разместить дополнительную информацию – данные экспериментов, вспомогательных методов исследования и тому подобные данные, поддерживающие выводы в статье. По существу, это приложение к статье. Такая информация также может быть размещена в качестве дополнительного материала к статье в электронной версии журнала.

Обширная база данных вкупе с методами их обработки, имеющая самостоятельную научную ценность, может быть опубликована в виде отдельной работы со ссылкой на собственно научную статью, в которой обсуждаются результаты анализа этих данных.

Если результаты эксперимента еще не осмыслены на уровне обобщения, достойном статьи, но представляются важными для решения научной проблемы, оформите их в виде **краткого сообщения** (постановка задачи, экспериментальный материал, выводы, небольшой список литературы).

Что обычно смотрят рецензенты?

- Аннотацию-реферат прежде всего.
- Рисунки. Рецензенты с большим стажем выявили корреляцию: если рисунки проблемные, то статья скорее всего тоже вызовет вопросы.

Затем рецензенты проверят:

- насколько точно название отражает содержание статьи;
- четко ли коррелируют выводы с формулировкой цели и задач работы, изложением результатов и содержанием реферата;
- достаточно ли выводы аргументированы представленным материалом;
- качество списка литературы: представительный список литературы демонстрирует профессиональный кругозор авторов и научный уровень исследования.

Основные требования к оформлению статьи

Формат листа	А4
Поля	по 1,5 см со всех сторон
Шрифты	Times New Roman – для текста, Symbol – для греческих букв
Размер шрифта	12–13
Десятичный символ	точка, а не запятая
Межстрочный интервал	1,15
Выравнивание текста	по левому краю
Автоматическая расстановка переносов	нет

Все текстовые элементы (в том числе в библиографических списках), кроме случаев, подчиняющихся общепринятым орфографическим правилам, *набираются строчными* (не прописными!) буквами. В русскоязычном тексте используются «кавычки», но не “кавычки”. Даты в тексте в форме «число.месяц.год» набиваются следующим образом: 02.05.1991.

Точка не ставится после: УДК, заглавия статьи, авторов, адресов, заголовков и подзаголовков, названий таблиц, размерностей (с – секунда, г – грамм, мин – минута, ч – час, сут – сутки (но мес. – месяц, г. – год), млн – миллион, млрд и т.п.), в подстрочных индексах ($T_{пл}$ – температура плавления).

Пробелом отделяются инициалы от фамилии (*А.А. Иванов*); размерность от цифры: 100 кПа, 77 К, 50 %, 10 ‰, кроме градусов: 90° (но 20 °С); порядковые номера от любого обозначения: рис. 1, fig. 1, табл. 2; знак широты и долготы в географических координатах: 56.5° N; 85.0° E.

Между двумя цифрами ставится не дефис, а тире (одновременным нажатием Ctrl и тире на правой цифровой панели) без пробелов с обеих сторон, например: 1984–1991 гг.; 6–8 м.

Математические формулы, оформляемые отдельной строкой и содержащие знаки, отсутствующие в Times New Roman, должны набираться *целиком* в редакторе, совместимом с Microsoft Office.

Формулы и символы, которые можно внести в текст, не используя специальный редактор, набираются латиницей и/или через опцию Вставка – Символ. Нежелательно использовать символы в рефератах на русском и английском языках – в интернет-сети символы не отображаются.

Латинские символы набираются в тексте курсивом, греческие прямым.

Таблицы должны быть озаглавлены, в них не должно быть пустых ячеек. Прочерки обязательно поясняются в примечании. При создании таблиц используйте возможности Word (*Вставка – Таблица – Добавить таблицу*).

Иллюстративные материалы размещаются по тексту статьи (через опцию *Вставка – Рисунок – Обтекание – В тексте*). Рисунки к тексту не привязывайте и не размещайте их вместе с подписями в форме таблиц! Если Word не дает возможности показать желаемое для вас расположение рисунков и их частей, сделайте макет и представьте его в PDF.

Для верстки статьи рисунки представляются в виде отдельных файлов в той версии, в которой они создавались.

Размеры рисунков, шрифтов надписей на них должны быть выбраны с учетом размеров полосы и колонки. *Ширина рисунка* с учетом его уменьшения в книжной ориентации страницы – не более 170 мм, в альбомной ориентации – не более 230 мм. Возможна публикация в электронном виде карт и схем, не укладывающихся в стандартный лист формата А4 (прилагаются к статье в виде дополнительных файлов).

Толщина линий сетки координат на рисунке – 0.15 мм, основных линий – от 0.2 мм, но не более 0.4 мм.

Рисунки оформляются *без рамок*.

Все *надписи* в рисунках должны быть выполнены 9–10 кеглем шрифта Arial (основной). Для второстепенных, подчиненных надписей размер шрифта может быть уменьшен до 8 pt. Буквенная нумерация частей рисунков выполняется 10 кеглем шрифта Arial (курсив). Порядковые литеры обозначаются латиницей.

Надписи на осях начинаются с прописной буквы: Глубина, м. В десятичных дробях на рисунках (как и в тексте) ставьте точки, а не запятые.

Желательно в русскоязычных статьях надписи на рисунках давать на английском языке при условии, что для русского читателя это не будет препятствием к восприятию информации. Это требование касается всех рисунков к статье (недопустимо часть рисунков представлять с надписями на русском, а часть – на английском; исключение составляют географические карты), т.е. надписи даются или на всех рисунках на русском, или на всех на английском.

В подрисуночных подписях сначала идет общий заголовок к рисунку, а затем расшифровка частей и легенды. Литеры для обозначения частей рисунка как на рисунках, так и в подписях ставятся в скобках: (a), (b) и т.д.

Графика представляется в форматах tiff, cdr (CorelDraw) версий 12.0(2004) или X4(2008), с возможностью редактирования (требования к шрифту, толщине линий и другим параметрам иллюстраций см. выше). При экспорте из других программ использовать формат PostScript (eps) с разрешением не менее 300 dpi.

Фотографии, сканированные материалы представляются в формате tiff или jpg (сохранение в формате jpg необходимо производить в максимальном или высоком качестве). *Разрешение* растровой графики должно составлять не менее 300 dpi. То же касается основы для производства векторных изображений.

Объем каждого графического файла – не более 10 Мб.

В тексте должны быть ссылки на все рисунки.

Величины и единицы измерения должны соответствовать стандартным обозначениям согласно Международной системе единиц СИ.

Список литературы (подробнее см. на сайте файл *Оформление ссылок в списке литературы*) помещается после основного текста статьи. Он составляется в порядке упоминания источников в тексте и нумеруется. Ссылки на литературу в тексте даются в квадратных скобках с указанием порядкового номера источника в списке: [4–6, 2].

Авторы числом до 10 приводятся все.

Курсивом выделяется при описании моноизданий название работы, а в аналитическом описании – название источника.

Списки литературы с учетом требований международных систем цитирования должны быть приспособлены для автоматической обработки с целью идентификации ссылок. Русскоязычные (на кириллице) ссылки машины не считывают, поэтому журнал помещает библиографические списки не только на языке оригинала, но и в латинице.

На основе списка литературы, приведенного в рукописи, редакция составляет References. Неточность в библиографических описаниях приводит к потере ссылок в базах цитирования и поэтому недопустима.

Все источники должны легко обнаруживаться средствами поисковых систем (Google, Yandex и др.).

В тексте должны быть ссылки на все приведенные в списке источники.

В список литературы **не включаются**:

- учебники;
- статьи из ненаучных журналов;
- нормативные и законодательные акты;
- статистические сборники и архивы;
- электронные неопубликованные ресурсы (онлайн-статьи, газетные и любые новостные ресурсы, доклады и разные исследования на сайтах, сайты учреждений и организаций);
- словари, энциклопедии, другие справочники;
- отчеты, записки, рапорты, протоколы.

Указанные источники оформляются в виде внутритекстовых ссылок в круглых скобках или в виде постраничных сносок внизу страницы.

Автор должен привести описания английских версий публикаций или библиографические сведения на английском языке, имеющиеся в оригинале (Ф.И.О. авторов на латинице, англоязычное название работы, название источника (журнала) в транслитерации и параллельное англоязычное, если оно есть в оригинале или на сайте), с указанием после выходных данных языка публикации (например, In Russ., In Chin., In Japan). Если же авторы переводят самостоятельно на английский язык названия статей, монографий, сборников статей, конференций и т.п., редакция просит такой перевод заключать в квадратные скобки.

Чтобы не терять ссылки в базах, автор при подаче рукописи в редакцию должен настаивать на идентичной, однажды избранной им форме транслитерации своей фамилии. Однако в списке литературы фамилии и инициалы авторов на латинице следует приводить так, как они даны в оригинальной публикации.

Правила библиографического описания одинаковы для русскоязычных и англоязычных источников. В журнале принят стиль библиографических описаний, близкий к стилю APA – American Psychological Association (с элементами стиля Chicago).

Обязательные элементы: *авторы (редакторы), год издания, полное наименование книги или статьи, место издания, издательство, название источника в полной форме, том, номер, количественная характеристика* (для книги – общее число страниц, для статьи или главы – страницы, на которых она помещена, например: 5–10), идентификатор doi (если имеется) в формате https://doi.org/ или унифицированный идентификатор ресурса URI (URL) и дата обращения.

Примеры библиографических описаний в списке литературы

Монографическое издание

1. Грачев А.Ф. (ред.) **1998**. *Новейшая тектоника Северной Евразии:* Объясн. *записка к карте новейшей тектоники Сев. Евразии м-ба 1:5 000 000.* М.: ГЕОС, 147 с.

   Grachev A.F. (ed.) **1998**. *Noveyshaya tektonika Severnoy Evrazii: Ob"yasn. zapiska k karte noveyshey tektoniki Severnoy Evrazii m-ba 1:5 000 000*. Moscow: GEOS, 147 p. (In Russ.).

2. Родников А.Г., Забаринская Л.П., Рашидов В.А., Сергеева Н.А. **2014**. *Геодинамические модели глубинного строения регионов природных катастроф активных континентальных окраин.* М.: Научный мир, 172 с.

3. *Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005 гг.* **2006.** Авт: Поплавская Л.Н., Иващенко А.И., Оскорбин Л.С., Нагорных Т.В., Пермикин Ю.Ю., Поплавский А.А., Фокина Т.А., Ким Ч.У., Краева Н.В., Рудик М.И. и др. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 103 с. ИЛИ:

   Поплавская Л.Н. (ред.) **2006.** *Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005 гг.* Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 103 с.

   Poplavskaya L.N. (ed) **2006.** [*Regional catalogue of Sakhalin Island earthquakes, 1905–2005*]. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGiG DVO RAN [Yuzhno-Sakhalinsk: IMGG FEB RAS], 103 p. (In Russ.).

4. Кочарян Г.Г. **2016.** *Геомеханика разломов*. М.: ГЕОС, 424 с.

   Kocharyan G.G. **2016.** *Geomechanics of faults. Moscow:* GEOS, 424 p.

5. *IPCC: Climate Change 2013 – The Physical Science Basis – Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. **2013.** Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1535 p. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/ (accessed 13.11.2019).

6. Max M.D. (ed.) **2000**. *Natural gas hydrate*. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Acad. Publ., 410 p. (Oceanic and Permafrost Environments; 5). https://doi.org/10.1007/978-94-011-4387-5

Статья (или монографическая работа) в периодическом издании

7. Blunden J., Arndt D.S. (eds) **2017**. State of the Climate in 2016. *Bull. of the American Meteorological Society*, 98(8): Si–S277. https://doi.org/10.1175/2017BAMSStateoftheClimate.1

8. Elliott S., Maltrud M., Reagan M., Moridis G., Cameron-Smith P. **2011**. Marine methane cycle simulations for the period of early global warming. *J. of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G1): G01010, 13 p. https://doi.org/10.1029/2010jg001300

9. Pletchov P.Y., Gerya T.V. **1998**. Effect of H_2O on plagioclase-melt equilibrium. *Experiment in Geosciences*, 7(2): 7–9. URL: http://library.iem.ac.ru/exper/v7_2/khitar.html#pletchov (accessed 14.11.2019).

Статья, опубликованная в русской и английской версиях журнала

10. Щербаков В.Д., Некрылов Н.А., Савостин Г.Г., Попов Д.В., Дирксен О.В. **2017**. Состав расплавных включений в минералах тефр почвенно-пирокластического чехла острова Симушир. *Вестник Москов. ун-та, Серия 4, Геология*, 6: 35–45.

    Shcherbakov V.D., Nekrylov N.A., Savostin G.G., Popov D.V., Dirksen O.V. **2018.** The composition of melt inclusions in phenocrysts in tephra of the Simushir Island, Central Kuriles. *Moscow University Geology Bull.*, 73(1): 31–42. https://doi.org/10.3103/s014587521801009x

В журнале (и на сайте журнала) нет перевода названия журнала на английский язык:

11. Гаврилов А.В., Романовский Н.Н., Хуббертен Х.-В. 2006. Палеогеографический сценарий послеледниковой трансгрессии на шельфе моря Лаптевых. *Криосфера Земли*, 10(1): 39–50.

    Gavrilov A.V., Romanovskii N.N., Hubberten H.-W. **2006.** [Paleogeographic scenario of the postglacial transgression on the Laptev Sea shelf]. *Kriosphera Zemli*, 10(1): 39–50. (In Russ.). – *Название статьи переведено автором, поэтому заключено в квадратные скобки.*

Англоязычные метаданные статьи приведены в источнике

12. Рыбин А.В., Чибисова М.В., Смирнов С.З., Мартынов Ю.А., Дегтерев А.В. **2018**. Петрохимические особенности вулканических комплексов кальдеры Медвежья (о. Итуруп, Курильские острова). *Геосистемы переходных зон*, 2(4): 377–385. https://doi.org/10.30730/2541-8912.2018.2.4.377-385

    Rybin A.V., Chibisova M.V., Smirnov S.Z., Martynov Yu.A., Degterev A.V. **2018.** Petrochemical features of volcanic complexes of Medvezh'ya caldera (Iturup Island, Kuril Islands). *Geosistemy perehodnykh zon* = Geosystems of Transition Zones, 2(4): 377–385. (In Russ.). https://doi.org/10.30730/2541-8912.2018.2.4.377-385

Статья в сборнике статей или материалов конференции, глава в монографии

13. Сим Л.А., Богомолов Л.М., Брянцева Г.В. **2016**. О возможной границе между Амурской и Охотской микроплитами на Сахалине. В кн.: *Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Материалы 4-й Тектонофиз. конф., 3–7 окт. 2016, Москва*. М.: ИФЗ РАН, т. 1: 256–263.

14. Grebennikova T.A. **2011.** Diatom flora of lakes, ponds and streams of Kuril Islands. In: *Diatoms*: *Ecology and Life Cycle.* New York: Nova Publ., 93–124.

15. Hinrichs K.U., Boetius A. **2002.** The anaerobic oxidation of methane: new insights in microbial ecology and biogeochemistry. In: Wefer G., Billett D., Hebbeln D. et al. (eds) *Ocean Margin Systems*. Berlin, Heidelberg, Springer, 457–477.

Патент

16. Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Грунская Л.В., Фирстов П.П. 2014. *Сигнализатор изменений главных компонент:* патент RU 141416. № 2013147112; заявл. 22.10.2013; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16. ИЛИ:

    Патент РФ 141416. *Сигнализатор изменений главных компонент.* **2014.** Авт.: Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Грунская Л.В., Фирстов П.П. № 2013147112; заявл. 22.10.2013; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.

    Patent RF 141416. *Signalizator izmeneniy glavnykh komponent*. **2014**. Authors: Isakevich V.V., Isakevich D.V., Grunskaya L.V., Firstov P.P. no. 2013147112; appl. 22.10.2013; publ. 10.06.2014, Bull. 16. (In Russ.).

Автореферат диссертации

17. Бондаренко В.И. **1990.** *Строение подводных кальдер по данным сейсмоакустического профилирования (на примере Курильской островной дуги):* автореф. дис. … канд. геол.-минер. наук. Москва, Геол. ин-т АН СССР.

18. Semenov V.I. **2003.** *Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyi tor* [*Mathematical modeling of the plasma in the compact torus*]: extended abstr. of diss. … Cand. Sci. (Phys. and Math.). Moscow, MFTI = MIPT.

19. Bowkett D. **2015.** *Investigating the ligandability of plant homeodomains:* PhD thesis. Oxford University.

Интернет-ресурс

20. *Кондратьев В.Б.* **2011**. *Глобальная фармацевтическая промышленность = The global pharmaceutical industry*. URL: http://perspektivy.info/rus/ekob/2011-07-18.html (дата обращения 23.06.2013).

21. *NGDC: Tsunami data and information*. URL: https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml (accessed 29.09.2019).

Составитель
Галина Филипповна Низяева,
кандидат филологических наук

На печатную версию журнала «Геосистемы переходных зон» на 2022 год можно оформить подписку на сайте Объединенного каталога "Пресса России" www.pressa-rf.ru (подписной индекс 80882), а также через интернет-магазин «Пресса по подписке» (https://www.akc.ru)