

ГЕОСФЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

GEOSPHERE RESEARCH

Научный журнал

2021

№ 2

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
(свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-66443 от 14 июля 2016 г.)

Журнал индексируется в базе данных Web of Science Core Collection's Emerging Sources Citation Index.

The Journal is indexed in the Web of Science Core Collection's Emerging Sources Citation Index.

Томский государственный университет
2021

Учредитель – Томский государственный университет

Адрес редакции и издателя: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, Национальный исследовательский Томский государственный университет, геолого-географический факультет, ауд. 242. Сайт: <http://journals.tsu.ru/geo/>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор: **Врублевский В.В.**, д-р геол.-минерал. наук, профессор Томского государственного университета, Томск, Россия

E-mail: vasvr@yandex.ru

Заместитель главного редактора: **Шпанский А.В.**, д-р геол.-минерал. наук, доцент Томского государственного университета, Томск, Россия

E-mail: shpansky@ggf.tsu.ru

Ответственный секретарь: **Асочакова Е.М.**, канд. геол.-минерал. наук, Томский государственный университет, Томск, Россия

E-mail: ev.asochakova@gmail.com

Гордиенко И.В., д-р геол.-минерал. наук, чл.-кор. РАН, Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия

Гутак Я.М., д-р геол.-минерал. наук, профессор Сибирского государственного промышленного университета, Новокузнецк, Россия

Евсеева Н.С., д-р геогр. наук, профессор Томского государственного университета, Томск, Россия

Земцов В.А., д-р геогр. наук, профессор Томского государственного университета, Томск, Россия

Изох А.Э., д-р геол.-минерал. наук, Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия

Конторович А.Э., д-р геол.-минерал. наук, академик РАН, Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

Коротеев В.А., д-р геол.-минерал. наук, академик РАН, Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Кузьмин М.И., д-р геол.-минерал. наук, академик РАН, Институт геохимии СО РАН, Иркутск, Россия

Парначев В.П., д-р геол.-минерал. наук, профессор Томского государственного университета, Томск, Россия

Поздняков А.В., д-р геогр. наук, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

Поляков Г.В., д-р геол.-минерал. наук, чл.-кор. РАН, Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия

Реведагто В.В., д-р геол.-минерал. наук, академик РАН, Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия

Савичев О.Г., д-р геогр. наук, профессор Томского политехнического университета, Томск, Россия

Сазонов А.М., д-р геол.-минерал. наук, профессор федерального университета, Красноярск, Россия

Склярков Е.В., д-р геол.-минерал. наук, чл.-кор. РАН, Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Соломина О.Н., д-р геогр. наук, чл.-кор. РАН, директор Института географии РАН, Москва, Россия

Худолей А.К., д-р геол.-минерал. наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия

Цыганков А.А., д-р геол.-минерал. наук, Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия

Чернышов А.И., д-р геол.-минерал. наук, профессор Томского государственного университета, Томск, Россия

Ярмолюк В.В., д-р геол.-минерал. наук, академик РАН, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия

Бэнкс Давид, CGeol, компания Holymoore Consultancy, Честерфилд, Университет Глазго, Великобритания

Гутierrez-Алонсо Г., профессор Университета Саламанки, Саламанка, Испания

Покровский О.С., ведущий научный сотрудник обсерватории Миди-Пиренейз Национального центра научных исследований, Тулуза, Франция

Чамберлейн К.Р., профессор, Университет Вайоминг, Ларамии, США

Чан Чонг Хоа, Геологический институт Вьетнамской академии наук и технологий, Ханой, Вьетнам

Эрнст А.А., профессор, Гамбургский университет, Гамбург, Германия

Эрнст Р.Э., профессор Карletonского университета, Оттава, Канада

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Гертнер И.Ф., канд. геол.-минерал. наук, Томский государственный университет, Томск, Россия; **Горбатенко В.П.**, д-р геогр. наук, Томский государственный университет, Томск, Россия; **Гринев О.М.**, канд. геол.-минерал. наук, Томский государственный университет, Томск, Россия; **Катунин Д.А.**, канд. филол. наук, Томский государственный университет, Томск, Россия; **Краснова Т.С.**, канд. геол.-минерал. наук, начальник научного управления, Томский государственный университет, Томск, Россия; **Лещинский С.В.**, д-р геол.-минерал. наук, Томский государственный университет, Томск, Россия; **Лычагин Д.В.**, д-р физ.-мат. наук, Томский государственный университет, Томск, Россия; **Подобина В.М.**, д-р геол.-минерал. наук, Томский государственный университет, Томск, Россия; **Ромашова Т.В.**, канд. геогр. наук, Томский государственный университет, Томск, Россия; **Севастьянов В.В.**, д-р геогр. наук, Томский государственный университет, Томск, Россия; **Татьянин Г.М.**, канд. геол.-минерал. наук, Томский государственный университет, Томск, Россия; **Тишин П.А.**, канд. геол.-минерал. наук, Томский государственный университет, Томск, Россия; **Хромых О.В.**, канд. геогр. наук, Томский государственный университет, Томск, Россия

Founder – Tomsk State University

“Geosphere Research”

International standard serial edition number: 2542-1379

Languages: Russian, English

Publication are non-commercial basis (FREE)

Open access

Contacts: 36 Lenin Avenue, Tomsk, Russia, 634050. Tomsk State University. Faculty of Geology and Geography;
<http://journals.tsu.ru/geo>

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief: **Vassily V. Vrublevskii**, Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Professor of the Tomsk State University, Tomsk, Russia

E-mail: vasvr@yandex.ru

Deputy Editor-in-Chief: **Andrey V. Shpansky**, Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Associate Professor of the Tomsk State University, Tomsk, Russia

E-mail: shpansky@ggf.tsu.ru

Executive Editor: **Evgeniya M. Asochakova**, Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Assistant Professor, Tomsk State University, Tomsk, Russia

E-mail: ev.asochakova@gmail.com

Gordienko I.V., Corresponding Member of RAS, Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia

Gutak Ya.M., Professor of the Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Evseeva N.S., Professor of the Tomsk State University, Tomsk, Russia

Zemtsov V.A., Professor of the Tomsk State University, Tomsk, Russia

Izokh A.E., Professor, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

Kuzmin M.I., Member of RAS, A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

Parnachov V.P., Professor of the Tomsk State University, Tomsk, Russia

Pozdnyakov A.V., Professor, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

Polyakov G.V., Corresponding Member of RAS, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

Reverdatto V.V., Member of RAS, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

Savichev O.G., Professor of the Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Sazonov A.M., Professor of the Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Sklyarov E.V., Corresponding Member of RAS, Institute of the Earth Crust SB RAS, Irkutsk, Russia

Solomina O.N., Corresponding Member of RAS, Director of the Geography Institute RAS, Moscow, Russia

Khudoley A.K., Professor of the St. Petersburg University, St. Petersburg, Russia

Tsygankov A.A., Director of the Geological Institute of SB RAS, Ulan-Ude, Russia

Chernyshov A.I., Professor of the Tomsk State University, Tomsk, Russia

Yarmolyuk V.V., Member of RAS, Institute of the Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, Russia

David Banks, CGeol, Holymoore Consultancy, Chesterfield, UK

Gabriel Gutierrez-Alonso, Professor of the Salamanca University, Salamanca, Spain

Pokrovsky O.S., Leading Scientist, the Observatory Midi-Pyrénées of CNRS, Toulouse, France

Tran Trong Hoa, Chief Scientist, Geological Institute of the Vietnam Academy of Sciences and Technologies, Hanoi, Vietnam

Chamberlain K.R., Research Professor, Department of Geology & Geophysics, University of Wyoming, Laramie, USA

Ernst A.A., Professor of the Hamburg University, Hamburg, Germany

Richard E. Ernst, Professor of the Carleton University, Ottawa, Canada

EDITORIAL COUNCIL

Gertner I.F., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Tomsk State University, Tomsk, Russia; **Gorbatenko V.P.**, Dr. Sci. (Geogr.), Professor of the Tomsk State University, Tomsk, Russia; **Grinev O.M.**, Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Tomsk State University, Tomsk, Russia; **Katunin D.A.**, Cand. Sci. (Philol.), Tomsk State University, Tomsk, Russia; **Krasnova T.S.**, Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Tomsk State University, Tomsk, Russia; **Leshchinskiy S.V.**, Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Professor of the Tomsk State University, Tomsk, Russia; **Lychagin D.V.**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor of the Tomsk State University, Tomsk, Russia; **Podobina V.M.**, Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Professor of the Tomsk State University, Tomsk, Russia; **Romashova T.V.**, Cand. Sci. (Geogr.), Tomsk State University, Tomsk, Russia; **Sevast'yanov V.V.**, Dr. Sci. (Geogr.), Professor of the Tomsk State University, Tomsk, Russia; **Tat'yanin G.M.**, Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Tomsk State University, Tomsk, Russia; **Tishin P.A.**, Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Tomsk State University, Tomsk, Russia; **Khromykh O.V.**, Cand. Sci. (Geogr.), Tomsk State University, Tomsk, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ

Полюхова М.В., Чернышов А.И. Петрографические особенности пород юлинского комплекса (Республика Хакасия)	6
Удоротина О.В., Травин А.В., Бурцев И.Н., Куликова К.В. Новобобровское рудное поле (Четласский камень, Средний Тиман): Ag-Ag данные	21

МИНЕРАЛОГИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

Хрущева М.О., Дутова Е.М., Тишин П.А., Никитенков А.Н., Чернышов А.И., Архипов А.Л. Минералогические особенности осадков соленого озера Усколь (Республика Хакасия)	29
Черданцева Д.А. Краснощекова Л.А. Вещественный состав и условия формирования продуктивных песчаников Пур-Тазовской нефтегазоносной области (на примере Лодочного месторождения, Красноярский край)	44

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ, СТРАТИГРАФИЯ

Муравьев А.И. Новые находки растений из среднеюрских отложений Уватского района (Западная Сибирь)	60
Шпанский А.В. Опорный разрез каргинских отложений в среднем течении р. Чулым (Томская область)	67

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Квасникова З.Н., Ховалыг А.О., Донгак С.О., Доржу У.В. Динамика сельскохозяйственных угодий как индикатор мониторинга биоразнообразия в Республике Тыва	77
Усманова Л.И., Замана Л.В. Сравнительная эколого-гидрохимическая характеристика гидрозолошлакоотвалов теплоэлектростанций топливно-энергетического комплекса Восточного Забайкалья	87

МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ

Адаменко М.М., Гутак Я.М., Треньков И.П. Изменения внутригодового распределения осадков и динамика снежности в горах Кузнецкого Алатау	101
Кижнер Л.И., Барашкова Н.К., Носырева О.В. Пожарная опасность в лесах Томского региона: климатический фактор и экономические риски	110

CONTENTS

PETROLOGY, GEOCHEMISTRY

Poluykhova M.V., Chernyshov A.I. Petrographic features of rocks of the Yulinsk Complex (Republic of Khakassia)	6
Udoratina O.V., Travin A.V., Burtsev I.N., Kulikova K.V. Novobobrovsky ore field (Chetlass Stone, Middle Thyman): Ar-Ar data	21

MINERALOGY, LITHOLOGY

Khrushcheva M.O., Dutova E.M., Tishin P.A., Nikitenkov A.N., Chernyshov A.I., Arkhipov A.L. Mineralogical characteristics of Uskol Lake sediments (Republic of Khakassia)	29
Cherdantseva D.A., Krasnoshchekova L.A. Material composition and formation conditions of productive sandstones of the Pur-Tazov oil and gas-bearing region (on the example of Lodochnoe field, Krasnoyarsky Krai)	44

PALEONTOLOGY, STRATIGRAPHY

Muraviev A.I. New finds of Jurassic plants from the Abalak formation deposits of Uvat District (West Siberia)	60
Shpansky A.V. Key section of Karginsk deposits in the middle reach of the Chulym River (Tomsk Region)	67

GEOECOLOGY

Kvasnikova Z.N., Khovalyg A.O., Dongak S.O., Dorzhu U.V. Dynamics of agricultural areas as an indicator of biodiversity monitoring in the Republic of Tyva	77
Usmanova L.I., Zamana L.V. Comparative ecological and hydrochemical characteristics of hydraulic ash and slag dumps of heat power stations of the fuel and energy complex of the Eastern Transbaikalia	87

METEOROLOGY, CLIMATOLOGY

Adamenko M.M., Gutak Ya.M., Trenkov I.P. Changes in the intra-annual distribution of precipitation and the dynamics of snowfall in the Kuznetsk Alatau Mountains	101
Kizhner L.I., Barashkova N.K., Nosyreva O.V. Fire hazard in forests of the Tomsk region: climatic factor and economic risks	110

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ

УДК 552.321.1,2

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД ЮЛИНСКОГО КОМПЛЕКСА (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)

М.В. Полухова, А.И. Чернышов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия



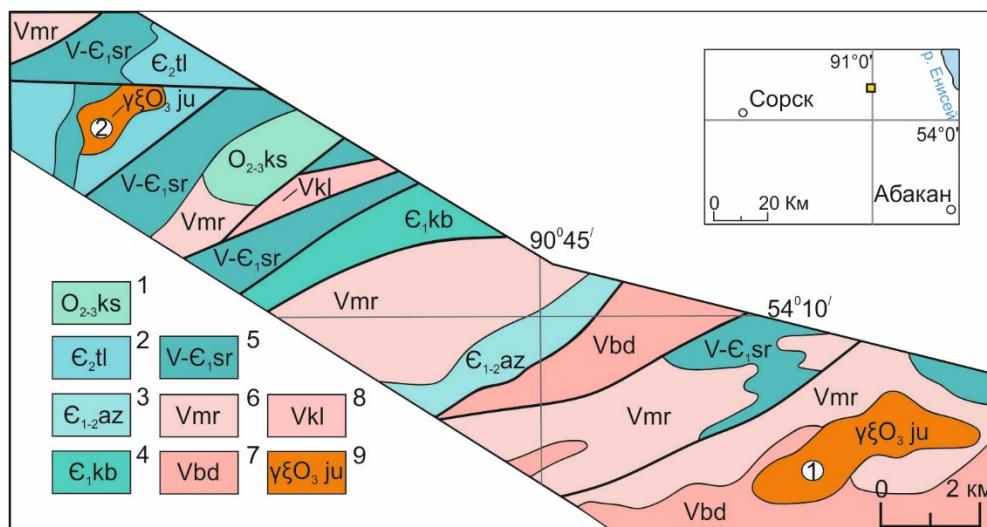
Петрографическое исследование пород юлинского интрузивного комплекса (Южная Сибирь, Хакасия) позволило выявить главные типы пород. Установленные вариации составов породообразующих минералов отражают, главным образом, их принадлежность к определенному типу пород. Составы минералов нередко укладываются в тренды, которые, очевидно, указывают на генетическое родство пород и их образование из близких по составу магматических расплавов.

Ключевые слова: юлинский комплекс, петрография, породы умереннощелочного и нормального ряда, структурные особенности, минеральный состав

Введение

Целью настоящей работы является петрографическая характеристика интрузивных пород юлинского комплекса на примере Котурского и Юлинского

массивов Южной Сибири. В северо-восточной части Кузнецкого Алатау на территории Батеневского кряжа установлен ряд интрузивных массивов юлинского комплекса, в том числе Котурский и Юлинский (рис. 1).



**Рис. 1. Фрагмент геологического строения юго-восточного склона Батенёвского кряжа
(составлена по материалам [Беззубцев и др., 2008])**

1 – базальты, трахибазальты, андезиты кошкулакской свиты; 2 – песчаники, алевролиты, гравелиты толчинской свиты; 3 – известняки, песчаники, алевролиты азыртальской свиты; 4 – известняки, конгломераты, песчаники кутенбулукской свиты; 5 – доломиты, известняки, фосфориты, бариты сорнинской свиты; 6 – доломиты, известняки, карбонатные брекчии мартюхинской свиты; 7 – известняки, доломиты биджинской свиты; 8 – андезибазальты, базальты, туфы нижнекульбюрстюгской подсвиты; 9 – породы сиенит-граносиенитовой ассоциации юлинского комплекса. Исследуемые массивы: 1 – Котурский; 2 – Юлинский. На врезке показано географическое положение района

**Fig. 1. Fragment of the geological structure of the southeastern slope of the Batenevsky ridge
(compiled from materials [Bezzubtsev et al., 2008])**

1 – basalts, trachybasalts, andesites of the Koshkulak suite; 2 – sandstones, siltstones, gravelstones of the Tolchein suite; 3 – limestones, sandstones, siltstones of the Azyrtal suite; 4 – limestones, conglomerates, sandstones of the Kutenbuluk suite; 5 – dolomites, limestones, phosphorites, barites of the Sorninskaya suite; 6 – dolomites, limestones, carbonate breccias of the Martyukhinskaya suite; 7 – limestone, dolomite of the Bidzhinsky suite; 8 – basaltic andesite, basalt, tuff of the lower Kulbyurstyug subformation; 9 – rocks of the syenite-granosyenite association of the Yulinsk complex. The investigated massifs: 1 – Kotursky; 2 – Yulinsky. The inset shows the geographic location of the area

Эти массивы являются резко дискордантными, гипабиссальными телами и сложены преимущественно умереннощелочными породами [Перфилова, 1999; Полухова, Чернышов, 2020]. Юлинский комплекс в самостоятельное подразделение был выделен в 1947 г. И.К. Баженовым [Баженов, 1947], которое до сих пор полностью соответствует современному пониманию. Массивы юлинского комплекса залегают среди осадочных толщ вендских и венд-кембрийских отложений (известняки, аргиллиты, алевролиты). Предыдущими исследователями к юлинскому сиенит-граносиенитовому интрузивному комплексу были отнесены также ассоциирующие образования ордовикской вулканоплутонической ассоциации [Липишанов и др., 1996]. Для этого комплекса установлен позднеордовикский возраст. Его нижняя возрастная граница определяется прорывом интрузивных образований тигертышского комплекса позднекембрийско-раннеордовикского возраста; верхняя – налеганием с разрывом базальтов матаракской свиты раннего девона [Котельников и др., 2018].

Юлинский массив на современном уровне эрозионного среза составляет по площади $\sim 6,5 \text{ км}^2$, а Котурский $\sim 20 \text{ км}^2$. Оба массива имеют округлую форму и вытягиваются в северо-восточном направлении (см. рис. 1) [Секретарёв и др., 2015]. Обнаженность массивов слабая вследствие интенсивной задернованности. По геофизическим исследованиям интрузии юлинского комплекса являются изолированными выходами на дневную поверхность пород единого интрузивного тела. Выделяется положительная геофизическая аномалия, контур которой значительно шире в плане площади массивов, что свидетельствует о больших размерах интрузии на глубине и ее слабой эродированности [Липишанов и др., 1993].

Интрузивы характеризуются значительным разнообразием по своим структурным и текстурным признакам. Источником формирования юлинского комплекса считается исходный мантийный магматический расплав основного состава [Перфилова и др., 1999]. В процессе внедрения в промежуточных камерах в земной коре из основного расплава формировались производные умереннощелочные и кислые расплавы. Подобный механизм, очевидно, обусловлен неоднократной магматической дифференциацией исходного расплава и его контаминацией вмещающими коровыми породами.

Методика исследований

Петрографическое изучение пород юлинского комплекса осуществлялось на поляризационном микроскопе AxioScop 40 фирмы Carl Zeiss. Вещественный состав породообразующих минералов получен на рентгеноспектральном микроанализаторе с

электронным зондом на электронном сканирующем микроскопе Tescan Vega II LMU, оборудованном энергодисперсионным спектрометром (с детектором Si (Li) Standard) INCA Energy 350 и волнодисперсионным спектрометром INCA Wave 700 в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ, г. Томск (аналитик – Корбояк Е.А.).

Петрографические особенности пород юлинского комплекса

Породы юлинского комплекса характеризуются значительным петрографическим разнообразием и представляют две фазы внедрения [Перфилова, 1999]. Первая фаза представлена габброидами и диоритами. Вторая фаза является более распространенной и многообразной по петрографическому составу, наибольшим распространением пользуются монцититы, сиениты, граносиениты, в подчиненном количестве отмечаются граниты, щелочные сиениты. Разнообразный петрографический состав пород комплекса подтверждается их неоднородным вещественным составом и отражается в существенном разбросе фигуративных точек на TAS-диаграмме, из которой следует, что породы соответствуют преимущественно известково-щелочной серии, реже щелочно-известковой и щелочной [Полухова, Чернышов, 2020].

Ниже приводится петрографическая характеристика наиболее представительных пород.

Габбро представляют собой породы темного бурого цвета с мелкозернистой структурой и массивной текстурой. Для них характерна габбровая, реже габбро-офитовая структура (рис. 2, а). В породе преобладает плагиоклаз ($\sim 60\text{--}65\%$) при подчиненной роли темноцветных минералов (клинопироксен, иногда биотит) ($\sim 35\text{--}40\%$), отмечаются рудные минералы, сфен. Вторичные минералы представлены серицитом и хлоритом.

Плагиоклаз в габбро обычно представлен субизометричными, таблитчатыми и короткопризматическими зернами с незначительными вариациями размеров от 0,5 до 2 мм. Плагиоклаз часто имеет серый цвет вследствие замещения серицитом. Иногда в зернах проявляются простые и полисинтетические двойники, которые чаще затусhevаны серицитом.

Темноцветные минералы в габбро представлены клинопироксеном, реже присутствует биотит. *Клинопироксен* наблюдается в виде таблитчатых и призматических зерен с размерами от 0,5 до 2 мм. Зерна клинопироксена имеют слабозеленоватые тона и выделяются в рельефе. Они отличаются высокими цветами интерференции. *Биотит* встречается в виде неправильных по форме листочков по длине до 1,5 мм. В случае интенсивного замещения

биотита хлоритом различаются хлоритизированные разности габбро. Для агрегатов хлорита характерна светло-коричневая, оранжево-коричневая и зеленовато-коричневая окраска. Хлорит образует микрочешуйчатые агрегативные скопления с цветами интерференции от светло-коричневых до буроватых.

Сфен образует клиновидные, ромбовидные, нередко неправильные зерна с размерами менее

0,5 мм. Они выделяются в рельефе и аномально высокими перламутровыми цветами интерференции.

Рудные минералы в габбро имеют субизометричную, чаще неправильную форму. Их размер менее 0,5 мм. В отдельных участках они образуют фрагменты сидеронитовой структуры. Иногда вокруг рудных минералов наблюдаются каемки сфена.

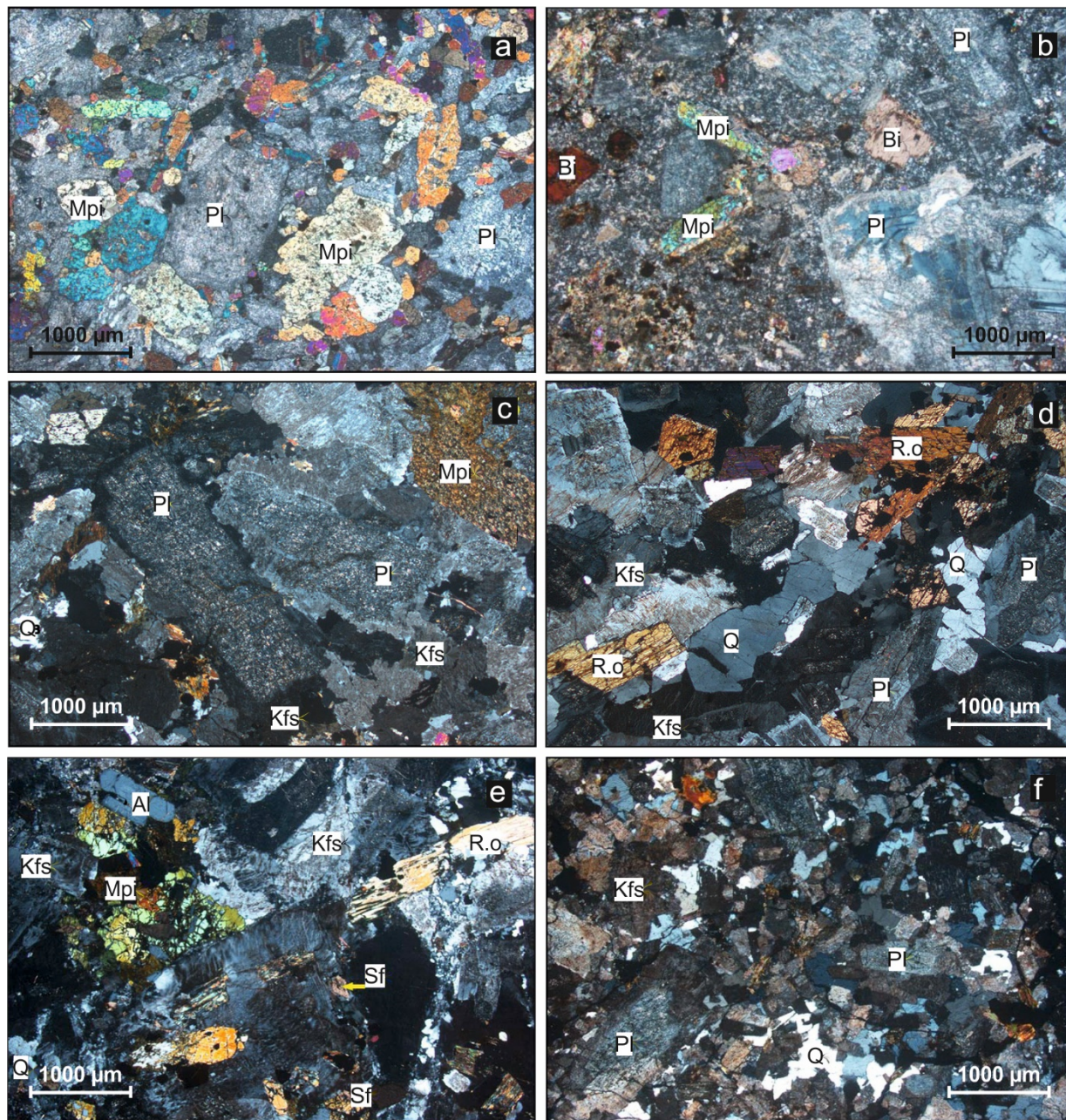


Рис. 2. Микрофотографии пород юлинского комплекса

а – габбро (обр. U3-25); б – диорит (обр. U-2-3); в – монзонит (обр. K-2-19); д – сиенит (обр. 2-C1-1); е – нордмаркит (обр. 6-C2-2); ф – K3-3-2 – гранит; Pl – плагиоклаз, Kfs – калишпат, Q – кварц, Mpi – клинопироксен, R.o – роговая обманка, Bi – биотит, Sf – сфен. Николи X

Fig. 2. Micrographs of rocks of the Yulinsk complex

a – gabbro (sample U3-25); b – diorite (sample U-2-3); c – monzonite (sample K-2-19); d – syenite (sample 2-C1-1); e – nordmarkite (sample 6-C2-2); f – K3-3-2 – granite; Pl – plagioclase, Kfs – potassium feldspar, Q – quartz, Mpi – clinopyroxene, R.o – hornblende, Bi – biotite, Sf – sphene. Nicoli X

Диориты имеют зеленовато-серую окраску с розовыми оттенками. Для них характерна среднезернистая структура и массивная текстура. Под микроскопом часто проявляется порфировидная структура (см. рис. 2, *b*). Диориты сложены преимущественно плагиоклазом (~ 65 %) при подчиненной роли роговой обманки (~30 %), нередко кварцем (до 5 %), отмечаются биотит, апатит, рудные минералы. Вторичные изменения проявляются в виде серицитизации, пелитизации, амфиболизации и эпидотизации.

Плагиоклаз наблюдается как в порфировых вкраплениях, так и основной массе. Плагиоклаз имеет призматическую либо субизометричную форму зерен. Размер порфировых вкраплений составляет 2–5 мм, в основной массе размер зерен менее 1 мм. Зерна имеют пятнистую буровато-серую окраску вследствие их неравномерного замещения серицитом и пелитом. Иногда в них просвечивают полисинтетические двойники.

Роговая обманка пользуется заметным распространением и придает породе пеструю окраску. Форма зерен пластинчатая, удлиненная с размерами по длине до 3 мм. Зерна окрашены в зеленый цвет и плеохроируют. Для роговой обманки характерны высокие цвета интерференции.

Кварц наблюдается редко в основной массе в виде прозрачных, бесцветных зерен с размерами менее 0,5 мм. **Биотит** встречается иногда в виде мелких чешуек с размерами менее 1 мм, обычно он интенсивно замещен бледно-зеленым хлоритом с аномальными синими цветами интерференции. **Апатит** отмечается в виде единичных призматических зерен с размерами менее 0,5 мм. Они прозрачные, бесцветные, имеют серые цвета интерференции и прямое погасание. Редкие вкрапленные зерна рудных минералов имеют субизометричную, чаще неправильную форму с размером менее 0,5 мм.

В породе отмечается заметная вкрапленность эпидота, как в основной массе, так и во вкраплениях плагиоклаза. Зерна бесцветные, выделяются в рельефе и яркими цветами интерференции. В основной массе встречаются также мелкие пластинчатые и удлиненные индивиды актинолита бледно-зеленого цвета с размерами менее 1 мм.

Монцониты имеют розовато-кремовый цвет. Их структура порфировидная, основная масса мелкозернистая, гипидиоморфная (рис. 2, *c*). Состав монцонитов: калишпат (~ 30 %), плагиоклаз (~ 45 %), темноцветные минералы (роговая обманка, иногда клинопироксен) (~ 15 %), кварц (~ 10 %), отмечаются рудные минералы, из вторичных характерны серицит и пелит.

Плагиоклаз преобладает в породе, он образует как порфировидные вкрапления, так и наблюдается в основной массе. Порфировидные вкрапления имеют таблитчатую и призматическую форму с раз-

мером до 5 мм. В основной массе зерна имеют субизометричную, таблитчатую форму с размером до 2 мм. Плагиоклаз имеет серый цвет вследствие замещения серицитом. В отдельных зернах плагиоклаза проявляются полисинтетические двойники.

Калишпат встречается в основной массе. Он имеет субизометричную и таблитчатую форму с размерами зерен до 2 мм. Зерна отличаются буровато-серой окраской вследствие замещения пелитом. Иногда в них просвечивает пертитовое строение.

Роговая обманка образует пластинчатые, удлиненные зерна с размерами менее 2 мм. Они имеют бледно-зеленую окраску, плеохроируют. Характерны яркие цвета интерференции. Бесцветные зерна **клинопироксена** встречаются редко и отличаются большими углами погасания (свыше 30°).

Зерна кварца бесцветные, прозрачные. Они встречаются в основной массе и имеют ксеноморфную форму. Их размер менее 0,5 мм.

Рудные минералы образуют довольно заметную вкрапленность черных зерен неправильной и субизометричной формы с размером менее 0,5 мм, иногда до 1 мм. Они распределены неравномерно в породе и тяготеют к зернам роговой обманки.

Сиениты макроскопически светло-розового цвета со среднезернистой структурой и массивной текстурой. Под микроскопом наблюдается порфировидная структура с фрагментами пойкилитовой, структура основной массы гипидиоморфная (рис. 2, *d*). Состав породы: калишпат (~ 50 %), плагиоклаз (~ 25 %), темноцветные минералы (клинопироксен, роговая обманка, биотит) (~ 15 %), кварц (~ 10 %), отмечаются сфен, рудные минералы. Вторичные минералы представлены серицитом, пелитом.

Калишпат является преобладающим минералом в породе. Он образует порфировидные вкрапления и встречается в основной массе. Вкрапления имеют субизометричную и таблитчатую форму, их размер до 10 мм. Вкрапления обычно насыщены многочисленными пойкилитовыми включениями зерен темноцветных минералов и плагиоклаза. В основной массе калишпат образует неправильные и субизометричные зерна с размерами менее 3 мм. Зерна имеют свежий облик, отмечается слабая, пятнистая буроватая окраска вследствие незначительного замещения пелитом. В зернах калишпата отмечается пертитовое строение.

Плагиоклаз также встречается во вкраплениях и в основной массе. Вкрапления имеют призматическую форму, их размер по длине до 5–6 мм. В основной массе зерна имеют таблитчатую, призматическую форму с размерами менее 3 мм. Зерна плагиоклаза отличаются пятнистой буровато-серой окраской вследствие замещения серицитом и пелитом. Характерны полисинтетические двойники и зональное строение, что позволяет отнести плагиоклаз к андезину.

Кварц встречается в виде бесцветных, прозрачных зерен в основной массе, имеющих ксеноморфную форму. Их размер менее 3 мм. Они обычно выполняют промежутки между зернами плагиоклаза и калишпата.

Темноцветные минералы представлены клинопироксеном, роговой обманкой и биотитом. *Клинопироксен* образует таблитчатые и неправильные по форме зерна, окрашенные в бледно-зеленоватые тона. Их размер менее 2 мм. Они выделяются высоким рельефом и наличием призматической спайности, отличаются яркими цветами интерференции и большими углами погасания (до 40°). *Роговая обманка* образует удлиненные и неправильные зерна с размерами до 4 мм. Они имеют бледно-зеленую окраску и слабо плеохроируют. В скрещенных николях для роговой обманки характерны яркие цвета интерференции и углы погасания менее 25°. Роговая обманка и клинопироксен нередко образуют сростания, иногда с формированием венцовой структуры. *Биотит* представлен пластинчатыми и удлиненными чешуйками до 1 мм. Они имеют коричневый цвет и отчетливо плеохроируют. Вдоль спайности отмечается их замещение рудными минералами.

Сфен проявляется в виде заметной вкрапленности аксессуарных зерен с размерами до 0,5 мм. Их форма клиновидная, ромбовидная, призматическая. Они выделяются в рельефе и аномально высокими перламутровыми цветами интерференции. *Рудные минералы* наблюдаются в виде рассеянной, неравномерной вкрапленности черных зерен субизометричной и неправильной формы с размерами менее 0,5 мм.

Щелочные сиениты представлены чаще кварцевой разновидностью нордмаркитом. Макроскопически породы розовато-кремового цвета. Структура среднезернистая, текстура массивная. Под микроскопом порода обнаруживает гипидиоморфную структуру (см. рис. 2, е). Состав: калишпат (~ 60 %), плагиоклаз (~ 15 %), кварц (~ 10 %), темноцветные минералы (эгирин-авгит, щелочная роговая обманка) (~ 15 %), отмечаются сфен, циркон и рудные минералы. Вторичные минералы представлены серицитом и пелитом.

Породы сложены, главным образом, *калишпатом*, который образует неправильные, таблитчатые зерна размером до 3,5 мм. Они имеют пятнистую буроватую окраску вследствие неравномерного замещения пелитом. Для калишпата характерно пертитовое строение.

Эгирин-авгит образует пластинчатые, удлиненные зерна размером до 3 мм. Они окрашены в травяно-зеленый цвет и плеохроируют. Для минерала характерен высокий рельеф. В скрещенных николях характерны яркие цвета интерференции и погасание до 35°. *Щелочная роговая обманка* встречается в виде слабо удлиненных зерен, их длина составляет

от 0,6 до 2,3 мм. Зерна окрашены в голубовато-зеленый цвет и плеохроируют. Они отличаются углом погасания, который менее 25°. Нередко зерна роговой обманки и эгирин-авгита образуют сростания.

Кварц представлен прозрачными ксеноморфными зернами либо их мелкими агрегативными скоплениями. Наличие кварца в породах позволяет отнести их к нордмаркиту.

В породе отмечается заметная вкрапленность зерен *циркона* и *сфена*, которые выделяются высоким рельефом. Их размер составляет от 0,4 до 1,2 мм. Зерна циркона имеют субизометричную форму и яркую интерференционную окраску. Зерна сфена отличаются клиновидной, ромбовидной формой и аномальными перламутровыми цветами интерференции. *Рудные минералы* имеют субизометричную и неправильную форму с размерами менее 0,5 мм. Они распределены неравномерно и тяготеют к зернам эгирина-авгита.

Граносиениты макроскопически имеют розовый цвет, мелкозернистое строение и массивную текстуру. Под микроскопом для породы характерна гранитовая структура. Состав: калишпат (~ 60 %), плагиоклаз (~ 15 %), кварц (~ 15 %), темноцветы (роговая обманка, биотит) (~ 10 %), отмечаются рудные минералы. Вторичные минералы представлены мусковитом, серицитом, пелитом, кальцитом, хлоритом.

Калишпат является преобладающим минералом в породе, отмечается неправильной, субизометричной формой зерен с размерами менее 2 мм. Они имеют пятнисто-буровую окраску вследствие неравномерного замещения пелитом. Характерны низкие цвета интерференции. Отмечается пертитовое строение, при этом вростки альбита всегда бесцветные, прозрачные.

Плагиоклаз образует неправильные, субизометричные и таблитчатые зерна с размерами до 3 мм. Они имеют буровато-серую окраску, обусловленную замещением серицитом и пелитом. Отмечаются полисинтетические двойники. По углу симметричного погасания (0°) плагиоклаз соответствует олигоклазу № 20.

Зерна *кварца* имеют отчетливо выраженную ксеноморфную форму. Они бесцветные, прозрачные. Их размер до 2 мм. Они слабо трещиноватые и отличаются волнистым погасанием.

Темноцветные минералы представлены *роговой обманкой* и *биотитом*. Их зерна полностью замещены бурым, мелкозернистым хлоритом, либо бесцветным кальцитом, либо хлорит-кальцитовыми агрегатами.

Рудные минералы встречаются в виде редкой вкрапленности мелких черных зерен с размерами менее 0,8 мм. Зерна выделяются очень высоким рельефом.

Граниты макроскопически розового цвета. Структура среднезернистая, текстура массивная. Под микроскопом порода обнаруживает гранитовую структуру (рис. 2, ф). Иногда отмечается порфиро-

видная структура. Состав: калишпат (~ 45 %), плагиоклаз (~ 20 %), кварц (~ 25 %), биотит, мусковит (~ 10 %), отмечаются циркон, рудные минералы. Вторичные минералы представлены серицитом, пелитом.

Калишпат представлен неправильными, субизометричными, таблитчатыми зернами с размерами 2–5 мм. Они имеют пятнисто-буроватую окраску вследствие интенсивно и неравномерного замещения пелитом. Отмечается пертитовое строение. Иногда проявляется микроклиновая решетка, что позволяет отнести калишпат к микроклину.

Плагиоклаз наблюдается в виде субизометричных, таблитчатых и призматических зерен с размерами 2–3 мм. Они имеют серый цвет вследствие интенсивного замещения серицитом. Иногда устанавливаются полисинтетические двойники. Наиболее крупные порфирировидные зерна имеют зональное строение, при этом центральные части зерен сложены серицитизированным плагиоклазом, а краевые части – калишпатом с образованием венцовой структуры.

Зерна *кварца* выделяются бесцветным, прозрачным обликом и ксеноморфной, угловатой формой. Их размер менее 1 мм. Они выполняют промежутки между зернами калишпата и плагиоклаза. Зерна кварца выделяются низкими цветами интерференции.

Биотит встречается в виде мелких чешуек с размерами менее 1 мм. Они обычно замещены бесцветным мусковитом либо бледно-зеленым хлоритом.

Циркон встречается в виде единичных зерен, которые выделяются высоким рельефом и яркими цветами интерференции. *Рудные минералы* встречаются в виде редкой, неравномерной вкрапленности черных и буровато-коричневых зерен с размерами менее 0,5 мм.

Особенности породообразующих минералов в породах юлинского комплекса

Породообразующими минералами пород юлинского комплекса являются клинопироксены, амфиболы, биотиты, плагиоклазы и калишпаты. Неоднородность их составов отражает породную принадлежность, а их близость, очевидно, указывает на генетическое родство пород.

Клинопироксены

Клинопироксены пользуются широким распространением в породах юлинского комплекса. Для них характерны значительные вариации составов (табл. 1).

Таблица 1

Средние составы клинопироксенов в породах юлинского комплекса, мас. %

Table 1

Average compositions of clinopyroxenes in the rocks of the Yulinsk complex, wt. %

Элемент	Порода (кол-во проб)						
	Габбро (6)	Диорит (7)	Щелочные сиениты (6)	Сиениты (6)	Кварцевые сиениты (9)	Граносиениты (4)	Граниты (3)
SiO ₂	55,17	55,92	54,68	55,10	54,15	56,02	55,24
TiO ₂	0,38	0,10	0,47	0,28	0,24	0,42	0,34
Al ₂ O ₃	1,07	0,81	1,66	0,76	0,72	1,47	3,17
FeO	8,00	6,73	15,05	8,13	12,07	7,86	11,56
MgO	12,48	14,48	10,61	13,29	13,84	14,25	15,59
MnO	0,29	0,68	0,64	0,42	0,52	0,42	0,63
CaO	22,43	20,87	13,14	21,94	16,89	19,04	10,96
Na ₂ O	0,50	0,45	3,62	0,46	1,52	0,6	2,09
K ₂ O	0,15	0,27	1,17	0,10	0,35	0,39	0,65
<i>Сумма</i>	<i>100,00</i>	<i>100,01</i>	<i>100,23</i>	<i>99,97</i>	<i>100,00</i>	<i>99,99</i>	<i>99,95</i>
Количество катионов в пересчете на 6 (O)							
Si	2,04	2,05	2,06	2,04	2,02	2,05	2,02
Ti	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Al	0,04	0,03	0,07	0,02	0,03	0,06	0,13
Fe	0,25	0,21	0,48	0,25	0,38	0,24	0,35
Mg	0,69	0,79	0,59	0,73	0,77	0,78	0,85
Mn	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
Ca	0,89	0,82	0,53	0,87	0,68	0,75	0,43
Na	0,04	0,03	0,27	0,03	0,11	0,04	0,15
K	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,01	0,03
<i>Сумма</i>	<i>3,95</i>	<i>3,95</i>	<i>4,04</i>	<i>3,96</i>	<i>4,02</i>	<i>3,94</i>	<i>4,00</i>
Wo	48,74	45,12	33,31	46,92	37,27	42,26	26,30
En	37,70	43,52	36,94	39,49	42,09	44,07	52,05
Fs	13,56	11,35	29,75	13,59	20,65	13,68	21,65

Примечание. Wo = Ca/(Ca+Mg+Fe)*100, En = Mg/(Ca+Mg+Fe)*100, Fs = Fe/(Ca+Mg+Fe)*100.

Note. Wo = Ca/(Ca+Mg+Fe)*100, En = Mg/(Ca+Mg+Fe)*100, Fs = Fe/(Ca+Mg+Fe)*100.

На тройной классификационной диаграмме известковые клинопироксены из габбро, диоритов и сиенитов соответствуют салиту либо образуют переходные разности к авгиту либо фассаиту, редко отвечают диопсиду (рис. 3). В щелочных сиенитах они представлены эгирин-авгитом. Клинопироксены из граносиенитов отличаются значительными вариациями составов и относятся к салитам, авгитам и обед-

ненным кальцием авгитам. Клинопироксены из гранитов отвечают переходным разностям от авгитов к обедненным кальцием авгитам.

На бинарных диаграммах (рис. 4) отмечается, что по содержанию SiO_2 клинопироксены из габброидов, диоритов, сиенитов, кварцевых сиенитов и гранитов являются более однородными с минимальными вариациями.

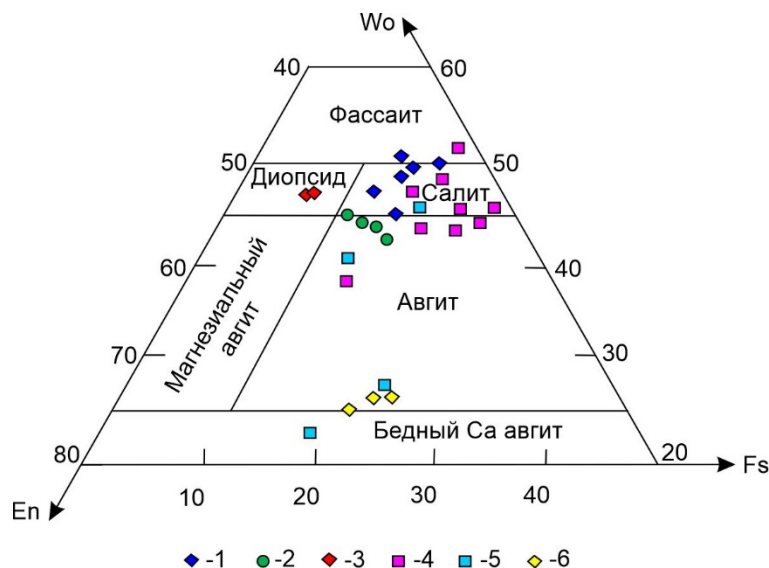


Рис. 3. Классификационная диаграмма составов известковых клинопироксенов в породах юлинского комплекса [Poldervaart, Hess, 1951]

1 – габбро, 2 – диориты, 3 – монзониты, 4 – сиениты, 5 – граносиениты, 6 – граниты; En – энстатит, Wo – волластонит, Fs – ферросилит

Fig. 3. Classification diagram of the composition of calcareous clinopyroxenes in the rocks of the Yulinsk complex [Poldervaart, Hess, 1951]

1 – gabbro, 2 – diorite, 3 – monzonite, 4 – syenite, 5 – granosyenite, 6 – granite; En – enstatite, Wo – wollastonite, Fs – ferrosilite

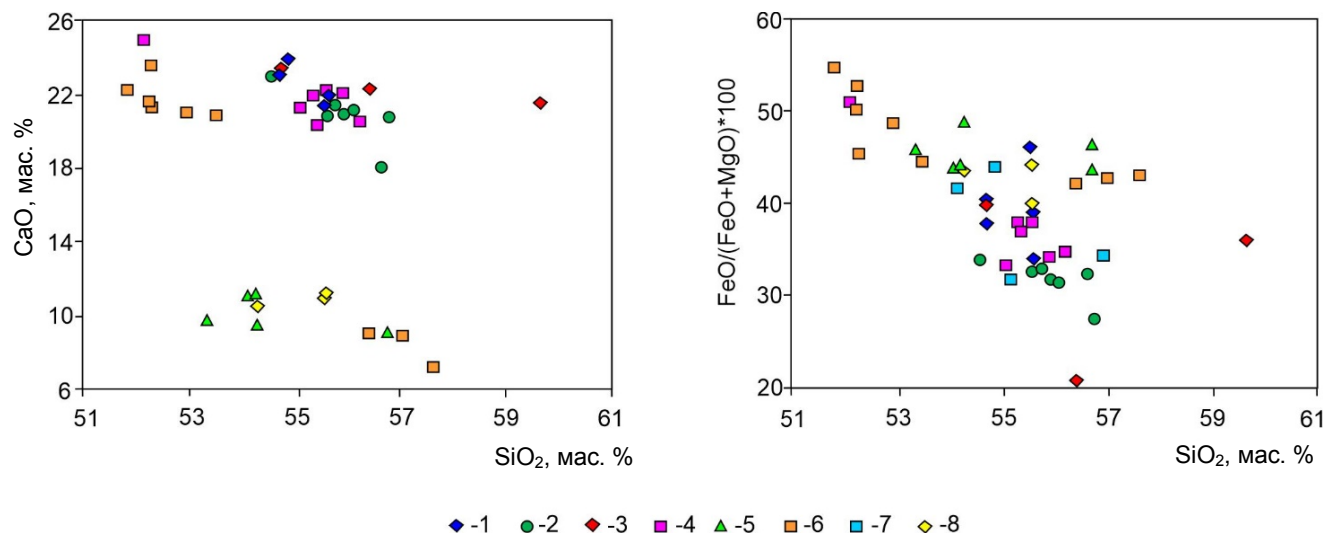


Рис. 4. Состав известковых клинопироксенов в породах юлинского комплекса на бинарных диаграммах
1 – габбро, 2 – диориты, 3 – монзониты, 4 – сиениты, 5 – щелочные сиениты, 6 – кварцевые сиениты, 7 – граносиениты, 8 – граниты

Fig. 4. Binary diagrams of the composition of calcareous clinopyroxenes in the rocks of the Yulinsk complex
1 – gabbro, 2 – diorites, 3 – monzonites, 4 – syenites, 5 – alkaline syenites, 6 – quartz syenites, 7 – granosyenites, 8 – granites

Клинопироксены из монцонитов, кварцевых сиенитов и щелочных сиенитов отличаются значительными вариациями содержания SiO_2 . Отмечается тенденция к уменьшению содержания FeO к гранитам, граносиенитам, щелочным сиенитам и кварцевым сиенитам.

По содержанию CaO выделяются две выборки клинопироксенов: высокоизвестковистые и низкоизвестковистые. К высокоизвестковистым относятся клинопироксены из габбро, диоритов, монцонитов и сиенитов. Низкоизвестковистыми являются клинопироксены из щелочных сиенитов и гранитов. Тогда как клинопироксены из кварцевых сиенитов и граносиенитов могут быть как высоко-, так и низкоизвестковистыми.

Амфиболы

Амфиболы пользуются значительным распространением в породах юлинского комплекса. Нами были проанализированы амфиболы из монцонитов, кварцевых сиенитов, граносиенитов и гранитов (табл. 2). Для них устанавливаются значительные вариации составов, которые, очевидно, определяют петрографическим типом породы.

На классификационной диаграмме [Leake et al., 2004] амфиболы в породах юлинского комплекса относятся к магнезиальным роговым обманкам и только в монцонитах являются актинолитами (рис. 5).

На представленных бинарных диаграммах (рис. 6) устанавливается обогащенность SiO_2 амфиболов в монцонитах, которые соответствуют актинолитам. В гранитах, граносиенитах и кварцевых сиенитах составы амфиболов перемежаются с тенденцией обогащения SiO_2 последних. В амфиболах из гранитоидов и кварцевых сиенитов устанавливается обратная зависимость содержания SiO_2 от их железистости. По содержанию Al_2O_3 амфиболы образуют обособленные поля. Амфиболы из монцонитов характеризуются пониженными содержаниями Al_2O_3 . При этом амфиболы из гранитов и кварцевых сиенитов отличаются повышенной глиноземистостью, за исключением единичных результатов, которые, возможно, относятся к промежуточным разностям к монцонитам.

Биотиты

Биотит встречается почти во всех породах юлинского комплекса. Его состав характеризуется значительным разнообразием (табл. 3), которое определяется прежде всего петрографической принадлежностью. Из табл. 3 видно, что минимальная железистость биотита устанавливается в гранитах и сиенитах, увеличивается в монцонитах и становится максимальной в щелочных сиенитах. На классификационной диаграмме [Tischendorf et al., 2007] биотиты в породах юлинского комплекса относятся преимущественно к флогопитам и реже к Mg -биотитам (аннит, сидерофиллит) (рис. 7).

Таблица 2

Средние составы амфиболов в породах юлинского комплекса, мас. %

Table 2

Average compositions of amphiboles in the rocks of the Yulinsk complex, wt %

Элемент	Порода (кол-во проб)			
	Монцониты (7)	Кварцевые сиениты (3)	Граносиениты (4)	Граниты (2)
SiO_2	55,39	49,6	51,52	48,04
TiO_2	0,55	1,27	1,16	2,61
Al_2O_3	1,91	4,77	5,31	4,87
FeO	11,08	17,45	13,41	16,90
MgO	17,64	12,22	14,05	10,82
MnO	0,65	0,45	0,47	0,67
CaO	10,39	10,82	11,42	13,40
Na_2O	1,87	2,73	1,74	1,66
K_2O	0,53	0,71	0,80	0,88
Сумма	100,00	100,01	99,87	99,84
Количество катионов в пересчете на 24 (O)				
Si	8,09	7,57	7,69	7,41
Ti	0,06	0,15	0,13	0,3
Al	0,32	0,83	0,9	0,85
Fe	1,35	2,23	1,67	2,18
Mg	3,84	2,78	3,13	2,48
Mn	0,08	0,06	0,06	0,09
Ca	1,63	1,77	1,83	2,21
Na	0,53	0,81	0,5	0,5
K	0,05	0,07	0,08	0,09
Сумма	15,95	16,27	15,98	16,11
Mg'	0,74	0,55	0,65	0,53

Примечание. $\text{Mg}' = \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}) \cdot 100$.

Note. $\text{Mg}' = \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}) \cdot 100$.

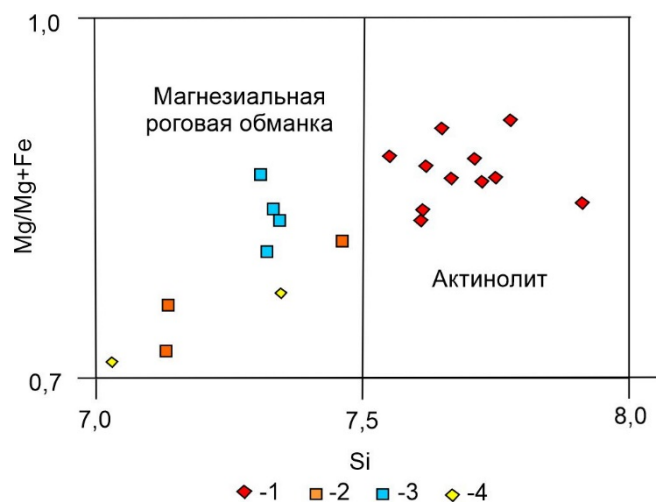


Рис. 5. Классификационная диаграмма состава известковистых амфиболов в породах юлинского комплекса [Leake et al., 2004]

1 – монзониты, 2 – щелочные сиениты, 3 – граносиениты, 4 – граниты

Fig. 5. Classification diagram of the composition of calcareous amphiboles in the rocks of the Yulinsk complex [Leake et al., 2004]

1 – monzonites, 2 – alkaline syenites, 3 – granosyenites, 4 – granites

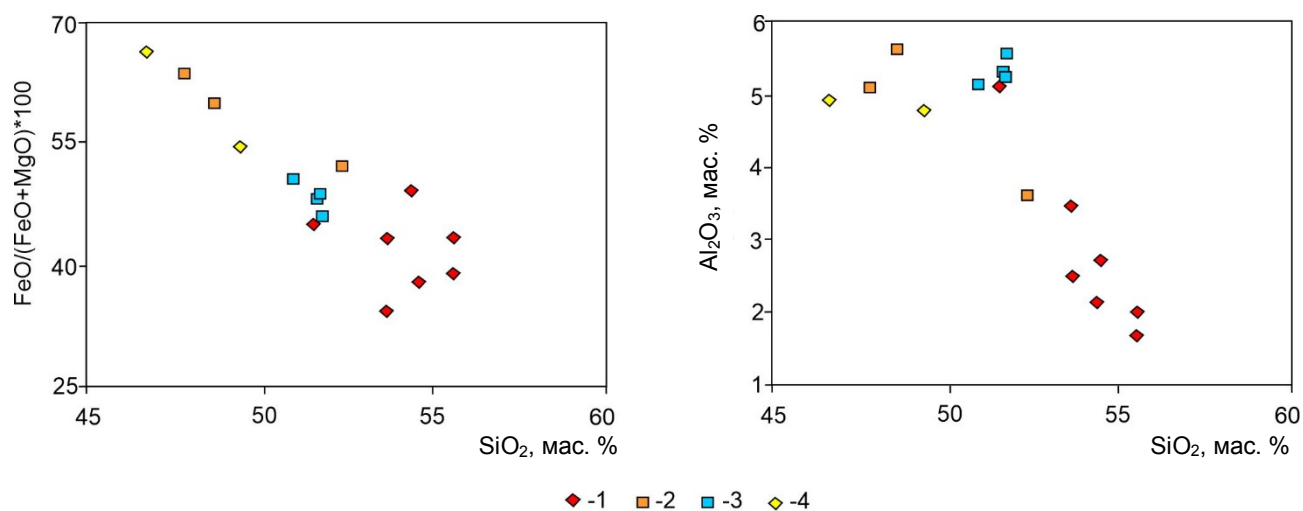


Рис. 6. Состав известковистых амфиболов в породах юлинского комплекса на бинарных диаграммах

1 – монзониты, 2 – щелочные сиениты, 3 – граносиениты, 4 – граниты

Fig. 6. Binary diagrams of the compositions of calcareous amphiboles in the rocks of the Yulinsk complex

1 – monzonites, 2 – alkaline syenites, 3 – granosyenites, 4 – granites

Таблица 3

Средние составы биотитов в породах юлинского комплекса, мас. %

Table 3

Average compositions of biotite in the rocks of the Yulinsk complex, wt. %

Элемент	Порода (кол-во проб)				
	Диориты (6)	Монзониты (3)	Щелочные сиениты (6)	Граносиениты (3)	Граниты (5)
SiO ₂	40,82	40,16	41,69	41,69	43,67
TiO ₂	5,48	0,00	0,03	5,48	2,23
Al ₂ O ₃	13,39	17,06	17,81	14,00	10,96
FeO	14,86	19,46	22,11	12,03	12,59
MnO	0,11	0,47	0,02	0,00	0,40
MgO	15,79	18,85	13,07	16,94	17,29
CaO	0,32	1,02	0,27	0,00	0,00

Элемент	Порода (кол-во проб)				
	Диориты (6)	Монцониты (3)	Щелочные сиениты (6)	Граносиениты (3)	Граниты (5)
Na ₂ O	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	8,80	2,01	5,00	9,68	9,76
Сумма	99,76	99,03	100,00	99,81	96,90
Количество катионов в пересчете на 10 (кислород)					
Si	2,88	2,80	2,93	2,91	3,14
Al	1,11	1,40	1,48	1,15	0,93
Ti	0,29	0,01	0,01	0,29	0,12
Fe	0,88	1,14	1,30	0,70	0,76
Mn	0,01	0,03	0,00	0,00	0,02
Mg	1,66	1,96	1,37	1,76	1,86
Ca	0,02	0,08	0,02	0,00	0,00
Na	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
K	0,79	0,18	0,45	0,86	0,90
Сумма	7,68	7,59	7,55	7,66	7,72
mgli	1,66	1,96	1,37	1,76	1,86
feal	1,16	0,96	0,90	0,93	0,83

Примечание. mgli = Mg–Li, feal = Fe+Mn+Ti–Al.

Note. mgli = Mg–Li, feal = Fe+Mn+Ti–Al.

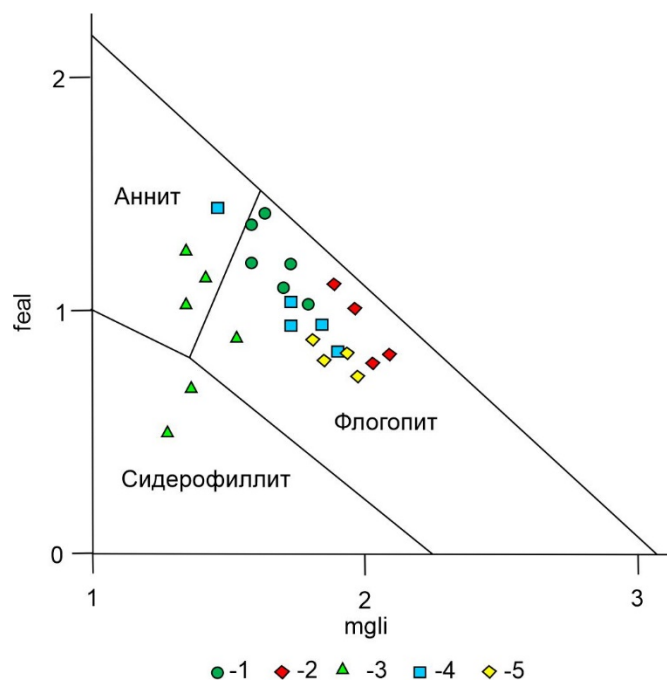


Рис. 7. Фрагмент классификационной диаграммы состава биотитов в породах юлинского комплекса [Tischendorf et al., 2007]

1 – диориты, 2 – монцониты, 3 – щелочные сиениты, 4 – граносиениты, 5 – граниты; feal = Mg–Li, mgli = Fe+Mn+Ti–Al^{VI}

Fig. 7. Fragment of the classification diagram of the compositions of biotite in the rocks of the Yulinsk complex [Tischendorf et al., 2007]

1 – diorites, 2 – monzonites, 3 – alkaline syenites, 4 – granosyenites, 5 – granites; feal = Mg–Li, mgli = Fe+Mn+Ti–Al^{VI}

Из анализа бинарных диаграмм выявляются особенности состава биотита в различных породах. Биотит в диоритах и монцонитах имеет одинаковые содержания SiO₂, при этом для них отмечается обратная зависимость SiO₂ от его железистости. Далее отмечается тенденция увеличения содержания SiO₂ в биотите из граносиенитов. Наиболее обогащенным

SiO₂ является биотит из гранитов. При этом в щелочных сиенитах отмечаются широкие вариации содержания SiO₂, перекрывающий диапазон вариаций во всех других породах.

Минимальная железистость характерна для биотита из гранитов и сиенитов. Она возрастает в диоритах и монцонитах. Максимальная железистость

биотита устанавливается в щелочных сиенитах. Содержания K_2O в биотите также изменяется в разных породах. Минимальные содержания K_2O характерны для биотита из монцонитов. Его содержания возрастают в биотите из щелочных сиенитов. Далее следуют биотиты из диоритов, для которых отмечается возрастание K_2O с увеличением содержания SiO_2 . Наиболее высокие содержания K_2O установлены в биотитах из граносиенитов и гранитов, а также для наиболее обогащенных K_2O биотитам из диоритов (рис. 8).

Плагиоклаз

Плагиоклаз устанавливается во всех типах пород юлинского комплекса. Его состав определяется как природной принадлежностью, так и часто зависит от степени вторичного замещения. Средние составы изученных плагиоклазов представлены в таблице 4.

Как видно из табл. 4, составы плагиоклазов значительно варьируют. В одних случаях состав плагиоклаза отвечает породной принадлежности: в диоритах – андезин, в граносиенитах гранитах – олигоклаз с возрастанием кислотности в этом ряду. В других случаях состав плагиоклаза не отвечает породной принадлежности, он определяется наложенными вторичными изменениями и представлен более кислыми разностями: в габбро – олигоклазом, в монцонитах – кислым олигоклазом.

На бинарных диаграммах (рис. 9) для плагиоклаза отчетливо устанавливаются тренды обратной зависимости Al_2O_3 , CaO с SiO_2 . Проявляется тенденция возрастания содержаний Al_2O_3 в плагиоклазе в следующем ряду пород: кварцевые сиениты → сие-

ниты, монцониты, габбро → граниты → граносиениты → диориты. При этом содержания CaO в плагиоклазе возрастают в ряду: кварцевые сиениты → монцониты → сиениты → граниты, габбро → диориты. При этом содержания CaO в плагиоклазах из граносиенитов обнаруживают наиболее значительные вариации и прослеживаются на всем протяжении тренда вариаций CaO в плагиоклазах во всех типах пород, преимущественно тяготеют к гранитам, диоритам и габбро.

Калишпат

Калишпат по химическому составу обнаруживает незначительные отличия в разных типах пород (табл. 5). Однако на бинарных диаграммах можно установить их отличительные тенденции (см. рис. 10). На диаграмме $SiO_2 - Na_2O + K_2O$ отмечается обратная зависимость между этими компонентами, и прослеживаются два тренда. Для одного из них характерно обогащение SiO_2 калишпатов из сиенитов, щелочных сиенитов, кварцевых сиенитов и гранитов. Для другого тренда намечается обеднение SiO_2 калишпатов из монцонитов и кварцевых сиенитов.

На диаграмме $SiO_2 - Al_2O_3$ наблюдаются два обособленных поля фигуративных точек. Одно из них отличается обедненностью глиноземистости и характерно для калишпатов, обогащенных SiO_2 для пород, устанавливаемых на предыдущей диаграмме: сиенитов, щелочных сиенитов, кварцевых сиенитов и гранитов. Второе поле фигуративных точек устанавливается для обогащенных Al_2O_3 и обедненных SiO_2 калишпатов из монцонитов и кварцевых сиенитов.

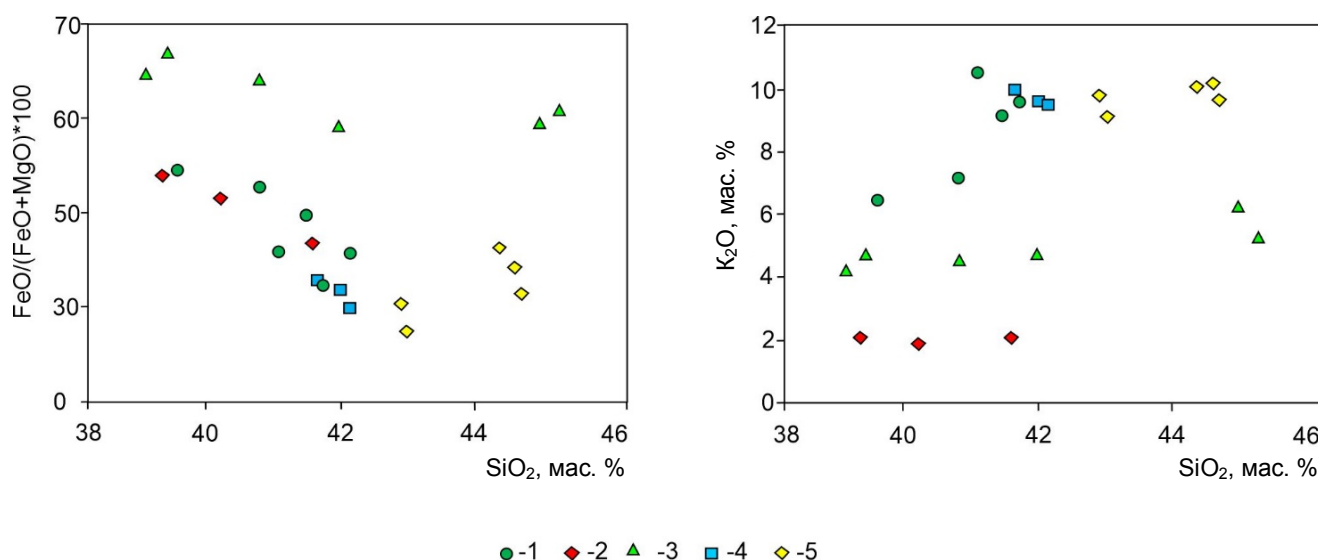


Рис. 8. Состав биотитов в породах юлинского комплекса на бинарных диаграммах

1 – диориты, 2 – монцониты, 3 – щелочные сиениты, 4 – граносиениты, 5 – граниты

Fig. 8. Binary diagrams of biotite composition in the rocks of the Yulinsk complex

1 – diorites, 2 – monzonites, 3 – alkaline syenites, 4 – granosyenites, 5 – granites

Таблица 4

Средние составы плагиоклазов в породах юлинского комплекса, мас. %

Table 4

The average compositions of plagioclase in the rocks of the Yulinsk complex, wt %

Элемент	Порода (кол-во проб)						
	Габбро (2)	Диориты (6)	Монзониты (13)	Кварцевые сиениты (12)	Сиениты (3)	Граносиениты (6)	Граниты (4)
SiO ₂	64,44	61,83	65,09	68,52	66,78	62,8	64,34
Al ₂ O ₃	21,67	23,82	22,54	20,42	21,03	22,66	21,9
FeO	1,03	0,17	0,17	0,17	0,12	0,60	0,39
CaO	5,31	6,38	3,22	0,65	2,88	5,45	4,87
Na ₂ O	6,98	7,29	8,69	10,18	8,54	8,01	8,09
K ₂ O	0,49	0,52	0,29	0,05	0,32	0,36	0,42
Сумма	99,9	100,00	100,00	100,00	99,70	99,90	100,00
Количество ионов в пересчете на 8 (кислород)							
Si	2,31	2,18	2,29	2,41	2,37	2,23	2,29
Al	0,88	0,95	0,90	0,82	0,85	0,91	0,88
Fe	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01
Ca	0,20	0,24	0,12	0,02	0,11	0,21	0,19
Na	0,48	0,50	0,59	0,70	0,59	0,55	0,56
K	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02
Сумма	3,93	3,91	3,92	3,96	3,93	3,94	3,94
An	29,57	32,58	16,98	3,42	15,69	27,32	24,96

Примечание. An = Ca/(Na+Ca)*100.

Note. An = Ca/(Na+Ca)*100.

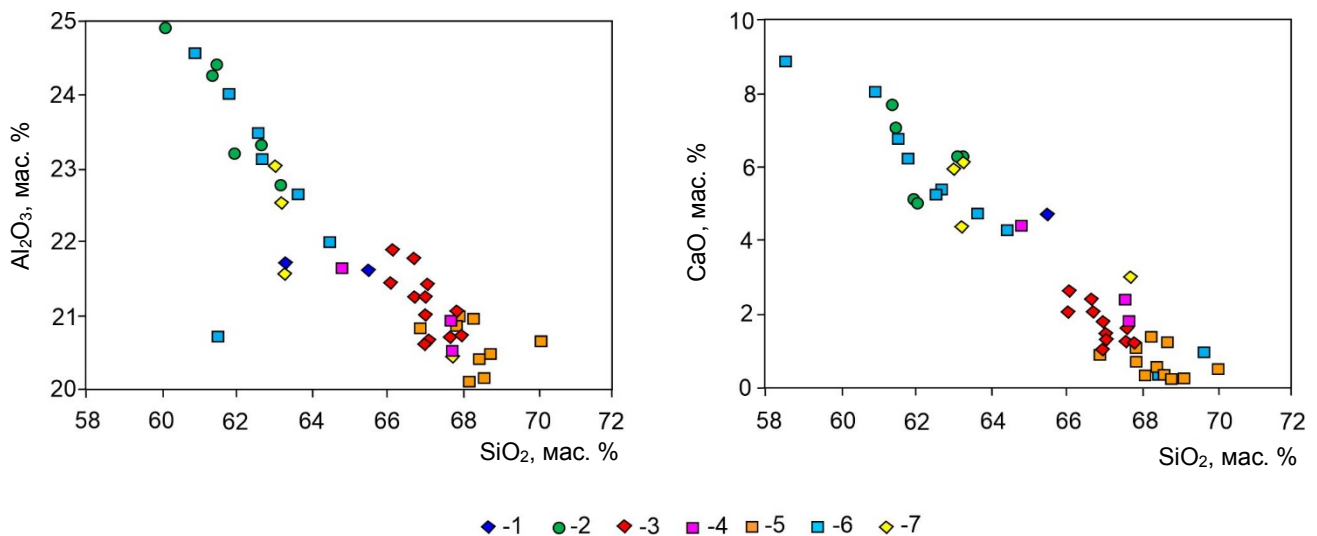


Рис. 9. Состав плагиоклазов в породах юлинского комплекса на бинарных диаграммах

1 – габбро, 2 – диориты, 3 – монзониты, 4 – сиениты, 5 – щелочные сиениты, 6 – граносиениты, 7 – граниты

Fig. 9. Binary diagrams of the composition of plagioclases in the rocks of the Yulinsk complex

1 – gabbro, 2 – diorites, 3 – monzonites, 4 – syenites, 5 – alkaline syenites, 6 – granosyenites, 7 – granites

Таблица 5

Средние составы калишпатов в породах юлинского комплекса, мас. %

Table 5

Average compositions of potassium feldspar in the rocks of the Yulinsk complex, wt %

Элемент	Порода (кол-во проб)					
	Монзониты (13)	Щелочные сиениты (7)	Сиениты (4)	Кварцевые сиениты (11)	Граносиениты (4)	Граниты (4)
SiO ₂	65,22	65,99	66,00	64,68	66,03	66,27
Al ₂ O ₃	18,52	17,91	17,54	18,68	17,60	17,35
FeO	0,16	0,44	0,10	0,14	0,26	0,18
Na ₂ O	0,82	0,77	0,33	0,40	0,72	0,56

Элемент	Порода (кол-во проб)					
	Монзониты (13)	Щелочные сиениты (7)	Сиениты (4)	Кварцевые сиениты (11)	Граносиениты (4)	Граниты (4)
K ₂ O	15,15	15,05	16,05	15,88	15,10	15,65
Сумма	99,86	100,15	99,92	99,78	99,57	100,00
Количество катионов в пересчете на 8 (O)						
Si	3,022	3,05	3,06	3,01	3,07	3,07
Al	0,98	0,94	0,92	0,99	0,93	0,91
Fe	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01
Na	0,078	0,07	0,03	0,04	0,07	0,05
K	0,90	0,89	0,95	0,94	0,90	0,92
Сумма	4,98	4,96	4,97	4,98	4,95	4,96

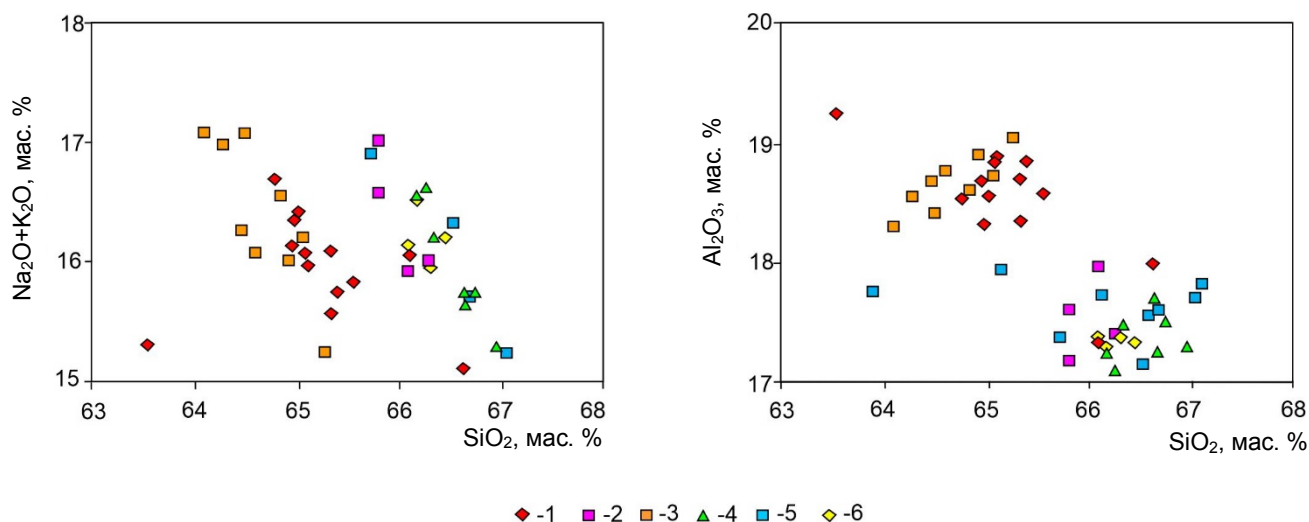


Рис. 10. Состав калиевого полевого шпата в породах юлинского комплекса на бинарных диаграммах
1 – монзониты, 2 – сиениты, 3 – кварцевые сиениты, 4 – щелочные сиениты, 5 – граносиениты, 6 – граниты

Fig. 10. Binary diagrams of the composition of potassium feldspar in the rocks of the Yulinsk complex
1 – monzonites, 2 – syenites, 3 – quartz syenites, 4 – alkaline syenites, 5 – granosyenites, 6 – granites

Заключение

Таким образом, проведенные детальные петрографические исследования пород юлинского комплекса позволили выявить их многочисленные разновидности, которые отражают две фазы внедрения магматических расплавов. Первую фазу представляют габброиды и диориты. Вторая фаза более разнообразна по петрографическому составу. Главными типами пород являются монзониты, сиениты, щелочные сиениты, кварцевые сиениты, граниты. Для них характерны преимущество средне-, мелкозернистые структуры. Часто проявляется порфировидная структура с мелкозернистой основной массой, отмечаются фрагменты венцовой структуры. Такие структурные признаки, очевидно, отражают гипабиссальные условия формирования пород юлинского комплекса.

Главными породообразующими минералами в породах юлинского комплекса являются клинопироксены, амфиболы, биотиты, плагиоклазы и калишпаты. Вариации составов отражают, главным образом, их принадлежность к определенному типу по-

род. Часто составы пород являются практически идентичными. Нередко они укладываются в тренды, которые, очевидно, указывают на генетическое родство пород и их образование из близких по составу магматических расплавов. Нередко составы минералов претерпевают изменения в результате наложенных вторичных метасоматических изменений.

Исходные магматические расплавы для пород юлинского комплекса, очевидно, по составу были основными. По мере перемещения в земной коре они, вероятно, претерпели неоднократную магматическую и кристаллизационную дифференциацию, а также контаминацию вмещающими породами с образованием как нормальных, так и умереннощелочных и щелочных производных расплавов. Кристаллизация таких неоднородных по составу расплавов, очевидно, происходила в гипабиссальных условиях и способствовала формированию многочисленных разновидностей пород. При этом составы породообразующих минералов в породах часто оказываются близкими либо отражают эволюционную направленность изменения производных расплавов.

ЛИТЕРАТУРА

- Баженов И.К.** Основные черты металлогении восточного склона Кузнецкого Алатау // Советская геология. 1947. Сб. 27. С. 47–54.
- Беззубцев В.В., Махлаев М.Л., Кириченко В.Т., Перфилова О.Ю. и др.** Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-46 – Абакан. Объяснительная записка. СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. 391 с.
- Котельников А.Д., Макаренко Н.А., Дербан А.Г., Котельникова И.В. и др.** Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Минусинская. Лист N-46-XIX (Усть-Бюрь). Объяснительная записка. СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2018. 330 с.
- Липишанов А.П., Перфилова О.Ю.** Геологическое доизучение масштаба 1:50 000 и общие поиски на Туимской площади в восточной части Кузнецкого Алатау в 1989–1993 гг. Т. 1, 2. Красноярск, 1993. 163 с.
- Липишанов А.П., Перфилова О.Ю., Сидорас С.Д.** Ордовикский магматизм восточного склона Кузнецкого Алатау // Проблемы геологии Сибири : тез. докл. научн. конф. 3–5 апреля 1996 г. Т. 1. Томск : Изд-во Том. гос. ун-та, 1996. С. 73–74.
- Перфилова О.Ю., Михайленко В.В., Коптев И.И., Сидорас С.Д.** Кошкулукский эталон ордовикской вулканоплутонической ассоциации (Кузнецкий Алатау). Красноярск : КНИИГИМС, 1999. 159 с.
- Перфилова О.Ю.** Особенности вещественного состава юлинского монзонит-граносиенитового комплекса ордовикского возраста (Кузнецкий Алатау) // Минералы и руды Красноярского края. Красноярск : РИУ КНИИГИМС, 1999. С. 75–80.
- Полухова М.В., Чернышов А.И.** Петрохимические особенности пород Котурского массива (Кузнецкий Алатау) // Вестник геонаук. 2020. № 4 (304). С. 26–32.
- Секретарёв М.Н., Липишанов А.П., Михайленко В.В. и др.** Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Изд. второе. Серия Минусинская. Лист N-46-XIII (Сорск). Объяснительная записка. М. : МФ ВСЕГЕИ, 2015. 205 с.
- Leake B.E., Woolley A.R., Birch W.D., Burke E.A.J., Ferraris G., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Schumacher J.C., Stephenson N.C.N., Whittaker E.J.W.** Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature // *Zapiski VMO*. 2004. V. 4. P. 31–38.
- Poldervaart A., Hess H.H.** Pyroxenes in the crystallization of basaltic magma // *Journal. Geol.* 1951. V. 59. P. 472.
- Tischendorf G., Forster H.-J., Gottesmann B., Rieder M.** True and brittle micas: composition and solid-solution series // *Miner. Mag.* 2007. V. 71. P. 285–320.

Авторы:

Полухова Марина Васильевна, аспирант, кафедра петрографии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: poluhova_geo@mail.ru

Чернышов Алексей Иванович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой петрографии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: aich@ggf.tsu.ru

Geosphere Research, 2021, 1, 6–20. DOI: 10.17223/25421379/19/1

M.V. Poluykhova, A.I. Chernyshov

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

PETROGRAPHIC FEATURES OF ROCKS OF THE YULINSK COMPLEX (REPUBLIC OF KHAKASSIA)

The object of the study – the alkaline rocks of the Yulinsk complex, located on the southeastern slope of the Kuznetsk Alatau (Southern Siberia, Khakassia). In this work presents a generalized petrographic characteristic of all rock varieties of the Yulinsk complex. Petrographic research was carried out in detail, which made it possible to identify numerous varieties of rocks, which reflect two phases of intrusion of magmatic melts. The rocks of the first phase of formation are characterized by an average, basic composition of rocks, they are represented by gabbroids and diorites. The second phase of formation is represented by rocks of the moderately alkaline series and is more diverse in petrographic composition. The most common rocks are monzonites and syenites, with the subordinate role of alkaline syenites, quartz syenites, granosyenites and granites. The rocks have the advantage of medium to fine grained structures. A porphyry structure with a fine-grained groundmass is often manifested. In some rocks, fragments of the crown structure are noted. Such structural features obviously reflect the hypabyssal conditions of the formation of the rocks of the Yulinsk complex.

The main rock-forming minerals in the rocks of the Yulinsk complex are represented by clinopyroxenes, amphiboles, biotites, plagioclases and potassium feldspars. Calcareous clinopyroxenes are more often represented by salite, or form transitional varieties to augite or fassaite, sometimes correspond to diopside, alkaline clinopyroxenes are represented by aegirine-augites. Amphiboles in the rocks of the Yulinsk complex usually belong to magnesian hornblendes, less often to actinolites. Biotites in the rocks are mainly represented by phlogopites, less often by Mg-biotites (annite, siderophyllite). Plagioclase is more often determined by the composition of the rock and varies from andesine to oligoclase. However, its composition often becomes more acidic as a result of secondary changes. Potassium feldspar is characterized by a more homogeneous composition. Variations in the compositions of rock-forming minerals mainly reflect their natural origin. Often their compositions are almost identical. Often, the compositions of rocks fit into trends that indicate their genetic kinship, which were formed from similar in composition magmatic melts.

The initial magmatic melt for the rocks of the Yulinsk complex was apparently basic magma. As they moved in the earth's crust, magmatic melts probably underwent repeated magmatic and crystallization differentiation, as well as contamination by host rocks with the formation of both normal and moderately alkaline and alkaline derivatives of melts. Their crystallization, obviously, occurred mainly in hypabyssal conditions and contributed to the formation of numerous varieties, mainly moderately alkaline rocks. The compositions of minerals in rocks are often close or reflect the evolutionary direction of changes in the compositions of derivatives of melts.

Keywords: Yulinsk complex, petrography, mineralogy, structural features, mineral composition

References

- Bazhenov I.K. *Osnovnye cherty metallogenii vostochnogo sklona Kuznetskogo Alatau. Sovetskaya geologiya* [The main features of metallogeny of the eastern slope of the Kuznetsk Alatau, Soviet Geology]. Sb.27, 1947. pp. 47–54.
- Bezzubtsev V.V., Makhlaev M.L., Kirichenko V.T., Perfilova O.Yu. i dr. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List N-46-Abakan. Ob'yasnitel'naya zapiska*. [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1 000 000 (third generation). Altai-Sayan series. Sheet N-46 - Abakan. Explanatory letter]. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2008. 391 p.
- Kotelnikov A.D., Makarenko N.A., Derban A.G., Kotelnikova I.V. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000. Izdaniye vtoroye. Seriya Minusinskaya. List N-46-XIX (Ust'-Byur'). Obyasnitelnaya zapiska*. [State geological map of the Russian Federation on a scale of 1:200 000. Second edition. Minusinskaya series. Sheet N-46-XIX (Ust'-Byur). Explanatory letter. [State geological map of the Russian Federation on a scale of 1: 200 000. Second edition. Minusinskaya series. Sheet N-46-XIX (Ust'-Byur). Explanatory letter]. St. Petersburg: Cartography factory VSEGEI, 2018, 330 pp. In Russian
- Lipishanov A.P., Perfilova O.Yu. *Geologicheskoe doizucheniye masshtaba 1:50 000 i obshchie poiski na Tuimskoy ploshchadi v vostochnoy chasti Kuznetskogo Alatau v 1989–1993 gg* [Additional geological exploration at a scale of 1: 50 000 and general prospecting in the Tuim area in the eastern part of the Kuznetsk Alatau in the period 1989–1993]. T. 1, 2. In Russian
- Lipishanov A.P., Perfilova O.Yu., Sidoras S.D. *Ordovikiy magmatizm vostochnogo sklona Kuznetskogo Alatau* [Ordovician magmatism of the eastern slope of the Kuznetsk Alatau] // Problemy geologii Sibiri: Tez. dokl. nauchn. konf. 3-5 aprelya 1996 g. T. 1. Tomsk: Izd-vo Tom. gos. un-ta, 1996. pp. 73–74. In Russian
- Perfilova O.Yu., Mikhaylenko V.V., Koptev I.I., Sidoras S.D. *Koshkulakskiy etalon ordovikskoy vulkano-plutonicheskoy assotsiatsii (Kuznetskiy Alatau)* [Koshkulak standard of the Ordovician volcano-plutonic association (Kuznetsk Alatau)]. Krasnoyarsk: KNIIGIMS, 1999. 159 pp. In Russian
- Perfilova O.Yu. *Osobennosti veshchestvennogo sostava yulinskogo montsonit-granosienitovogo kompleksa ordovikskogo vozrasta (Kuznetskiy Alatau)* [Features of the material composition of the Yulinsk monzonite-granosyenite complex of the Ordovician age (Kuznetskiy Alatau)] // Mineraly i rudy Krasnoyarskogo kraia. Krasnoyarsk: RIU KNIIGIMS, 1999. pp. 75–80. In Russian
- Polyukhova M.V., Chernyshov A.I. *Petrogeokhimicheskie osobennosti porod Koturskogo massiva (Kuznetskiy Alatau)* [Petrogeochemical features of rocks of Kotursky massif (Kuznetsk Alatau)] // Vestnik geonauk. 2020. 4(304). pp. 26–32. In Russian
- Sekretarev M. N., Lipishanov A.P., Mikhaylenko V.V. i dr. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:200 000. Izd. vtoroe. Seriya Minusinskaya. List N-46-XIII (Sorsk). Ob'yasnitel'naya zapiska* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 200,000. Ed. second. Minusinskaya series. Sheet N-46-XIII (Sorsk). Explanatory letter]. Moscow: MF VSEGEI, 2015. pp. 205. In Russian
- Leake B.E., Woolley A.R., Birch W.D., Burke E.A.J., Ferraris G., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Schumacher J.C., Stephenson N.C.N., Whittaker E.J.W. Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature // Zapiski VMO. 2004. V. 4. pp. 31–38.
- Poldervaart A., Hess H.H. Pyroxenes in the crystallization of basaltic magma // Journ. Geol. 1951. V. 59. pp. 472.
- Tischendorf G., Forster H.-J., Gottesmann B., Rieder M. True and brittle micas: composition and solid-solution series // Miner. Mag. 2007. V. 71. pp. 285–320.

Author's:

Polyukhova Marina V., Postgraduate Student, Department of Petrology, Geology and Geography Faculty, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: poluhova_geo@mail.ru

Chernyshov Alexey I., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Professor, Head at the Department of Petrography, Geology and Geography Faculty, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: aich@ggf.tsu.ru

УДК 550.93 (234.83)

НОВОБОБРОВСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ (ЧЕТЛАССКИЙ КАМЕНЬ, СРЕДНИЙ ТИМАН): AR-AR ДАННЫЕ

О.В. Удоратина^{1,2}, А.В. Травин^{2,3,4}, И.Н. Бурцев¹, К.В. Куликова¹

¹ Институт геологии ФИЦ Коми научный центр УрО РАН, Сыктывкар, Россия

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

³ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

⁴ Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия



Установлен возраст щелочных рудных (редкометалльно-редкоземельных) метасоматитов Новобобровского рудного поля. Калиевый полевой шпат является одним из ведущих минералов фенитов и фенитизированных пород. Согласно рентгеноструктурным данным, калиевый полевой шпат является максимальным (низким) микроклином, температура кристаллизации оценивается на уровне 450 °С. В химическом составе микроклина содержание Na₂O – 0,3–0,4 мас. %. Полученный возраст (⁴⁰Ar/³⁹Ar) составил 564,0 ± 7,8 млн лет.

Ключевые слова: микроклин, фениты, Ar/Ar датирование, Средний Тиман

Введение

Породы, слагающие комплексные редкометалльно-редкоземельные проявления Косьюской группы, развиты на Четласском Камне Среднего Тимана [Ивенсен, 1964; Костюхин, Степаненко, 1987; Тиманский кряж, 2009] (рис. 1, а). В группу входят Верхне-Щугорское, Косьюское, Мезенское (Мезенское и Нижнее Мезенское), Бобровское (Бобровское и Нижнее (Новое) Бобровское (рис. 1, б)), Октябрьское рудные поля.

Породы Новобобровского рудного поля выведены на поверхность в нижнем течении р. Бобровая. Ведущими рудными минералами являются колумбит и монацит. Рудное поле слагают породы жильного комплекса различной мощности. По составу это кварцевые, полевошпат-кварцевые, с гетитом, гематитом, карбонатом тела, находящиеся в пределах различной степени фенитизации метапесчаниках светлинской и новобобровской свит четласской серии [Удоратина и др., 2017]. В пределах рудного поля отмечена дайка ультраосновных пород [Udoratina et al., 2019].

Редкометалльно-редкоземельное оруденение, локализованное в породах жильного комплекса и щелочных метасоматитах (как натриевых, так и калиевых), генетически связывается с плюмовым Косьюским комплексом ультраосновных пород с карбонатами [Недосекова и др., 2011, 2013, 2017; Степаненко, 2015]. Есть точка зрения, что породы относятся к флюидоэксплозивной структуре (ФЭС) карбонатито-щелочного типа мантийной природы весьма длительного становления [Голубева и др., 2019].

Возраст пород субстрата. Возраст песчаников светлинской свиты, служащих субстратом для руд-

ных метасоматитов, оценивается сейчас как поздне-рифейский (U-Pb, LA ICP MS по цирконам из кварцито-песчаников Новобобровского рудного поля [Удоратина и др., 2017], возраст самого молодого циркона составляет 1 100 млн лет, близкий возраст получен и на стратотипах свит четласской серии [Брусницына и др., 2019].

Возраст магматических пород. Возраст магматических образований оценивается K-Ar (вал) и Ar-Ar (по флогопиту) методами на уровне 600 млн лет [Андреичев, Степаненко, 1983; Udoratina, Travin, 2014; Степаненко, 2015]. Есть точка зрения, что возраст магматических образований древнее и составляет 820 ± 9 млн лет (Rb-Sr метод по валу [Makeev et al., 2009]).

Возраст процессов преобразования пород. Возраст процессов оруденения, определенный непосредственно по рудным минералам Новобобровского проявления (U-Th-Pb (монацит), Sm-Nd (торит-колумбит-монацит)), составляет, соответственно, 552 ± 31 и 581 ± 47 млн лет [Удоратина и др., 2015; 2016; Удоратина, Капитанова, 2016]. Возраст, определенный Ar-Ar методом по микроклину Октябрьского месторождения, равен 513,2 ± 3,8 млн лет [Удоратина и др., 2020]. Есть фондовые материалы, свидетельствующие, что рудно-метасоматические процессы на Верхне-Щугорском проявлении датируются уровнем 520 млн лет (K-Ar).

По данным И.И. Голубевой с соавт., процессы щелочного метасоматоза и рудогенеза могут быть более древними на основании датирования альбита из цемента брекчированного ксенолита ФЭС (Косьюское рудное поле), его возраст (⁴⁰Ar/³⁹Ar метод) составляет 845 ± 8 млн лет [Голубева и др., 2019].

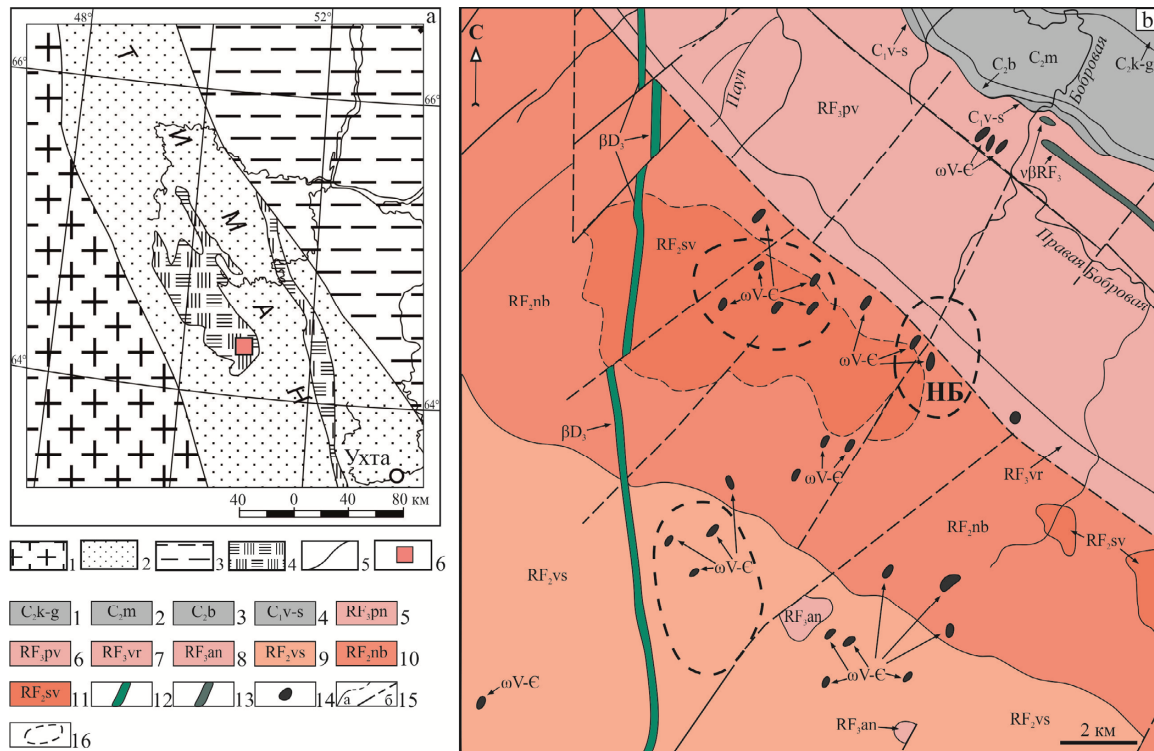


Рис. 1. Схема тектонического строения Среднего Тимана (а). Геологическая карта южной части Четласского Камня по материалам Ухтинской ГРЭ (б)

Условные обозначения (а): 1 – Восточно-Европейский кратон; 2 – Тиман; 3 – Ижемская зона; 4 – выходы на поверхность комплексов фундамента; 5 – границы зон; 6 – район развития проявлений Косьюского рудного узла.

Условные обозначения (б): 1 – C_3k-g касимовский – гжельский ярусы (известняки доломитизированные); 2 – C_2m московский ярус (известняки доломитизированные, известняки); 3 – C_2b башкирский ярус (известняки, доломитизированные известняки); 4 – C_1v-s визейский и серпуховский ярусы (аргиллиты, глины, алевролиты, известняки доломитизированные); 5 – RF_3pn паунская свита (сланцы, алевролиты, известняки, доломиты); 6 – RF_3pv павьюганская свита (доломиты, известняки); 7 – RF_3vr ворыквинская свита (доломиты, известняки, сланцы, мергели); 8 – RF_3an аныгская свита (гравелиты, кварцито-песчаники, сланцы); 9 – RF_2vs визингская свита (кварцито-песчаники, сланцы, алевролиты, редко туффиты); 10 – RF_2nb новобобровская свита (сланцы, алевролиты); 11 – RF_2sv светлинская свита (кварцито-песчаники, алевролиты, сланцы, редко гравелиты); 12 – позднедевонские интрузии (базальты, долериты); 13 – позднерифейские интрузии (метабаза, метадиабазы, метагаббродиабазы); 14 – вендские или кембрийские интрузии (флогопит-пироксеновые пикриты, субщелочные оливиновые диабазы, кумулятивные дуниты, верлиты); 15: а – достоверные и предполагаемые границы между разновозрастными образованиями, б – достоверные и предполагаемые тектонические контакты; 16 – области развития метасоматических пород с редкоземельно-редкометалльным оруденением. НБ – Новобобровское рудное поле

Fig. 1. Scheme of the tectonic structure of the Middle Timan – a. Geological map of the southern part of Chetlasky Stone (materials Ukhta GRE) – b

Legend (a): 1 – East European craton; 2 – Timan; 3 – Izhma zone; 4 – exits to the surface of the foundation complexes; 5 – boundaries of zones; 6 – area of development of occurrences of the Koryu ore cluster.

Legend (b): 1 – C_3k-g kasimovsky-gzhel tiers (dolomitic limestone); 2 – C_2m moscow tier (dolomitic limestone, limestone); 3 – C_2b bashkirian (limestone, dolomite limestone); 4 – C_1v-s visean tiers and serpuhov (argillites, clay, siltstone, dolomitic limestone); 5 – RF_3pn paunskaya formation (shale, siltstone, limestone, dolomite); 6 – RF_3pv pavyuganskaya formation (dolomite, limestone); 7 – RF_3vr vorykvinskaya formation (dolomite, limestone, shale, marl); 8 – RF_3an anyugskaya formation (grits, quartzite, sandstone, shale); 9 – RF_2vs vizingskaya formation (quartzite-sandstones, shales, siltstones, rarely tuffites); 10 – RF_2nb novobobrovskaya formation (shale, siltstone); 11 – RF_2sv svetlinskoye formation (quartzite, sandstone, siltstone, shale, rare grits); 12 – late devonian intrusions (basalt, dolerite); 13 – late riphean intrusion (metabasalts, metadiabases, metagabbrodiabases) 14 – vendian and cambrian intrusion (phlogopite-pyroxene picrites, sub-alkaline olivine diabase, kumulativnye dunite, wehrlites); 15: a – the boundaries between different age formations reliable and expected, b – tectonic contacts reliable and prospective; 16 – Development of metasomatic rocks with rare-earth-rare metal mineralization. NB – Novobobrovskoe ore field

Методики исследований

При проведении тематических исследований (2015–2016 гг.) рудных редкометалльно-редкозе-

мельных образований Среднего Тимана нами произведено опробование пород жильного комплекса для их изучения изотопно-геохронологическими методами. Для датирования отобран калиевый полевой

шпат (КПШ). В ЦКП «Геонаука» (г. Сыктывкар) исследовался его состав и структура. Структурный контроль минеральной принадлежности проводился рентгеновским дифракционным анализом (дифрактометр Shimadzu XRD-6000 Cu-анод, ток – 30 мА, напряжение – 30 kV, фильтр Ni, углы сканирования 2θ от 2 до 60° , шаг сканирования 2θ – 0,05, скорость съемки – 1 $^\circ$ /мин. Параметры элементарной ячейки минералов рассчитывались с помощью программы Unit Cell. Микронзондовые исследования проведены на спектральном электронном микроскопе Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионным детектором X-MAX 50 mm Oxford Instruments. В ИГМ СО РАН г. Новосибирск выполнено $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование

методом ступенчатого нагрева [Травин и др., 2009] монофракции калиевого полевого шпата.

Результаты исследований

Для исследований отобрана монофракция калиевого полевого шпата (проба НВ1-16) из калишпатизированного кварцитопесчаника вблизи кварцевой жилы (мощность 2 м). Калиевый полевой шпат ярко-розового цвета, формирует разноразмерные оторочки кварцевых жил (рис. 2), а также пропитывает метапесчаники.

По данным микронзондового анализа в КПШ содержание оксида натрия находится на уровне 0,3–0,4 мас. % (табл. 1).

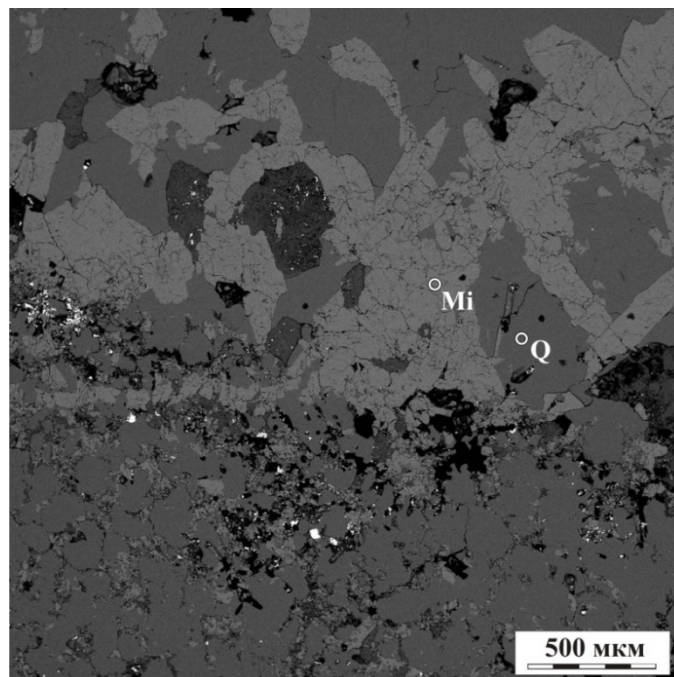


Рис. 2. Примеры форм выделения калиевого полевого шпата в фенитизированном кварцитопесчанике
BSE изображение. Mi – микроклин, Q – кварц

Fig. 2. Examples of forms for the potassium feldspar in phenitized quartzite sandstone
BSE image. Mi – microcline, Q – quartz

Химический состав калиевого полевого шпата

Таблица 1

The chemical composition of potassium feldspar

Table 1

Точка наблюдений	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	Сумма
1.1	64,17	18,23	16,61	0,33	99,34
1.3	63,55	18,12	16,35	0,29	98,31
2.2	65,83	18,39	16,26	0,38	100,86
1.67	66,04	18,71	16,94	–	101,69

Рентгенографические исследования позволили определить следующие параметры (проба НВ1-16). Положение дифракционного максимума $2\theta(20\bar{1})$ со-

ответствует $20,90^\circ$ КПШ, $d = 4,25$, что указывает на минимальную структурную примесь альбитового минала [Марфунин, 1962].

Данный полевой шпат является триклинным, что следует из расхождения пиков (130) и ($\bar{1}\bar{3}0$), которые имеют соответствующие характеристики: 2θ (130) = 23,24, 2θ ($\bar{1}\bar{3}0$) = 24,03. Степень триклинности ($t_{10}-t_{1m}$) = 0,796 была рассчитана согласно методике [Минералы..., 2003]. Al-Si упорядоченность кристаллической решетки КПШ (t_1) оценивалась по положению дифракционных максимумов (060) и ($\bar{2}04$); соответственно 2θ (060) = 41,86, 2θ ($\bar{2}04$) = 50,61. Положения линий этих максимумов связаны с параметром t_1 рядом уравнений [Минералы..., 2003], при

их решении были получены следующие параметры для Т-позиций: $t_{10} = 0,964$, $t_{1m} = 0,0014$, $t_{20} = t_{2m} = 0,0171$, что соответствует *максимальному (низкому) микроклину*. Температура кристаллизации оценивалась по графику изменений равновесной упорядоченности КПШ (t_1) от температуры [Рентгенография, 1983], для изученного микроклина она равна 450 °С.

Результаты датирования показаны на рис. 3. В возрастном спектре выделяется надежное плато, характеризующееся 80 % выделенного ^{39}Ar и возрастом $564,0 \pm 7,8$ млн лет.



Рис. 3. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования (обр. HB1-16)

Fig. 3. Results of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ar dating using the stepwise heating method for the maximum microcline HB1-16: age spectrum

Таблица 2

Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования микроклина (обр. HB1-16)

Table 2

The results of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ar dating of microcline HB1-16

T, °C	t, мин	^{40}Ar (STP)	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	Ca/K	$\Sigma^{39}\text{Ar}$ (%)	Возраст, млн лет, $\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$
Полевой шпат HB1-16, навеска 49,99 мг, J = 0,003127 $\pm$ 0,000026*; интегральный возраст = 722,3 $\pm$ 15,6 млн лет; возраст плато (775–1 015 °C) = 564,0 $\pm$ 7,8 млн лет														
500	10	5,3* e^{-9}	87,13	2,74	0,0136	0,0560	0,37	0,37	0,236	0,032	1,33	6,3	96,3	49,9
650	10	66,3* e^{-9}	874,38	33,50	0,2022	0,0536	0,90	0,77	0,555	0,044	3,24	14,1	2110,6	52,7
775	10	36,6* e^{-9}	126,05	0,66	0,0552	0,0088	0,08	0,06	0,028	0,005	0,30	44,2	565,4	7,8
900	10	37,1* e^{-9}	121,59	1,95	0,0172	0,0112	0,26	0,14	0,033	0,016	0,92	75,9	541,1	21,6
1 015	10	22,2* e^{-9}	153,49	3,78	0,0783	0,0348	0,42	0,29	0,100	0,025	1,50	90,9	591,0	32,4
1 130	10	17,1* e^{-9}	194,06	19,16	0,1736	0,0896	0,56	0,49	0,245	0,102	2,02	100,0	581,6	129,0

Примечание. *J – параметр, характеризующий величину нейтронного потока.

Note. *J – parameter characterizing the magnitude of the neutron flux.

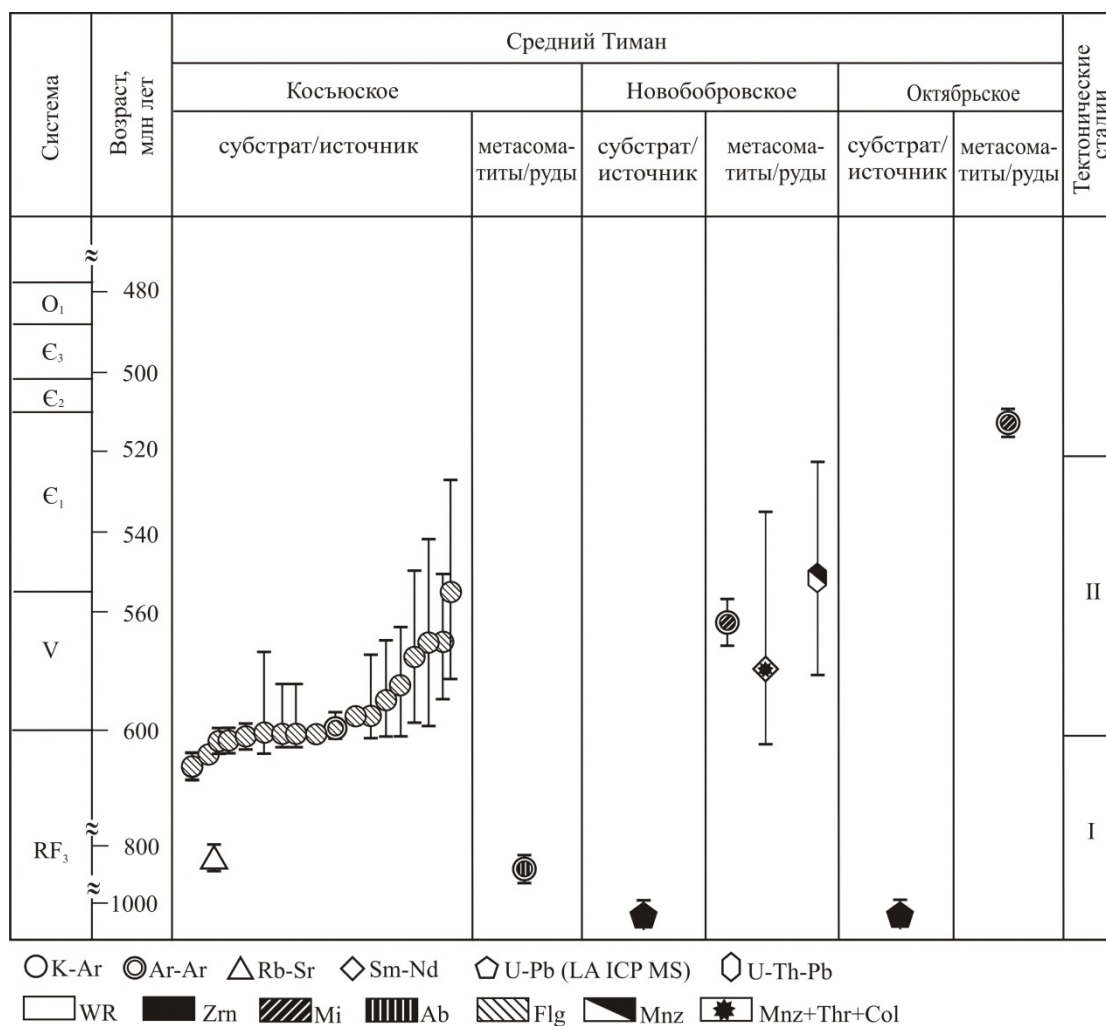


Рис. 4. Редкометалльно-редкоземельные проявления Среднего Тимана: геохронологические данные
Тектонические стадии даны по В.Н. Пучкову [Пучков, 2010 и ссылки в этой работе]: I – плюмово-рифтогенные процессы на пассивной окраине; II – коллизия (формирование тиманид)

Fig. 4. Rare-metal-rare-earth manifestations of Middle Timan: geochronological data
Tectonic stages are given according to V.N. Puchkov [Puchkov, 2010 and references in this work]: I – plume-riftogenic processes on the passive margin; II – collision (formation of Timanides)

Заключение

Таким образом, согласно полученным Ar-Ar данным, возраст микроклина рудных околожильных пород (фенитизированных кварцитопесчаников) Новобобровского рудного поля составляет $564,0 \pm 7,8$ млн лет. Геохронологические данные коррелируются с полученными ранее изотопно-геохронологическими методами (U-Th-Pb, Sm-Nd) данными по рудным ми-

нералам монацитам, торитам, колумбитам – 552 ± 31 и 581 ± 47 млн лет. Также полученная цифра близка возрасту ультраосновных пород (Ar-Ar метод по флогопитам из щелочных пикритов) $598,1 \pm 6,2$ млн лет (см. рис. 4).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Коми в рамках научного проекта № 20-45-110010.

ЛИТЕРАТУРА

- Андреичев В.Л., Степаненко В.И. Возраст карбонатитового комплекса Среднего Тимана // Рудообразование и магматизм севера Урала и Тимана. Сыктывкар, 1983. С. 83–87. (Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР. Вып. 41.)
- Брусницына Е.А., Ершова В.Б., Худолей А.К., Андерсен Т. Результаты исследований U-Pb изотопного возраста обломочных цирконов из средне-верхнерифейских отложений Четлаского Камня (Средний Тиман) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: материалы 28-й науч. конф. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2019. С. 7–11.

Голубева И.И., Бурцев И.Н., Травин А.В., Ремизов Д.Н., Филиппов В.Н., Шуйский А.С. Парагенетическая связь флюидизантно-эксплозивных ультрамафитов дайкового комплекса с карбонатитами (Средний Тиман) // Геология и минеральные ресурсы Европейского северо-востока России : материалы XVII Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар, 2019. С. 22–24.

Голубева И.И., Ремизов Д.Н., Бурцев И.Н., Филиппов В.Н., Шуйский А.С. Флюидоэксплозивные ультрамафиты дайкового комплекса Среднего Тимана и их парагенетическая связь с карбонатитами // Региональная геология и металлогения. 2019. № 80. С. 30–34.

Ивенсен Ю.П. Магматизм Тимана и полуострова Канин. М.; Л.: Наука, 1964. 126 с.

Костюхин М.Н., Степаненко В.И. Байкальский магматизм Канино-Тиманского региона. Л.: Наука, 1987. 232 с.

Марфунин А.С. Полевые шпаты – фазовые взаимоотношения, оптические свойства, геологическое распределение // Труды ИГЕМ. Вып. 78. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. 275 с.

Минералы: Справ. М.: Наука, 1960. Т. 5: Каркасные силикаты. Вып. 1: Силикаты с разорванными каркасами, полевые шпаты / гл. ред. Г.Б. Бокий, Б.Е. Боруцкий; отв. ред. Н.Н. Мозгова, М.Н. Соколова. М., 2003. 583 с.

Недосекова И.Л., Владыкин Н.В., Удоратина О.В., Ронкин Ю.Л. Карбонатиты четласского комплекса (Средний Тиман): геохимические и изотопные данные // ЕЖЕГОДНИК-2012. Труды ИГГ УрО РАН. 2013. Вып. 160. С. 150–158.

Недосекова И.Л., Замятин Д.В., Удоратина О.В. Рудная специализация карбонатитовых комплексов Урала и Тимана // Литосфера. 2017. № 2. С. 60–77.

Недосекова И.Л., Удоратина О.В., Владыкин Н.В., Прибавкин С.В., Гуляева Т.Я. Петрохимия и геохимия дайковых ультрабазитов и карбонатитов Четласского комплекса (Средний Тиман) // ЕЖЕГОДНИК-2010. Труды ИГГ УрО РАН. 2011. Вып. 158. С. 122–130.

Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: Дизайн Полиграфсервис, 2010. 280 с.

Рентгенография основных типов породообразующих минералов (слоистые и каркасные силикаты) / под ред. В.А. Франк-Каменецкого. Л.: Недра, 1983. 359 с.

Степаненко В.И. Позднепротерозойский магматизм северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы // Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты: материалы XLVII Тектонического совещ. Т. II. М.: ГЕОС, 2015. С. 188–191.

Тиманский краж. Т. 2: Литология и стратиграфия, геофизическая характеристика земной коры, тектоника, минерально-сырьевые ресурсы / ред. Л.П. Шилов, А.М. Плякин, В.И. Алексеев. Ухта: УГТУ, 2009. 460 с.

Травин А.В., Юдин Д.С., Владимиров А.Г., Хромых С.В., Волкова Н.И., Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б. Термохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион. Западное Прибайкалье) // Геохимия. 2009. № 11. С. 1181–1199.

Удоратина О.В., Бурцев И.Н., Никулова Н.Ю., Хубанов В.Б. Возраст метапесчаников верхнедевонской четласской серии Среднего Тимана на основании U-Pb датирования детритных цирконов // Бюллетень московских испытателей природы. Отд. геол. 2017. Вып. 5. С. 15–32.

Удоратина О.В., Вирус А.А., Козырева И.В., Швецова И.В., Капитанова В.А. Возраст монацитов жильной серии четласского комплекса (Средний Тиман): Th-U-Pb данные // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 3. С. 23–29.

Удоратина О.В., Казанцева М.И., Саватенков В.М. Sm-Nd датирование рудных минералов Новобобровского месторождения (Средний Тиман) // Щелочной магматизм Земли и связанные с ним месторождения стратегических металлов. Труды XXXIII межд. конф. Москва. ГЕОХИ. 27 мая 2016 г. / отв. ред. акад. Л.Н. Когарко. М.: ГЕОХИ РАН, 2016. С. 134–136.

Удоратина О.В., Капитанова В.А. Геохронология пород субстрата и руд редкометалльно-редкоземельных месторождений и рудопроявлений на севере Урала и Тимане // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 4 (28). С. 86–101.

Удоратина О.В., Травин А.В., Бурцев И.Н., Куликова К.В., Губарев И.А. Октябрьское рудное поле (Средний Тиман): Ar-Ar data // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2020. № 17. С. 534–538.

Makeev A.B., Andreichev V.L., Bryanchaninova N.I. Age of lamprophyres of Middle Timan: first Rb-Sr data // Doklady Earth Sciences. 2009. T. 426, № 1. P. 584–587.

Udoratina O.V., Kulikova K.V., Varlamov D.A., Shmakova A.M. Geochemical characteristics of alkaline picrites of rare-metal-rare-earth ore fields (Middle Timan) // “Magmatism of the Earth and related stratigicmetal deposits”. Proc. XXXVI Int. Conf., Saint Petersburg State University, 23–26 May 2019. Moscow: GEOKHI RAS, 2019. P. 313–316.

Udoratina O.V., Travin A.V. Alkaline picrites Chetlassky complex Middle Timan: Ar-Ar data // Ore potential of alkaline, kimberlite and carbonatite magmatism. Materials of 30 International Conference. Antalya; Moscow, 2014. P. 82–84.

Авторы:

Удоратина Оксана Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми научного центра УрО РАН – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр УрО РАН», Сыктывкар, Россия; старший научный сотрудник, лаборатория геохронологии и геодинамики, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.
E-mail: udoratina@geo.komisc.ru

Травин Алексей Валентинович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия; старший научный сотрудник, лаборатория геохронологии и геодинамики, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.
E-mail: travin@igm.nsc.ru

Бурцев Игорь Николаевич, кандидат геолого-минералогических наук, директор института, Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми научного центра УрО РАН – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр УрО РАН», Сыктывкар, Россия.
E-mail: bin19661010@gmail.com

Куликова Ксения Викторовна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник (совмещение с должностью заведующего лабораторией петрографии), Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми научного центра УрО РАН – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр УрО РАН», Сыктывкар, Россия.
E-mail: fopolina1@yandex.ru

Geosphere Research, 2021, 2, 21–28. DOI: 10.17223/25421379/19/2

O.V. Udoratina^{1,2}, A.V. Travin^{2,3,4}, I.N. Burtsev¹, K.V. Kulikova¹

¹ *Institute of Geology FRC Komi Scientific Center UB RAS, Syktyvkar, Russia*

² *Natinal Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

³ *V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia*

⁴ *Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk, Russia*

NOVOBOBROVSKY ORE FIELD (CHETLASS STONE, MIDDLE THYMAN): AR-AR DATA

We determined the age (Ar-Ar by microcline) of alkaline ore (rare-metal-rare-earth) metasomatites of the Novobobrovskoe ore field. The Novobobrovskoe ore field is a part of the Kosyu group of rare-metal-rare-earth occurrences developed on the Chetlassky Kamen of the Middle Timan. Quartz veins and fenites (alkaline metasomatites - albite, microcline, aegirine) are developed on the Late Riphean quartzite sandstones of the Svetlinskaya and Novobobrovskaya formations of the Chetlassky series. Riphean alkaline picrites of the Chetlassky complex also take part in the structure of the ore field. The latter is presumably associated with complex (Nb-LREE) mineralization. The main ore minerals are columbite and monazite. Potassium feldspar is one of the fenite and fenitized rock minerals. Its composition and structure were studied at the CCU “Geonauka” (Syktyvkar). The structural control of the mineral affiliation was carried out by X-ray diffraction analysis (diffractometer Shimadzu XRD-6000 Cu-anode, current – 30 mA, voltage – 30 kV, Ni filter, scanning angles 2θ from 2 to 60 degrees, scanning step 2θ – 0.05, shooting speed – 1 g/min). The unit cell parameters of the minerals were calculated by the Unit Cell software. Microprobe studies were carried out by Tescan Vega 3 LMH spectral electron microscope with X-MAX 50mm Oxford Instruments energy dispersive detector. 40Ar/39Ar dating was carried out by the method of stepwise heating of potassium feldspar monofraction in the Institute of geology and mineralogy SB RAS. According to the X-ray diffraction studies, potassium feldspar is the maximum microcline, the crystallization temperature is estimated at 450 °C. The chemical composition of the microcline presents the sodium oxide content not more than 0.5 wt %. According to the Ar-Ar data, the age of the microcline of the ore vein rocks (fenitized quartzite sandstones) of the Novobobrovskoe ore field is 564.0 ± 7.8 Ma. Geochronological data correlate with previously obtained isotope-geochronological methods (U-Th-Pb, Sm-Nd) data on ore minerals monazites, thorites, and columbites – 552 ± 31 and 581 ± 47 Ma. Also, the obtained result is close to the age of ultrabasic rocks (Ar-Ar method based on phlogopites from alkaline picrites) 598.1 ± 6.2 Ma.

Keywords: Microcline, Fenites, Ar / Ar Dating, Middle Timan.

References

- Andreichev V.L., Stepanenko V.I. *Vozrast karbonatitovogo kompleksa Srednego Timana* [Age carbonatite complex Middle Timan] // Mineralization and magmatism of the Urals and Timan north. Syktyvkar, 1983. pp. 83–87. (Tr. Inst Geology, Komi Branch, USSR Academy of Sciences. V. 41). In Russian.
- Brunitsyna Ye.A., Yershova V.B., Khudoley A.K., Andresen T. *Rezultaty issledovaniy U-Pb vozrasta oblomochnykh tsirkonov iz sredne-pozdnerifeyskikh otlozheniy Chetlasskogo Kamnya (Timanskoy gryady)* [Research results of U-Pb age of detrital zircons from the Middle-Late Riphean deposits of the Chetlas Stone (Timan ridge)] / Structure. substance. history of the lithosphere of the Timan-North Ural segment: Materials of the 28th scientific conference. Syktyvkar: Geoprint. 2019. pp. 7–11. In Russian.
- Golubeva I.I., Burtsev I.N., Travin A.V., Remizov D.N., Filippov V.N., Shuyskiy A.S. *Parageneticheskaya svyaz' flyuidizatsionno-eksplodivnykh ul'tramafitov daykovogo kompleksa s karbonatitami (Sredniy Timan)* [Paragenetic relationship of fluidizable-explosive ultramafic dyke complex with carbonatites (Middle Timan)] // Geology and Mineral Resources of the European North-East of Russia. Materials of the XVII Geological Congress of the Republic of Komi. Syktyvkar. 2019. pp. 22–24. In Russian.
- Golubeva I.I., Remizov D.N., Burtsev I.N., Filippov V.N., Shuyskiy A.S. *Flyuidoeksplodivnye ul'tramafity daykovogo kompleksa Srednego Timana i ikh parageneticheskaya svyaz' s karbonatitami* [Fluid-explosion ultramafic rocks of the Middle Timan dyke complex and their paragenetic association with carbonatite] // Regional Geology and Metallogeny. 2019. No 80. pp. 30–34. In Russian.
- Ivensen Y.P. *Magmatism Timan and Kanin Peninsula* [Magmatism of Timan and the Kanin Peninsula]. Moscow-Leningrad : Science, 1964, 126 p. In Russian.
- Kostyukhin M.N., Stepanenko V.I. *Baykal'skiy magmatizm Kanino-Timanskogo regiona* [Baikal magmatism of the Kanino-Timan region]. Leningrad: Nauka, 1987. 232 p. In Russian.
- Makeev A.B., Andreichev V.L., Bryanchaninova N.I. Age of lamprophyres of Middle Timan: first Rb-Sr data] // Doklady Earth Sciences. 2009. T. 426. No 1. pp. 584–587.
- Marfunin A.S. *Polevye shpaty – fazovye vzaimootnosheniya, opticheskiye svoystva, geologicheskoye raspredeleniye* [Feldspars - phase relationships, optical properties, geological distribution]. Proceedings of the IGEM, Iss. 78. Moscow : Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1962. 275 p. In Russian.
- Mineraly* [Minerals]: Reference Moscow: Nauka, 1960. Vol. 5. *Karkasnye silikaty. Vyp.1: Silikaty s razorvannymi karkasami, polevye shpaty* [Frame silicates. Issue 1: Silicates with torn frameworks, feldspars] Ch. ed. G.B. Boki, B.E. Borutsky; Resp. Ed. N.N. Mozgova, M.N. Sokolov. 2003. 583 p. In Russian.
- Nedosekova I.L., Udoratina O.V., Vladykin N.V., Pribavkina C.V., Gulyaev T.Y. *Petrokhimiya i geokhimiya daykovykh ul'tramafitov i karbonatitov Chetlasskogo kompleksa (Sredniy Timan)* [Petrochemical and geochemistry of ultramafic dyke and carbonatite complex Chetlassky (Middle Timan)] // Yearbook 2010, Tr. IGG UB RAS. V. 158, 2011, pp. 122–130. In Russian.

Nedosekova I.L., Vladykin N.V., Udoratina O.V., Ronkin Y.L. *Karbonatity chetlasskogo kompleksa (Sredniy Timan): geokhimicheskiye i izotopnye dannye* [Carbonatites Chetlassky complex (Middle Timan): geochemical and isotopic data] // Yearbook 2012, Tr. IGG UB RAS, V. 160, 2013. pp. 150–158. In Russian.

Nedosekova I.L., Zamyatin D.A., Udoratina O.V. *Rudnaya spetsializatsiya karbonatitovykh kompleksov Urala i Timana* [Ore specialization of carbonatite complexes at the Urals and Timan] // *Litosfera* 2017. No 2. pp. 60–77. In Russian

Puchkov V.N. *Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and Cisurals (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa: Design Polygraphservice. 2010. 280 p. In Russian.

Rentgenografiya osnovnykh tipov porodoobrazuyushchikh mineralov (sloistye i karkasnye silikaty) [X-ray diffraction of the main types of rock-forming minerals (layered and framework silicates)] / Ed. V.A. Frank-Kamenetsky. Leningrad: Publishing house "Nedra", 1983. 359 p. In Russian.

Stepanenko V.I. *Pozdneproterozoyiskiy magmatizm severo-vostochnoy okrainy Vostochno-Yevropeyskoy platformy* [Late Proterozoic magmatism north-eastern margin of the East European Platform] // Tectonics and Geodynamics of continental and oceanic lithosphere: general and regional aspects. Materials of XLVII Tectonic soveshch. V.II. Moscow.: GEOS, 2015. pp. 188–191. In Russian. ISBN 978-5-89118-693-4

Timanskiy Kryazh [Timan Ridge] / two-volume book. compiling editors: I. p. Shilov, a. m. Plyakin, v. i. Alekseev. V.2. *Litologiya i stratigrafiya, geofizicheskaya kharakteristika zemnoy kory, tektonika, mineral'no-syr'yevyye resursy* [Lithology and stratigraphy, geophysical characteristics of the earth's crust, tectonics, mineral resources]. Ukhta: UGTU, 2010. 460 p. In Russian.

Travin A.V., Yudin D.S., Vladimirov A.G., Khromykh S.V., Volkova N.I., Mekhonoshin A.S., Kolotilina T.B. Thermochronology of the Chernorud granulite zone (Olkhon region. Western Baikal area // *Geochemistry International*. 2009. T. 47. No 11. pp. 1107–1124.

Udoratina O.V., Burtsev I.N., Nikulova N.Yu., Khubanov V.B. *Vozrast metapeschchanikov verkhnedokembriyskoy chetlasskoy serii Srednego Timana na osnovanii U-Pb datirovaniya detritnykh tsirkonov* [Age of Upper Precambrian metasandstones of Chetlas Group of Middle Timan on U-Pb dating of detrital zircons] // *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series*. 2017. V. 92, part 5. pp. 15–32. In Russian.

Udoratina O.V., Kapitanova V.A. *Geohronologiya porod substrata I rud redkometall'no-redkozemel'nykh mestorozhdeniy i rudo-proyavleniy na severe Urala i Timane* [Geochronology of the rocks substratum and ore rare-metal-rare-earth deposits and ore occurrences in the north of the Urals and Timan] // *Bulletin of the Komi SC, UB of the RAS*, 2016. No 4 (28). pp. 86–101. In Russian.

Udoratina O.V., Kazantseva M.I., Savatenkov V.M. *Sm-Nd datirovaniye rudnykh mineralov Novobobrovskoy chetlasskoy serii (Sredniy Timan)* [Sm-Nd dating of ore minerals of the Novobobrovsky deposit (Middle Timan)] // Alkaline magmatism of the Earth and associated strategic metal deposits. Tr. XXXIII Int. conf. Moscow. GEOCHES. May 27, 2016 // *Ans. ed. Acad. Kogarko L.N. Moscow: GEOCHI RAS*, 2016. pp. 134–136. In Russian.

Udoratina O.V., Kulikova K.V., Varlamov D.A., Shmakova A.M. Geochemical characteristics of alkaline picrites of rare-metal-rare-earth ore fields (Middle Timan) / "Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits". Proc. XXXVI Int. Conf., Saint Petersburg State University, 23–26 May 2019, Moscow: GEOKHI RAS, pp. 313–316.

Udoratina O.V., Travin A.V. Alkaline picrites Chetlassky complex Middle Timan: Ar-Ar data // ore potential of alkaline, kimberlite and carbonatite magmatism. Materials of 30 International Conference. Antalya-Moscow, 2014. pp 82–84.

Udoratina O.V., Travin A.V., Burtsev I.N., Kulikova K.V., Gubarev I.A. *Oktyabr'skoye rudnoye pole (Sredniy Timan): Ar-Ar data* [October Ore Field (Middle Timan): Ar-Ar data] // *Proceedings of the Fersman Scientific Session of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2020 17 pp. 534–538. In Russian.

Udoratina O.V., Viryus A.A., Kozyreva I.V., Shvetsova I.V., Kapitanova V.A. *Vozrast monatsitov zhil'noj serii chetlasskogo kompleksa (Sredniy Timan)* [Th-U-Pb dannye (Th-U-Pb-age of monazite vein series of Chetlassky complex (Middle Timan))] // *Vestnik IG Komi SC UB RAS (Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS)*, 2015. No 3. pp. 23–29. In Russian.

Author's:

Udoratina Oksana V., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher, Institute of Geology named after Academician N.P. Yushkina of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences is a separate division of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center "Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences", Syktyvkar, Russia; Senior Researcher, Laboratory of Geochronology and Geodynamics, Geological and Geographical Department, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: udoratina@geo.komisc.ru

Travin Aleksey V., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher (combined with the post of Head of the Laboratory of Isotope-Analytical Geochemistry), Federal State Budgetary Institution of Science named after V.S. Sobolev Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Senior Researcher, Department of Mineralogy and Petrography, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia; Senior Researcher, Laboratory of Geochronology and Geodynamics, Geology and Geography Faculty, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: travin@igm.nsc.ru

Burtsev Igor N., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Director of the Institute of Geology named after Academician N.P. Yushkina of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences is a separate division of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center "Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences", Syktyvkar, Russia.

E-mail: bin19661010@gmail.com

Kulikova Ksenia V., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher (combined with the position of Head of the Petrography Laboratory), Institute of Geology named after Academician N.P. Yushkina of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences is a separate division of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center "Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences", Syktyvkar, Russia.

E-mail: fopolinal@yandex.ru

МИНЕРАЛОГИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК 552.13

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОСАДКОВ СОЛЕНОГО ОЗЕРА УСКОЛЬ (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)

М.О. Хрущева¹, Е.М. Дутова^{1,2}, П.А. Тишин¹, А.Н. Никитенков²,
А.И. Чернышов¹, А.Л. Архипов¹



¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Рассматриваются минералогические особенности осадков соленого озера Ускуль. Методом рентгенофазового анализа диагностированы минеральные виды, относящиеся к группам оксидов, алюмосиликатов, карбонатов, сульфатов и галоидов. По генезису полученные минералы разделены на две ассоциации: терригенную и гидрогенную. Установлен порядок осаждения минералов гидрогенной ассоциации из озерных вод. Данные подтверждаются физико-химическими расчетами минералообразующей способности водных сред озера.

Ключевые слова: Южно-Минусинская котловина, рентгенофазовый анализ, соленые озера, минералообразование, гидрогенные минералы

Введение

Вопросам изучения соленых озер посвящено множество работ [Базарова и др., 2011; Zamana, Borzenko, 2010; Attia, 2013; Kolpakova et al., 2019, 2020; Strakhovenko et al., 2020]. Достаточно часто освещаются вопросы формирования различных типов озер, факторы образования эвапоритовых осадков и соляных месторождений [Валяшко, 1962; Чарыкова, Чарыков, 2003; Borzenko, Shvartsev, 2019; Sinha, Raymahashay, 2004; Warren, 2006; Borzenko, 2020]. Встречаются работы, результаты которых направлены на изучение эволюции рассолов, особенностей изменения палеоклимата различных территорий [Солотчина и др., 2012; Chao et al., 2009; Roop et al., 2015; Richoz et al., 2017; Abdi et al., 2018]. При изучении современных литературных данных отмечается, что наиболее часто в публикациях встречаются данные по химическому составу вод соленых озер, накоплению и распределению микро- и макрокомпонентов в озерных водах различных типов, в том числе и водоемов Республики Хакасия [Рогозин, 2018; Parnachev et al., 1999; Parnachev, Degermendzhy, 2002; Banks et al., 2001, 2004, 2008].

Целью данной работы является детальная диагностика минеральных видов соленых озер (на примере озера Ускуль), с использованием современных инструментальных методов, а также установление последовательности формирования минералов и оценка степени влияния подземных и поверхностных вод на накопление минералов разных групп – оксидов, алюмосиликатов, карбонатов, сульфатов и галоидов.

Характеристика района и объекта исследований

Озеро Ускуль относится к группе соленых озер Южно-Минусинской котловины (Республика Хакасия, Россия), расположенных в степной зоне на территории Уйбатской степи в непосредственной близости к г. Абакану (рис. 1). Выбор озера Ускуль в качестве объекта исследования обусловлен его территориальным расположением в высоких широтах (53–54 с.ш.), где характерны ярко выраженные колебания солнечной активности и сезонные колебания температур. Климат изучаемого района семиаридный, он характеризуется холодной зимой и жарким засушливым летом. Минимум атмосферных осадков выпадает в степных зонах, особенно мало на территории Уйбатской степи (220–240 мм в год). Стоит отметить, что на данной территории отмечается повышенная ветровая активность. Это способствует переносу обломочных частиц в котловины озер.

Морфологически озеро Ускуль состоит из трех водоемов размерами 1 200 × 1 036 м, 347 × 650 м и 674 × 815 м. Эта система водоемов уникальна тем, что два из них периодически пересыхают. Это обстоятельство позволяет детально изучить их дно. Максимальная глубина озера в некоторых его участках достигает 3 м. Осадки водоема представлены современными аллювиально-делювиальными глинами и илами с золовой составляющей [Котельников и др., 2018]. Средняя скорость осадконакопления оценивается в 2 мм в год [Рогозин, 2018]. Это позволяет предполагать, что изученный разрез (до глубины 1 м) отражает геологическую историю на протяжении около 500 лет. В качестве источников осадочного материала рассматрива-

ются как подстилающие, так и обрамляющие отложения самохвальской свиты (ранний карбон), представ-

ленные зелеными пепловыми туфами и песчаниками с небольшими прослоями известняков.

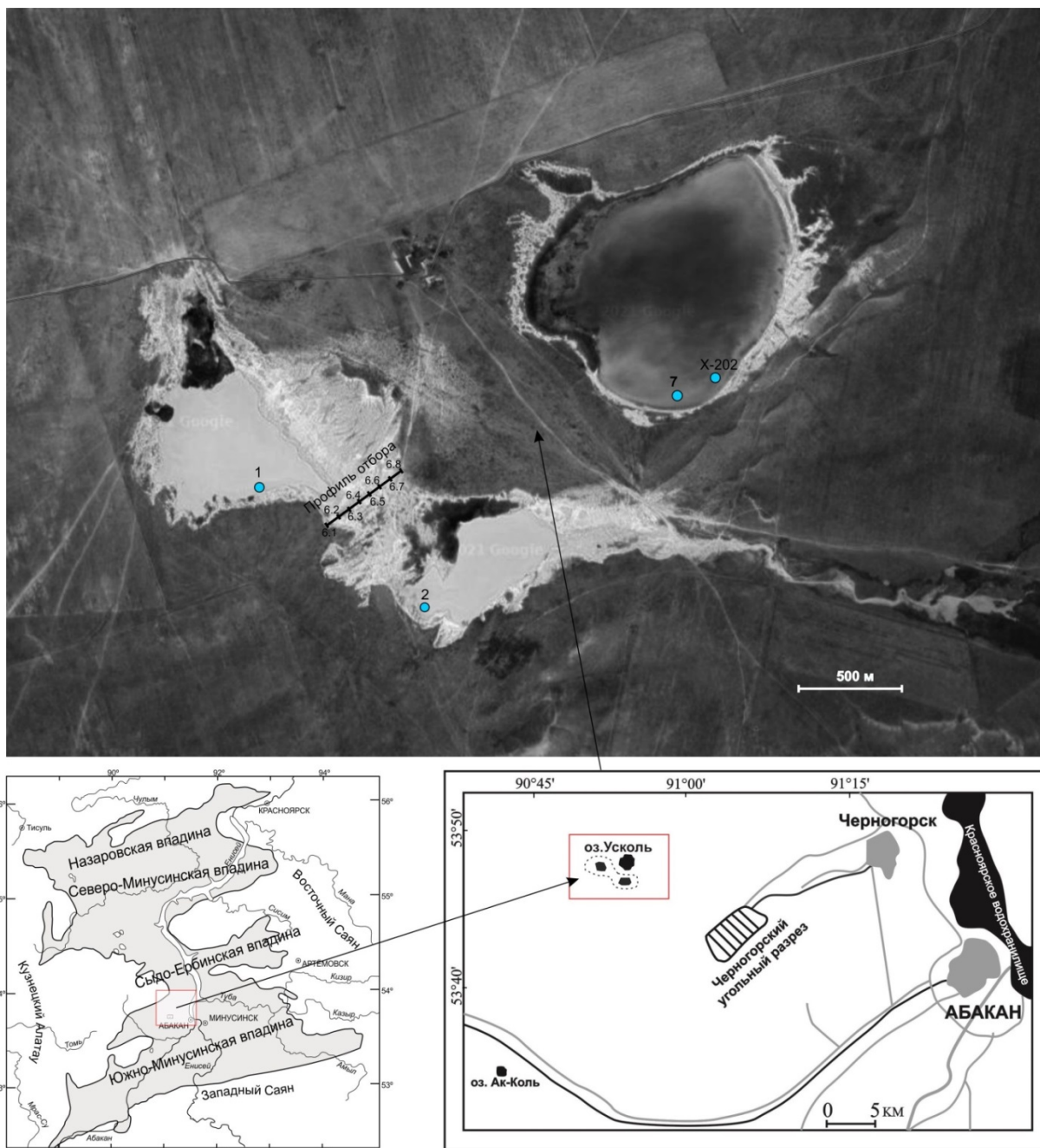


Рис. 1. Карта-схема расположения озера Усколь, совмещенная с картой фактического материала

Примечание. Точки 6.1–6.8 (черные) – озерные осадки, отобранные по профилю через 50 м друг от друга. Точки 1, 2, 7 и X-202 (синие) – пробы воды

Fig. 1. Schematic map of the location of Uskol Lake and sampling spots

Note. Points 6.1–6.8 (black) – lacustrine sediments sampled at each 50 m along the profile. Points 1, 2, 7 and X-202 (blue) – water samples

Материалы и методы

Отбор проб. Отбор проб твердых озерных осадков проводился в засушливый летний период 2018 г.

Пробоотбор осуществлялся с использованием бура диаметром 12 см по профилю в юго-западном – северо-восточном направлении, по пересыхающей части озера (по перемычке между двумя водоемами)

(см. рис. 1). Профиль представляет собой последовательные точки отбора образцов, располагающиеся через каждые 50 м друг от друга. Из каждой точки профиля также отбиралось 10 проб от поверхности до глубины 1 м (через каждые 10 см). В работе приводятся результаты и их обсуждение по данным профиля от точки 6.1 до точки 6.8, где точка 6.1 располагается непосредственно на береговой линии, а все последующие точки – через 50 м от предыдущей, заключительная точка 6.8 расположена в 350 м от береговой линии водоема (рис. 1).

Для изучения геохимических особенностей, а также минералообразующей способности водных средств были отобраны пробы поверхностных озерных вод (обр. 1 и 2). Кроме того, привлекались материалы ранее проведенных исследований по поверхностным водам озера Ускуль (обр. 7) [Banks et al., 2001] и (обр. X-202) [Parnachev, Degermendzhy, 2002], также для характеристики подземных вод нижнекаменноугольного водоносного комплекса использовались данные (обр. X-203), полученные в результате проведения хозяйственных работ сотрудниками Томского государственного университета.

Определение химического состава озерных вод. Количественное определение основных макрокомпонентов (анионов и катионов) поверхностных вод выполнялось комплексно методами титриметрии (CO_2 , CO_3^{2-} , HCO_3^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+}), пламенной фотометрии (Na^{2+} , K^+), потенциометрии (pH), турбидиметрии (SO_4^{2-}) в аккредитованной проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета.

Определение микрокомпонентов выполнялось методами масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе Agilent 7500cx фирмы Agilent Technologies в аккредитованной лаборатории ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского государственного университета по методике, описанной в работе [Kamenov, 2018]. Качество аналитических работ контролировалось на основе стандартов High Purity CRM-TMDW Standard of Drink Water.

Определение минерального состава озерных осадков. Диагностика общего минерального состава проводилась с использованием методов рентгенофазового анализа в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского государственного университета на дифрактометре X'Pert PRO фирмы PANalytical (Нидерланды). Съемка проводилась в нормальных условиях: 40 кВ, 30 мА, Cu-излучение, Ni-фильтр, диапазон измерений 3–60° 2 Θ . Обработку дифрактограмм и интерпретацию результатов осуществляли с использованием программного комплекса HighScore и базы данных PDF-4 Minerals 2021 (компания ICDD).

Диагностика глинистых минералов. Точная диагностика глинистых минералов подразумевает до-

полнительную подготовку образца к съемке с целью их концентрации в пробе. Для этого путем осаждения исходного материала в дистиллированной воде получали фракцию меньше 10 мкм. Время осаждения частиц такого размера рассчитывали по формуле Стокса [Ходяков, Юдкин, 1981]. Полученную фракцию делили на три дополнительных образца: один остался необработанным, второй образец насыщали парами этиленгликоля и третий образец прокаливали в муфельной печи при температуре 550 °С в течение 2 ч. Из полученных образцов готовили ориентированные препараты. Идентификация глинистых минералов основывалась на положении серии {001} базальных рефлексов и сопоставлении указанных выше трех состояний образцов.

Физико-химические расчеты. С целью уточнения генезиса формирующихся осадков были проведены физико-химические расчеты, включая тестирование минералообразующей способности водных сред. Для расчетов использовался программный комплекс HydroGeo, разработанный М.Б. Букаты [Букаты, 2002]. Использование программного обеспечения HydroGeo для решения широкого спектра различных задач было продемонстрировано ранее [Дутова и др., 2006; Гаськова и др., 2009; Shvartsev, Dutova, 2001; Balobanenko et al., 2016; Dutova et al., 2017, 2019]. Наиболее внимательно и детально была изучена минералообразующая способность пресных подземных вод и соответствующие им минеральные новообразования [Вологодина и др., 2015; Dutova et al., 2016; Karmalov et al., 2016; Покровский и др., 2002; Pokrovskiy et al., 2014].

Физико-химические расчеты для исследований процессов озера Ускуль проводилось нами применительно к средним ландшафтно-климатическим условиям района ($T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{общ}} = 1\text{ атм}$). Система была охарактеризована матрицей из 20 базовых ионов, 102 компонентов водного раствора и 54 минералов.

Оценка равновесности вод с минералами производилась путем расчетов показателей состояния системы «вода – порода» (индексы насыщения). Полученные при помощи расчета положительные значения индексов неравновесности свидетельствуют о способности системы к образованию тех или иных минералов, а отрицательные – о способности системы к их растворению.

Результаты и их обсуждение

Минералогия озерных осадков

Минеральный состав осадков озера Ускуль диагностирован с помощью рентгенофазового анализа. Минеральный набор представлен оксидами (кварц), алюмосиликатами (глинистые минералы, анальцит, полевые шпаты), карбонатами (кальцит, доломит), сульфатами (гипс) и галоидами (галит) (табл. 1).

Таблица 1

**Обобщенные данные минерального состава осадков озера Усколь
(по данным рентгенофазового анализа), %**

Table 1

Mineral composition of sediments of Uskol Lake (according to XRD analysis), %

Группа минералов	Минеральный вид	Химическая формула минерала	Концентрация		
			Средн.	Мин.	Макс.
Оксиды	Кварц	SiO ₂	30,9	15	42
Алюмосиликаты	Иллит	K _{<1} Al((Si,Al) ₄ O ₁₀)(OH) ₂ ·nH ₂ O	2,8	1	4
	Na-монтмориллонит	(Na,Ca) _{0,33} (Al,Mg) ₂ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₂	15,4	9	22
	Ca-Mg-монтмориллонит	(Ca,Mg) _{0,33} (Al,Mg) ₂ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₂	22,6	15	32
	Анальцим	Na[AlSi ₂ O ₆]·xH ₂ O	11,1	2	19
	Альбит	NaAlSi ₃ O ₈	14,4	2	27
	Санидин	KAlSi ₃ O ₈	1,6	<1	2
Карбонаты	Кальцит	CaCO ₃	13,9	2	63
	Доломит	CaMg(CO ₃) ₂	1,0	<1	2
Сульфаты	Гипс	CaSO ₄	1,4	<1	4
	Тенардит	Na ₂ SO ₄	<1	<1	<1
Галоиды	Галит	NaCl	2,0	<1	3

Оксиды и алюмосиликаты. Кварц установлен по серии основных базальных отражений hkl (d , Å_{интенсивность}): 011 (3,34₁₀), 100 (4,25₃), 112 (1,81₂) Å. Количество его концентрации варьируют от 15 до 42 % при среднем значении 30,9 %. В целом его распространение в осадках достаточно равномерное, не наблюдается заметных превышений на каких-либо участках рассматриваемого профиля. Кварц рассматривается как основной терригенный минерал, но также не исключается его частично гидрогенное происхождение.

Анальцим – минерал группы цеолитов. Он диагностирован по серии рефлексов hkl (d , Å_{интенсивность}): 404 (3,42₁₀), 122 (5,61₈), 054 (2,92₇) Å. Анальцим встречается по всему разрезу и на всех рассматриваемых глубинах, его содержание варьирует от 2 до 19 % при среднем значении 11,1 %. Анальцим – типичный терригенный минерал, который образовался в осадках за счет разрушения натриевого плагиоклаза в среде миграции подземных вод.

Полевые шпаты представлены натриевым плагиоклазом – альбитом и калиевым полевым шпатом – санидином. Альбит диагностирован по дифракционным линиям hkl (d , Å_{интенсивность}): 002 (3,18₁₀), $\bar{2}01$ (4,03₈), $\bar{1}30$ (3,69₄), $\bar{2}02$ (3,21₇) Å, санидин по рефлексам 002 (3,23₁₀), 220 (3,33₆), $\bar{1}\bar{1}2$ (3,46₅), $\bar{1}30$ (3,75₅) Å. Для альбита характерно достаточно равномерное распространение в разрезе и закономерность к увеличению по мере удаления от береговой линии озера, его содержания варьируют от 2 до 27 % при среднем значении 14,4 %. Для санидина характерны небольшие концентрации от следовых количеств (<1 %) до 2 %. Для него характерно накопление преимущественно в нижних частях разреза (60–100 см от поверхности). Полевые шпаты – типичные терригенные минералы, накопление которых происходит за счет разрушения

близлежащих коренных пород. Однако в литературе встречаются данные о возможном гидрогенном происхождении альбита в условиях соленых озерных систем [Борзенко, 2020].

Глинистые минералы представлены тремя разновидностями: кальций-магниевым монтмориллонитом, натриевым монтмориллонитом и иллитом. Рентгенографически монтмориллониты установлены по серии базальных отражений hkl (d , Å_{интенсивность}): 001 (14,28–12,13₁₀), 020 (4,49₂) и $\bar{1}31$ (2,57₁) Å. Основной диагностический признак монтмориллонитов заключается в смещении рефлекса 001 в область малых углов 2 Θ , т.е. в увеличении соответствующего межплоскостного расстояния (14,28–12,13 Å → 16,54 Å) после насыщения образца парами этиленгликоля (рис. 2). Смещение обусловлено увеличением параметра c кристаллической структуры за счет внедрения в ее межслоевой промежуток органических молекул этиленгликоля – двухатомного спирта C₂H₄(OH)₂ [Рентгенография..., 1983]. После прокаливании образца при температуре 550 °C межплоскостное расстояние сокращается до 9,91 Å (рис. 2), так как кристаллическая структура сжимается за счет удаления из нее межслоевой воды.

На наличие натриевого катиона в межслоевом промежутке монтмориллонита указывает положение первого базального пика 001 (d = 12,13 Å), в то время как у монтмориллонита с кальциевым и магниевым катионами положение этого рефлекса отвечает межплоскостному расстоянию 14,28 Å [Рентгенография..., 1983]. Особенность положения этих рефлексов объясняется различным составом поглощенного комплекса, а именно отношением кальция, магния и натрия, а также различным содержанием в монтмориллоните связанной воды. На дифрактограмме (рис. 2) видно, что пик в обла-

сти 14,28–12,13 Å характеризуется уширением формы, это указывает на наличие в осадках как

натрийсодержащего, так и кальций-магниевого монтмориллонита.

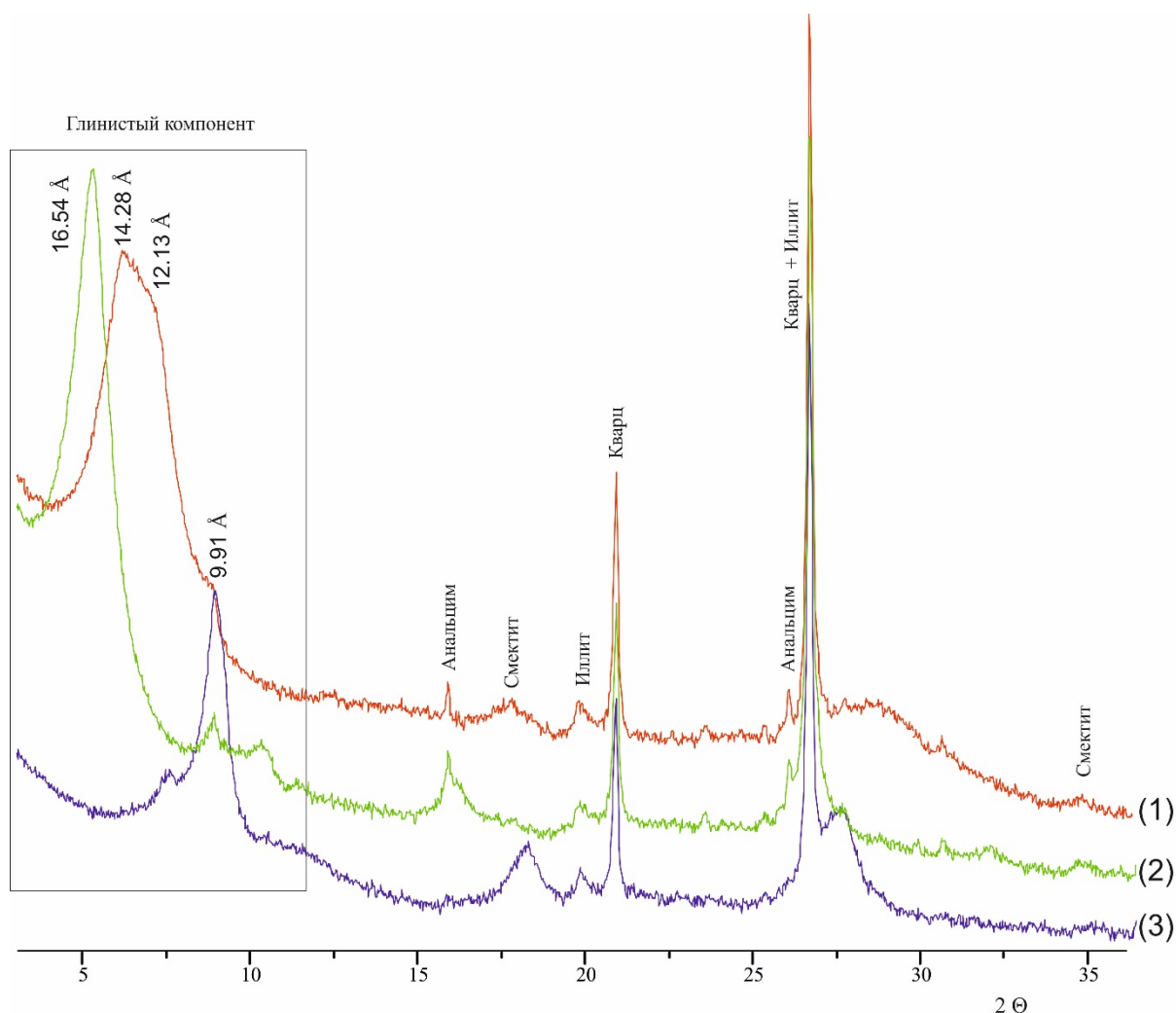


Рис. 2. Пример дифрактограммы образца глинистой составляющей

Образец 6.1, глубина отбора 50–60 см, снятой в воздушно-сухом состоянии (1), после насыщения парами этиленгликоля (2) и после прогрева образца при температуре 550 °C (3)

Fig. 2. An example XRD-data of clay component

The sample 6.1, Sampling depth 50–60 cm obtained in air-dry state (1), after saturation with ethylene glycol vapor (2) and after heating the sample at a temperature of 550 °C (3)

В данной работе иллит (согласно рекомендациям Номенклатурного комитета) подразумевает групповое название всех слюдистых минералов, в которых содержание разбухающих смектитовых слоев не превышает 15 % [Bailey et al, 1984]. Диагностика иллита проведена по характерному набору рефлексов hkl (d , Å_{интенсивность}): 002 (9,91₁₀), 004 (4,99₄), 006 (3,35₁₀), 0010 (1,98₄). При прокаливании и насыщении образца этиленгликолем межплоскостные расстояния не меняются из-за прочной, стабильной решетки иллита, которая не способна к межпакетной адсорбции воды.

В осадках озера Усколь глинистые минералы составляют значительную долю относительно всех

минеральных видов, суммарно их концентрации меняются от 13 до 50 % при среднем 30,6 %. В значительных количествах отмечаются кальций-магниевого и натриевого монтмориллониты, в то время как иллит определен в малых концентрациях. Также обнаружена закономерность накопления глинистых минералов: в интервале 30–100 см характерно увеличение содержания натриевого монтмориллонита и иллита, а для кальций-магниевого монтмориллонита, напротив, наблюдается тенденция к увеличению от поверхности и до глубины 50 см. Накопление глинистых минералов в осадках происходит вследствие разрушения и сноса терригенного материала в кот-

ловину озера, а также за счет процессов эпигенетического преобразования коренных горных пород (преимущественно полевых шпатов) в зоне миграции подземных вод.

Карбонаты. Карбонатные минералы представлены кальцитом и доломитом. Кальцит диагностирован по основным рефлексам hkl (d , $\text{\AA}$, $\text{\AA}_{\text{интенсивность}}$) 104 ($3,03_{10}$), 110 ($2,49_2$), 113 ($2,28_2$), 202 ($2,09_2$) $\text{\AA}$, доломит – по пикам 104 ($2,88_{10}$), 012 ($3,69_3$), 006 ($2,66_3$) $\text{\AA}$. Доминирующим минералом в группе карбонатов выступает кальцит, его содержания варьируют от 2 до 63 % при среднем значении 13,9 %. Наибольшие концентрации кальцита отмечаются в точке отбора 6.4, которая располагается в 150–200 м от начала профиля, средние значения в этой точке составляют 46 %. В значительно меньших количествах встречается доломит, максимально не более 2 %. В осадках озера Усколь кальцит выступает как терригенным, так и гидрогенным минералом. Это подтверждается химическими особенностями озерных вод, а также терригенно-карбонатным составом коренных пород. Доломит – гидрогенный минерал, который образуется как за счет процессов испарительного концентрирования озерных вод, так и за счет взаимодействия подземных вод с осадками.

Сульфаты. Сульфатные минералы в осадках озера Усколь представлены гипсом и тенардитом. Гипс выявлен по серии отражений hkl (d , $\text{\AA}$, $\text{\AA}_{\text{интенсивность}}$) $\bar{1}21$ ($4,27_{10}$), 020 ($7,59_8$), $\bar{1}41$ ($3,06_6$), 121 ($2,87_4$) $\text{\AA}$. Его содержание достаточно невысокое и выражается в значениях от следовых количеств до 4 % при среднем 1,4 %. Стоит отметить, что накопление гипса происходит преимущественно в верхней части изучаемых осадков (от поверхности до глубины 30 см), в составе соляной корки. Гипс – типичный гидрогенный минерал, который может образовываться за счет взаимодействия подземных вод с осадками и за счет процессов испарительного концентрирования.

Тенардит диагностирован по отражениям hkl (d , $\text{\AA}$, $\text{\AA}_{\text{интенсивность}}$) 311 ($2,78_{10}$), 111 ($4,66_7$), 220 ($3,84_2$), 131 ($3,18_6$) $\text{\AA}$. Его концентрации зафиксированы на уровне следовых количеств (менее 1 %). Тенардит – гидрогенный минерал, способный к накоплению в процессе испарительного концентрирования.

Галоиды. Галит установлен по характерным линиям hkl (d , $\text{\AA}$, $\text{\AA}_{\text{интенсивность}}$) 200 ($2,81_{10}$), 220 ($1,99_6$), 222 ($1,62_2$) $\text{\AA}$. Содержание галита в осадках ничтожно мало и колеблется на уровне следовых количеств, редко достигая 3 % в верхних частях разреза.

Геохимические особенности и минералообразующая способность подземных и озерных вод

При проведении данных исследований нами были проанализированы подземные воды нижнекаменноугольного водоносного горизонта, питающие озе-

ро, а также непосредственно поверхностные озерные воды.

Химический состав основных компонентов представлен в табл. 2. Из данных таблицы видно, что подземные воды, питающие озеро Усколь, по химическому составу относятся к хлоридно-сульфатному типу с преобладающим натриевым катионом, минерализацией 1,98 г/л и слабощелочным pH.

По химическому составу поверхностные воды озера также относятся к хлоридно-сульфатному типу с преобладающим натриевым катионом. Но их минерализация значительно выше, чем у подземных вод. Поскольку в табл. 2 приведены данные по водам, отобранным в разные годы и периоды различной атмосферной нагрузки, то данные по минерализации варьируют от 17,8 до 33,5 г/л. Для поверхностных вод характерна более щелочная среда, и значения pH зафиксированы на уровне от 8,86 до 9,93. На долю хлорида иона приходится 24–39 мг-экв %, в абсолютных значениях его концентрации меняются от 3 474 до 6 035 мг/л. Количество сульфата иона варьирует от 28 до 55 мг-экв %, что в абсолютных значениях соответствует 4 850–10 765 мг/л. Доля гидрокарбонат иона составляет от 15 до 23 мг-экв %. Среди катионов преобладающим компонентом является иона натрия, его доля составляет 98–99 мг-экв %, что выражается в абсолютных концентрациях от 5 970 до 12 000 мг/л. Доли кальция, магния и калия по сравнению с содержанием натрия незначительны и составляют 1–2 мг-экв %.

Анализ зависимостей основных анионов и катионов позволил выявить закономерность увеличения количества анионов с ростом минерализации. Установлена тенденция к накоплению натрия с ростом солености, для магния наблюдается сложный характер зависимости – до минерализации 20 г/л увеличение с ростом минерализации, а затем происходит стабилизация его содержания, для кальция напротив, характерно уменьшение содержания при повышении минерализации вод (рис. 3).

Анализ микрокомпонентов выявил значительные концентрации в водах брома (максимально до 50 мг/л), лития (значения варьируют от 0,08 до 0,26 мг/л) и стронция (концентрации от 0,13 до 0,53 мг/л).

Обогащение вод озера Усколь макро- и микрокомпонентами происходит в процессе взаимодействия в системе «вода – порода» при непосредственном влиянии процессов испарительного концентрирования. О степени влияния этих процессов можно судить по диаграммам Гиббса (рис. 4) [Gibbs, 1970]. На диаграмму кроме вод также вынесены данные подземных вод Южно-Минусинской котловины нижнекаменноугольного водоносного комплекса.

Согласно положению точек на диаграмме, основное влияние на формирование катионного состава поверхностных и подземных вод оказывают процессы испарительного концентрирования

(рис. 4). Для анализа роли процесса испарения в формировании состава вод принято использовать хлорид-ион, поскольку он обладает свойством накопления в растворе и при данном уровне минерализации не способен к формированию вторичных минералов (рис. 5).

На данном графике видно, что накопление хлорид- и гидрокарбонат-ионов происходит при непосредственном влиянии процессов как испарительно-

го концентрирования, так и взаимодействия воды и озерных осадков.

Положение точек на диаграмме зависимости концентраций сульфат- и гидрокарбонат-ионов свидетельствует об их пропорциональном концентрировании в процессе испарительного концентрирования совместно с хлорид-ионом, что указывает на преобладающее значение данного процесса при формировании вод рассматриваемого озера.

Таблица 2

Химический состав основных компонентов поверхностных вод озера Усколь и подземных вод района, мг/л

Table 2

Chemical composition of the main components of the surface waters of Uskol Lake and ground waters of the region, mg/L

Компонент	Тип вод				
	подземные		поверхностные		
	Обр. X-203	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 7	Обр. X-202
pH	7,70	8,86	8,97	9,93	9,50
HCO ₃ ⁻	345	2 600	2 440	4 886	6 832
SO ₄ ²⁻	700	5 210	4 850	10 765	6 617
Cl ⁻	298	3 750	3 600	3 471	6 035
Минерализация	1 999	17 710	17 589	26 756	33 582
Ca ²⁺	47	20	14	4,48	3
Mg ²⁺	4,9	36,6	34,2	15,7	26,0
Na ²⁺	600	6 050	5 970	7 560	12 000
K ⁺	3,9	9,9	10,0	20,2	48,0
Si	3,19	1,20	1,20	0,58	1,31
F	1,90	—	—	18,70	24,47
Br	16,88	12,79	10,65	15,72	50,00
Li	0,19	0,08	0,09	0,14	0,26
Sr	9,70	0,47	0,53	0,49	0,13
Формула	SO ₄ ²⁻ 51 Cl ⁻ 29 HCO ₃ ⁻ 19 Na ²⁺ 90	SO ₄ ²⁻ 41 Cl ⁻ 40 HCO ₃ ⁻ 16 Na ²⁺ 98	SO ₄ ²⁻ 38 Cl ⁻ 38 HCO ₃ ⁻ 15 Na ²⁺ 99	SO ₄ ²⁻ 55 Cl ⁻ 24 HCO ₃ ⁻ 20 Na ²⁺ 99	Cl ⁻ 35 SO ₄ ²⁻ 28 HCO ₃ ⁻ 14 Na ²⁺ 99

Примечание. «—» — данные отсутствуют.

Note. «—» — no data available.

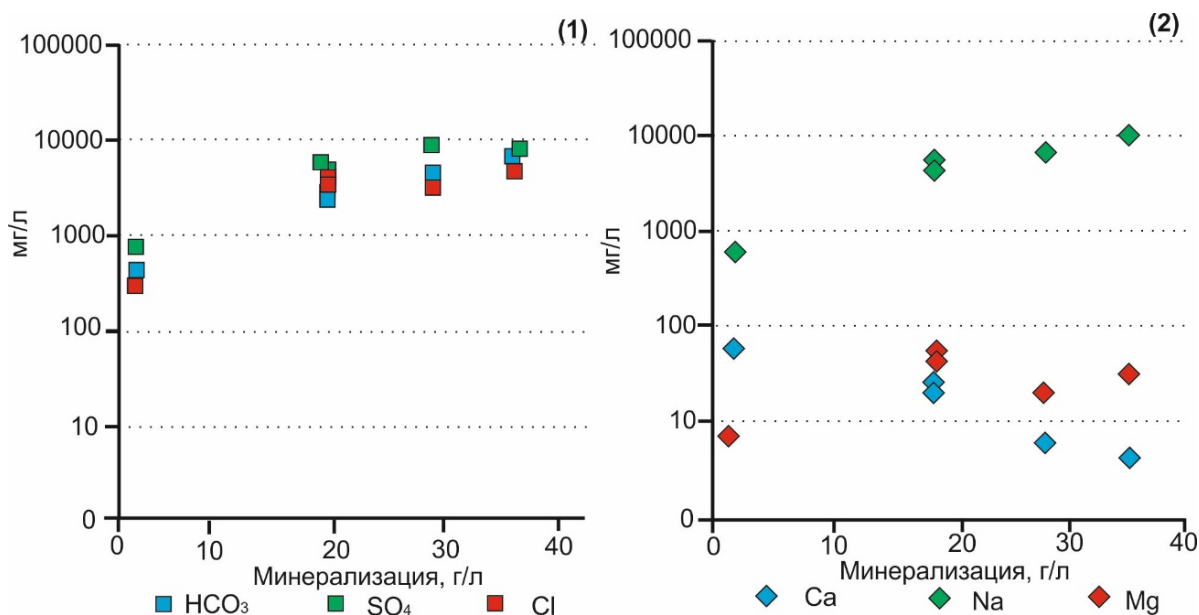


Рис. 3. Зависимость основных анионов (1) и катионов (2) от минерализации вод

Fig. 3. Dependence of main anions (1) and cations (2) on water salinity

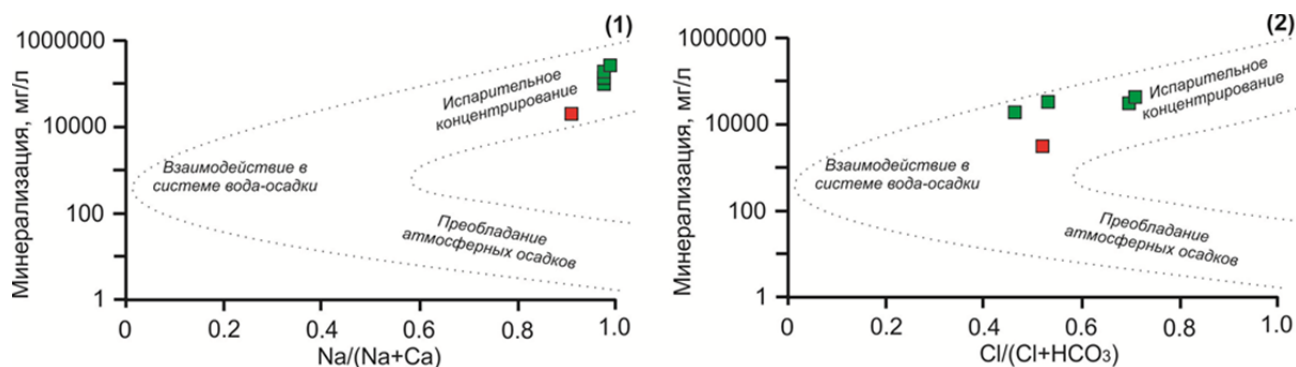


Рис. 4. Зависимость минерализации от $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ (1) и $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{HCO}_3)$ (2)

Красным обозначены пробы подземных вод; зеленым – поверхностных озерных вод

Fig. 4. Mineralization dependence on $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ (1) and $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{HCO}_3)$ (2) contents

Red points denote groundwater samples; green points denote surface water samples

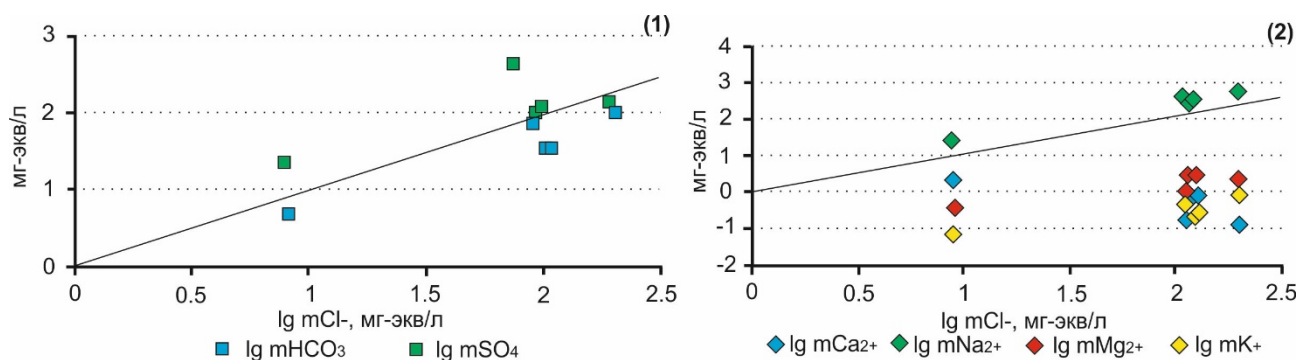


Рис. 5. Зависимости концентраций основных анионов (1) и катионов (2) от концентрации хлорид-иона в водах озера Ускуль

Положение точек вдоль линии с наклоном 45° соответствует пропорциональному накоплению элементов, ожидаемому при простом испарении [Драйвер, 1985]

Fig. 5. Dependences of concentrations of the main anions (1) and cations (2) on chloride ion concentration in the Uskul Lake waters

Dots distribution along a 45° line corresponds to proportional accumulation of elements expected from simple evaporation [Driver, 1985]

На диаграмме зависимости основных катионов видно, что ионы натрия накапливаются пропорционально с хлорид-ионом, что возможно преимущественно при процессах испарительного концентрирования. Магний и калий растут существенно медленнее хлорид-иона. Для кальция же характерна даже обратная зависимость от концентраций хлорид-иона. Подобное поведение элементов может говорить об их участии в процессах образования вторичных минералов при испарительном концентрировании.

Для уточнения, а также возможного расширения минеральных видов, полученных методом рентгенофазового анализа, нами были рассчитаны индексы насыщения (SI) озерных вод вторичными минералами. В основу расчетов заложены уже диагностированные минеральные виды, а также наиболее часто встречающиеся во вмещающих породах водосборной территории озера. В табл. 3 приведены индексы

насыщения, которые характеризуют возможность разрушения или формирования определенного вторичного минерала для каждого типа вод.

Изученные озерные воды недонасыщены относительно ряда первичных алюмосиликатов (анортита), хлоридов (галита, гидрогалита, сильвина), сульфатов (эпсомита, кизерита, тенардита, ангидрита, мелантерита, ярозита и целестина), вторичных алюмосиликатных минералов (Mg-хлорита) и карбонатов (магнезита, лансфордита, витерита, сидерита, родохрозита, стронцианита), некоторых окислов и гидроокислов (кристобалита, тридимита и халцедона).

Многие из этих минералов (анортит, хлорит и др.) являются породообразующими среды миграции и, соответственно, служат источниками обогащения подземных вод элементами на протяжении всего времени движения (от областей питания до областей разгрузки), их присутствие в осадках маловероятно.

Таблица 3

Степень насыщения различных типов вод озера Усколь к минералам (индексы насыщения)

Table 3

Saturation degrees of various types of Uskol Lake waters in relation to minerals (saturation indexes)

Минерал	Химическая формула минерала	Тип вод				
		подземные	озерные			
		Обр. X-203	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 7	Обр. X-202
Гидроокислы						
Гётит	FeOOH	5,40	6,00	7,80	12,00	13,00
Лепидокрокит	FeOOH	0,40	0,94	2,80	7,10	7,90
Байерит	Al(OH) ₃	8,60	3,40	3,60	3,20	6,00
Гиббсит	Al(OH) ₃	5,90	0,72	0,92	0,50	3,40
Оксиды						
Гематит	Fe ₂ O ₃	16,00	17,00	20,00	29,00	31,00
Кварц	SiO ₂	0,04	-1,20	-1,30	-3,30	-1,80
Кристобалит	SiO ₂	-1,30	-2,60	-2,60	-4,70	-3,10
Тридимит	SiO ₂	-0,92	-2,20	-2,20	-4,30	-2,70
Халцедон	SiO ₂	-0,62	-1,90	-1,90	-4,00	-2,40
Силикаты и алюмосиликаты						
Нонтронит	Fe _{1,65} Al _{2,33} Si _{3,67} O ₁₀ (OH) ₂	23,00	5,60	6,00	-2,10	10,00
Fe-Mg монтмориллонит	Fe _{0,2924} Mg _{2,9} Al _{1,6984} Si _{3,935} O ₁₀ (OH) ₂	7,40	-5,20	-4,60	-12,00	-0,95
Монтмориллонит	Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	21,00	5,60	5,70	-3,30	8,60
Монтмориллонит	Ca _{0,187} Na _{0,0205} K _{0,0205} Fe _{0,141} Mg _{0,336} Al _{1,59} Si _{3,93} O ₁₀ (OH) ₂	15,00	5,00	5,50	-1,30	8,40
К-монтмориллонит	K _{0,3} Al _{1,9} Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	14,00	0,21	0,39	-7,80	3,80
Mg-Fe монтмориллонит	Mg _{0,6525} Fe _{0,335} Al _{1,47} Si _{3,82} O ₁₀ (OH) ₂	15,00	7,10	8,10	2,80	12,00
Na-Са монтмориллонит	Na _{0,27} Ca _{0,1} K _{0,02} Fe _{0,19} Mg _{0,22} Al _{1,58} Si _{3,94} O ₁₀ (OH) ₂	16,00	6,10	6,70	0,27	10,00
Са-монтмориллонит	Ca _{0,15} Al _{1,9} Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	22,00	7,70	7,80	-0,95	10,00
Mg-бейделлит	Mg _{0,165} Al _{2,33} Si _{3,67} O ₁₀ (OH) ₂	22,00	6,30	6,60	-1,50	11,00
Са-бейделлит	Ca _{0,165} Al _{2,33} Si _{3,67} O ₁₀ (OH) ₂	22,00	6,00	6,20	-2,00	9,90
Na-бейделлит	Na _{0,33} Al _{2,33} Si _{3,67} O ₁₀ (OH) ₂	24,00	9,40	9,70	2,00	14,00
Mg-хлорит	Mg ₆ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₈	-47,00	-16,00	-14,00	-5,80	-7,70
Иллит	K _{0,63} Na _{0,017} Ca _{0,145} Fe _{0,327} Mg _{0,349} Al _{1,9} Si _{3,421} O ₁₀ (OH) ₂	21,00	12,00	13,00	9,90	20,00
К-Мгиллит	K _{0,6} Mg _{0,25} Al _{2,3} Si _{3,5} O ₁₀ (OH) ₂	25,00	12,00	12,00	6,50	18,00
Mg-мусковит	KMgAlSi ₄ O ₁₀ (OH) ₂	1,50	0,67	1,30	-1,80	5,70
К-иллит	K _{0,5} Al _{2,5} Si _{3,5} O ₁₀ (OH) ₂	28,00	12,00	13,00	5,70	18,00
Анортит	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	-1,70	-11,00	-11,00	-14,00	-7,80
Калиевый полевой шпат	KAlSi ₃ O ₈	7,80	2,20	2,40	-1,30	6,00
Альбит	NaAlSi ₃ O ₈	2,50	-1,70	-1,40	-5,40	1,20
Карбонаты						
Магнезит	MgCO ₃	-3,50	1,60	1,70	1,40	2,30
Лансфордит	MgCO ₃ ×5H ₂ O	-5,70	-0,64	-0,50	-0,85	0,00
Витерит	BaCO ₃	-5,10	-3,90	-3,50	-4,00	0,43
Арагонит	CaCO ₃	1,70	4,10	3,90	2,70	2,20
Кальцит	CaCO ₃	2,10	4,50	4,30	3,10	2,60
Доломит	CaMg(CO ₃) ₂	0,25	7,70	7,70	6,20	6,50
Сидерит	FeCO ₃	-1,10	-4,40	-3,10	-4,20	-0,20
Родохрозит	MnCO ₃	-3,90	-1,40	-1,50	-3,90	-1,60
Стронцианит	SrCO ₃	-0,77	2,00	2,40	3,00	6,70
Сульфаты						
Эпсомит	MgSO ₄ ×7H ₂ O	-9,70	-8,00	-8,00	-9,40	-9,20
Кизерит	MgSO ₄ ×H ₂ O	-67,00	-65,00	-65,00	-66,00	-66,00
Тенардит	Na ₂ SO ₄	-58,00	-53,00	-53,00	-51,00	-52,00
Барит	BaSO ₄	3,70	1,70	1,80	0,29	4,00
Ангидрит	CaSO ₄	-3,90	-4,70	-5,20	-7,30	-8,50
Гипс	CaSO ₄ ×2H ₂ O	2,80	2,00	1,50	-0,63	-1,80
Мелантерит	FeSO ₄ ×7H ₂ O	-5,50	-12,00	-11,00	-13,00	-9,90
Ярозит	KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	-24,00	-28,00	-23,00	-16,00	-10,00
Целестин	SrSO ₄	-0,34	-0,79	-0,70	-1,10	1,90
Галоиды						
Галит	NaCl	-12,00	-7,90	-8,00	-7,70	-7,00
Гидрогалит	NaCl×2H ₂ O	-12,00	-7,70	-7,70	-7,40	-6,70
Сильвин	KCl	-16,00	-13,00	-13,00	-12,00	-11,00

Положительные индексы насыщения указывают на равновесность подземных вод с сульфатами (баритом, гипсом), карбонатами (арагонитом, кальцитом, доломитом), оксидами (гематитом, кристобалитом, тридимитом, халцедоном), алюмосиликатами (нонтронитом, монтмориллонитами с различными преобладающими катионами, бейделитом, иллитом и калиевым полевым шпатом).

Согласно значениям индексов неравновесности, воды самого озера, по сравнению с подземными водами, более равновесны еще и с некоторыми карбонатами (арагонитом, кальцитом, магнезитом, доломитом и стронцианитом), сульфатами (баритом, иногда гипсом), алюмосиликатами (монтмориллонитом, бейделлитом, иллитом).

Все упомянутые минералы способны к новообразованию из вод и выводят из них соответствующие элементы. Стоит заметить, что галоиды не равновесны ни с одним типом изучаемых вод, что позволяет предполагать их образование только в процессе испарительного концентрирования.

Проведенные физико-химические расчеты хорошо согласуются с минералогическими исследованиями и подтверждают гидрогенный механизм осадкообразования. Соответственно, в составе минеральных осадков мы видим присутствие этих минералов в количествах и соотношениях, отражающих конкретный химический состав водной среды, из которой они формируются.

Полученные физико-химические расчеты могут использоваться в качестве основы для дальнейших исследований процессов формирования озер и их осадков.

Минеральные ассоциации и закономерности минерального накопления

На основании выявленного набора минеральных фаз можно выделить два типа генетических ассоциаций: терригенную и гидрогенную. Терригенная ассоциация включает в себя нерастворимые в воде минералы: кварц, полевые шпаты, анальцит и глинистые минералы (натриевый и кальций-магний-монтмориллониты и иллит). Гидрогенная ассоциация объединяет в себя минеральные виды, которые образуются за счет процессов испарительного концентрирования: кальцит, доломит, гипс, галит.

Минералогический состав терригенной ассоциации хорошо согласуется с составом подстилающих горных пород. Полевые шпаты, кварц, анальцит – продукты разрушения коренных пород основания озера. Глинистые минералы – типичные эпигенетические образования, которые сформировались в озерных условиях в результате воздействия на полевые шпаты поверхностных и подземных вод. Ранее нами было подтверждено [Хрущева и др., 2020;

Khrushcheva, Nebera, 2019], что глинистые минералы в осадках озера Усколь образовались вследствие разрушения полевых шпатов и анальцита по следующей схеме: полевые шпаты + анальцит → натриевый и кальций-магний-монтмориллониты → иллит.

Минеральный состав гидрогенной ассоциации представлен минералами с разной степенью растворимости: кальцитом, доломитом, гипсом и галитом. Стоит отметить, что кальцит был отнесен нами к гидрогенной ассоциации в связи с полученными значениями индекса насыщения вод минеральными фазами, но необходимо дать уточнение, что в соответствии с составом подстилающих горных пород кальцит также может иметь и обломочное происхождение.

При выявлении закономерностей распределения минеральных видов в вертикальном разрезе и по laterали (в соответствии с профилем отбора проб), установлено достаточно равномерное распределение минеральных видов. Стоит отметить, что наблюдается тенденция к накоплению в верхних частях разрезов гипса и галита, а также закономерность в формировании глинистых минералов, а именно в интервале 30–100 см отмечается увеличение доли иллита и кальций-магний-монтмориллонита при соответственном уменьшении доли натриевого монтмориллонита. Также в точке 6.4, расположенной в 350 м от береговой линии, установлены повышенные концентрации карбонатов (преимущественно кальцита), среднее значение кальцита 9 % (за исключением значений в точке 6.4) против 46 % в точке 6.4.

Порядок выпадения гидрогенных минералов из вод озера – процесс сложный, который обычно регулируется процессами испарительного концентрирования, а также балансом относительной влажности.

Согласно схеме эволюции рассола [Eugster, Hardie, 1978], осаждение водорастворимых минералов начинается с карбоната кальция – кальцита. При его осаждении озерная вода становится более концентрированной, необходимо учитывать влияние иона магния, который способствует образованию доломита. Садка доломита осуществляется, только если в растворе соотношение магния к кальцию повышается, что, как правило, невозможно без осаждения сульфатных минералов. При постоянном воздействии подземных и поверхностных вод на подстилающие горные породы в результате гидролиза алюмосиликатов в воды поступают ионы натрия, кальция и магния, что в дальнейшем приводит к образованию сульфатных солей. Инструментальными методами, а также с помощью физико-химических расчетов в осадках озера Усколь диагностированы сульфаты – гипс, тенардит. Завершается процесс минералообразования увеличением содержания хлорид-иона в растворе, что влечет за собой садку галита. Таким образом, в общем виде порядок осаждения

водородных минералов можно представить в следующем виде: анионы $\text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^-$, для катионов $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Na}^{2+}$.

Полученные данные хорошо коррелируют с данными, полученными для эфемерного озера Талое [Хрущева и др., 2018; Khrushcheva et al., 2021], которое расположено в непосредственной близости к озеру Усколь, а также с другими солеными озерами мира (Лоп-Нур (Китай) [Chao et al., 2009], Набксабха (Египет) [Attia, 2013], Мейган (Иран) [Abdi et al., 2018] и др.).

Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Прецизионными методами в озерных осадках озера Усколь установлены минералы: оксиды – кварц; алюмосиликаты – хлорит, иллит, смешанослойные образования иллит-монтмориллонитового ряда, альбит, калиевый полевой шпат (санидин); карбонаты – кальцит, доломит; сульфаты – гипс, тенардит; галоиды – галит.

2. По генетическому признаку полученные минеральные виды разделены на две ассоциации: терригенную и гидрогенную. Терригенная включает в себя минералы, нерастворимые в воде и образовавшиеся в результате разрушения коренных горных пород. Гидрогенная ассоциация объединяет водорастворимые минералы, образовавшиеся в процессе

испарительного концентрирования вод и воздействия подземных вод на осадки.

3. Установлена вертикальная зональность в распределении минеральных видов. В верхних частях разреза зафиксировано повышенное содержание водорастворимых минералов (сульфатов и галоидов), а также выявлена закономерность распределения глинистых минералов по глубине.

4. Установлен порядок осаждения минералов из вод озера Усколь. Он выражается в следующем виде: для катионов – $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Na}^{2+}$, для анионов $\text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^-$.

5. Физико-химические расчеты показывают равновесие озерных вод с оксидами, алюмосиликатами, карбонатами и сульфатами. На формирование минералов значительное влияние оказывает испарительное концентрирование совместно с процессами выветривания коренных горных пород.

Таким образом, полученные результаты могут стать основой для дальнейшего физико-химического моделирования процессов, происходящих в соленых озерах, с целью понимания их условий формирования.

Исследование инициировано госзаказом Министерства науки и высшего образования РФ № 0721-2020-0041, аналитические работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90056, физико-химические расчеты проведены в рамках Программы повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета.

ЛИТЕРАТУРА

- Базарова В.Б., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М., Орлова Л.А. Особенности озерного осадконакопления в степной зоне Юго-Восточного Забайкалья в голоцене (на примере отложений оз. Зун-Соктуй) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52 (3). С. 426–438.
- Борзенко С.В. Основные условия формирования химического состава вод соленых и солоноватых озер Восточного Забайкалья // Геохимия. 2020. Т. 65, № 12. С. 1212–1230.
- Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач // Известия Томского политехнического университета. 2002. Т. 305, № 6. С. 348–365.
- Валяшко М.Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. М.: Изд-во МГУ, 1962. 398 с.
- Володина И.В., Дутова Е.М., Покровский Д.С., Радюк И.В. Природно-техногенные минеральные новообразования на водозаборах Томской области // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2015. № 3. С. 58–72.
- Гаськова О.Л., Букаты М.Б., Широносова Г.П., Кабанник В.Г. Термодинамическая модель сорбции двух валентных тяжелых металлов кальцитов в природно-техногенных обстановках // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 2. С. 115–126.
- Дривер Дж. Геохимия природных вод. М.: Мир, 1985. 440 с.
- Дутова Е.М., Букаты М.Б., Неволько А.И., Покровский Д.С., Шварцев С.Л. Гидрогенное концентрирование золота в аллювиальных россыпях Егорьевского района (Салаир) // Геология и геофизика. 2006. Т. 47, № 3. С. 364–376.
- Котельников А.Д., Макаренко Н.А., Дербан А.Г., Котельникова И.В., Филимонов А.Н., Сатаев Ф.Р., Третьяк А.И., Кренида О.А., Козулина Т.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Минусинская. Лист N-46-XIX (Усть-Бюрь). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2018. 330 с.
- Покровский Д.С., Дутова Е.М., Рогов Г.М., Володина И.В., Тайлашев А.С., Лычагин Д.В. Минеральные новообразования на водозаборах Томской области / под ред. Д.С. Покровского. Томск: НТЛ, 2002. 176 с.
- Рентгенография основных типов породообразующих минералов (слоистые и каркасные силикаты) / под ред. В.А. Франк-Каменецкого. Л.: Недра, 1983. 359 с.
- Рогозин Д.Ю. Меромиктические озера Северо-Минусинской котловины: закономерности стратификации и экология фототрофных серных бактерий. Красноярск: Изд-во ИФСОРАН, 2018. 241 с.
- Солотчина Э.П., Скляров Е.В., Солотчин П.А., Володина Е.Г., Столповская В.Н., Склярова О.А., Ухова Н.Н. Реконструкция климата голоцена на основе карбонатной осадочной летописи малого соленого озера Верхнее Белое (Западное Забайкалье) // Геология и геофизика. 2012. Т. 53 (12). С. 1756–1775.
- Ходяков Г.С., Юдкин Ю.П. Седиментационный анализ высокодисперсных систем. М.: Химия, 1981. 192 с.

- Хрущева М.О., Тишин П.А., Архипов А.Л., Чернышов А.И.** Минералогия современных эвапоритов урочища Талое озеро (Республика Хакасия) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 11. С. 48–53.
- Хрущева М.О., Тишин П.А., Небера Т.С., Чернышов А.И., Архипов А.Л.** Генетическая информативность глинистых минералов осадков озера Усколь (Республика Хакасия) // Записки Российского минералогического общества. 2020. Т. 149, № 5. С. 99–111.
- Чарыкова М.В., Чарыков Н.А.** Термодинамическое моделирование процессов эвапоритовой седиментации. СПб.: Наука, 2003. 261 с.
- Abdi L., Rahimpour-Bonab H., Mirmohammad-Makki M., Probst J., Langeroudi S.R.** Sedimentology, mineralogy, and geochemistry of the Late Quaternary Meyghan Playa sediments, NE Arak, Iran: palaeoclimate implications // *Arabian Journal of Geosciences*. 2018. V. 11. 589 p.
- Attia O.E.** Sedimentological characteristics and geochemical evolution of Nabqsbkha, Gulf of Aqaba, Sinai, Egypt // *Arab. J. Geosci.* 2013. V. 6. P. 2045–2059.
- Bailey S.W., Brindley G.W., Fanning D.S. et al.** Report of the Clay Minerals Society Nomenclature Committee for 1982 and 1983 // *Clay and Clay Minerals*. 1984. V. 32. P. 239–240.
- Balobanenko A.A., L'gotin V., Dutova E.M., Pokrovsky D.S., Nikitenkov A.N., Raduk I.V.** Geochemical groundwater peculiarities of Paleogene sediments in S-E Western Siberia artesian basin // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2016. V. 43 (1), No. 012030. doi: org/10.1088/1755-1315/43/1/012030.
- Banks D., Parnachev V.P., Frengstad B., Holden W., Karnachuk O.V., Vedernikov A.A.** The hydrogeochemistry of the Altaiskii, Askizskii, Beiskii, Bogradskii, Shirinskii, Tashtipskii and Ust' Abakanskii regions, Republic of Khakassia, Southern Siberia, Russian Federation // *NGU*. 2001. 106 p.
- Banks D., Parnachev V.P., Frengstad B., Holden W., Karnachuk O.V., Vedernikov A.A.** The evolution of alkaline, saline ground- and surface waters in the southern Siberian steppes // *Applied Geochemistry*. 2004. V. 19, No. 12. P. 1905–1926.
- Banks D., Parnachev V.P., Frengstad B., Karnachuk O.V.** Hydrogeochemical Data Report: the Sampling of Selected Locations in the Republic of Khakassia, Kuznetsk Alatau Oblast' and Kemerovo Oblast', Southern Siberia, Russian Federation // *Geological Survey of Norway*. 2008. 103 p.
- Borzenko S.V.** Principal Parameters Controlling Water Composition in Saline and Brackish Lakes in Eastern Transbaikalia // *Geochemistry International*. 2020. V. 58, No. 12. P. 1356–1373.
- Borzenko S.V., Shvartsev S.L.** Chemical composition of salt lakes in East Transbaikalia // *Applied geochemical*. 2019. V. 103. P. 72–84.
- Chao L., Zicheng P., Dong Y., Weiguo L., Zhaofeng Z., Jianfeng H., Chenlin C.** A lacustrine record from Lop Nur, Xinjiang, China: implications for palaeoclimate change during Late Pleistocene // *Asian Earth Science*. 2009. V. 34. P. 38–45.
- Dutova E.M.** Geochemistry of fresh ground water in the Altai-Sayan folded area and adjacent areas of the West Siberian plate // *Applied Geochemistry*. 2020. V. 120, No. 104673. doi: 10.1016/j.apgeochem.2020.104673.
- Dutova E., Nikitenkov A., Kuzevanov K.** The HydroGeo Software Package and Its Usage // *E3S Web of Conferences*. 2019. V. 98, No. 04005. doi: 10.1051/e3sconf/20199804005.
- Dutova E.M., Nikitenkov A.N., Pokrovskiy V.D., Banks D., Frengstad B.S., Parnachev V.P.** Modelling of the dissolution and reprecipitation of uranium under oxidizing conditions in the zone of shallow groundwater circulation // *Environ. Radioact.* 2017. V. 178–179. P. 63–76.
- Dutova E., Vologdina I., Pokrovsky D., Nalivaiko N., Kuzevanov K., Pokrovsky V.** Hydrogenous mineral neoformations in Tomsk water intake facility from underground sources // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2016. V. 33, No. 1. 012017. doi: 10.1088/1755-1315/33/1/012017.
- Eugster H.P., Hardie L.A.** Saline Lakes // *Geology and Physics*. Springer Verlag, 1978. P. 237–293.
- Gibbs R.J.** Mechanisms controlling world water chemistry // *Science*. 1970. V. 170. P. 1088–1090.
- Kamenov G.D.** ICP-MS and Material Analysis // *The Encyclopedia of Archaeological Sciences* / ed. by Sandra L. López Varela. John Wiley & Sons, Inc., 2018. 4 p. doi: 10.1002/9781119188230.
- Karmalov A.I., Dutova E.M., Vologdina I.V., Pokrovsky D.S., Pokrovskiy V.D., Kuzevanov K.K.** Hydrogeochemical Characteristics of Water Intakes from Groundwater Sources in Seversk // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2016. No. 012032. doi: 10.1088/1755-1315/43/1/012032.
- Khrushcheva M.O., Dutova E.M., Tishin P.A., Arkhipov A.L., Nikitenkov A.N., Chernyshov A.I.** Taloe - Sedimentation in an Intermittent Lake (Russian Federation, Republic of Khakassia) // *Minerals*. 2021. V. 11, No. 522. doi: 10.3390/min11050522.
- Khrushcheva M.O., Nebera T.S.** Swelling clay minerals of bottom sediments of Uskol lake (Republic of Khakassia) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. V. 319, No. 012010. doi: 10.1088/1755-1315/319/1/012010.
- Kolpakova M., Gaskova O., Borzenko S.** Surface and groundwaters impact on geochemical stability of Saline lakes in semi-arid landscapes (Kulunda lowland, south of western Siberia, Russia) // *SGEM*. 2020. V. 3, No. 1. P. 321–327.
- Kolpakova M.N., Gaskova O.L., Naymushina O.S., Karpov, A.V., Vladimirov A.G., Krivonogov S.K.** Saline lakes of Northern Kazakhstan: Geochemical correlations of elements and controls on their accumulation in water and bottom sediments // *Applied Geochemistry*. 2019. V. 107. P. 8–18.
- Parnachev V.P., Banks D., Berezovsky A.Y., Garbe-Schonberg D.** Hydrochemical evolution of Na-SO₄-Cl ground waters in cold, semi-arid region of southern Siberia // *Hydrogeology*. 1999. V. 7. P. 549–560.
- Parnachev V.P., Degermendzhy A.G.** Geographical, geological and hydrochemical distribution of saline lakes in Khakassia, Southern Siberia // *Aquatic ecology*. 2002. V. 36. P. 107–122.
- Pokrovskiy V., Pokrovskiy D., Dutova E., Nikitenkov A.** The research underflooding processes of architecture monuments on the territory of Tomsk with using gis-technology // *SGEM*. 2014. V. 2, No. 1. P. 935–941.
- Richoz S., Baldermann A., Frauwallner A., Harzhauser M., Daxner-Höck G., Klammer D., Piller W.E.** Geochemistry and mineralogy of the Oligo-Miocene sediments of the valley of lakes, Mongolia // *Paleobiodivers Paleoenviron*. 2017. V. 97. P. 233–258.
- Roop H.A., Dunbar G.B., Levy R., Vandergoes M.J., Forrest A.L., Walker S.L., Purdie J., Upton P., Whinney J.** Seasonal controls on sediment transport and deposition in Lake Ohau, South Island, New Zealand: implications for a high-resolution Holocene paleoclimate reconstruction // *Sedimentology*. 2015. V. 62. P. 826–844.
- Shvartsev S.L., Dutova E.M.** Hydrochemistry and mobilization of gold in the hypergenesis zone (Kuznetsk Alatau, Russia) // *Geol. Ore Deposits*. 2001. V. 43 (3). P. 224–233.

Sinha R., Raymahashay B.C. Evaporite mineralogy and geochemical evolution of the Sambhar Salt Lake, Rajestan, India // *Sediment Geology*. 2004. V. 166. P. 59–71.

Strakhovenko V., Subetto D., Ovdina E., Danilenko I., Belkina N., Efremenko N., Maslov A. Mineralogical and geochemical composition of Late Holocene bottom sediments of Lake Onego // *Journal of Great Lakes Research*. 2020. V. 46, No. 3. P. 443–455.

Warren J. *Evaporates: sediment, resources and hydrocarbon*. Berlin : Springer, 2006. 1035 p.

Zamana L.V., Borzenko S.V. Hydrochemical Regime of Salt Lakes of South-Eastern Transbaikalia // *Geography and Natural Resources*. 2010. V. 4. P. 100–107.

Авторы:

Хрущева Мария Олеговна, аспирант, кафедра петрографии, геолого-географический факультет; инженер-исследователь ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем», Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: masha2904@mail.ru

Дутова Екатерина Матвеевна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, отделение геологии, Инженерная школа природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, кафедра природопользования, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: dutova@tpu.ru

Тишин Платон Алексеевич, кандидат геолого-минералогических наук, декан геолого-географического факультета, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: tishin_pa@mail.ru

Никитенков Алексей Николаевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, отделение геологии, Инженерная школа природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия.

E-mail: corestone@mail.ru

Чернышов Алексей Иванович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой петрографии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: aich@ggf.tsu.ru

Архипов Александр Леонидович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, кафедра динамической геологии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: alexlarhipov@gmail.com

Geosphere Research, 2021, 2, 29–43. DOI: 10.17223/25421379/19/3

M.O. Khrushcheva¹, E.M. Dutova^{1,2}, P.A. Tishin¹, A.N. Nikitenkov², A.I. Chernyshov¹, A.L. Arkhipov¹

¹ National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

² National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF USKOL LAKE SEDIMENTS (REPUBLIC OF KHAKASSIA)

This is a detailed study of mineralogical and geochemical characteristics of Uskol Lake sediments and waters. Uskol Lake exists in semiarid conditions and belongs to South-Minusinsk salt lakes group, Southern Siberia of Russia. It consists of three reservoirs, two of which are intermittent.

Using X-ray diffraction analysis allowed determination of mineral species, among which are oxides (quartz), aluminosilicates (illite, Na- and Ca-Mg-montmorillonite, analcime, albite and sanidine), carbonates (calcite, dolomite), sulfates (gypsum, thenardite) and halides (halite). According to their origin, the minerals can be divided into two associations: terrigenous and hydrogenous. Terrigenous association includes non-soluble minerals and corresponds well to the bed rocks composition. Hydrogenous association includes minerals, which form due to evaporation processes.

While studying the regularities of vertical and lateral distribution of mineral species it was stated that mostly they are evenly distributed. However, there is a tendency of gypsum and halite accumulation in the upper parts of cross sections; also it was noted that at the depths of 30–100 cm there is illite and Ca-Mg montmorillonite contents increase in relation to Na-montmorillonite content. Carbonate (calcite, mostly) contents increase at about 200 m from lake shore. The order of hydrogenous minerals sedimentation from chloride-sulfate waters of the Lake Uskol was determined. In general, minerals are precipitating as following: $\text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^-$ for anions, $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Na}^{2+}$ for cations.

Obtained results are confirmed and enhances by physicochemical calculations, which show balance between lake waters and oxides, aluminosilicates, carbonates and sulfates. It is stated that evaporation processes as well as rocks weathering greatly influence the mineral formation.

Keywords: South Minusinsk Basin, X-ray diffractometry, salt lakes, mineral formation, hydrogenic minerals

References

Bazarova V.B., Grebennikova T.A., Mokhova L.M., Orlova L.A. Holocene lake sedimentation in the steppe zone of southeastern Transbaikalia (exemplified by the Lake Zun-Soktui) // *Russian Geology and Geophysics*. 2011. V. 52. No 3, pp. 333–342.

Borzenko S.V. Principal parameters controlling water composition in saline and Brackish Lakes in Eastern Transbaikalia // *Geochemistry International*. 2020. V. 65, No 12, pp. 1356–1373.

Bukaty M.B. *Razrabotka programmnogo obespecheniya dlya resheniya gidrogeologicheskikh zadach* [Development of software for solving hydrogeological problems] // *Geology Prospect. Explore. mineral Resours Siberia*. 2002. V. 305. No 6. pp. 348–365. In Russian.

Valyashko M.G. *Geokhimicheskiye zakonomernosti formirovaniya mestorozhdeniy kaliynykh soley* [Geochemical patterns of the formation of deposits of potassium salts]. Moscow: Publishing house of Moscow State University. 1962. 398 p. In Russian.

- Vologdina I.V., Dutova E.M., Pokrovsky D.S., Pokrovsky V.D., Radyuk I.V. *Prirodno-tekhnogennyye mineral'nyye novoobrazovaniya na vodozaborakh Tomskoy oblasti* [Natural and technogenic mineral new growths at water intakes in Tomsk region] // Vestnik SPbSU. Earth Sciences. 2015. V. 3. pp. 58–72. In Russian.
- Gaskova O.L., Shironosova G.P., Kabannik V.G., Bukaty M.B. Thermodynamic model for sorption of bivalent heavy metals on calcite in natural-technogenic environments // Russian Geology and Geophysics. 2009. V. 50. No 2. pp. 87–95.
- Drever I.D. *Geokhimiya prirodnykh vod* [The geochemistry of natural waters]. Prentice-hall. 1988. 440 p.
- Dutova E.M., Bukaty M.B., Nevol'ko A.I., Pokrovsky D.S., Shvartsev S.L. Hydrogenic concentration of gold in alluvial placers of the Egor'evsk area (Salair) // Russian Geology and Geophysics. 2006. V. 47. No 3. pp. 364–376.
- Kotelnikov A.D., Makarenko N.A., Derban A.G., Kotelnikova I.V., Filimonov A.N., Sataev F.R., Tretyak A.I., Krenida O.A., Kozulina T.V. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1 : 200 000. Izdaniye vtoroye. Seriya Minusinskaya. List N-46-XIX (Ust'-Byur'). Ob'yasnitel'naya zapiska* [State geological map of the Russian Federation on a scale of 1: 200 000. Second edition. Minusinskaya series. Sheet N-46-XIX (Ust'-Byur). Explanatory note]. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory. 2018. 330 p. In Russian.
- Pokrovsky D.S., Dutova E.M., Rogov G.M., Vologdina I.V., Taylashev A.S. *Mineral'nyye novoobrazovaniya na vodozaborakh Tomskoy oblasti* [Mineral Neocrystallizations at Water Intake Facilities of the Tomsk region] / edited by Pokrovsky D.S. Tomsk: NTL Publishing House. 2002. 176 p. In Russian.
- Rentgenografiya osnovnykh tipov porodoobrazuyushchikh mineralov (sloistyye i karkasnyye silikaty)* [X-ray diffraction of the main types of rock-forming minerals (layered and framework silicates)] / Ed. V.A. Frank-Kamenetsky. Leningrad: Nedra. Leningrad branch, 1983. 359 p. In Russian.
- Rogozin D.Yu. *Meromikticheskiye ozera Severo-Minusinskoy kotloviny: zakonomernosti stratifikatsii i ekologiya fototrofnikh sernykh bakteriy* [Meromictic lakes of the North Minusinsk depression: patterns of stratification and ecology of phototrophic sulfur bacteria]. Krasnoyarsk: Publishing House: IF SB RAS. 2018. 241 p. In Russian.
- Solotchina E.P., Sklyarov E.V., Solotchik P.A., Vologina E.G., Stolpovskaya V.N., Sklyarova O.A., Ukhova N.N. Reconstruction of the Holocene climate based on a carbonate sedimentary record from shallow saline Lake Verkhnee Beloe (Western Transbaikalia) // Russian Geology and Geophysics. 2012. V. 53, No 12, pp. 1351–1365.
- Khodakov G.S., Yudkin, Yu. P. *Sedimentatsionnyy analiz vysokodispersnykh sistem* [Sedimentation analysis of highly dispersed systems]. Moscow: Khimiya, 1981. 192 p. In Russian.
- Khrushcheva M.O., Tishin P.A., Arkhipov A.L., Chernyshov A.I. *Mineralogiya sovremennykh evaporitov urochishcha Taloye ozero (Respublika Khakasiya)* [Mineralogy of modern evaporites of the Taloe Lake tract (Republic of Khakassia)] // Bulletin of the IG Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2018. No 11. pp. 48–53. In Russian.
- Khrushcheva M.O., Tishin P.A., Nebera T.S., Chernyshov A.I., Arkhipov A.L. *Geneticheskaya informativnost' glinistyykh mineralov osadkov ozera Uskol' (Respublika Khakasiya)* [Genetic information content of clay minerals in sediments of Lake Uskol (Republic of Khakassia)] // *Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva* [Notes of the Russian Mineralogical Society]. 2020. No 5. pp. 99–111. In Russian.
- Charykova M.V., Charykov N.A. *Termodinamicheskoye modelirovaniye protsessov evaporitovoy sedimentatsii* [Thermodynamic modeling of evaporite sedimentation processes]. St. Petersburg: Science. 200. 261 p. In Russian.
- Abdi L., Rahimpour-Bonab H., Mirmohammad-Makki M., Probst J., Langeroudi S.R. Sedimentology, mineralogy, and geochemistry of the Late Quaternary Meyghan Playa sediments, NE Arak, Iran: palaeoclimate implications // Arabian Journal of Geosciences. 2018. V. 11. 589 p.
- Attia O.E. Sedimentological characteristics and geochemical evolution of Nabqsbkha, Gulf of Aqaba, Sinai, Egypt // Arab J Geosci. 2013. V. 6. pp. 2045–2059.
- Bailey S.W., Brindley G.W., Fanning D.S. et al. Report of the Clay Minerals Society Nomenclature Committee for 1982 and 1983 // Clay and Clay minerals. 1984. V. 32. pp. 239–240.
- Balobanenko A.A., L'gotin V., Dutova E.M., Pokrovsky D.S., Nikitenkov A.N., Raduk I.V. Geochemical groundwater peculiarities of Paleogene sediments in S-E Western Siberia artesian basin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016. V. 43(1). No. 012030. DOI.org/10.1088/1755-1315/43/1/012030.
- Banks D., Parnachev V.P., Frengstad B., Holden W., Karnachuk O.V., Vedernikov A.A. The hydrogeochemistry of the Altaiskii, Askizskii, Beiskii, Bogradskii, Shirinskii, Tashtipskii and Ust' Abakanskii regions, Republic of Khakassia, Southern Siberia, Russian Federation // NGU. 2001. 106 p.
- Banks D., Parnachev V.P., Frengstad B., Holden W., Karnachuk O.V., Vedernikov A.A. The evolution of alkaline, saline ground- and surface waters in the southern Siberian steppes // Applied Geochemistry. 2004. V. 19. No 12. pp. 1905–1926.
- Banks, D., Parnachev, V.P., Frengstad, B., Karnachuk, O.V. Hydrogeochemical Data Report: the Sampling of Selected Locations in the Republic of Khakassia, Kuznetsk Alatau Oblast' and Kemerovo Oblast', Southern Siberia. Russian Federation // Geological Survey of Norway. 2008. 103 p.
- Borzenko S.V. Principal Parameters Controlling Water Composition in Saline and Brackish Lakes in Eastern Transbaikalia // Geochemistry International. 2020. V. 58. No 12, pp. 1356–1373.
- Borzenko S.V., Shvartsev S.L. Chemical composition of salt lakes in East Transbaikalia // Applied geochemical. 2019. V. 103. pp. 72–84.
- Chao L., Zicheng P., Dong Y., Weiguo L., Zhaofeng Z., Jianfeng H., Chenlin C. A lacustrine record from Lop Nur, Xinjiang, China: implications for palaeoclimate change during Late Pleistocene // Asian Earth Science. 2009. V. 34. pp. 38–45.
- Dutova E.M. Geochemistry of fresh ground water in the Altai-Sayan folded area and adjacent areas of the West Siberian plate // Applied Geochemistry. 2020. V. 120. no.104673. DOI:10.1016/j.apgeochem.2020.104673.
- Dutova E., Nikitenkov A., Kuzevanov K. The HydroGeo Software Package and Its Usage // E3S Web of Conferences. 2019. V. 98. no. 04005. DOI.org/10.1051/e3sconf/20199804005.
- Dutova E.M., Nikitenkov A.N., Pokrovskiy V.D., Banks D., Frengstad B.S., Parnachev V.P. Modelling of the dissolution and reprecipitation of uranium under oxidizing conditions in the zone of shallow groundwater circulation // Environ. Radioact. 2017. V. 178–179. pp. 63–76.
- Dutova E., Vologdina I., Pokrovsky D., Nalivaiko N., Kuzevanov K., Pokrovsky V. Hydrogenous mineral neoformations in Tomsk water intake facility from underground sources // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016. V. 33. N. no. 012017. DOI.org/10.1088/1755-1315/33/1/012017.

- Eugster H.P., Hardie L.A. Saline Lakes // *Geology and Physics*. Springer Verlag. 1978. pp. 237–293.
- Gibbs R.J. Mechanisms controlling world water chemistry // *Science*. 1970. V. 170. pp. 1088–1090.
- Kamenov G.D. ICP-MS and Material Analysis, in “The Encyclopedia of Archaeological Sciences”, (Ed. Sandra L. López Varela), John Wiley & Sons, Inc. 2018. 4 p. DOI: 10.1002/9781119188230.
- Karmalov A.I., Dutova E.M., Vologdina I.V., Pokrovsky D.S., Pokrovskiy V.D., Kuzevanov K.K. Hydrogeochemical Characteristics of Water Intakes from Groundwater Sources in Seversk // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2016. no. 012032. DOI:10.1088/1755-1315/43/1/012032.
- Khrushcheva M.O., Dutova E.M., Tishin P.A., Arkhipov A.L., Nikitenkov A.N., Chernyshov A.I. Taloe - Sedimentation in an Intermittent Lake (Russian Federation, Republic of Khakassia) // *Minerals*. 2021. V. 11. No 522. doi.org/10.3390/min11050522.
- Khrushcheva M.O., Nebera T.S. Swelling clay minerals of bottom sediments of Uskol lake (Republic of Khakassia) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. V. 319. n. 1. 012010. DOI:10.1088/1755-1315/319/1/012010.
- Kolpakova M., Gaskova O., Borzenko S. Surface and groundwaters impact on geochemical stability of Saline lakes in semi-arid landscapes (Kulunda lowland, south of western Siberia, Russia) // *SGEM*. 2020. V. 3. No 1. pp. 321–327.
- Kolpakova M.N., Gaskova O.L., Naymushina O.S., Karpov A.V., Vladimirov A.G., Krivonogov S.K. Saline lakes of Northern Kazakhstan: Geochemical correlations of elements and controls on their accumulation in water and bottom sediments // *Applied Geochemistry*. 2019. V. 107. pp. 8–18.
- Parnachev V.P., Banks D., Berezovsky A.Y., Garbe-Schonberg D. Hydrochemical evolution of Na-SO₄-Cl ground waters in cold, semi-arid region of southern Siberia // *Hydrogeology*. 1999. V. 7. pp. 549–560.
- Parnachev V.P., Degermendzhy A.G. Geographical, geological and hydrochemical distribution of saline lakes in Khakassia, Southern Siberia // *Aquatic ecology*. 2002. V. 36. pp. 107–122.
- Pokrovskiy V., Pokrovskiy D., Dutova E., Nikitenkov A. The research underflooding processes of architecture monuments on the territory of Tomsk with using gis-technology // *SGEM*. 2014. V. 2. No 1. pp. 935–941.
- Richoz S., Baldermann A., Frauwallner A., Harzhauser M., Daxner-Höck G., Klammer D., Piller W.E. Geochemistry and mineralogy of the Oligo-Miocene sediments of the valley of lakes, Mongolia // *Paleobiodivers Paleoenviro*. 2017. V. 97. pp. 233–258.
- Roop H.A., Dunbar G.B., Levy R., Vandergoes M.J., Forrest A.L., Walker S.L., Purdie J., Upton P., Whinney J. Seasonal controls on sediment transport and deposition in Lake Ohau, South Island, New Zealand: implications for a high-resolution Holocene paleoclimate reconstruction // *Sedimentology*. 2015. V. 62. pp. 826–844.
- Shvartsev S.L., Dutova E.M. Hydrochemistry and mobilization of gold in the hypergenesis zone (Kuznetsk Alatau, Russia) // *Geol. Ore Deposits*. 2001. V. 43 (3). pp. 224–233.
- Sinha R., Raymahashay B.C. Evaporite mineralogy and geochemical evolution of the Sambhar Salt Lake, Rajasthan, India // *Sediment Geology*. 2004. V. 166. pp. 59–71.
- Strakhovenko V., Subetto D., Ovdina E., Danilenko I., Belkina N., Efremenko N., Maslov A. Mineralogical and geochemical composition of Late Holocene bottom sediments of Lake Onego // *Journal of Great Lakes Research*. 2020. V. 46. n. 3. pp. 443–455.
- Warren J. *Evaporates: sediment, resources and hydrocarbon*. Springer, Berlin. 2006. p 1035.
- Zamana L.V., Borzenko S.V. Hydrochemical Regime of Salt Lakes of South-Eastern Transbaikalia // *Geography and Natural Resources*. 2010. V. 4. pp. 100–107.

Author's:

Khrushcheva Maria O., Postgraduate Student, Department of Petrography, Faculty of Geology and Geography; Research Engineer, Center for Collective Use “Analytical Center for Geochemistry of Natural Systems”, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: masha2904@mail.ru

Dutova Ekaterina M., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Professor, Department for Geology, School of Earth Sciences and Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University, Department of Nature Management, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: dutova@tpu.ru

Tishin Platon A., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Dean of Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: tishin_pa@mail.ru

Nikitenkov Alexey N., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Associate Professor, Department for Geology, School of Earth Sciences and Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia.

E-mail: corestone@mail.ru

Chernyshov Alexey I., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Professor, Head of the Department of Petrography, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: aich@ggf.tsu.ru

Arkhipov Alexander L., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Associate Professor, Department of Dynamical Geology, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: alexlarhipov@gmail.com

УДК 552.5

**ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ПРОДУКТИВНЫХ ПЕСЧАНИКОВ
ПУР-ТАЗОВСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ
(НА ПРИМЕРЕ ЛОДОЧНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)**



Д.А. Черданцева¹, Л.А. Краснощекова²

¹Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа, Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

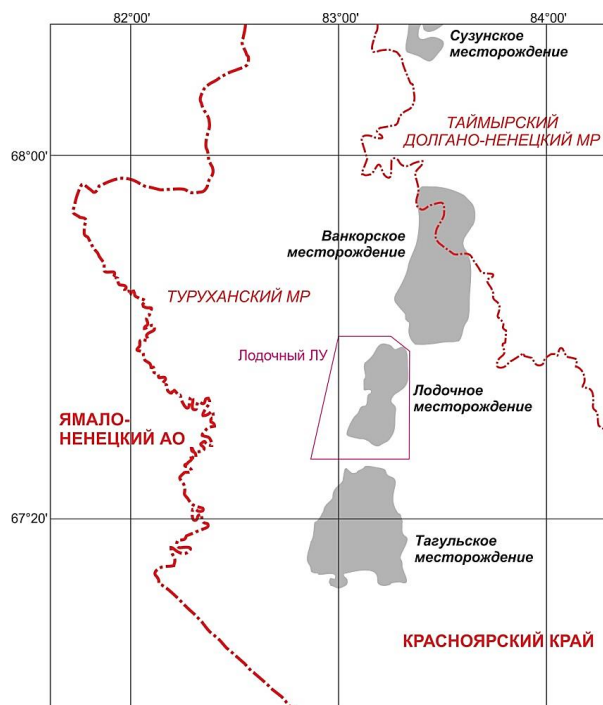
Приведены результаты литолого-фациального изучения нижнемеловых отложений Лодочного нефтегазоконденсатного месторождения. Петрографический анализ установил взаимосвязь между составом обломочной части песчаников и особенностями их эпигенетического преобразования, позволил выделить основные процессы, влияющие на фильтрационно-емкостные свойства пород. Гранулометрический и седиментологический анализы дали возможность уточнить условия формирования продуктивных песчаных пластов месторождения.

Ключевые слова: вещественный состав, песчаник, диагенез, катагенез, нефтегазоконденсатное месторождение, нижнемеловые отложения

Введение

Туруханский центр нефтедобычи в России активно развивается начиная с 2009 г. В его состав, помимо уникального Ванкорского месторождения, входят ряд близлежащих месторождений Большехетского вала:

Лодочное, Тагульское и Сузунское (рис. 1), основные запасы нефти и газа в которых приурочены к меловым и верхнеюрским отложениям. Освоение всех месторождений Ванкорского кластера имеет важное стратегическое значение для российской экономики [Орлов, 2009; Кирюхин и др., 2011].



Условные обозначения:

- границы субъектов РФ
- месторождения углеводородов

Рис. 1. Обзорная карта района исследований

Fig. 1. The research area location map

Лодочное нефтегазоконденсатное месторождение расположено на севере Красноярского края; входит в состав Большехетского нефтегазоносного района Пур-Тазовской нефтегазоносной области (НГО) Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Основные запасы нефти и газа на территории Большехетской террасы приурочены к меловым и верхнеюрским отложениям. Современное структурно-тектоническое строение западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба, включая анализ истории тектонического развития территории, выявление основных этапов формирования структур различных порядков, позволило «установить связь тектонических процессов с процессами нефтеобразования и сделать вывод о высоких перспективах нефтегазоносности неокомского клиноформного комплекса в Енисей-Хатангском региональном прогибе» [Конторович, 2011, с. 1027].

Районирование перспектив нефтегазоносности региона сделало возможным провести их переоценку с учетом тектонических особенностей фундамента и увеличить начальные суммарные извлекаемые ресурсы нефти в северо-восточной части Западно-Сибирского нефтегазового бассейна на территории Красноярского края [Кринин, 2011].

Открытые в рассматриваемом регионе месторождения М.А. Фомин разделил на пять групп в зависимости от возраста залежей. Залежи углеводородов (нефти, газа, газового конденсата) на Сузунском, Ванкорском и Лодочном месторождениях преимущественно локализованы в отложениях мела: в нижней части нижнехетской свиты и в верхней части малохетской–нижней части яковлевской свиты, что дало возможность объединить эти месторождения в один ареал. На основе полученных закономерностей выделен стратификационный критерий для прогноза «открытия новых залежей углеводородов в конкретных толщах, в том числе и в пределах положительных структур, если они попадают в тот или иной ареал перспективности» [Фомин, 2014, с. 19]. Исследования [Поляков и др., 2001] выявили широкое развитие в составе природных резервуаров продуктивного нижнехетского горизонта, который характеризуется изменчивым строением и составом слагающих пород, ложных покрышек, влияющих на нефтегазоносность площадей.

Опубликованные работы по литолого-петрографическому изучению керна, вторичному преобразованию пород и фациальному анализу обстановок осадконакопления коллекторов относятся преимущественно к Ванкорскому и, реже, к Сузунскому месторождениям. Было установлено [Фокин и др., 2008], что продуктивные песчаные пласты нижнехетской свиты Ванкорского месторождения формировались в прибрежно-морских условиях, яко-

влевской свиты – в аллювиальных обстановках: нижняя часть сложена песчаными телами устьевых баров, верхняя часть представлена отложениями меандрирующих дельтовых протоков. Уточнение условий накопления отложений яковлевской и нижнехетской свит на Ванкорском месторождении в раннемеловую эпоху на основе литолого-фациального анализа с учетом гранулометрических результатов было проведено ранее [Квачко, 2010]. Литолого-фациальная модель отложений нижнехетской свиты с учетом комплексного использования седиментологического анализа керна, данных ГИС и 3D сейсморазведки в Сузунском нефтегазоносном районе была предложена Г.Л. Розбаевой [Розбаева, 2014]. Последующее изучение вторичного минералообразования в нижнемеловых отложениях Большехетской впадины [Титов и др., 2019] позволило выделить стадии фонового катагенеза и эпигенеза.

Работы по лабораторному изучению кернового материала, отобранного на территории Лодочного месторождения, осуществлялись на базе аналитического центра АО «ТомскНИПИнефть» с 2014 г. Цель исследования – изучение вещественного состава, выявление и построение схемы последовательности постседиментационных изменений нефтеносных песчаных пород Лодочного месторождения, сформировавшихся в различных фациальных обстановках.

Задачи исследования включали в себя уточнение условий осадкообразования продуктивных песчаных отложений и установление основных литологических характеристик песчаников, влияющих на их фильтрационно-емкостные свойства.

Геология месторождения

Территория исследования располагается на западном склоне террасы Большехетской впадины в северо-восточной части Западно-Сибирской плиты. Большехетская структурная терраса представляет собой сложно построенную зону, нарушающую монотонность восточного борта Надым-Тазовской синеклизы и имеет, в целом, субмеридиональную ориентировку (рис. 2). Западным склоном структурная терраса сочленяется с Пендомаяхской впадиной. Восточная часть региона относится к Приенисейской моноклизе – крупной надпорядковой структуре, примыкающей к Сибирской платформе. Ее северное более пологое окончание известно под названием «Пакулихинская моноклинали» [Поляков и др., 2001].

Большехетская терраса осложнена локальными структурными элементами меньшего порядка – Сузунским и Лодочным валами, в пределах последнего в северной его части выделяется Ванкорское поднятие.

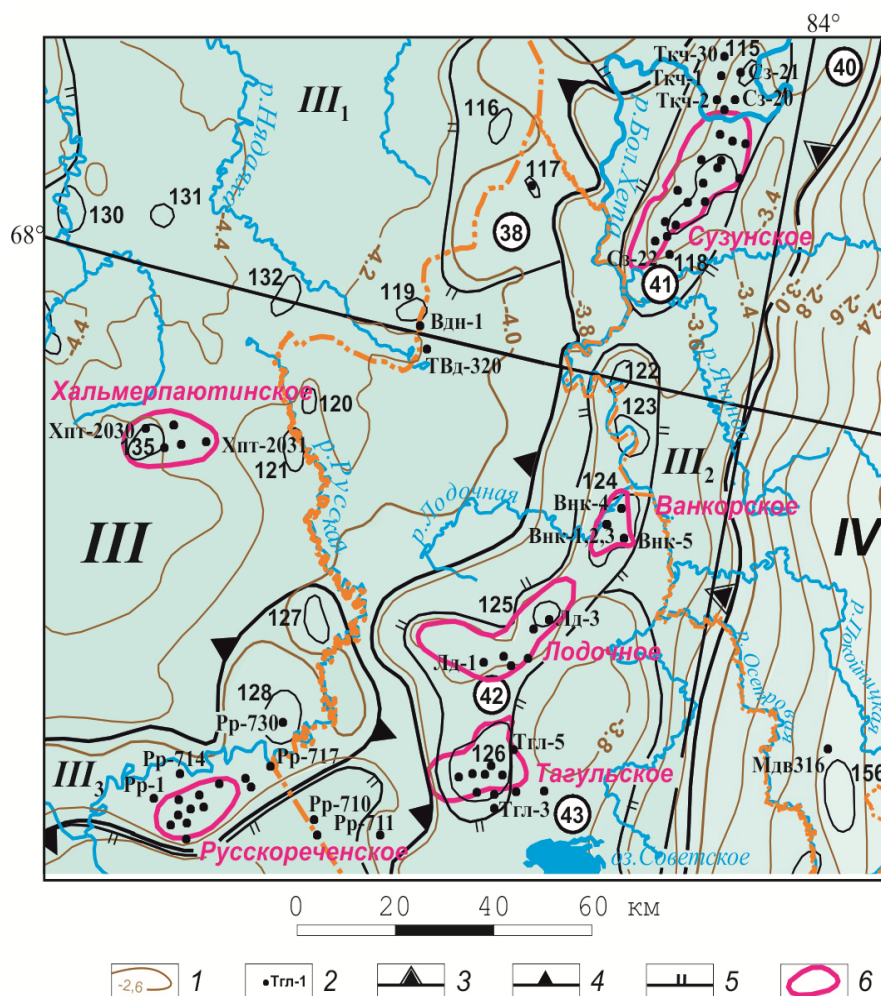


Рис. 2. Фрагмент структурно-тектонической карты Красноярского края (под редакцией В.А. Кренина, 2001 г.) [Поляков и др., 2001]

1 – изогипсы опорного сейсмического отражающего горизонта IIb в подошве верхнеюрско-меловых отложений; 2 – скважины, название и номер; границы тектонических элементов: 3 – надпорядковых; 4, 5 – соответственно первого и второго порядка; 6 – месторождения; надпорядковые структуры: III – Надым-Тазовская синеклиза; IV – Пакулихинская моноклиналь; структуры первого порядка: III₁ – Пендомаяхская впадина; III₂ – Большехетская структурная терраса; III₃ – Тазовско-Русскореченский мегавал; структуры второго порядка: 38 – Чарский выступ; 40 – Долганский структурный залив; 41 – Сузунский вал; 42 – Лодочный вал; 43 – Советский структурный залив

Fig. 2. The Krasnoyarsk Territory structural-tectonic map fragment (edited by V.A. Krinin, 2001) [Polyakov et al., 2001]

1 – isohypses of the reference seismic reflecting horizon IIb in the base of the Upper Jurassic-Cretaceous deposits; 2 – wells, name and number; tectonic element boundaries: 3 – superorder; 4, 5 – the first and the second order respectively; 6 – deposits; superorder structures: III – Nadym-Taz syncline; IV – Pakulikhinskaya monocline; the first order structures: III₁ – Pendomayakhskaya depression; III₂ – Bolshekhetskaya tectonic terrace; III₃ – Tazovsko-Russkorechensky mega-arch; the second order structures: 38 – Charsky tectonic ledge; 40 – Dolgan tectonic depression; 41 – Suzunsky arch; 42 – Lodochny arch; 43 – Soviet tectonic depression

Промышленные запасы нефти и газа рассматриваемой территории сконцентрированы исключительно в ловушках структурного типа, в редких случаях некоторые залежи имеют литологическое ограничение за счет замещения песчаников пелитовыми разностями [Житков и др., 2016]. Нефтегазоносными отложениями на месторождениях Большехетской террасы (Сузунском, Лодочном, Ванкорском, Тагульском) являются преимущественно отложения нижне- и верхнемелового возраста.

Главным очагом генерации углеводородов, мигрировавших в направлении Ванкорского, Лодочного и Тагульского поднятий, являлась Пендомаяхская впадина, процессы генерации продолжались с начала мелового времени до середины палеогена. Это способствовало созданию благоприятных условий для формирования залежей углеводородов в мезозойских отложениях антиклинальных ловушек Большехетской структурной террасы [Кренин и др., 2006].

К настоящему времени в пределах Пур-Тазовской НГО открыто более 20 месторождений нефти и газа. Основными объектами поисков залежей углеводородов являются юрско-меловые отложения, которые представляют собой чередование песчаных пород, обладающих хорошими коллекторскими свойствами, и алевропелитовых, для которых характерны высокие экранирующие свойства.

Лодочное нефтегазоконденсатное месторождение является многопластовым, основные продуктивные пласты приурочены к нижнемеловым отложениям нижнехетской (K_{1nch}), суходудинской (K_{1sd}), малохетской (K_{1mh}) и яковлевской (K_{1jak}) свит и частично к верхнемеловым отложениям – долганской (K_{2dl}) и дорожковской (K_{2dr}) свит. В породах насоновской (K_{2ns}), салпадинской (K_{2sl}) и танамской свит (K_{2tn}) нефтепроявлений не выявлено (рис. 3).

Нижнехетская и суходудинская свиты сложены ритмично переслаивающимися песчаниками, алевролитами, аргиллитами и их переходными разностями.

Малохетская свита представлена преимущественно песчаниками с редкими карбонатизированными прослоями. Отложения яковлевской свиты по литологическим особенностям делятся на две толщи: нижнюю – угленосную и верхнюю – песчано-глинистую. Песчаные породы долганской свиты слабо литифицированы и неравномерно переслаиваются с аргиллитоподобными глинами, аргиллитами и алевролитами с пропластками и линзами углей и известково-сидеритизированных песчаников. Дорожковская свита в основном сложена глинистыми разностями, алевролитами с чередующимися тонкими прослоями известковых песчаников и углистого алевролитового материала. Всего на месторождении выделяют более 20 продуктивных пластов. В статье приведены обобщенные литологические характеристики всех изученных пластов по свитам.

Система	Отдел	Свита	Литология	Пласт	Краткая литологическая характеристика пород
Мел (К)	Верхний	K_{2tn}			Алевролиты с прослоями слабосцементированных песчаников и аргиллитоподобных глин. Цвет пород серый, светло-серый, реже желтовато-серый.
		K_{2sl}			Серые, темно-серые с зеленоватым оттенком аргиллитоподобные глины с подчиненными прослоями алевролитов.
		K_{2ns}			Ритмично чередующиеся алевролиты, аргиллитоподобные глины с редкими прослоями слабосцементированных песчаников.
		K_{2dr}		Др-I	Тонкое переслаивание алевролитов, светло-серых аргиллитоподобных глин с редкими прослоями слабосцементированных песчаников.
		K_{2dl}		Дл-I Дл-II-III	Преимущественно серые песчаники с подчиненными прослоями известковых разностей, серых алевролитов и темно-серых аргиллитоподобных глин.
	Нижний	K_{1jak}		ВЯк-I-XVII Як-I-VIII	Переслаивание аргиллитов и песчаников с подчиненными прослоями алевролитов. Породы в верхней части разреза преимущественно светло-серые, в нижней – темно-серые. Прослои каменных углей с неравномерным распределением.
		K_{1mh}		Мх-I	Переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов. Песчаники серые, реже зеленовато-серые, мелкозернистые, в различной степени глинистые, прослоями известковистые. Алевролиты и аргиллиты серые, темно-серые, плотные, слоистые, содержат обугленные растительные остатки.
		K_{1sd}		Сд-III Сд-IV	Аргиллиты и алевролиты глинистые темно-серого цвета. Песчаники светло-серые, мелкозернистые, кварц-полевошпатовые. Алевролиты темно-серые, крупнозернистые. Переслаивание темно-серых аргиллитов и серых, в различной степени глинистых, алевролитов.
		K_{1nch}		Нх-I Нх-III-0 Нх-III-IV	Ритмичное чередование песчано-алевритовых и глинисто-алевритовых пород с преобладанием последних. Породы серого и темно-серого цвета.

Рис. 3. Сводный литологический разрез меловых отложений Лодочного месторождения

Fig. 3. The Lodochnoe deposit Lithological section of Cretaceous

Методы исследований

При проведении исследований авторами был изучен керновый материал из восьми скважин общей протяженностью 2442,43 м и 513 покрашенных синей эпоксидной смолой шлифов из 21 продуктивного пласта дорожковской, долганской, яковлевской, малохетской, суходудинской и нижнехетской свит Лодочного месторождения.

Петрографическое изучение шлифов терригенных пород проводилось на поляризационном микроскопе Olympus BX-53 с установленной фотокамерой SIMAGIS XS-6CU.

Гранулометрическая размерность обломков определялась методом рассеивания лазерного луча с использованием анализатора крупности частиц Microtrac S3500, позволяющего устанавливать размер частиц в диапазоне от 0,02 до 280 мк.

Рентгенофазовый анализ (РФА) образцов горных пород проводился на рентгеновском дифрактометре RIGAKU Ultima IV. Стандартные параметры съемки: анод – Cu (медь), напряжение рентгеновской трубки – 40 кВ, ток – 30 мА, мощность – 1.2 кВт, углы съемки 2Θ от 2 до 65° , скорость съемки $1^\circ/\text{мин}$, шаг $0,02^\circ$. Пробоподготовка глинистой фракции на РФА включала: механическое дробление образцов, отмучивание глинистой фракции в ультразвуковой ванне с последующим отбором образцов гравитационным методом, нанесение образца на предметное стекло и высушивание при комнатной температуре. Для дополнительного исследования глинистой фракции использовалось насыщение парами органической жидкости (этиленгликоль). Расшифровка дифрактограмм производилась в полуавтоматическом режиме с участием оператора, который задавал основные параметры поиска.

Вещественный состав пород

Исследуемые песчаные породы дорожковской, долганской, малохетской, суходудинской и нижне-

хетской свит по составу, согласно классификации песчаных пород [Шванов, 1987], относятся преимущественно к кварцевым грауваккам; в отложениях яковлевской свиты преобладают аркозовые (верхнеяковлевская подсвита) и мезомиктовые (нижнеяковлевская подсвита) песчаные разности (рис. 4).

Наиболее распространенная микротекстура в продуктивных песчаниках всех свит – ориентированная, ее формирование связано с субпараллельным расположением удлиненных обломочных зерен. Слойчатая микротекстура возникла как результат послойного обогащения пород чешуйками биотита, удлиненными выделениями органического вещества, пелитоморфными агрегатами сидерита, аксессуарными и рудными минералами (рис. 5, а). Часто отмечается нарушение первичной текстуры биотурбацией, встречаются фрагменты ходов роющих организмов, остатки корневых систем растений.

Структура песчаников мелко- и среднезернистая, встречаются тонко- и крупно-среднезернистые разности. В отложениях нижнеяковлевской подсвиты распространены и разноезернистые песчаники.

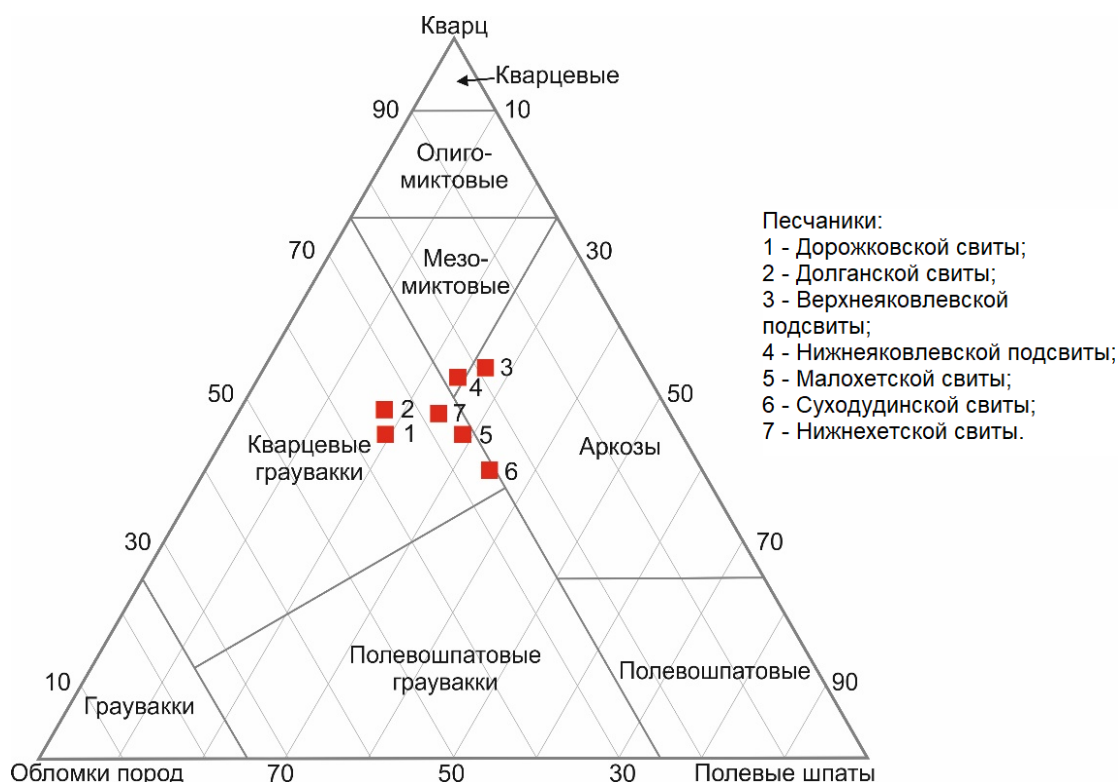


Рис. 4. Классификационная диаграмма песчаных пород по В.Н. Шванову [Шванов, 1987] с фигуративными точками усредненного состава песчаников пластов-коллекторов Лодочного месторождения

Справа указаны изученные свиты и соответствующие им номера. При построении использованы данные 513 шлифов из 21 продуктивного пласта

Fig. 4. The Lodochnoe deposit sandstone reservoirs averaged composition according to V.N. Shvanov diagram [Shvanov, 1987]

On the right are the studied suites and their corresponding numbers; by analyzed 513 thin sections from 21 productive layers

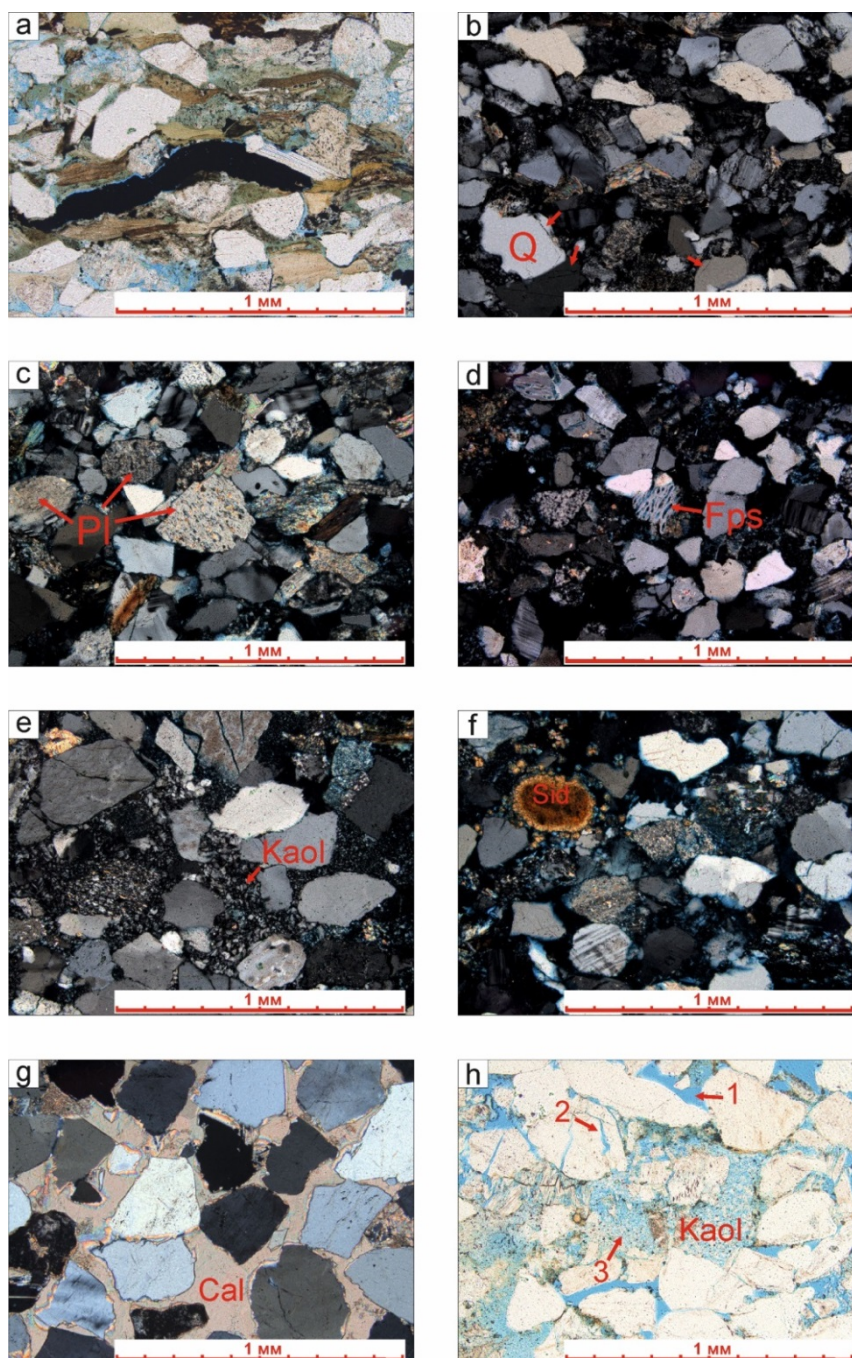


Рис. 5. Фотографии шлифов, характеризующие особенности строения, вещественного состава и вторичных преобразований песчаных пород

а – слоистая микротекстура песчаника; б – регенерационный кварцевый цемент, стрелками показана кварцевая каемка на зернах; с – серицитизация и сосюритизация плагиоклазов; д – поровое выщелачивание зерен, стрелками показаны частично растворенные зерна; е – раскристаллизация каолинита в поровом пространстве; ф – сидеритовые конкреции в породе; г – базальный коррозионный кальцитовый цемент; h – поровое пространство окрашено в синий цвет, стрелками показаны: 1 – межзерновые поры угловатой формы, 2 – вторичные микропоры, возникшие за счет частичного растворения обломков, 3 – микропористость в каолиновом цементе. Условные обозначения: Q – кварц, Pl – плагиоклаз, Fps – полевые шпаты, Kaol – каолинит, Sid – сидерит, Cal – кальцит. Фотографии шлифов а, h – без анализатора, б–г – с анализатором

Fig. 5. Sandstones photomicrographs characterizing the structural features, material composition and secondary transformation of rocks:

a – layered sandstone microtexture; b – regenerative quartz cement, arrows show a recovery quartz boundaries on grains; c – plagioclase grains sericitization and saussuritization; d – feldspar grains fragmentary dissolving; e – kaolinite crystallization in the pore space; f – siderite nodules in the rock; g – corrosion-basal calcite cement; h – the pore space is colored blue, the arrows show: 1 – intergranular pores with an angular shape, 2 – secondary micropores as a result of the partial grains dissolution of, 3 – microporosity in kaolinite cement. Legend: Q – quartz, Pl – plagioclase, Fps – potassium feldspar, Kaol – kaolinite, Sid – siderite, Cal – calcite. Thin sections photos: a, h – in plane-polarized light, b–g – in cross-polarized light

Кварц является преобладающим минералом в анализируемых образцах. Он наиболее устойчив к разрушению, по сравнению с другими порообразующими минералами [Симанович, 1978], однако внутренняя его структура в процессе литогенеза все же претерпела ряд преобразований. Фрагментарно в породах отмечается незначительная коррозия кварцевых зерен и умеренная регенерация обломков по периферии (см. рис. 5, *b*). По-видимому, это стало возможным при одновременном воздействии двух факторов: давления и температурной активации. Растворение зерен кварца с образованием «изъеденных» неровных очертаний и сопутствующий рост регенерационного цемента по периферии обломков свидетельствуют о переотложении растворенной кремнекислоты здесь же на месте [Логвиненко, 1968]. Толщина регенерационных каемок не превышает 0,01 мм. Можно предположить, что песчаные породы прошли стадию катагенетического преобразования, на что указывают следы гравитационного уплотнения породы – конформные контакты зерен.

Полевые шпаты представлены плагиоклазами и калиевыми полевыми шпатами: микроклином, ортоклазом и пертитовыми сростками. Из вторичных изменений в минералах отмечается пелитизация и каолинизация калишпатов, серицитизация и редко соссорицитизация плагиоклазов (рис. 5, *c*). Степень изменения полевых шпатов различная, начиная от относительно свежих, почти не преобразованных индивидов, до интенсивно замещенных вторичными минералами. В отдельных случаях фиксируются образования полных псевдоморфоз глинистого и глинисто-серицитового состава, имеющих удлиненно-четыреугольную форму, свойственную зернам полевых шпатов. Активное выщелачивание обломков полевых шпатов привело к формированию вторичной внутризерновой микропористости, в участках растворения зерен локально наблюдается каолиновый цемент (рис. 5, *d*).

Из **обломков пород** встречаются микрокварциты, кварц-серицитовые и глинистые сланцы, гранитоиды, метавулканиды основного состава, алевролиты и обломки кремнистых пород. Состав питающих провинций на протяжении накопления песчаных отложений всех изученных свит, по-видимому, был неизменным, о чем свидетельствует относительное постоянство состава обломков пород. Фрагменты метавулканидов часто замещены хлоритом, в единичных случаях отмечены следы пластичной деформации глинистых обломков с выдавливанием их в поровое пространство песчаников.

Среди **акцессорных минералов** наиболее распространены рутил, циркон, турмалин и апатит, реже встречаются сфен, гранат, минералы группы эпидота, хромит и титаномагнетит.

В породах отмечены единичные пленки лейкоксена, зерна глауконита (до 5,4 % в отложениях

дорожковской свиты) и стяжения пирита (до 1,2 % в нижнеяковлевской подсвите).

Слюдами наиболее обогащены породы дорожковской и долганской свит. Среднее содержание мусковита в них варьирует от 2,1 до 2,9 %, а биотита – от 2,2 до 3,4 % соответственно. Меньше всего слюд отмечено в верхнеяковлевской подсвите: среднее содержание мусковита не превышает 0,9 %, а биотита – 0,4 % от площади шлифа. Для слюд характерна активная гидратация и расщепление на волокнистые агрегаты на концах чешуек. По биотиту отмечается развитие пелитоморфных агрегатов сидерита, иногда до полного замещения первого. Стоит отметить, что чешуйки биотита в пелитовой фракции более податливы и их трансформация протекала значительно быстрее, по-видимому, начиная еще с ранних этапов диагенеза. Подобная закономерность фиксировалась при изучении последовательности преобразования песчаных пород при разделении стадий между диагенезом и эпигенезом в работе [Копелиович, 1965]. Однако то, как именно происходило изменение слюд, можно определить по особенностям преобразования более крупных чешуек ниже по разрезу. Гидратация биотита привела к формированию веерообразных агрегатов с пониженной интерференционной окраской и практически полным отсутствием плеохроизма, сами чешуйки сильно обесцветились. В пространстве между волокнами сформировались тонкие иголки рутила и зернышки титанистых минералов. Гидратированный биотит частично или полностью замещился хлоритом или пелитоморфными агрегатами сидерита. Это замещение происходило постепенно, и в шлифах можно наблюдать стадийность всех этапов. В результате вышеописанных преобразований в прослоях, обогащенных биотитом, в поровом пространстве сформировался сложный гидрослюдисто-хлорит-сидеритовый цемент.

Органическое вещество встречается в виде удлиненных выделений, тонких прослоев, сгустков и примазок по зернам. Цвет варьирует от желтовато-буровато-красного до черного. Обособления органики, как правило, полупрозрачные, непрозрачные черные обломки углефицированного детрита часто пиритизированы. Нефтяное вещество бурого цвета пропитывает глинистый цемент, подчеркивая микропористое строение каолинита.

Цемент в песчаниках распределен неравномерно, по типу наиболее распространен поровый и пленочный, по составу – гидрослюдисто-хлорит-каолиновый. Реже проявляется коррозионный базальный и коррозионный поровый карбонатный цемент с пятнистым и полосчатым распределением.

В исследуемых породах отмечается взаимосвязь между преобладающим минералом в цементирующей части песчаников и составом обломков. В цементе кварцевых граувакк из дорожковской, долганской и нижнехетской свит преобладает хлорит.

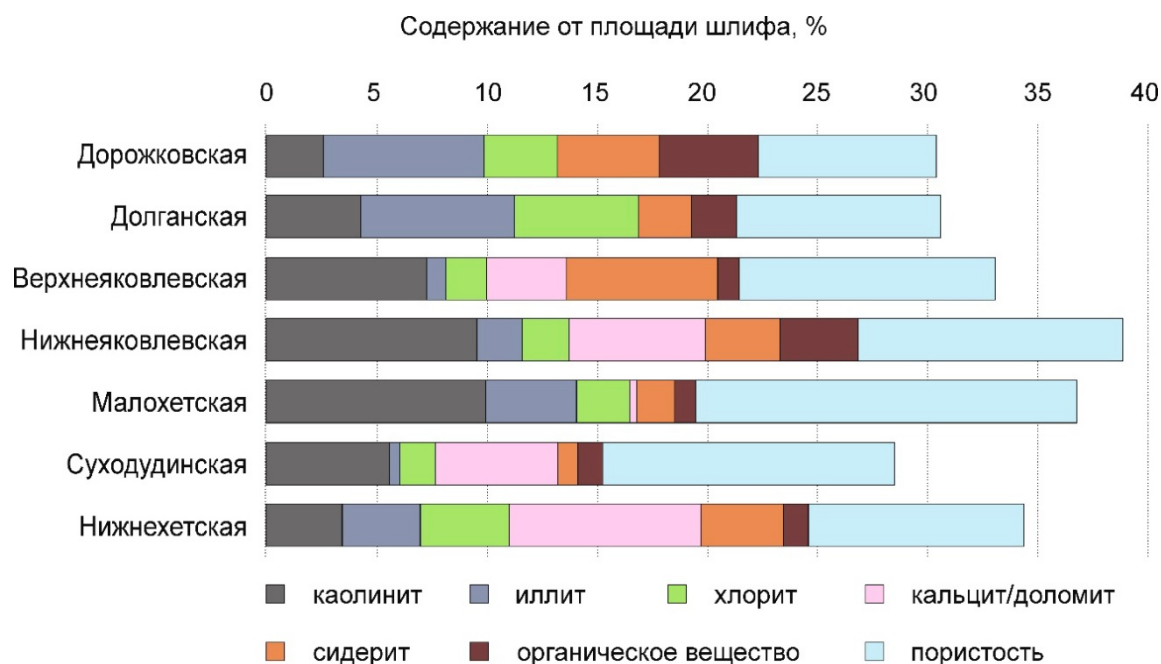


Рис. 6. Среднее содержание цемента, органического вещества и пор, % от площади шлифа
Слева указаны свиты, из которых были отобраны образцы для подсчета усредненных значений по продуктивным пластам

Fig. 6. The average cementation material, organic matter and pores percentage by thin sections data
On the left are the oil-bearing layers suite's names

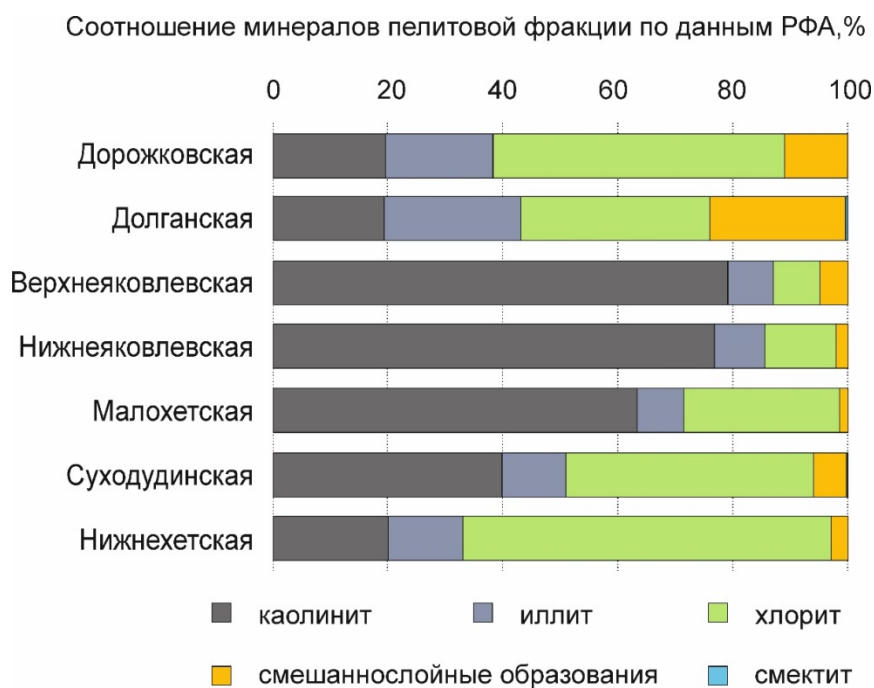


Рис. 7. Среднее соотношение минералов пелитовой фракции, по данным РФА, для песчаников Лодочного месторождения по свитам

Fig. 7. The clay fraction mineral average percentage according to the XRD data for the productive layers by suites

В аркозах яковлевской и малохетской свит интенсивнее происходило формирование каолинитового цемента. Это связано с тем, что кварцевые граувакки изначально содержали в себе больше обломков вулканитов основного состава, по которым впоследствии

и шло формирование хлорита. В аркозах же было выше содержание полевых шпатов, за счет растворения которых активно образовывался каолинит. Наиболее развит поровый каолинитовый цемент в породах яковлевской, суходудинской и малохетской

свит, среднее содержание которого в последней достигает 9,9 % при минимальном значении 2,6 % в песчаниках дорожковской свиты (см. рис. 6, 7).

Каолинит в изучаемых разрезах выделяется, по крайней мере, двух генетических типов. Первый имеет преимущественно низкую степень кристалличности или мелкочешуйчатое строение с беспорядочной ориентировкой чешуек, низким двупреломлением и агрегатным погасанием. Каолинит данного типа связан генетически с глинистым неразделенным цементом и гидрослюдами, по которым развивается и образует пленочный и поровый цемент. Для второго типа каолинита характерна более упорядоченная структура, микроагрегатное строение и более высокая степень раскристаллизации (см. рис. 5, *e*). Структура такого каолинита более совершенная по сравнению с каолинитом первого типа. Новообразованные кристаллы каолинита в седиментационном цементе освобождают часть порового пространства, создавая благоприятные условия для образования внутрицементной микропористости.

Пленочно-поровые иллитовый и хлоритовый типы цемента преобладают в песчаниках дорожковской, долганской и нижнехетской свит, где фиксируются наиболее высокие их содержания (рис. 6, 7).

Хлорит чешуйчатого строения имеет аллотигенный характер, пленочный хлоритовый цемент – аутигенный. Ведущую роль в его формировании, как было отмечено выше, сыграли хлоритизированные обломки пород и биотит. Формирование хлоритового цемента, вероятно, происходило постепенно, начиная с диагенеза и заканчивая этапами катагенетического преобразования пород, и привело к уменьшению их пустотного пространства.

В составе карбонатных минералов преобладают **сидерит и кальцит**, в единичных зернах отмечается доломит. **Железистый карбонат** формирует конкреции – от долей миллиметров (рис. 5, *f*) и до 10 см в диаметре в керне, либо локально замещает практически полностью глинистые прослои. В шлифах нередко отмечаются сферолиты сидерита, обогащенные в своей центральной части органическим веществом или гидроокислами железа. Наиболее высокое его содержание (24,3 %) отмечено в песчаниках верхнеяковлевской подсвиты.

Кальцит представлен в исследуемых породах микро-, мелкозернистыми агрегатами и хорошо раскристаллизованными зернами в поровом пространстве. Мелкозернистые разности слагают цементы преимущественно коррозионно-порового и порового типов. Перекристаллизованный кальцит включает две генерации, свидетельствующие о его формировании в различные стадии. Диагенетический мелко- и среднезернистый кальцит с реликтами микрозернистых агрегатов и следами слабой коррозии обломочного материала развит незначительно и занимает

не более 15 % от площади шлифа. Эпигенетический неравномернозернистый кальцит является доминирующим. Для отдельных песчаных прослоев в изучаемых свитах характерно наличие порово-базального, участками базального типа цементации с интенсивной коррозией обломочного материала вплоть до полного замещения корродируемых зерен (рис. 5, *g*). Максимальное содержание перекристаллизованных зерен кальцита в отдельных шлифах достигает 40 %. Подобное развитие кальцита приводит к появлению практически или полностью непроницаемых участков пород. В некоторых прослоях яковлевской свиты, совместно с кальцитом, иногда встречаются ромбовидные зернышки доломита.

Выявленная неравномерность развития сидеритовых обособлений, заполнения пор и замещения обломочного материала и цемента песчаных пород кальцитом оказывает существенное влияние на их емкостные и фильтрационные свойства.

Пустотное пространство представлено в шлифах межзерновой и внутризерновой пористостью, а также микропористостью в каолиновом цементе. Преимущественное развитие имеют изолированные и сообщающиеся межзерновые поры угловатой и заливообразной формы (рис. 5, *h*), в подчиненном количестве присутствуют внутризерновые поры, развитые вдоль плоскостей спайности и двойникования в частично растворенных зернах полевых шпатов. В участках шлифов с каолиновым цементом фиксируется микропористость в межпакетных промежутках. В целом в изучаемых породах с послойным развитием глинистого материала, сидерита и захороненного органического вещества в распределении пор также отмечается часто послойный характер. В таких участках поры менее развиты, имеют меньшие размеры или могут полностью отсутствовать.

Условия формирования

Для уточнения геологического строения продуктивных пластов яковлевской, малохетской, сухудинской и нижнехетской свит на территории Пур-Тазовской нефтеносной зоны было проведено детальное послойное литологическое описание кернового материала из восьми скважин Лодочного месторождения общей протяженностью 2442,43 м. По результатам совместной интерпретации петрографического описания шлифов, гранулометрического анализа 576 образцов пород, морфологической и генетической типизации слоистости подобрана наиболее подходящая седиментационная модель, максимально точно описывающая условия формирования терригенных отложений изучаемых свит. Текстуальный и вещественный анализ песчаников каждой из четырех свит, изучение остатков флоры и фауны, а также комплекса аутигенных минералов позволили выбрать

внутри каждой из фаций условия осадконакопления, характерные для отдельных продуктивных пластов.

Установлено, что начавшийся в раннем мелу крупный регрессивный цикл на территории Лодочно-го месторождения фиксируется в постепенной смене фациальных обстановок с барьерного побережья в нижнехетской свите на дельту с речным влиянием в суходудинской, малохетской, яковлевской и низах долганской свиты (рис. 8).

Текстурные особенности (косоволнистая слоистость, часто однонаправленная, углефицированные прослои, отпечатки флоры, остатков корней и углефицированного растительного детрита) и вещественный состав песчаников яковлевской свиты указывают на максимальные осушение изучаемой территории с преобладанием аллювиальных обстановок

седиментации, связанных с реками меандрирующего типа [Черданцева и др., 2020].

Крупная трансгрессия в начале верхнего мела зафиксирована в резкой смене фаций внутри отложений долганской свиты с субаквальной дельтовой равнины на отложения переходной зоны пляжа.

Наиболее продуктивные пласты на месторождении сформированы в двух основных фациальных обстановках и представлены:

- средне- и мелкозернистыми, преимущественно хорошо сортированными песчаными отложениями гребня и склона вдольберегового вала (нижнехетская свита);
- мелко- и среднезернистыми среднесортированными песчаниками дельтовых распределительных каналов (малохетская, суходудинская и яковлевская свиты).



Рис. 8. Схема фациальных обстановок осадконакопления отложений меловых продуктивных песчаных пластов на территории Лодочного нефтегазоконденсатного месторождения

Оранжевыми стрелками показано направление регрессивного этапа формирования отложений и смены фаций с баровых обстановок в нижнехетской свите к дельтовым и аллювиальным в яковлевской свите, голубые стрелки отражают постепенную трансгрессию от субаквальной дельтовой равнины к переходным отложениям пляжа в долганской и дорожковской свитах

Fig. 8. Depositional environments scheme of Cretaceous productive sandy strata on the Lodochnoe oil and gas field territory

Orange arrows show the direction of the sediment formation regressive stage and the change of facies from bar environment in the Nizhnekhetskaya suite to deltaic and alluvial in the Yakovlevskaya suite; blue arrows reflect a gradual transgression during the transition from the subaquial deltaic plain to the transitional beach deposits in the Dolganskaya and Dorozhkovskaya suites

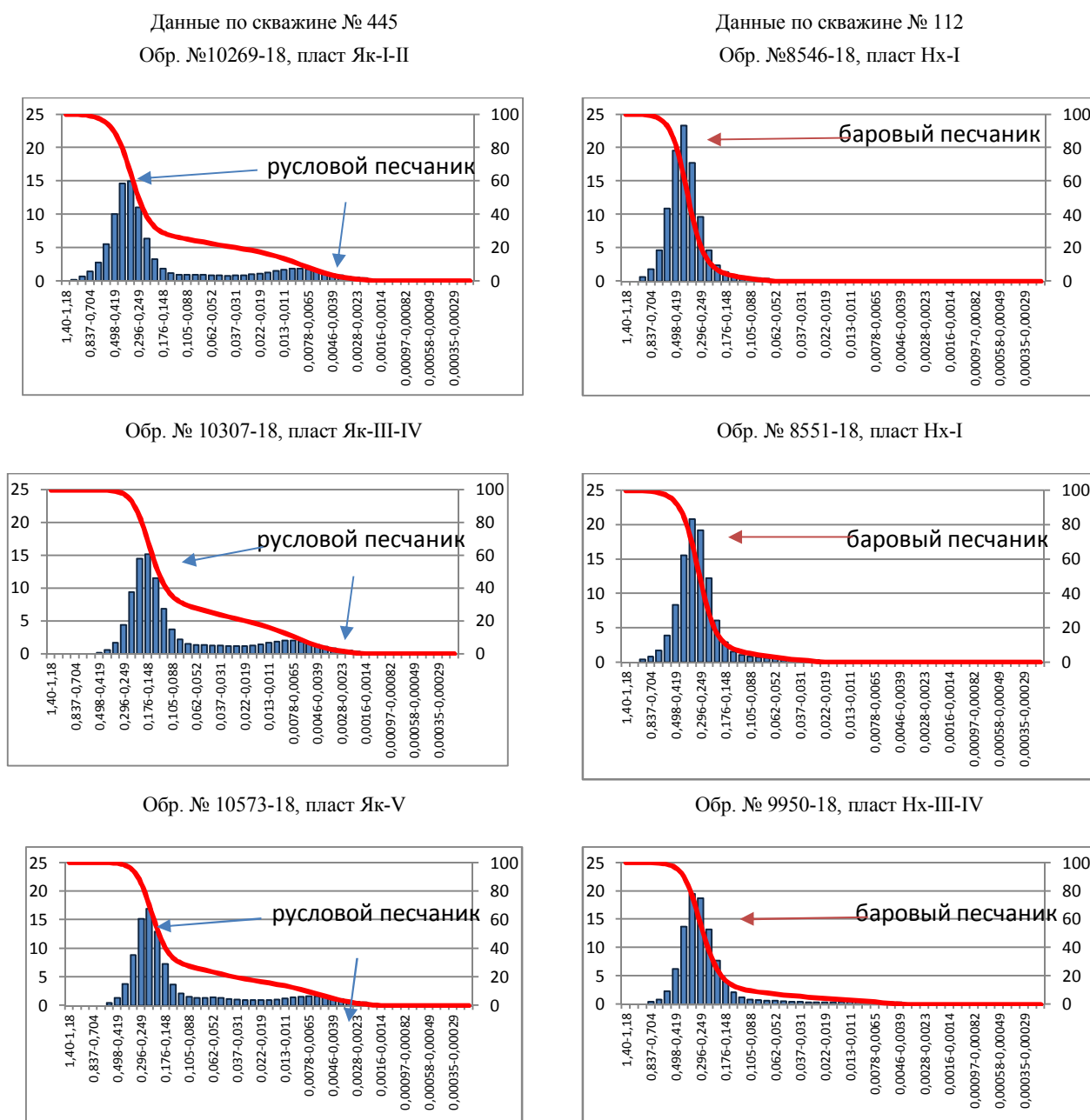


Рис. 9. График распределения гранулометрических фракций и кумулятивные кривые накопления для отложений яковлевской и нижнехетской свит (скв. № 445 и 112)

Fig. 9. The particle size fraction distribution graph and cumulative accumulation curves of the Yakovlevskaya and Nizhnekhetskaya sandstone samples (wells № 445 and 112)

Большая часть наблюдаемых карбонизированных прослоев является результатом вторичного преобразования пород, поэтому карбонатность часто в отложениях «афациальна».

Для подтверждения выделенных фациальных обстановок на основе данных гранулометрического анализа песчаников были построены кривые кумулятивного накопления и графики распределения гранулометрических фракций (см. рис. 9).

На графиках слева отчетливо заметны два пика – основной и подчиненный в «глинистом хвосте». Подобная бимодальность распределения гранулометрического состава характерна для аллювиальных отложений и связана с динамикой среды осадконакопления [Гроссгейм и др., 1984]. В работе [Котельников, 1989, с. 22] показано, что транспортировка обломочного материала в однонаправленном потоке осуществляется различными способами: во взвеси, саль-

тацией, скольжением и качением, но «распределение 2-вершинное может отвечать только сальтации и взвеси». По-видимому, максимальный пик на графиках соответствует обломкам, переносимым сальтацией, в то время как второстепенный пик на диаграмме – частичкам (примесь глинистого материала), перенос которых перед осаждением происходил из взвеси. В свою очередь, для гранулометрических диаграмм баровых песчанников типично одновершинное и, в целом, относительно симметричное распределение осадков. Самое главное, фиксируется резкий дефицит частиц размером менее 0,1 мм, что является общим и наиболее характерным признаком прибрежно-морских песков.

Отложения верхней части долганской и дорожковской свиты, изученные по данным кернового материала, по-видимому, малопродуктивны и требуют дополнительного исследования.

Результаты и обсуждение

Петрографический анализ шлифов песчаных пород позволил установить основные процессы преобразований изучаемых пород-коллекторов, которые влияют на пористость и проницаемость песчанников. К таким процессам следует отнести механическое уплотнение, цементацию, растворение каркасных зерен и цемента.

Механическое уплотнение пород (растворение под давлением), возрастающее по мере погружения осадка в условиях активно опускающегося осадочного бассейна, должно было привести к возникновению различных тангенциальных, конформных и инкорпорационных типов контактов зерен. В изученных шлифах подобные контакты развиты незначительно, что указывает на слабую до умеренной степень уплотнения пород или на процессы их вторичного разуплотнения. Можно было бы предположить, что активная тектоника района привела к захоронению песчанников в относительно рыхлом состоянии, так как в керне отмечается довольно слабое уплотнение пород. Однако наличие фрагментов реликтовых конформно-инкорпорационных и регенерационных контактов обломочного материала в шлифах, особенно в участках, где ранее плотно прилегающие друг к другу зерна теперь разобщены, с сохранением их контуров в местах общих контактов, может указывать на вторичное разуплотнение пород, связанное с явлением регрессивного эпигенеза вследствие повторного поднятия ранее захороненных блоков с осадочными пластами. Схема преобразований пород Лодочного месторождения, по данным изучения шлифов, представлена на рис. 10.

Наиболее часто поровое пространство нефтеносных песчаных пластов заполнено каолинитовым цементом. Формирование его частично связано с перекристаллизацией первичного глинисто-гидро-

слистистого агрегата пор, частично является результатом замещения хлорита и калиевых полевых шпатов. Образование аутигенного каолинита требует кислой среды, которая могла сформироваться, например, за счет циркуляции в песчаниках растворов с пониженными значениями pH [Клубова, 1973]. Учитывая тот факт, что в породах были отмечены следы процессов регрессивного эпигенеза, связанного с нахождением Лодочного месторождения в зоне влияния Худосейской грабен-рифтовой системы, можно предположить, что появление разрывных нарушений на территории месторождения в результате тектонических подвижек привело к формированию отдельных блоков, которые, в свою очередь, испытывали разнонаправленные движения погружения и инверсионного воздымания. Это, по-видимому, способствовало постепенной фильтрации по трещинам кислых, вступавших в контакт с нефтяными залежами, чужеродных по химизму вод, которые активизировали процессы растворения полевых шпатов и вторичной децементации песчаных пластов. В образовавшейся в межпоровом пространстве благоприятной среде началось формирование агрегатов аутигенного каолинита, что фиксировалось и в работах других исследователей [Япаскурт, 2016].

При перекристаллизации и замещении каолинит формировал пакетобразные агрегаты, заполняющие поры и пустоты. Крупные каолинитовые пакеты в поровом пространстве располагались под различными углами друг к другу, что приводило к образованию вторичных пустот – межпакетных пор, в которых способно накапливаться нефтяное вещество [Гроссгейм и др., 1984]. Описанные регрессивные эпигенетические изменения в песчаных пластах сыграли важную роль в улучшении коллекторских свойств песчанников Лодочного месторождения.

На следующем этапе регрессивного эпигенеза вслед за коррозией пород из водных растворов происходило выделение углекислого газа с его последующей миграцией по трещинам. Механизм формирования карбонатных цемента осадением карбонатов из пластовых вод при эпигенезе подробно описан [Перозио, 1971] и в работе это не рассматривается. Однако отметим, что, вероятнее всего, это стало основной причиной активной фрагментарной вторичной карбонатизации отложений по всему изученному разрезу пород независимо от их фациальной принадлежности.

Участки развития карбонатов характеризуются снижением фильтрационно-емкостных свойств пород [Страхов и др., 1959; Япаскурт, 2018]. Ученые отмечали, что карбонаты легче других минералов поддаются процессам коррозии вплоть до полного их растворения, а затем новой кристаллизации, регенерации, изоморфным замещениям и прочим преоб-

разованиям, которые побуждаются малейшими изменениями концентраций растворенной углекислоты

или изменениями других химических свойств межзерновых водных растворов.

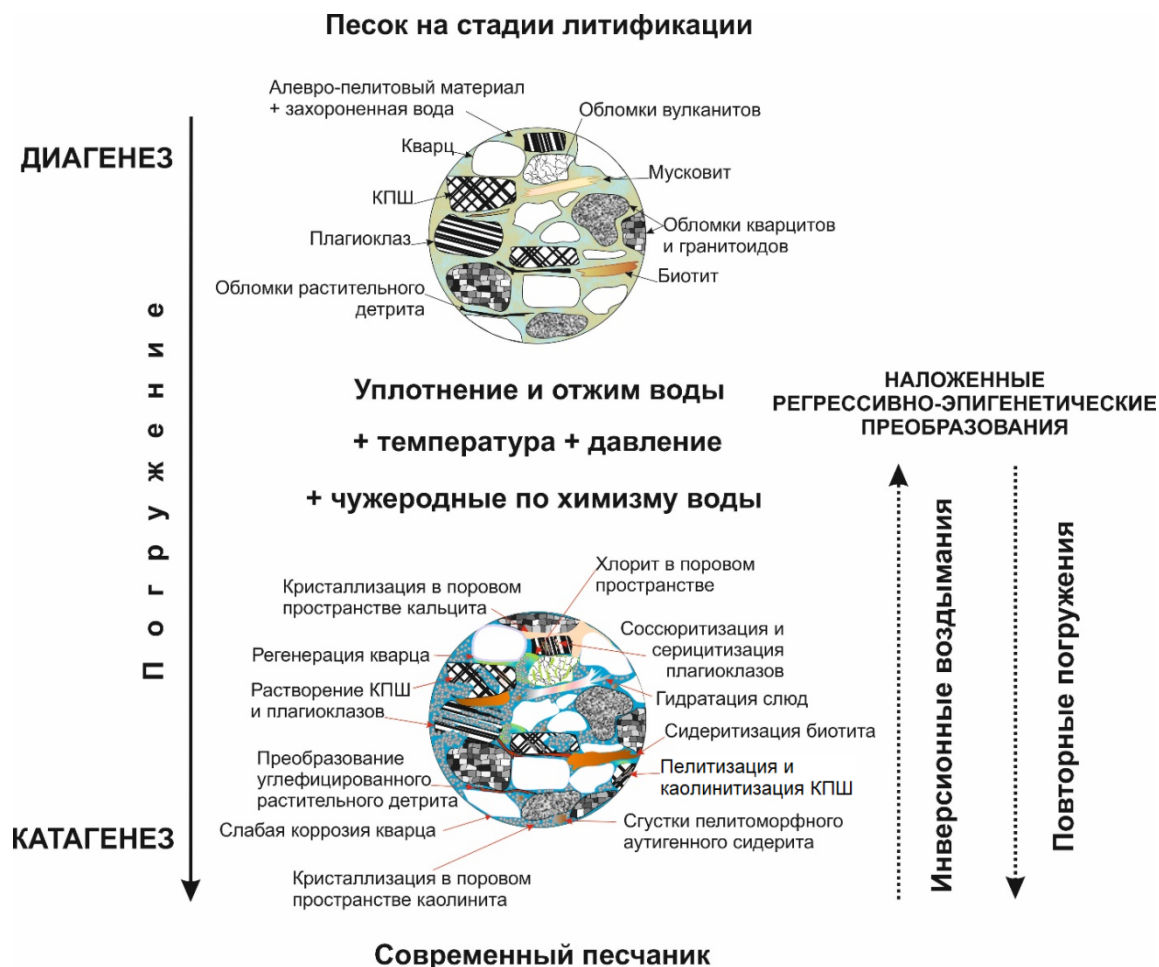


Рис. 10. Схема, отражающая процессы формирования песчаных коллекторов на Лодочном месторождении

Fig. 10. Scheme of sandstone reservoirs formation process in the Lodochnoe deposit

Закключение

По всей вероятности, на песчаные породы яковлевской, малохетской, суходудинской и нижнехетской свит воздействовали воды с пониженным значением pH, насыщенные углекислотой и углеводородами. За счет их воздействия в породах происходила интенсивная коррозия терригенных и аутигенных минералов с возникновением зон вторично разуплотненных песчаников.

Таким образом, на Лодочном месторождении нарушение физико-химической наследственности пород тесно связано с нестабильностью тектонической обстановки в пределах изучаемой территории, приведшей к резким изменениям инфильтрационных

режимов подземных вод. Изменение химического равновесия в породах способствовало формированию новых наложенных низкотемпературных минеральных новообразований и частичному замещению более ранних парагенезисов, сформированных во время предшествующих погружений на этапе диа- и катагенетического преобразования осадочных отложений.

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам лаборатории физики пласта и лаборатории седиментологии АО «ТомскНИПИнефть» за ценные комментарии и аналитический материал, предоставленный для работы, а также рецензентов журнала за рекомендации, позволившие улучшить качество научной статьи.

ЛИТЕРАТУРА

Гроссгейм В.А., Бескровная О.В., Геращенко И.Л. и др. Методы палеогеографических реконструкций (при поисках залежей нефти и газа). Л. : Недра, 1984. 271 с.

- Житков В.Г., Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Кринин В.А.** Новые данные по структуре района Ванкорского газонефтяного месторождения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327, № 4. С. 44–54.
- Квачко С.К.** Литолого-фациальный анализ нижнемеловых отложений Ванкорского газонефтяного месторождения (Западная Сибирь) // Вестник Томского государственного университета. 2010. № 338. С. 223–226.
- Кириухин Л.Г., Кулехина Е.А., Хакимов М.Ю.** Геологическое строение и нефтегазоносность Большехетского вала // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2011. № 1. С. 115–119.
- Конторович В.А.** Тектоника и нефтегазоносность западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 8. С. 1027–1050.
- Клубова Т.Т.** Глинистые минералы и их роль в генезисе, миграции и аккумуляции нефти. М. : Недра, 1973. 256 с.
- Кринин В.А.** Тектоника фундамента и оценка ресурсов нефти юрско-меловых отложений северо-востока Западно-Сибирской плиты в пределах Красноярского края // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2011. Т. 4. С. 399–409.
- Кринин В.А., Косенкова Н.Н., Лопатин Н.В., Малышев Н.А.** Нефтегазовые генерационно-аккумуляционные системы Ванкорского месторождения, Красноярский край // Международная конференция и выставка «Науки о Земле – Найти и извлечь». СПб., 2006.
- Копелиович А.В.** Эпигенез древних толщ юго-запада Русской платформы. М. : Наука, 1965. 310 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 121.)
- Котельников Б.Н.** Реконструкция генезиса песков: Гранулометрический состав и анализ эмпирических полигонов распределения / под. ред. В.Н. Шванова. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1989. 132 с.
- Логвиненко Н.В.** Постдиагенетические изменения осадочных пород. М. : Наука, 1968. 92 с.
- Орлов В.П.** Новые центры сырьевого обеспечения экономического роста на период до 2030 года // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2009. № 3. С. 2–4.
- Перозно Г.Н.** Эпигенез терригенных осадочных пород Западно-Сибирской низменности. М. : Недра, 1971. 160 с.
- Поляков А.А., Кринин В.А., Жемчугова Т.А.** Влияние ложных флюидоупоров на нефтегазоносность нижнемеловых резервуаров Большехетской террасы // Научно-технический вестник ОАО «НК «РОСНЕФТЬ». 4. 2001. Вып. 25. С. 15–19.
- Розбаева Г.Л.** Детальная литолого-фациальная модель отложений нижнехетской свиты в Сузунском НГР (Западная Сибирь) : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Тюмень, 2014. 145 с.
- Симанович И.М.** Кварц песчаных пород. М. : Наука, 1978. 152 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 314.)
- Страхов Н.М., Залмансон Э.С., Глаголева М.А.** Очерки геохимии верхнепалеозойских отложений гумидного типа (опыт фациально-геохимического исследования). М. : Изд-во АН СССР, 1959. 223 с.
- Титов Ю.В., Шайхутдинова Г.Х., Астаркин С.В., Колпаков В.В., Кожевникова Н.В.** Постседиментационные преобразования нижнемеловых отложений Большехетской впадины (Западная Сибирь) // Литосфера. 2019. Т. 19, № 1. С. 48–58.
- Фокин П.А., Демидова В.Р., Яценко В.М., Ставинский П.В., Лисунова О.В.** Состав и условия образования продуктивных толщ нижнехетской и яковлевской свит нижнего мела Ванкорского нефтегазового месторождения (северо-восток Западной Сибири) // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2008. № 5. С. 12–18.
- Фомин М.А.** Тектонические предпосылки нефтегазоносности юрско-меловых отложений Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 11. С. 14–25.
- Черданцева Д.А., Кравченко Г.Г., Краснощекова Л.А.** Условия формирования песчаных пластов-коллекторов яковлевской свиты на территории Лодочного нефтегазоконденсатного месторождения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331, № 10. С. 115–127.
- Шванов В.Н.** Петрография песчаных пород (компонентный состав, систематика и описание минеральных видов). Л. : Недра, 1987. 269 с.
- Япаскурт О.В.** Предметаморфические изменения осадочных пород в стратиферу: процессы и факторы : учеб. пособие. М. : ИНФРА-М, 2018. 259 с.
- Япаскурт О.В.** Стадиальный анализ минеральных свидетелей динамики процессов формирования и эволюции вещества осадочных пород – перспективное научное направление литологии и нефтегазовой геологии // Георесурсы. 2016. Т. 18, № 1. С. 64–68.

Авторы:

Черданцева Дарья Андреевна, старший научный сотрудник, лаборатория седиментологии, управление лабораторными исследованиями ядра, АО «ТомскНИПИнефть», Томск, Россия.

E-mail: cherdantsevad@tomsknpi.ru

Краснощекова Любовь Афанасьевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, отделение геологии, Инженерная школа природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия.

E-mail: krasnl@tpu.ru

Geosphere Research, 2021, 2, 44–59. DOI: 10.17223/25421379/19/4

D.A. Cherdantseva¹, L.A. Krasnoshchekova²

¹*Tomsk Oil and Gas Research and Design Institute, Tomsk, Russia*

²*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*

**MATERIAL COMPOSITION AND FORMATION CONDITIONS OF PRODUCTIVE SANDSTOONS
OF THE PUR-TAZOV OIL AND GAS-BEING REGION (ON THE EXAMPLE
OF LODOCHNOE FIELD, KRASNOYARSKY KRAI)**

The article presents the results of the Lower Cretaceous sandstones lithological-facies analysis in the Lodochnoe oil and gas field. Petrographic analysis established the relationship between the composition of the sandstones detrital part and the epigenetic transformation features, made it possible to identify the main processes that affect the filtration-capacity properties. Particle size analysis by

laser light diffraction and sedimentological analysis made it possible to clarify the formation conditions of productive sandstone layers in the field. Core material laboratory studies allow a better field structure understanding and answer a number of questions related to the features deposit formation. This paper presents the results of the sandstones material composition and post-sedimentary transformations study in the Lodochnoe oil-bearing reservoirs by the thin sections petrographic analysis using clay part rocks X-ray phase studies data. The article presents the main lithological characteristics of oil-bearing sandstones from Nizhnekhetskaya, Sukhodudinskaya, Malokhetskaya, Yakovlevskaya, Dolganskaya and Dorozhkovskaya suites. It was found that most of the studied productive layers are composed of quartz greywackes, arkoses and mesomictic sandstone varieties. The authors determined the interrelation between the features of the epigenetic sandstones transformation and the detrital part material composition. This interrelation manifested itself in the active kaolinitization of mesomictic and arkose sandstones, and quartz greywackes predominant secondary chloritization. As a result, the main processes that influenced the sandstone reservoir properties were established: there are deconsolidation, kaolinitization and carbonatization. The presence of these processes indicates a regressive-epigenetic transformation of terrigenous deposits due to the study area high tectonic activity. Conclusions were drawn about the positive effect of deconsolidation and mass kaolinitization on the studied sandstones reservoir properties, and that superimposed carbonatization contributed to the formation of some impermeable layers.

Keywords: material composition, sandstone, diagenesis, catagenesis, oil and gas condensate field, Lower Cretaceous deposits

References

- Grossheim V.A., Beskrovnaya O.V., Gerashchenko I.L. et al. *Metody paleogeograficheskikh rekonstruktsiy (pri poiskakh zalezhey nefii i gaza)* [Methods of paleogeographic reconstructions (in the search for oil and gas deposits)]. Leningrad: Nedra. 1984, 271 p. In Russian
- Zhitkov V.G., Potseluev A.A., Ananiev Yu.S., Krinin V.A. New data for structural position of Vankor oil&gas deposit and surrounding area // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2016. V. 327. 4. 44–54. In Russian
- Kvachko S.K. *Litologo-fatsial'nyy analiz nizhnemelovykh otlozheniy Vankorskogo gazoneftyanogo mestorozhdeniya (Zapadnaya Sibir')* [Lithofacies analysis of the Lower Cretaceous deposits of the Vankorskoye oil-and-gas field (Western Siberia)] // Tomsk State University Journal. 2010. No 338. pp. 223–226. In Russian
- Kiryukhin L.G., Kulekhina E.A., Khakimov M.Yu. *Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' Bol'shekhetskogo vala* [Geological structure and oil and gas content of the Bolshekhetsky swell] // RUDN Journal of Engineering Researches. 2011. No 1. pp. 115–119. In Russian
- Kontorovich V.A. The tectonic framework and petroleum prospects of the Western Yenisei-Khatanga regional trough // Geology and Geophysics, 2011. V. 52. No 8. pp. 808–824.
- Klubova T.T. *Glinistye mineraly i ikh rol' v genezise, migratsii i akkumulyatsii nefii* [Clay minerals and their role in the genesis, migration and accumulation of oil]. Moscow: Nedra, 1973. 256 p. In Russian
- Krinin V.A. Basement tectonics and oil resources estimation referred to jurassic-cretaceous deposits of Northern-Eastern part of West-Siberian Plate with in Krasnoyarsk Region // Journal of the Siberian Federal University. Series: Engineering and technology 2011. V. 4. pp. 399–409. In Russian
- Krinin V.A., Kosenkova N.N., Lopatin N.V., Malyshev N.A. *Neftegazovye generatsionno-akkumulyatsionnye sistemy Vankorskogo mestorozhdeniya, Krasnoyarskiy kray* [Oil and gas generation and accumulation systems of the Vankor field, Krasnoyarsk Territory] // International Conference and Exhibition "Earth Sciences - Find and Extract". St. Petersburg, 2006. In Russian
- Kopeliovich A.V. *Epigenez drevnikh tolshch yugo-zapada Russkoy platformy* [Epigenesis of ancient strata of the southwest of the Russian platform]. Moscow: Nauka, 1965. 310 p. (Tr. GIN AN SSSR; Issue 121). In Russian
- Kotelnikov B.N. *Rekonstruktsiya genezisa peskov: Granulometricheskii sostav i analiz empiricheskikh poligonov raspredeleniya* [Reconstruction of the genesis of sands: Granulometric composition and analysis of empirical distribution areas] / Under. Ed. V.N. Shvanov. Leningrad: Publishing house of the Leningrad University. 1989. 132 p. In Russian
- Logvinenko N.V. *Postdiageneticheskie izmeneniya osadochnykh porod* [Postdiagenetic changes in sedimentary rocks]. Moscow: Nauka, 1968. 92 p. In Russian
- Orlov V.P. *Novye tsentry syr'evogo obespecheniya ekonomicheskogo rosta na period do 2030 goda* [New centers of raw materials provision of economic growth for the period up to 2030] // Russia mineral resources. Economics and Management. 2009. No 3. pp. 2–4. In Russian
- Perosio G.N. *Epigenez terrigenykh osadochnykh porod Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Epigenesis of terrigenous sedimentary rocks of the West Siberian Lowland]. Moscow: Nedra. 1971. 160 p. In Russian
- Polyakov A.A., Krinin V.A., Zhemchugova T.A. The influence of false seals on the oil-and-gas content of Bolshekhets terrace Upper Cretaceous reservoirs // Scientific and technical bulletin of OAO NK ROSNEFT. 4. 2001. Iss. 25. pp. 15–19. In Russian
- Rozbaeva G.L. *Detal'naya litologo-fatsial'naya model' otlozheniy nizhnekhetskoy svity v Suzunskom NGR (Zapadnaya Sibir')* [Detailed lithological-facies model of deposits of the Nizhnekhetskaya suite in the Suzunsky oil and gas district (Western Siberia)]: dissertation for the degree of Cand. g-mn, Tyumen, 2014. 145 p. In Russian
- Simanovich I.M. *Kvarts peschanykh porod* [Quartz of sandy rocks]. Moscow: Science. 1978. 152 p. (Tr. GIN AN SSSR; Iss. 314). In Russian
- Strakhov N.M., Zalmanson E.S., Glagoleva M.A. *Ocherki geokhimii verkhnepaleozoyskikh otlozheniy gumidnogo tipa (opyt fatsial'no-geokhimicheskogo issledovaniya)* [Essays on the geochemistry of the Upper Paleozoic humid-type deposits (experience of facies-geochemical research)]. Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Sciences. 1959. 223 p. In Russian
- Titov Yu.V., Shaikhutdinova G.K., Astarkin S.V., Kolpakov V.V., Kozhevnikova N.V. Manifestations of post-sedimentation processes in the Lower Cretaceous sediments of Bolshekhetskaya depression (Western Siberia) // Lithosphere (Russia). 2019, V. 19, No 1, pp. 48–58. In Russian
- Fokin P.A., Demidova V.R., Yatsenko V.M., Stavinsky P.V., Lisunova O.V. *Postsedimentatsionnye preobrazovaniya nizhnemelovykh otlozheniy Bol'shekhetskoy vpadiny (Zapadnaya Sibir')* [Composition and conditions of formation of productive strata of the Nizhnekhetskaya and Yakovlevskaya formations of the Lower Cretaceous of the Vankor oil and gas field (north-east of Western Siberia)] // Bulletin of Moscow University. Ser. 4. Geology. 2008. No 5, pp. 12–18. In Russian
- Fomin M.A. *Tektonicheskie predposylki neftegazonosnosti yursko-melovykh otlozheniy Enisey-Khatangskogo regional'nogo progiba* [Tectonic prerequisites for the oil and gas content of the Jurassic-Cretaceous deposits of the Yenisei-Khatanga regional trough] // Geology, geophysics and development of oil and gas fields. 2014. No 11. pp. 14–25. In Russian

Cherdantseva D.A., Kravchenko G.G., Krasnoshchekova L.A. *Usloviya formirovaniya peschanykh plastov-kollektorov yakovlevskoy svity na territorii Lodochnogo neftegazokondensatnogo mestorozhdeniya* [The Yakovlevskaya suite oil-bearing sandstone formation conditions in the Lodochnoe oil field] // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2020. T. 331. No 10. pp. 115–127. In Russian

Shvanov V.N. *Petrografiya peschanykh porod (komponentnyy sostav, sistematika i opisanie mineral'nykh vidov)* [Petrography of sandy rocks (composition, taxonomy and description of mineral species)]. Leningrad: Nedra. 1987. 269 p. In Russian

Yapaskurt O.V. *Predmetamorficheskie izmeneniya osadochnykh porod v stratisfere: protsessy i faktory* [Before metamorphic processes in sedimentary rocks in the stratisphere: processes and factors]: tutorial. Moscow: INFA-M. 2018. 259 p. In Russian

Yapaskurt O.V. Stage Analysis of Minerals that Witnessed Formation and Evolution Dynamics of Sedimentary Rocks – Perspective Scientific Direction of Lithology and Geology of Oil and Gas // Georesources. 2016. V. 18. No 1. 2016. pp. 64–68. In Russian

Author's:

Cherdantseva Daria A., Senior Researcher, Laboratory of sedimentology, Laboratory core analysis management, Tomsk Oil and Gas Research and Design Institute, Tomsk, Russia.

E-mail: cherdantsevada@tomsknpi.ru

Krasnoshchekova Lyubov A., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Associate Professor, Department for Geology, School of Earth Sciences and Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia.

E-mail: krasnl@tpu.ru

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ, СТРАТИГРАФИЯ

УДК 551.76

НОВЫЕ НАХОДКИ РАСТЕНИЙ ИЗ СРЕДНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ УВАТСКОГО РАЙОНА (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

А.И. Муравьев



Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

Описаны растительные остатки из среднеюрских отложений Фроловско-Тампейского структурно-фациального района Западной Сибири. Рассмотрено их фитостратиграфическое значение для района работ. Проведено сопоставление с характерными флористическими комплексами растений из отложений смежных фациальных районов.

Ключевые слова: юрская флора, растительные остатки, тюменская свита, флористический комплекс, структурно-фациальный район

Введение

При изучении нового кернового материала скважины из Уватского района Тюменской области обнаружены остатки растений, сохранившиеся, по большей части, в виде углефицированного растительного детрита. Однако в двух образцах выявлены находки удовлетворительной степени сохранности, что позволяет установить их систематическую принадлежность (фототаблица I).

Цель работы заключается в уточнении палеоботанической характеристики изученного интервала, а также определении фитостратиграфического значения изученных растительных остатков для среднеюрских отложений района. Для этого на основании глубинной привязки и сопоставления с данными палинологических и микрофаунистических исследований, выполненных сотрудниками лаборатории микропалеонтологии О.Н. Костешей и Е.В. Полковниковой, установлен относительный возраст и стратиграфическая приуроченность данных образцов.

Материалы и методы

Материалы, содержащие растительные остатки, представлены образцами керна, поступившего в лабораторию микропалеонтологии Национального исследовательского Томского государственного университета (ТГУ). Для проведения палеофлористического анализа отобрано два образца, после определения растительных остатков они переданы на хранение в фонд палеонтологического музея ТГУ с присвоением индивидуальных номеров 116/1350 и 116/1351. Образец 116/1350 отобран с глубины 2690,08 м, представлен аргиллитом темно-серым, массивным с многочисленными растительными остатками в виде листовой флоры. Образец 116/1351 отобран с глубины 2780,65 м,

представлен светло-серым среднезернистым песчаником с обрывками корневой системы растений. Изучение растений осуществлялось на микроскопе Leica MZ16, микрофотосъемка – на фотокамеру Axio-Cam ERc 5S. Описание растительных остатков произведено сравнительно-морфологическим методом с применением надродовой систематики по С.В. Мейену [Мейен, 1987].

Стратиграфия района

Согласно схеме структурно-фациального районирования келловей и верхней юры Западной Сибири, изучаемая скважина расположена в пределах Фроловско-Тампейского структурно-фациального района (СФР) [Решение..., 2004]. На основании данных палинологических исследований установлено, что отложения в образце № 116/1350 имеют среднеюрский возраст (келловейский) и в данном районе выделяются в объеме нижней подсвиты абалакской свиты (пласт Ю₂). Второй образец № 116/1351 датирован полиноморфами байоса и стратиграфически приурочен к средней подсвите тюменской свиты (пласт Ю₅) по классификации тюменских геологов [Шурыгин и др., 2000]. Макрофауна и микрофауна в изучаемом интервале глубин не обнаружены.

Описание исследуемого материала

Класс Polypodiopsida (Pteropsida, Filicopsida). Папоротники (полиподиопсиды)

Порядок Polypodiales (Filicales). Полиподиевые

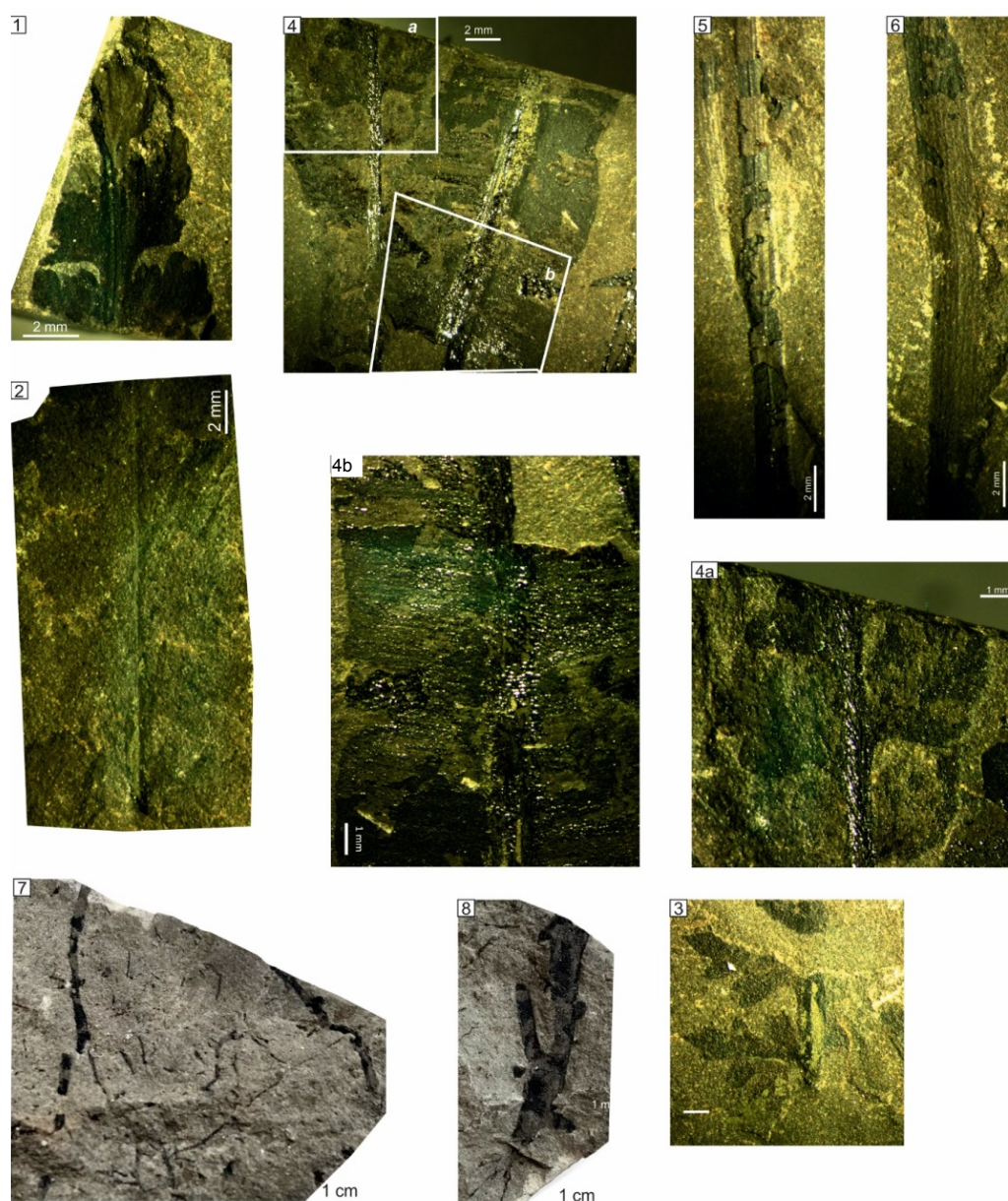
Семейство Cyatheaceae. Циатейные

Род *Coniopteris* Brongniart, 1849

Coniopteris maakiana (Heer) Prynada (1962) emend. Kiritchkova et Travina, 1993

Фототаблица I, фиг. 4 (фрагмент а), 4а

ФОТОТАБЛИЦА I



Фиг. 1 – *Coniopteris latilobus* Bistritskaja: верхняя часть стерильного пера папоротника, обр. 116/1350, гл. 2690,08 м, абалакская свита.

Фиг. 2, 3 – *Coniopteris* sp.: 2 – отпечаток базальной части пера, 3 – противоотпечаток фрагмента стержня и двух перышек, обр. 116/1350, гл. 2690,08 м, абалакская свита.

Фиг. 4 (фрагмент а), 4а – *Coniopteris maakiana* (Heer) Prynada (1962) emend. Kiritchkova et Travina: участок стерильного пера папоротника, обр. 116/1350, гл. 2690,08 м, абалакская свита.

Фиг. 4 (фрагмент б), 4б – *Doratophyllum* sp.: фрагмент пера цикадового, обр. 116/1350, гл. 2690,08 м, абалакская свита.

Фиг. 5 – *Czekanowskia* sp. – отпечаток фрагмента единичного листа с небольшими участками сохранившейся фитолеймы обр. 116/1350, гл. 2690,08 м, абалакская свита.

Фиг. 6 – *Phoenicopsis* sp. – отпечаток линейного листа без фитолеймы, обр. 116/1350, гл. 2690,08 м, абалакская свита.

Фиг. 7, 8 – *Radicites* sp. – углефицированные фрагменты корневой системы неизвестных растений, обр. 116/1351, гл. 2780,65 м, Тюменская свита.

Fig. 1 – *Coniopteris latilobus* Bistritskaja: the apex part of sterile pinnae, sample 116/1350, depth. 2690,08 m, Abalak formation.

Fig. 2, 3 – *Coniopteris* sp.: 2 – impression of a basal part of pinnae, 3 – impression of a pinnae fragment with two pinnules, sample 116/1350, depth. 2690,08 m, Abalak formation.

Fig. 4 (fragment b), 4b – *Doratophyllum* sp.: a foliage of Cycadophytes, sample 116/1350, depth. 2690,08 m, Abalak formation.

Fig. 5 – *Czekanowskia* sp. impression of a singular leaf with small parts of compression, sample 116/1350, depth. 2690,08 m, Abalak formation.

Fig. 6 – *Phoenicopsis* sp. – impression of a flat leaf without compression, sample 116/1350, depth. 2690,08 m, Abalak formation.

Fig. 7, 8 – *Radicites* sp. – fragments of carbonized rhizome uncertain taxonomic position, sample 116/1351, depth 2780,65 m, Tyumen formation.

1962. *Coniopteris* (?) *maakiana* (Hr.) comb. nov: Принада, с. 89, табл. I, фиг. 7, 14; табл. II, фиг. 2; табл. IV, фиг. 10, 11; рис. 4, 5.

1983. *Coniopteris maakiana*: Быстрицкая, Татьяна, с. 93, табл. II, фиг. 1–3.

2005. *Coniopteris maakiana*: Киричкова, Костина, Быстрицкая, с. 65, табл. VII, фиг. 12–15; табл. X, фиг. 13, рис. 15.

2014. *Coniopteris maakiana*: Фролов, Машук, с. 21, табл. VI, фиг. 2–7; табл. VII, фиг. 1; табл. VIII, фиг. 1.

2018. *Coniopteris maakiana*: Фролов, Машук, с. 152, табл. X, фиг. 9, табл. XI, фиг. 1–4, табл. XII, фиг. 1–4.

Описание. В образце № 116/1350 обнаружен фрагмент стерильного пера со сфеноптеридным типом перышек: боковые жилки уходят в лопасти, иногда дихотомируя. На тонком прямом стержне шириной 0,5 мм поочередно расположены перышки овальной формы, 5 мм в длину и 4 мм в ширину. К стержню перышки прикрепляются узким основанием, напоминающим укороченный черешок, сидят свободно друг от друга на расстоянии около 3–3,5 мм, не соприкасаясь и под углом 40° по отношению к стержню. Перышки рассечены на лопасти в количестве 3–5 с ровными краями.

Сравнение и замечания. Среди определений остатков юрского папоротника данного вида наибольшее сходство прослеживается с *C. maakiana*, приведенного в работе В.Д. Принады [Принада, 1962]. Также имеется сходство с *C. maakiana* из описания Л.И. Быстрицкой [Быстрицкая, Татьяна, 1983], однако в описываемом нами случае края перышек ровные. В коллективной работе А.И. Киричковой наибольшее сходство имеется с отпечатком, приведённым в табл. VII, фиг. 12 из пешковской свиты (верх нижней юры), пл. Толпаровская, скв. 1-Р [Киричкова и др., 2005]. По форме перышек определено имеется сходство с *C. maakiana* из отложений присаянской свиты (средняя юра) Иркутского бассейна, описанного в работе А.О. Фролова [Фролов, Машук, 2014, 2018]. Различие с имеющимся образцом заключается в менее тесном расположении перышек на стержне. Вероятно, это объясняется нахождением в разных частях в пределах вайи и стадией роста растения.

Распространение. Нижняя – средняя юра Западной Сибири, Иркутского, Южно-Якутского бассейнов; Амурская область.

Coniopteris latilobus Bistritskaja

Фототаблица I, фиг. 1

Описание. В образце обнаружен фрагмент основания стерильного пера папоротника. На тонком стержне почти супротивно расположены небольшие, с неглубокими вырезами рассеченные на неравные лопасти перышки ромбовидной формы со сфеноптеридным типом жилкования. Стержень толщиной

около 1 мм, вдоль него проходит жилка в виде валика. Перышки прикрепляются всем основанием, нижний край низбегающий по стержню. Размеры перышек составляют 3,5 мм в ширину и 5 мм в длину.

Сравнение и замечания. По характерному облику основания пера можно уверенно определить вид папоротника. Подобные черты перышек имеет *C. latilobus*, впервые установленный в составе верхнеюрского растительного комплекса в пределах васюганского горизонта (средняя юра) Л.И. Быстрицкой [Быстрицкая, Татьяна, 1983]. Подобные остатки подробно описаны в работе А.И. Киричковой [Киричкова и др., 2005] из отложений верхней подсвиты тюменской свиты (бат), васюганской свиты и их одновозрастных аналогов.

Распространение. Верхи средней юры – низы верхней юры Западной Сибири.

Coniopteris sp.

Фототаблица I, фиг. 2, 3

Описание. В образце 116/1350 обнаружен отпечаток пера папоротника длиной 20,5 мм (фиг. 2) и небольшого фрагмента 4,4 мм в длину (фиг. 7), являющегося противоотпечатком. На тонком прямом стержне шириной 1 мм находятся попарно сближенные перышки, расположенные в среднем под углом 70° на расстоянии 3,3 мм друг от друга. Вдоль тонкого стержня проходит жилка, выраженная в первом случае в виде канавки, во втором – в виде валика. Основание перышек зауженное, менее 1 мм шириной. Сами перышки широкоромбовидной формы, рассечены на пять долей с приостренными верхушками, достигают в длину 4,8 мм и 4 мм в ширину. Жилкование сфеноптеридное, главная жилка четко видна в нижней части перышка, а затем теряется среди боковых.

Сравнение и замечания. Относительно крупные размеры перышек и угол, на котором они расположены относительно стержня, вероятно, указывают на расположение в базальной части пера. Рассеченность перышек на доли с острыми верхушками подчеркивает их сходство с *C. hymenophylloides* (Brongniart) Seward, часто встречаемого в средневерхнеюрских отложениях Западной Сибири [Быстрицкая, Татьяна, 1983; Киричкова и др., 2005; Рычкова, 2013]. Однако, фрагментарная сохранность не позволяет отнести описываемые находки к данному виду.

Класс Cycadopsida. Цикадопсиды

Порядок Cycadales. Цикадовые

Род *Doratophyllum* Harris (1932)

Doratophyllum sp.

Фототаблица I, фиг. 4, 4b

Описание. В образце 116/1350 найден отпечаток нижней поверхности неполного ланцетовидного

цельного листа с относительно толстым стержнем. Максимальная ширина листа в средней его части составляет 11,2 мм, ширина стержня на всем протяжении листа примерно одинакова и равна 1,8 мм, длина сохранившегося фрагмента 25 мм. Листовая пластина цельная, края волнистые, лист прикрепляется к верхней поверхности рахиса. Рахис имеет штриховку вдоль своей оси. От него под углами 80° отходят густо расположенные дихотомирующие жилки (не менее 20 на 1 см).

Сравнения и замечания. От типичных представителей рода *Nilssonia* Brongniart отличается целостностью листа: в описываемом отпечатке наблюдается волнистость краев без глубоких вырезов, что, по всей видимости, является результатом механического повреждения; а также густо расположенные тонкие жилки, находящиеся почти под прямым углом к рахису листа, что доказывает принадлежность к данному роду. Листья ископаемых цикадовых классифицируются с учетом эпидермальных признаков, поэтому точно определить видовую принадлежность не удастся из-за обрывочности отпечатков и плохой сохранности эпидермы.

Перья цикадовых подобной морфологии описаны А.И. Киричковой в качестве нового вида *D. ninae* Kirichkova sp. nov. из среднеюрских (батских) отложений, верхней подсвиты тюменской свиты Западной Сибири [Киричкова и др., 2005]. Перья цикадофитов наиболее часто встречаются в малышевском флористическом комплексе и относятся, как правило, к роду *Nilssonia* Brongniart. Поэтому находки *Doratophyllum* sp. подтверждают разнообразие систематического состава растений данного комплекса.

Распространение. Рэтские отложения Швеции, триасовые отложения Тимано-Печорского бассейна, средняя юра (бат), верхняя подсвита тюменской подсвиты Западной Сибири.

Порядок Leptostrobales. Лептостробиовые.

Род *Czekanowskia* Heer, 1876

Czekanowskia sp.

Фототаблица I, фиг. 5

Описание. В образце № 116/1350 единичные узкие линейные листья. На фотоснимке в таблице изображены отпечаток нижней поверхности и небольшие фрагменты фитолеймы листа. Длина сохранившихся фрагментов не превышает 30 мм, а ширина составляет 1,6 мм. Вдоль листа проходит единственная толстая жилка шириной 0,6 мм.

Сравнение и замечания. На настоящий момент палеоботаниками установлены десятки видов *Czekanowskia*, но вся систематика данных растений строится на анализе строения эпидерм листьев. Однако существуют общие характерные морфологические черты, позволяющие установить родовую при-

надлежность. Среди них – наличие или отсутствие признаков дихотомического деления листа. В данном случае дихотомическое (вилчатое) деление листа проследить не удастся по причине плохой сохранности материала. Однако наличие одной толстой жилки и ширина листа являются достаточным основанием для отнесения к *Czekanowskia* sp. По морфологическим признакам имеется сходство с *Cz. cf. rigida* из среднеюрских отложений нижнеобского СФР [Муравьев, Стариков, 2018; Муравьев, 2019]. Среди отечественных палеоботаников существует традиция относить листья к одной из морфологических групп по ширине сегментов: *Cz. rigida* (при ширине до 1 мм) и *Cz. latifolia* (при ширине сегментов более 1 мм) [Самылина, Киричкова, 1991]. В имеющемся случае за отсутствием некоторых признаков автор ограничился определением вида.

Распространение. Верхнетриасовые – меловые отложения Евразии.

Род *Phoenicopsis* Heer, 1876

Phoenicopsis sp.

Фототаблица, фиг. 6

Описание. В образце №116/1350 имеются фрагменты единичных узких листовых пластин линейной формы различной степени сохранности. Листья простые, цельнокрайние с закругленной верхушкой. Ширина листьев в общем составляет 2 мм, максимальная длина сохранившихся фрагментов – 45 мм. В листьях отчетливо наблюдается 6–8 параллельнокрайних жилок, проходящих до самой верхушки.

Замечание. Листья *Phoenicopsis* широко распространены в юрских отложениях Сибирской палеофлористической области и их можно по ошибке принять за представителей родов *Pseudotorellia*, *Sphenobaiera*, *Eretmophyllum*, *Podozamites* [Фролов, Машук, 2018]. Однако морфологические признаки рода могут использоваться при определении довольно в широких пределах [Киричкова и др., 2002]. Для более детального определения используется анатомическое определение эпидермы листьев. Если невозможно изготовить микропрепараты листа, как в данном случае, листья шириной менее 6 мм относят к группе *Ph. ex gr. speciose* [Фролов, Машук, 2014]. Несмотря на изолированность листьев, можно предположить, что находящиеся в одном образце сходные по морфологии и положению в образце остатки могли происходить из одного пучка. Листовые пластинки подобного рода уже описывались ранее автором из среднеюрских отложений Нижнеобского СФР и нижнемеловых отложений Ямало-Гыданского СФР [Муравьев, Стариков, 2018; Муравьев, 2019].

Распространение. Юрские и нижнемеловые отложения России.

Растение неопределенного систематического положения

Plantae incertae sedis

Radicites sp.

Фототаблица I, фиг. 7, 8

Описание. В образце 116/1351 обнаружены участки стержневой корневой системы неизвестного растения. Наблюдаются основной стержень шириной до 7 мм и тонкие разветвлённые корни шириной менее 1 мм различной длины. В отпечатке крупного стержня невооружённым глазом можно разглядеть продольную морщинистость, появившуюся в результате усыхания и уплотнения осадка. Многочисленные фрагменты тонких корней несут на себе боковые корешки и выросты различной длины от нескольких миллиметров до 2–3 см. Эти корешки изгибаются на всем протяжении, прикрепляются к корню на различном расстоянии и в некоторых случаях расположены супротивно.

Сравнение и замечания. Обнаруженные остатки имеют фрагментарную сохранность, поэтому невозможно установить их систематическую принадлежность. В литературе известно большое количество примеров описаний отпечатков корней растений. В данном случае определенное сходство имеется с описанием, приведенным в работе В.Д. Принады [Принада, 1962] из среднеюрских отложений Иркутского бассейна. По мнению автора, в специальной литературе уделяется недостаточно внимания описанию и изучению подобного типа остатков, хотя имеется довольно обширная выборка. Подобные остатки описаны автором в одной из работ [Муравьев, 2019].

Распространение. Среднеюрские и нижнемеловые отложения Западной Сибири, Иркутского, Кузнецкого, Чулымо-Енисейского, Канско-Ачинского бассейнов.

Заключение

На основании изученного материала можно сделать вывод, что в отложениях верхней подсвиты тюменской свиты в пределах Фроловско-Тампейского СФР принимают участие преимущественно отложения континентальных фаций. Об этом свидетельствует литологический состав пород и наличие растительных остатков различной степени сохранности в интервале глубин 2690,08–2780,65 м, приходящегося на границу тюменской и абалакской свит и охватывающего пласты Ю₂–Ю₅ (по классификации тюменских геологов) [Шурыгин и др., 2000]. В образце 116/1351 найдены многочисленные фрагменты корневой системы растений, что свидетельствует о присутствии в пласте Ю₅ погребенных палеопочв. Однако стоит отметить фрагментарную сохранность, что указывает на перенос остатков средней дальности и аллохтонный тип захоронения. В образце 116/1350 обнаружена листовая флора в виде перьев папоротников, цикадовых и листьев голосеменных. Отмечается определенная ориентировка растений, что указывает на захоронение в водной среде со слабым течением (озерные условия).

На основании имеющихся растительных остатков в образце 116/1350, происходящего из отложений подошвы нижней подсвиты абалакской свиты, флора имеет наибольшее сходство с систематическим составом растений, представленных в малышевском комплексе. Данные принято сопоставлять с верхней подсвитой тюменской свиты и ее аналогами [Киричкова и др., 2005]. Именно на это указывают находки папоротников *C. cf. latilobus*, *Coniopteris* sp., *Doratophyllum* sp., а также фрагментов листовых пластин *Czekanowskia* sp. и *Phoenicopsis* sp. Данные выводы не противоречат результатам палинологических исследований и дополняют представление о малышевском флористическом комплексе как о комплексе с самым богатым систематическим составом растений [Могучева, 2014].

ЛИТЕРАТУРА

- Быстрицкая Л.И., Татянин Г.М. Новые данные по стратиграфии юрских отложений на юго-востоке Западной Сибири // Материалы по геологии Сибири. Томск : Изд-во ТГУ, 1983. С. 85–97.
- Киричкова А.И., Костина Е.И., Быстрицкая Л.И. Фитостратиграфия и флора юрских отложений Западной Сибири. СПб. : Недра, 2005. 378 с.
- Мейен С.В. Основы палеоботаники : справ. пособие. М. : Недра, 1987. 404 с.
- Самылина В.А., Киричкова А.И. Род *Czekanowskia* (систематика, история, распространение, значение для стратиграфии). Л. : Наука, 1991. 139 с.
- Могучева Н.К. Основные фитостратиграфические границы в юре Западной Сибири // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2014. Т. 22, № 3. С. 6–13.
- Муравьев А.И., Стариков Н.Н. К фитостратиграфии нижнеюрских отложений Нижнеобского структурно-фациального района Западной Сибири // Палеонтологический временник. Приложение к журналу «Lethaea rossica». 2018. Вып. 3. С. 57–61.
- Муравьев А.И. Флора нижнеюрских отложений п-ова Ямал (Западная Сибирь) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2019. № 3. С. 25–37.
- Принада В.Д. Мезозойская флора Восточной Сибири и Забайкалья / под ред. А.И. Туруганово-Кетовой. М. : Гостехиздат, 1962. 368 с.
- Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири, Новосибирск, 2003. Новосибирск : СНИИГиМС, 2004. 114 с., прил. 3 на 31 листе.

Рычкова И.В. Палеоботаническая характеристика тюменской свиты средней юры (Томская область) // Палеонтологический временник. Приложение к журналу «Lethaea rossica». 2013. Вып. 1. С. 132–136.

Фролов А.О., Машук И.М. Полевой атлас юрской флоры Иркутского угленосного бассейна. Иркутск : Ин-т земной коры СО РАН, 2014. 108 с.

Фролов А.О. Машук И.М. Юрская флора и растительность Иркутского угольного бассейна. Иркутск : Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. 541 с.

Шурыгин Б.Н. Никитенко Б.Н. Девятов В.П. и др. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система. Новосибирск : Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2000. 480 с.

Автор:

Муравьев Анатолий Иннокентьевич, аспирант, кафедра палеонтологии и исторической геологии, геолого-географический факультет, младший научный сотрудник, лаборатория микропалеонтологии, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: anatoliy.intsu@gmail.com

Geosphere Research, 2021, 2, 60–66. DOI: 10.17223/25421379/19/5

A.I. Muraviev

³*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

NEW FINDS OF JURASSIC PLANTS FROM THE ABALAK FORMATION DEPOSITS OF UVAT DISTRICT (WEST SIBERIA)

Plant remains from the middle Jurassic deposits of Frolov-Tampey structure-facies zone of West Siberia recognized and monographically described in the article. Most frequent finds of flora in Jurassic terrestrial deposits of West Siberia are poorly preserved and plant remains generally represented as meroleims. Considering this, even poorly preserved vegetable detritus could have significant scientific implication in many cases. The object of study in this work is a number of core samples with different preservation stages of plant remains. All the samples were collected from a drilling well of 2690.08 m – 2780.65 m depth interval. Only two samples contained relatively well preserved finds of flora, which are marked as № 116/1350 and №1351 and deposited in the Paleontological Museum of National Research Tomsk State University. The sample № 116/1350 was taken from 2690.08 m and consists of massive dark-grey claystone enriched with plant remains of putative plant bed. The sample № 116/1351 was taken from 2780.65 m and consists of grey middle-grain sandstone with abundant of poorly preserved fragments of rhizome. Description of plant remains examined with use of Comparative morphology method with assignment to higher categories S.V. Meyen's systematics. According to the Structure-Facial zonation of West Siberia, the understudied area is located in Frolov-Tampey structure-facies zone [Reshenie..., 2004]. As reported by palynology data the core sample № 116/1350 is dated Middle Jurassic (Callovian age). These deposits are included into Lower Abalak Sub-Formation (U₂ sand productive bed termed by Tyumen Geological classification). The second sample № 116/1351 was dated as Bajocian and confined to Middle Subformation of Tyumen Formation (U₅ sand productive bed). Plant assemblage in the sample № 116/1350 consist of typical Jurassic fern genera as *Coniopteris* Brongniart with dissected on 3–5 lobes pinnules. Furthermore, fragments of *Czekanowskia* sp. and *Phoenicopsis* sp. leaves identified. However, the exceptional find is a singular foliage of *Doratophyllum* sp. which is which is a genera of Cycadopsida. In the result, the phototable was made by author where shown the major finds. On this basis, phytostratigraphical significance of studied fossil plants considered and described plant assemblage compared with known plant complexes from abutting areas as well. Co-occurrence of described plants in the sample confirm position of a fossiliferous bed within the Malyshevsky phytohorizont.

Keywords: *Jurassic flora, plant remains, Tyumen formation, plant assemblage, structure-facies zone*

References

- Bystritskaya L.I., Tatyannin G.M. *Novye dannye po stratigrafii yurskikh otlozheniy na yugo-vostoke Zapadnoy Sibiri* [New data on stratigraphy of Jurassic deposits on the South-East of West Siberia] // *Materialy po Geologii Sibiri*. 1983. pp. 85–97. In Russian.
- Kiritchkova A.I., Kostina E.I., Bystritskaya L.I. *Fitostratigrafiya i flora Yurskikh otlozheniy Zapadnoy Sibiri* [Phytostratigraphy and Flora of Jurassic deposits of the Western Siberia]. St. Petersburg: Nedra, 2005, 378p. In Russian.
- Meyen S.V. *Osnovy paleobotaniki* [Fundamentals of Palaeobotany]. Moscow: Nedra, 1987. 403 p. In Russian.
- Samylina V.A., Kiritchkova A.I. *Rod Czekanowskia (Sistematika, istoria, rasprostranenie, znachenie dlya stratigrafii)* [The Genus Czekanowskia (Systematics, History, Distribution and Stratigraphic Significance)]. Leningrad: Nauka, 1993, 139 p. In Russian.
- Mogucheva N.K. *Osnovnye fitostratigraficheskie granitsy v yure Zapadnoy Sibiri* [The basic Phytostratigraphical Boundaries in the Jurassic of West Siberia] // *Stratigraphy. Geological Correlation*. 2014. pp 6–13. In Russian.
- Muraviev A.I., Starikov N.N. *K fitostratigrafii nizhneyurskikh otlozheniy Nizhneobskogo strukturno-fatsialnogo rayona Zapadnoy Sibiri* [To the phytostratigraphy of the Lower Jurassic within the Nizhneobsky structural-facies area of West Siberia] // *The Russian Journal of Palaeobotany*. Moscow, 2018. No 3. pp. 57–61. In Russian.
- Muraviev A.I. *Flora Nizhnelovoykh otlozheniy p-ova Yamal (Zapadnaya Sibir')* [Flora of the lower cretaceous deposits of the Yamal Peninsula (West Siberia)] // *Geology and mineral resources of Siberia*. 2019. No 3. pp. 25–37. In Russian.
- Prynada V.D. *Mezozoyskaya flora Vostochnoy Sibiri i Zabaykalya* [Mesozoic Flora of the East Siberia and Transbaikalia]. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1962. 368p. In Russian.
- Reshenie 6-go Mezhdedomstvennogo stratigraficheskogo soveshchaniya po rassmotreniyu I ptinyatiyu utochneyonnykh stratigraficheskikh skhem mezozoyskikh otlozheniy Zapadnoy Sibiri, Novosibirsk, 2003 [The Decision of the 6th Interdepartmental meeting on review and acceptance to the Clarified Stratigraphic Charts of Mesozoic deposits of Western Siberia, Novosibirsk, 2003]. Novosibirsk: SNIIGGIMS, 2004. 114 p. In Russian.

Rychkova I.V. *Paleobotanicheskaya kharakteristika tyumenskoy svity sredney yury (Tomskaya oblast')* [Paleobotanical characteristics of Tumen formation of Middle Jurassic (Tomsk region)] // The Russian Journal of Palaeobotany. Moscow, 2013. No 1. pp. 132–136. In Russian.

Frolov A.O., Machshuk I.M. *Polevoy atlas yurskoy flory Irkutskogo uglenosnogo basseyna* [Field Atlas of the Jurassic flora of the Irkutsk coal basin]. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust SB RAS, 2014. 108 p. + 29 plates. In Russian.

Frolov A.O., Machshuk I.M. *Yurskaya flora i rastitelnost' Irkutskogo ugolnogo basseyna* [Jurassic flora and vegetation of the Irkutsk Coal Basin]. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust SB RAS, 2018. 541 p. In Russian.

Shurygin B.N., Nikitenko B.L., Devyatov V.P. et al. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Yurskaya sistema* [Stratigraphy of oil and gas basins of Siberia. Jurassic System]. Novosibirsk: Publ. house SB RAS, Department "GEO", 2000. 480 p. In Russian.

Author:

Muraviev Anatoliy I., Postgraduate Student, Department of Historical Geology, Faculty of Geology and Geography, Junior Researcher, Laboratory of Micropaleontology, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia
E-mail: anatoliy.intsu@gmail.com

УДК 571.16

ОПОРНЫЙ РАЗРЕЗ КАРГИНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. ЧУЛЫМ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А.В. Шпанский

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия



Описано обнажение у с. Сергеево, которое предложено в качестве опорного для отложений каргинского горизонта в среднем течении р. Чулым. Радиоуглеродные даты, полученные по фрагменту черепа *Coelodonta antiquitatis* – $32\,100 \pm 390$ лет (СОАН-5552) и метакарпальной кости *Panthera spelaea* – $34\,280 \pm 737$ (UBA-38455), свидетельствуют о каргинском времени накопления отложений костеносного слоя. Обнажение обладает следующими важными характеристиками: 1) хорошая доступность разреза и постоянное обновление; 2) привязанность к слоям (найден только инситуальный материал) палеонтологических остатков; 3) высокая насыщенность (с ежегодными находками) остатками млекопитающих, их хорошая сохранность и достоверное таксономическое определение; 4) значительное таксономическое разнообразие остатков млекопитающих, малакофауны и спорово-пыльцевых спектров; 5) хорошее сочетание результатов радиоуглеродного датирования, биостратиграфических, палеогеографических и палеоэкологических данных.

Ключевые слова: верхний плейстоцен, каргинский горизонт, мамонтовый фаунистический комплекс

Введение

Остатки крупных млекопитающих с р. Чулым известны уже очень давно. Самая ранняя находка, зарегистрированная в коллекциях палеонтологического музея Томского государственного университета (ТГУ), датирована 1848 г. Это череп шерстистого носорога, найденный на р. Чулым у д. Ежи; в 1873 г. найдена правая лучевая кость мамонта у дер. Протопопово. В начале XX в. найдена левая лопатка и шейный позвонок мамонта у с. Сергеево, позднее в музей поступили кости конечностей шерстистого носорога и другие остатки. Но все эти сборы были случайными и чаще всего не имеют даже точной географической привязки.

В 1960–1970-х гг. проводились активные работы по исследованию отложений верхнего кайнозоя Обь-Чулымского междуречья. Позднее, исходя из полученных данных, В.В. Фениксовой [Фениксова, 1977] была написана обобщающая монография, в которой автор подробно описывает отложения речных террас, разделяя их в пределах бассейна р. Чулым на две категории. Ею получено стратиграфическое обоснование отложений, выполненное в основном на основании споро-пыльцевых спектров и малакофауны. Остатки млекопитающих В.В. Фениксовой отмечены из некоторых обнажений в верховьях Чулыма (у с. Краснореченского, с. Мангалы, в карьере у с. Назарово), представленные единичными экземплярами представителей мамонтовой фауны. Исследователь отмечает, что наиболее полные разрезы четвертичных отложений находятся в среднем течении реки, но обнажение у с. Сергеево ею не изучено и в обнажениях среднего течения Чулыма остатки млекопитающих не отмечены.

С начала 1990-х гг. регулярные исследования среднего течения р. Чулым проводятся сотрудниками кафедры палеонтологии и исторической геологии ТГУ. За последние 25 лет в этом районе выявлено около 10 новых местонахождений остатков крупных млекопитающих в отложениях террас среднего течения р. Чулым. У п. Большедорохово в 1994 и 2017 гг. найдены фрагменты разрозненных скелетов молодых мамонтов (Шпанский, Лещинский, 1996), имеющих радиоуглеродный возраст 25800 ± 2200 лет (AA-60031), полученный AMS методом (рис. 2, а). Но чаще кости находят на песчано-галечных пляжах у п. Чердаты и ниже с. Зырянского [Шпанский, 2003]. В сентябре 1998 г. у п. Причулымский в 2 км от с. Зырянского в отложениях II надпойменной террасы р. Чулыма обнаружен череп *Mammuthus primigenius* (Blum.) (рис. 1). Общая высота обнажения – от 7 до 15 м. Верхняя толща представлена лёссовидными серовато-палевыми суглинками, вскипающими и дающими столбчатые отдельности в вертикальных стенках, их мощность не превышает 3,5 м, чаще меньше [Шпанский, 2003]. Череп принадлежит очень старой, но мелкой особи с сильно стертymi M³. Судя по морфологии черепа и тонким бивням, череп из Причулымского принадлежит самке мамонта в возрасте 60–65 лет. В 2003 г. для него в лаборатории геологии и палеоклиматологии кайнозоя (ИГИГ, г. Новосибирск) Л.А. Орловой получена радиоуглеродная дата – 15540 ± 165 лет (СОАН-5212). Повторное датирование AMS методом дало несколько более древний возраст – 19290 ± 280 лет (AA-60034). На сегодняшний день это одни из самых молодых датированных остатков мамонта на территории Томской области.

На левом берегу р. Чулым в черте города Асино при рытье котлована в песчано-галечных отложениях был найден фрагмент скелета мамонта. К сожалению, в коллекцию Томского областного краеведческого музея попал только хорошо сохранившийся череп (ТОКМ 10300/3) [Шпанский, 2000] с последней сменой зубов. По морфометрическим данным он хорошо сопоставляется с *Mammuthus trogontherii chosaricus* Dubrovo [Шпанский и др.,

2015]. Результаты радиоуглеродного датирования AMS методом, проведенного в 2018 г., дали каргинский возраст – 41863 ± 1990 лет (UBA-38453, калиброванный возраст 47214–40332 лет), повторное датирование подтвердило первоначальные данные – 42668 ± 1312 лет (UBA-39395, калиброванный возраст 46807–41635 лет). Это соответствует времени обитания типичного мамонта – *M. primigenius* [Shpansky, Kuzmin, 2021].



Рис. 1. Раскопки черепа *Mammuthus primigenius* (Blum.) у п. Причулымский на р. Чулым в 1998 г.
а – вид на раскоп сверху; б – вид на раскоп со стороны реки

Fig. 1. Excavations of the skull of *Mammuthus primigenius* (Blum.) at village Prichulymsky on the Chulym River in 1998

а – view of the excavation from above; б – view of the excavation from the river

На обнажениях и пляжах между Тегульдотом и Первомайским автору удалось собрать около 90 костей млекопитающих, принадлежащих девяти видам ископаемых. Подавляющее большинство остатков принадлежат бизону и лошади, меньше – шерстистому носорогу и мамонту, единичны остатки оленей и крупных хищников.

Новым открытием является крупное местонахождение остатков мамонтов у д. Красный Яр около п. Тегульдот, изучающееся с 2003 г. В настоящее время отсюда получено более 4 тыс. остатков, в основном принадлежащие *Mammuthus primigenius* Blum. Здесь сохранились как фрагменты скелетов, так и целые скелеты мамонтов разного индивидуального возраста [Voiko et al., 2005]. Геологический возраст остатков $19670\text{--}19780 \pm 180$ лет (ГИН-12876, 12877). Кроме костного материала были получены и палеолитические артефакты – сколы кварцита, очаг с древесным углем [Лещинский и др., 2005].

Среди местонахождений среднего течения р. Чулым самым интересным для стратиграфии и палеогеографии является местонахождение у с. Сергеево, которое регулярно изучается с 1995 г. В 2003 г. В.А. Коноваловой и А.В. Шпанским кроме остатков млекопитающих были отобраны образцы на микрофа-

унистический и споро-пыльцевой анализы [Коновалова, 2005; Коновалова, Шпанский, 2005]. В 2009 г. автором совместно с К.О. Печерской сделано морфометрическое описание остатков млекопитающих из этого обнажения [Шпанский, Печерская, 2009]. В настоящей работе обобщены полученные результаты с привлечением новых данных по радиоуглеродному датированию, выполненному по костям крупных млекопитающих AMS методом в 2006 и 2018 гг. в лабораториях NSF-Arizona AMS Facility, University of Arizona, Tucson, AZ (США) и 14CHRONO Centre for Climate, the Environment, and Chronology, School of Geography, Archaeology and Palaeoecology, Queen's University Belfast, Белфаст (Северная Ирландия, Великобритания).

Палеонтолого-стратиграфическая характеристика обнажения Сергеевский яр

Местонахождением является средняя часть обнажения террасы р. Чулым между с. Сергеево и с. Царицынка (рис. 2, а) (координаты наиболее насыщенной остатками точки – $57^{\circ}15'15''$ с.ш., $86^{\circ}05'$ в.д.). Общая протяженность обнажения около 7 км, наибольшая высота – около 18 м. На этом обнажении в течение ряда лет проводятся комплекс-

ные палеонтолого-стратиграфические исследования. За 25 лет исследований в обнажении выявлено три костеносных слоя, из которых отобрано значительное количество ископаемых остатков крупных млекопитающих; проведено опробование на споропыльцевой анализ, отбор проб на малакофауну дал богатые комплексы пресноводных остракод и моллюсков. Ниже приводится описание (сверху вниз) сводного разреза у с. Сергеево (рис. 2, б).

Суммарная мощность четвертичных отложений в обнажении у с. Сергеево составляет 20,85 м. Отложения можно разделить на две хорошо выраженные толщи. Верхняя (слои 1–5) лёссовидно-песчаная толща, содержащая погребенную почву, включает в себя современный почвенный слой и отложения второй половины верхнего неоплейстоцена (рис. 3); нижняя (слои 6–9), преимущественно глинистая, состоит из чередования глин и песков предположительно ермаковского горизонта. Толщи отличаются литологическим составом и содержат остатки ископаемых млекопитающих различного геологического возраста. Кроме этого необходимо отметить, что пески слоя 5 залегают с размывом на глинистых отложениях слоя 6, что дополнительно подтверждает двухчленное строение террасы.

Остатки млекопитающих известны из трех костеносных уровней. Большинство остатков происходят из средней по простирацию части слоя 4. Здесь

верхняя часть суглинков становится темного до черного цвета и содержит большое количество растительного детрита и древесной растительности (в том числе крупные фрагменты стволов деревьев), что позволяет предположить развитие озерно-болотных отложений. Заболоченные условия (или периодическое стояние воды) подчеркивает и определенное В.А. Коноваловой [Коновалова, 2005] большое видовое разнообразие мелководных остракод.

Впервые для отложений верхнего неоплейстоцена Западно-Сибирской равнины установлены следующие виды остракод: *Herpetocypris reptans* (Baird), *Candona (Eucandona) hyaline* Brady et Robertson, *Candona (Typhlocypris) insculpta* (Muller). Доминирующее положение в комплексе занимают представители подсемейства Candoninae, особенно *Typhlocypris sarsi* Hartwig. Дно водоема было покрыто густой растительностью, о чем свидетельствует достаточно разнообразный состав остракод (в современных водоемах на илистых грунтах, лишенных растительности, обитают лишь один – два вида высокой плотности) и растительный детрит. Нижняя часть слоя отражает переход от русловых условий осадконакопления к пойменным и старичным условиям осадконакопления, на это указывает изменение доли песчаной фракции в отложениях – она уменьшается снизу вверх и супеси переходят в суглинки. Верхняя часть слоя 4 отражает переход к заболачиванию и почвообразованию.

Строение разреза четвертичных отложений у с. Сергеево

Литологический состав	Мощность, м	Глубина, м
1. Современный почвенно-растительный слой (супесь серо-черного цвета)	0,2	0,2
2. Суглинки лёссовидные светло-коричневого цвета (в верхней части светло-серые), массивные, с хорошо выраженной столбчатой отдельностью	2,8	3,0
3. Пески серовато-коричневые в верхней части, в нижней – с тонкими прожилками ожелезнения, горизонтально-слоистые, средне-мелкозернистые, кварц-полевошпатовые, содержат многочисленные фрагменты полусгнивших стволов и веток деревьев	2,25	5,25
4. Основная часть слоя представлена чередованием коричневых суглинков и голубовато-серых глин (мощность суглинистых прослоев 0,3–1,0 см; глинистых – 1–5 см) с охристыми пятнами и пятнами углистого детрита. В нижней части слоя суглинки опесчаниваются и замещаются рыжими песками. Мощность прослоев глин увеличивается вниз по разрезу до 0,20 м. В средней по простирацию части обнажения верхняя часть суглинков становится более темного (от серо-коричневого до черного) цвета, содержит многочисленные фрагменты ископаемых стволов и веток деревьев. К верхней границе этих суглинков приурочены остатки крупных млекопитающих мамонтового комплекса	3,3	8,55
5. Пески коричневые, в нижней части светло-серые, горизонтально-косослойчатые, мелко-среднезернистые. В средней части слоя присутствуют растительные остатки (детрит, фрагменты стволов деревьев). Отложения залегают на размытой поверхности слоя 6	4,3	12,85
6. Глины темные, голубовато-серые, плотные, вязкие, с волнистой тонкой слоистостью, включают линзочки рыжего песка и конкреции окислов железа, не выдержаны по простирацию. В слое встречаются остатки ископаемых млекопитающих	1,8	14,65
7. Чередование голубовато-серых прослоев глин и линз светло-коричневого до бурого мелкозернистого песка. Прослои глины имеют уплотненные, ожелезненные поверхности бурого цвета; мощность прослоев глин 5–20 см, песков до 5 см, в линзах – до 0,20 м. Подошва слоя неровная, имеются линзовидные карманообразные заполнения мелкозернистым песком. В средней по простирацию части обнажения в слое найдены мощные линзы торфа (мощностью до 0,5 м); торф слоистый, черного цвета, с большим содержанием растительного детрита. В нижней части слоя обнаружены остатки крупных млекопитающих и раковины пресноводных моллюсков	2,0	16,65
8. Пески рыжевато-серые, пятнистые; в нижней части коричневатые, горизонтально- и косослойчатые, мелкозернистые с линзами мелкого гравия, содержат растительный детрит	1,0	17,65
9. Глины темно-серые с зеленоватым оттенком, местами до черных, массивные, вязкие, слоистые, включающие мелкие обломки древесины	3,2	20,85

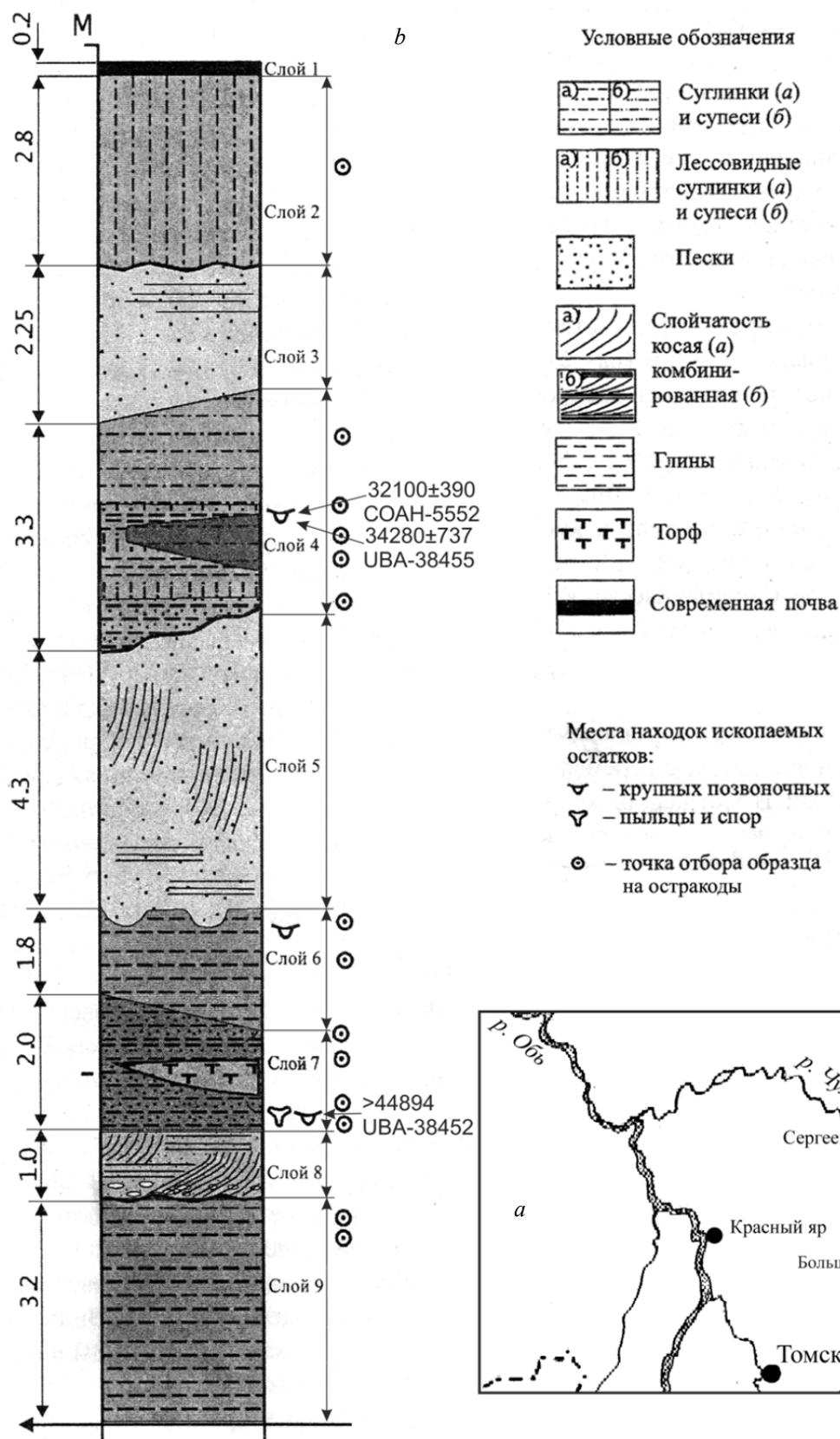


Рис. 2. Схема расположения местонахождений каргинского и сартанского возраста в среднем течении р. Чулым (а); схема разреза III надпойменной террасы у с. Сергеево (б) по [Шпанский, 2018] с дополнением

Fig. 2. Map of the location of Kargin and Sartan age in the middle reach of the Chulym river (а); section III scheme of terrace above the flood-plain in Sergeyev (b) by [Shpansky, 2018] with Appendix

Таблица 1

Общий видовой состав остатков млекопитающих из обнажения у с. Сергеево на 2017 г.
по [Шпанский, 2018] с дополнением

Table 1

General species composition of mammal remains from the outcrop in Sergeyev in 2017
by [Shpansky, 2018] with Appendix

Вид	Слой	Кости	%
Lagomorpha	4	1	0,65
<i>Lepus timidus</i> L.			
Carnivora	4	2	1,4
<i>Canis lupus</i> L.			
<i>Panthera spelaea</i> Goldf.	4	3	2,0
Artiodactyla	4, 6	27	17,5
<i>Bison priscus</i> Boj.			
<i>Ovibos moschatus</i> Zimmer.	4	1	0,65
<i>Saiga tatarica</i> L.	4	3	2,0
<i>Alces alces</i> L.	4	3	2,0
<i>Megaloceros giganteus</i> Blum.	4	2	1,3
<i>Cervus elaphus</i> L.	4	3	2,0
<i>Rangifer tarandus</i> L.	4	3	2,0
Perissodactyla	4	17	11,0
<i>Coelodonta antiquitatis</i> Blum.			
<i>Coelodonta</i> aff. <i>antiquitatis</i> Blum.	7	6*	3,9
<i>Equus</i> ex gr. <i>gallicus</i> Prat.	4	54	35,1
<i>Equus</i> ex gr. <i>mosbachensis-germanicus</i>	7	2	1,3
Proboscidea	4	20	13,0
<i>Mammuthus primigenius</i> Blum.			
Неопределено		7	4,5
Всего: 14 видов		154	100

Примечание. *принадлежат одной особи.

Note. * belong to one animal specimen.

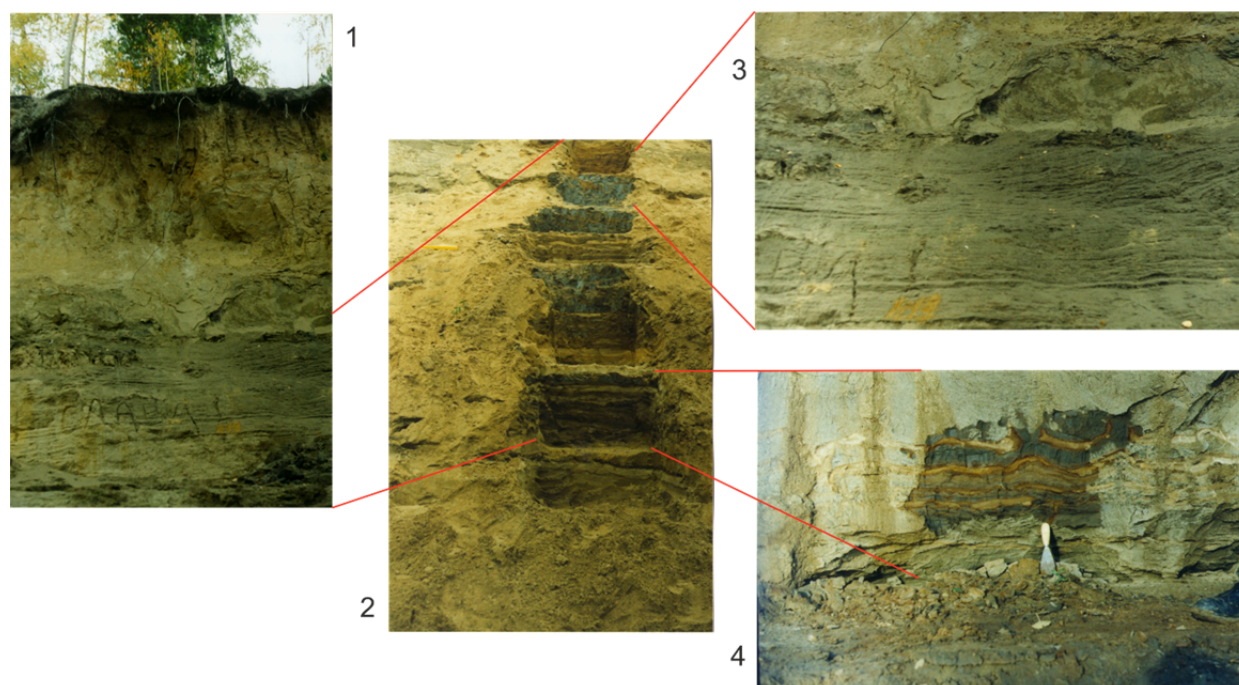


Рис. 3. Верхняя часть обнажения у с. Сергеево (слои 1–4)

1 – общий вид; 2 – расчистка слоя 4; 3 – граница песков слоя 3 и глин слоя 4; 4 – переслаивание глин и суглинков нижней части слоя 4

Fig. 3. The upper part of the outcrop at village Sergeyev (layers 1–4)

1 – general view; 2 – clearing layer 4; 3 – border of the sands of layer 3 and clays of layer 4; 4 – layering of clays and loams of the lower part of layer 4

Кости млекопитающих в слое 4 залегают либо на границе изменения суглинков (глубина от дневной поверхности около 7–8 м), либо в верхней части озерно-болотных отложений на границе слоев 3 и 4 (рис. 4). Все это позволяет говорить о том, что во время осадконакопления здесь было заросшее растительностью болото, которое, вероятно, служило ловушкой для животных. Фрагменты черепов носорогов и мамонта, а также отдельные кости животных не имеют следов окатанности, что может говорить об их первичном захоронении. При этом на многих костях имеются следы погрызов – сохранились характерные борозды. На поверхности многих костей имеются характерные следы растворения («травления») корнями растений. Эти особенности могут указывать на то, что некоторое время остатки животных находились на дневной поверхности или их захоронение происходило в почвенном слое. Большая часть костей (в том числе обнаруженные ранее) хранятся в палеонтологическом музее ТГУ, небольшая часть костей была передана местными жителями в районный краеведческий музей пос. Первомайское. За время исследований из трех костеносных

слоев отобрано более 150 ископаемых остатков, принадлежащих 14 видам крупных млекопитающих, относящиеся к мамонтовому фаунистическому комплексу. Наиболее многочисленные и разнообразные остатки происходят из слоя 4 (табл. 1): *Equus* ex gr. *gallicus* Prat, *Bison priscus* Boj., *Mammuthus primigenius* Blum., *Coelodonta antiquitatis* (Blum.), *Alces alces* L., *Canis lupus* L. и др. Радиоуглеродные даты, полученные по фрагменту черепа *Coelodonta antiquitatis*, – 32100 ± 390 лет (СОАН-5552) и метакарпальной кости *Panthera spelaea* Goldf. – 34280 ± 737 (UBA-38455), свидетельствуют о каргинском времени накопления отложений. Необходимо отметить, что наиболее многочисленные остатки принадлежат лошадям (табл. 1), на втором месте – *Bison priscus* и *Coelodonta antiquitatis* (сходное соотношение известно из местонахождения у п. Каргасок на Оби). Относительно небольшое количество остатков бизонов, всегда очень многочисленных в местонахождениях позднего неоплейстоцена, дополнительно характеризует данный участок как нетипичный для обитания этого вида и об особых тафономических условиях данного местонахождения.



Рис. 4. Находки остатков млекопитающих на границе слоев 3 и 4
а – фрагмент черепа *Coelodonta antiquitatis* (Blum.); б – фрагмент нижней челюсти *Bison priscus* Boj.

Fig. 4. Finds of mammalian remains at the border of layers 3 and 4
а – fragment of the skull of *Coelodonta antiquitatis* (Blum.); б – fragment of the lower jaw of *Bison priscus* Boj.

На границе глин и песков (слои 5 и 6) была найдена большая берцовая кость *Equus* sp. белого цвета, сильно выветрелая и разрушившаяся, скорее всего, она переотложена из более древних осадков. Здесь же был найден фрагмент ребра (неопределимый), а в кровле слоя 6 – лучевая кость *Bison priscus* Voj. Исходя из имеющихся «бедных» материалов говорить о возрасте вмещающих отложений затруднительно.

В 1997 г. из слоя 7 (на глубине около 15 м) получены остатки носорога *Coelodonta* aff. *antiquitatis* (Blum.), принадлежащие очень крупной (высота в холке не менее 2 м), но не очень старой особи, так как M₃ на нижней челюсти только начал стираться [Шпанский, Печерская, 2009; Shpansky, 2014]. Позднее здесь были найдены остатки лошади, отнесенной к *Equus* ex gr. *mosbachensis-germanicus*, и фрагмент большой берцовой кости очень крупного мамонта *Mammuthus* sp. В 2018 г. по нижней челюсти носорога получена радиоуглеродная дата AMS методом >44 894 лет (UBA-38452), что подтверждает более древний возраст, чем основной костеносный слой 4 [Шпанский, 2018].

В спорово-пыльцевом комплексе, полученном из слоя 7, преобладают споры мхов и папоротников (33,9 %), пыльца древесных пород составляет 10,5 %. Наибольшее количество спор принадлежит

зеленому мху (*Bryales* sp.), отмечаются единичные споры сфагновых мхов, плауновых и папоротников. Древесные породы представлены ивой (*Salix* sp.), хвойными (*Pinaceae*) и березовыми (*Betulaceae*). Из травянистых растений в большом количестве встречается пыльца полыни (*Artemisia* sp.), в меньшем количестве – нимфейных (*Nymphaeae* sp.), маревых (*Chenopodiaceae*), лютиковых (*Ranunculaceae*), смолевковых (*Silenaceae*), капустных (*Brassicaceae*), астровых (*Asteraceae*), единичные зерна розоцветных (*Rosaceae*) (определения И. Севастьяновой, лаборатория микропалеонтологии ТГУ). В большом количестве встречаются одноклеточные водорослеподобные (*Algae*), споры и плодовые тела грибов (*Fungi*). Совместно с костями обнаружены раковины пресноводных моллюсков *Sphaerina inflata*, *Anisus leucostoma* (L.) (определения Е.А. Новикова, Томский государственный педагогический университет), что предполагает мелководные старичные условия осадконакопления (рис. 5). По палинологическим и палеотериологическим данным можно предположить, что формирование вмещающей толщи происходило в заключительную стадию (большое содержание зеленых мхов и распространение злаковых) ермаковского похолодания (MIS 4) [Волкова, 1977]. Климат был холодным, но данная территория испытывала повышенное увлажнение.



Рис. 5. Раковины моллюсков на размытой поверхности слоя 7

Fig. 5. Clam shells on the blurred surface of layer 7

В составе комплекса остракод из слоя 7, по данным В.А. Коноваловой, преобладают холодовыносливые мелководные *Candona candida* Muller, для которых оптимальная температура воды составляет 10–11 °С, и *Cyclocypris globosa* Sars, обитающий на глубинах не более 0,3 м при температуре 4–18 °С. Присутствуют также виды родов *Ilyocypris* и *Limnocythere*. Учитывая, что в составе комплекса остракод из слоя 7 присутствуют около 90 % видов, живущих в современных мелководных и прохладных водоемах, и отсутствуют наиболее характерные формы среднего неоплейстоцена, данный комплекс можно датировать как поздненеоплейстоценовый (возможно, ермаковского времени) [Коновалова, Шпанский, 2005]. Эти данные не противоречат териологическим и радиоуглеродным исследованиям. Запредельная радиоуглеродная дата для остатков *Coelodonta* aff. *antiquitatis* в сочетании с высоким содержанием коллагена (9,30 %) в костях и холодные условия осадконакопления могут указывать на их захоронение в интервале 45–90 тыс. л. н.

Заключение

Описанный разрез у с. Сергеево включает отложения позднего неоплейстоцена в интервале MIS 2–4, что подтверждается сменой фациальных типов осадков, микропалеонтологическими данными и радиоуглеродными датами по инситу находкам остатков млекопитающих. Наиболее полно и разнообразно представлены отложения каргинского возраста, сопоставляемые со стадией MIS 3. Для среднего течения р. Чулым они представлены песками и старично-пойменными отложениями, переходящими в погребенную почву с достаточно большой совокупной мощностью около 10 м (слои 3–5). Смена гидрологического режима с руслового (слой 5) на пойменный и старичный (слой 4) аллювий отражает изменения в речной долине Пра-Чулыма. Завершается осадконакопление слоя 4 в условиях переувлажнения и почвообразования. Микропалеонтологические данные отражают достаточно прохладные, но влажные (крайне мелководные) условия осадконакопления.

Данное обнажение предложено в качестве опорного для отложений каргинского горизонта в среднем течении р. Чулым. Для этого обнажение у с. Сергеево обладает следующими важными характеристиками: 1) постоянное обновление и хорошая обнаженность разреза; 2) хорошая привязанность к слоям (найден только инситу материал) палеонтологических остатков; 3) высокая насыщенность (с ежегодными находками) остатками млекопитающих, их хорошая сохранность и достоверное таксономическое определение; 4) значительное таксономическое разнообразие остатков млекопитающих, мала-

кофауны и спорово-пыльцевых спектров; 5) хорошее сочетание результатов радиоуглеродного датирования, биостратиграфических, палеогеографических и палеоэкологических данных. Этот разрез позволяет более ясно представлять особенности седиментации, палеогеографических условий территории юго-востока Западно-Сибирской равнины.

Распределение остатков крупных млекопитающих в отложениях террасы р. Чулым у с. Сергеево показывает, что их захоронение происходило, как правило, во время смены гидрологического режима осадконакопления правого борта долины древнего Чулыма с озерно-старичного на пойменный и русловый. Паводковыми водами в пониженный участок поймы, имеющий вытянутую корытообразную форму и глубину около 1 м, могли заноситься разрозненные костные остатки млекопитающих и даже фрагменты трупов с мягкими тканями. Перенос остатков был незначительным, о чем свидетельствует отсутствие следов окатанности, а захоронение происходило достаточно быстро, так как на костях отсутствуют следы погрызов хищниками. Данные условия периодически повторялись в течение достаточно продолжительного времени, о чем свидетельствует значительная мощность отложений.

Необычную многочисленность остатков шерстистого носорога в этом местонахождении можно объяснить благоприятными условиями обитания и высокой численностью этого животного в долине древнего Чулыма. Другие животные, особенно массовые стадные копытные – бизоны и лошади, вероятно, предпочитали открытые междуречные пространства с более плотным грунтом. Постепенное ухудшение экологических условий территории отразилось на уменьшении размерных характеристик доминирующих видов – *Mammuthus primigenius*, *Coelodonta antiquitatis*, кабаллоидных лошадей линии *Equus* ex gr. *mosbachensis-germanicus* – *Equus* ex gr. *gallicus*. Выявленные ранее близкие пропорции и размеры метаподиальных костей лошадей и черепов шерстистых носорогов из разных местонахождений Томского Приобья говорят о том, что территория среднего течения р. Чулым не являлась обособленным рефугиумом [Шпанский, Печерская, 2009].

Автор выражает искреннюю благодарность Я.В. Кузьмину (ИГМ СО РАН) и С.В. Святко (14CHRONO Centre for Climate, the Environment, and Chronology, School of Geography, Archaeology and Palaeoecology, Queen's University Belfast, Belfast, Northern Ireland, UK) за помощь в получении радиоуглеродных дат AMS методом по костям млекопитающих из местонахождений среднего течения р. Чулым.

ЛИТЕРАТУРА

- Волкова В.С. Стратиграфия и история развития растительности Западной Сибири в позднем кайнозое. М. : Наука, 1977. 237 с.
- Коновалова В.А. Новые находки остракод из отложений III надпойменной террасы р. Чулым (Томская область) // Эволюция жизни на Земле : материалы III Междунар. симп. Томск : ТГУ, 2005. С. 346–349.
- Коновалова В.А., Шпанский А.В. Реконструкция условий осадконакопления Сергеевского яра (р. Чулым, Томская область) по палеонтологическим данным // Эволюция жизни на Земле : материалы III Междунар. симп. Томск : ТГУ, 2005. С. 349–351.
- Лещинский С.В., Бурканова Е.М., Лунева Д.Е., Иванцов С.В., Зенин И.В., Ахтерьякова А.В. Предварительные результаты исследований местонахождения мамонтовой фауны и палеолита «Красноярская курья» (Западно-Сибирская равнина) // Эволюция жизни на Земле : материалы III Междунар. симп. Томск : ТГУ, 2005. С. 352–356.
- Фениксова В.В. Верхний кайнозой юго-востока Западной Сибири. М. : Изд-во МГУ, 1977. 272 с.
- Шпанский А.В. Каталог коллекции четвертичных млекопитающих Томского областного краеведческого музея. Томск : ТГУ, 2000. 101 с.
- Шпанский А.В. Четвертичные млекопитающие Томской области и их значение для оценки среды обитания. Томск, 2003. 162 с.
- Шпанский А.В. Четвертичные крупные млекопитающие Западно-Сибирской равнины: условия обитания и стратиграфическое значение : дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Томск, 2018. 313 с.
- Шпанский А.В., Васильев С.К., Печерская К.О. Трогонтериевый слон *Mammuthus trogontherii* (Pohlig 1885) из Омского Прииртышья // Палеонтологический журнал. 2015. № 3. С. 81–102.
- Шпанский А.В., Лещинский С.В. Остатки скелета мамонта из местонахождения села Больше-Дорохово Асиновского района // Земля Асиновская. Асино, 1996. Т. II. С. 15–19.
- Шпанский А.В., Печерская К.О. Плейстоценовые крупные млекопитающие из местонахождения Сергеево на р. Чулым (Томская область) // Современная палеонтология: классические и новейшие методы – 2009. М. : ПИН РАН, 2009. С. 103–115.
- Boiko P.V., Maschenko E.N., Sulerzhitskii L.D. A New Large Late Pleistocene mammoth's locality in Western Siberia // 2nd World of Elephants Congress. Short Papers and Abstracts / ed. by L.D. Agenbroad, R.L. Symington. Hot Springs, 2005. P. 22–26.
- Shpansky A.V. Juvenile remains of the “woolly rhinoceros” *Coelodonta antiquitatis* (Blumenbach 1799) from the Tomsk Priob'ye area (Southeast Western Siberia) // Quaternary International. 2014. V. 333. P. 86–99.
- Shpansky A.V., Kuzmin Y.V. The MIS 3 megafauna of the southeastern West Siberia and the possibility of late survival of steppe mammoth (*Mammuthus trogontherii chosaricus*) // Radiocarbon. 2021. V. 63. № 2. P. 575–584.

Автор:

Шпанский Андрей Валерьевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, кафедра палеонтологии и исторической геологии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.
E-mail: Shpansky@ggf.tsu.ru

Geosphere Research, 2021, 2, 67–76. DOI: 10.17223/25421379/19/6

A.V. Shpansky

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

KEY SECTION OF KARGINSK DEPOSITS IN THE MIDDLE REACH OF THE CHULYM RIVER (TOMSK REGION)

The outcrop of the Upper Pleistocene sediments in Sergeyev is described (57°15'15" N, 86°05' E), in the middle reach of the Chulym river (Tomsk region; West Siberian plain). It includes two bone-beds. The richest remains of large mammals are the deposits of layer 4. The layer is represented by an alternation of brown loams and bluish-gray clays (the thickness of loam layers is 0.3–1.0 cm, clay layers – 1–3 cm) with ochreous spots and spots of carbon-bearing detritus. Loams are sanded and replaced with red sand in the lower part of the layer. The thickness of clay layers is increased down the section up to 20 cm. Loams become darker (change their color from gray-brown to black) and include numerous fragments of fossil tree trunks and branches in the middle part of the outcrop. Remains of large mammals from mammoth complex (from 13 species) are confined to the upper border of these loams. Various malacofauna and palynological data were obtained from the deposits in addition to theriofauna. Radiocarbon dates obtained from the skull fragment of *Coelodonta antiquitatis* – 32100 ± 390 years (COAH-5552) and the metacarpal bone of *Panthera spelaea* Goldf – 34280 ± 737 (UBA-38455) indicate the Karginsk period (MIS 3) of layer 4 deposit accumulation. The outcrop (layer 4) is proposed as a basis for Karginsk horizon deposits. It has the following important characteristics: 1) constant upgrading and good exposure of the section; 2) good attachment to the layers (only insite material was found) of paleontological remains; 3) high richness (with annual finds) of mammal remains, their good preservation and reliable taxonomic definition; 4) significant taxonomic diversity of mammal remains, malacofauna and spore-pollen spectra; 5) good combination of results of radiocarbon dating, biostratigraphic, paleogeographic and paleoecologic data.

Keywords: Upper Pleistocene, Karginsk horizon, mammoth faunistic complex

References

- Volkova V.S. *Stratigraphia i istoria razvitiya rastitelnosti Zapadnoi Sibiri v pozdnem kainozoe* [Stratigraphy and history of the development of vegetation in Western Siberia in the Late Cenozoic]. Moscow: Nauka, 1977. 237 p. In Russian
- Konovallava V.A. *Novye nakhodka ostrakod iz otlozheniy III nadпойmennoi terrasy reki Chulym (Tomskaya oblast)* [New finds of ostracods from deposits of the III above-floodplain terrace of the r. Chulym (Tomsk region)] // *Evolucia zhizni na Zemle. Materialy III Mezhdunarodnogo simpoziuma*. Tomsk: TGU, 2005. pp. 346–349. In Russian

Kononova V.A., Shpansky A.V. *Rekonstrukciya usloviy osadkonakopleniya Sergeevskogo yara (reka Chulym, Tomskaya oblast) po paleontologicheskim dannym* [Reconstruction of sedimentation conditions of the Sergeevsky Yar (Chulym River, Tomsk Region) based on paleontological data] // *Evoluciya zhizni na Zemle. Materialy III Mezhdunarodnogo simpoziuma*. Tomsk: TGU, 2005. pp. 349–351. In Russian

Leshchinsky S.V., Burkanova E.M., Luneva D.E., Ivantsov S.V., Zenin I.V., Akhteryakova A.V. *Predvaritelnye rezultaty issledovaniy mestonakhozhdeniya mamontovoi fauny i paleolita «Krasnoyarskaya kuria» (Zapadno-Sibirskaya ravnina)* [Preliminary results of studies of the location of the mammoth fauna and Paleolithic "Krasnoyarsk Kurya" (West Siberian Plain)] // *Evoluciya zhizni na Zemle. Materialy III Mezhdunarodnogo simpoziuma*. Tomsk: TGU, 2005. pp. 352–356. In Russian

Feniksova V.V. *Verkhniy kainozoi yugo-vostoka Zapadnoi Sibiri* [Upper Cenozoic southeast of Western Siberia]. Moscow: Izd-vo MGU, 1977. 272 p. In Russian

Shpansky A.V. *Katalog kollektsii chetvertichnykh mlekopitayushchikh Tomskogo oblastnogo kraevedcheskogo muzeya* [Catalog of the collection of Quaternary mammals of the Tomsk Regional Museum of Local Lore]. Tomsk: TGU, 2000. 101 p. In Russian

Shpansky A.V. *Chetvertichnye mlekopitayushchie Tomskoi oblasti i ih znachenie dlya ocenki sredy obitaniya* [Quaternary mammals of the Tomsk region and their importance for assessing the habitat]. Tomsk, 2003. 162 p. In Russian

Shpansky A.V. *Chetvertichnye krupnye mlekopitayushchie Zapadno-Sibirskoi ravniny: uslovia obitaniya i stratigraficheskoe znachenie* [Quaternary Large Mammals of the West Siberian Plain: Habitat Conditions and Stratigraphic Significance.]. Diss. doktora geol.-min. nauk. Tomsk, 2018. 313 p. In Russian

Shpansky A.V., Vasiliev S.K., Pecherskaya K.O. The Steppe Elephant *Mammuthus trogontherii* (Pohlig) from the Irtysh Region Near Omsk // *Paleontological Journal*. 2015. V. 49(3): pp. 304–325.

Shpansky A.V., Leshchinsky S.V. *Ostatky skeleta mamonta iz mestonakhozhdeniya sela Bolshe-Dorokhovo Asinovskogo raiona* [Remains of a mammoth skeleton from the locality of the village of Bolshe-Dorokhovo, Asinovsky district] // *Zemlya Asinovskaya*. Asino, 1996. V. II. pp. 15–19. In Russian

Shpansky A.V., Pecherskaya K.O. *Pleistocenovye krupnye mlekopitayushchie iz mestonakhozhdeniya Sergeeva na reke Chulym (Tomskaya oblast)* [Pleistocene large mammals from the Sergeevo locality on the river. Chulym (Tomsk region)] // *Sovremennaya paleontologia: klassicheskie i noveishie metody* – 2009. M.: PIN RAN, 2009. pp. 103–115. In Russian

Boiko P.V., Maschenko E.N., Sulerzhitskii L.D. A New Large Late Pleistocene mammoth's locality in Western Siberia // 2nd World of Elephants Congress. Short Papers and Abstracts. Ed. L.D. Agenbroad and R.L. Symington. Hot Springs, 2005. pp. 22–26.

Shpansky A.V. Juvenile remains of the "woolly rhinoceros" *Coelodonta antiquitatis* (Blumenbach 1799) from the Tomsk Priob'ye area (Southeast Western Siberia) // *Quaternary International*. 2014. V. 333. pp. 86–99.

Shpansky A.V., Kuzmin Y.V. The MIS 3 megafauna of the southeastern West Siberia and the possibility of late survival of steppe mammoth (*Mammuthus trogontherii chosaricus*) // *Radiocarbon*. 2021. V. 63. No 2. pp. 575–584.

Author:

Shpansky Andrei V., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Professor, Department of Historical Geology and Paleontology, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: Shpansky@ggf.tsu.ru

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 551+502

ДИНАМИКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ КАК ИНДИКАТОР МОНИТОРИНГА БИОРАЗНООБРАЗИЯ В РЕСПУБЛИКЕ ТЫВА

З.Н. Квасникова^{1,2}, А.О. Ховалыг², С.О. Донгак², У.В. Доржу²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

²Тувинский государственный университет, Кызыл, Россия



Приводится анализ динамики земель, занятых в сельскохозяйственном производстве Республики Тыва (Россия) за последние 40 лет. Обосновывается необходимость изучения структуры сельскохозяйственных угодий по административным районам республики как одного из факторов, оказывающих влияние на природные процессы и компоненты геосистем в эпоху глобального потепления климата. Такой анализ необходим для выбора репрезентативных ключевых участков комплексных исследований уникальных ландшафтов Тывы.

Ключевые слова: Республика Тыва, Тува, сельскохозяйственные угодья, динамика, структура, потепление климата

Введение

В материалах и обобщающих докладах об изменениях климата и их последствиях Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) в 2007 г. сделан вывод, что средняя глобальная температура за 1906–2005 гг. увеличивалась и выросла на $0,74 \pm 0,18$ °C. При этом средняя скорость потепления для последних 50 лет ($0,13 \pm 0,03$ °C за 10 лет) оказалась в 2,5 раза больше, чем та же величина, рассчитанная для последних ста лет [IPCC, 2007]. Согласно подсчетам специалистов МГЭИК в 2014 г., за период с 1880 по 2012 г. глобальная приземная температура увеличилась на $0,85 \pm 0,2$ °C, а последние три десятилетия оказались самыми теплыми в истории метеонаблюдений. При реализации сценария с очень высокими выбросами парниковых газов изменение температуры к концу XXI в. может составить 2,6–4,8 °C [IPCC, 2014]. Если общемировая тенденция к потеплению климата на данный момент выявлена и доказана, то по поводу факторов, его определяющих, единого мнения нет. Основная проблема заключается в разделении естественной и антропогенной составляющих изменения климата. Поиском ответов на поставленные вопросы занимаются ученые из разных областей наук, прежде всего наук о Земле.

Основными задачами ландшафтно-экологического направления являются:

- разработка моделей реагирования геосистем на продолжающееся потепление климата. Особенно это касается нивально-гляциального, термокарстового и других генетических типов ландшафтов, реакция которых на глобальные климатические изменения не вызывает сомнений;

- выявление обратных (положительных и отрицательных) связей между абиогенными (литогенная

основа, воздух, вода), биокосными компонентами и биотой;

- разработка модели реакции техногенных ландшафтов на климатические изменения и оценка экогеодинамического эффекта как результата антропогенного усиления природных процессов, в том числе и негативных (термокарст, солифлюкция, оползание). Под экогеодинамикой понимают динамику взаимодействующих природных, социальных и технических объектов. Взаимодействие таких разных по организации и физическому устройству объектов приводит к синергическому эффекту: взаимному усилению или ослаблению первичных элементов взаимодействия [Боков, 2005].

Эффекты изменений климата могут взаимодействовать с результатами изменений, вызванными хозяйственной деятельностью человека, такими как деградация почвенного покрова, снижение биоразнообразия из-за уничтожения местообитания растений и животных, трансформация структуры землепользования и др. Но далеко не все процессы обусловлены климатическими изменениями.

Восстанавливаются ли леса, кустарниковые заросли, луга в результате прекращения распахивания, снижения пастбищной нагрузки, пожаров и вырубок лесов на хозяйственные нужды, либо это климатически обусловленное «озеленение»? На эти вопросы помогут ответить комплексные ландшафтно-экологические исследования, в том числе динамики природопользования (сельское, лесное и др.) и ее влияния на многие природные процессы.

Целью данной работы является анализ динамики земель, занятых в сельскохозяйственном производстве в Республике Тыва за последние 40 лет, и выбор репрезентативных участков для организации мониторинговых исследований.

Объект исследования

Республика Тыва, расположенная в центре Азии, в своем природном облике отражает черты влияния соседних с ней территорий: с севера и северо-востока — таежной Восточной Сибири, с юга и юго-востока — пустынно-степных районов Монголии, с запада — горно-таежного Алтая [Природные..., 2018] (рис. 1). Контрастный климат, обусловленный как географическим

положением территории, так и резко расчлененным рельефом, определяет разнообразие природных ландшафтов. Кроме того, относительно малая антропогенная нагрузка позволила сохранить естественный растительный покров и животный мир на большей части республики, что сделало возможным внести экспертам WWF Тыву в состав Алтае-Саянского экорегиона в список 200 территорий на земном шаре с высоким уровнем биоразнообразия [Изменение..., 2011].



Рис. 1. Объект исследования – Республика Тыва
(красным цветом – местоположение на карте Российской Федерации)

Fig. 1. Research object – Republic of Tuva
(in red – location on the map of the Russian Federation)

Вместе с тем регион относится к территории повышенного природно-техногенного риска, связанного с разнообразием и высокой интенсивностью экстремальных явлений: оползни, камнепады, наводнения, пыльные бури и др. Кроме перечисленных природных явлений, протекающих быстро, в связи с климатическими изменениями, угрозой для Республики Тыва является опустынивание. По данным ряда исследователей [Харламова, Останин, 2012; Андрейчик, 2014; Куулар, 2015], изменение климата в пределах исследуемой территории в целом совпадает с общемировой тенденцией к потеплению: увеличением среднегодовой амплитуды температуры воздуха и уменьшением количества осадков. Этот фактор, вероятно, является наибольшей потенциальной

угрозой деградации степных экосистем Тывы. Выявленные закономерности изменения мезоклимата в условиях котловин не всегда прослеживаются для горных территорий республики [Андрейчик, 2014]. Поэтому для одних районов Тывы существует угроза опустынивания, а в других, напротив, идет восстановление естественной растительности, уничтоженной до этого хозяйственной деятельностью. Воздействие землепользования на сукцессионную смену растительности характерно для регионов, где за последние 30–40 лет произошли значительные изменения в структуре земельного фонда. Таким образом, в Республике Тыва совпадают временные отрезки трансформаций климата и структуры землепользования.

Материалы, методы исследования и терминология

Исходными материалами для статьи послужили: материалы Государственных (национальных) докладов о состоянии и использования земель в Российской Федерации [Государственный..., 2012–2019], Государственных докладов о состоянии окружающей среды Республики Тыва [Государственный..., 2006–2015], статистических ежегодников Республики Тыва [Статистический..., 2014, 2019, 2020], архивных данных государственного комитета по земельной реформе [Годовой..., 1980; Отчет..., 1990], материалы исследований В.Н. Жулановой [Жуланова, Чупрова, 2009; Жуланова, 2012], А.Д. Самбуу [Самбуу и др., 2012, 2020; Самбуу, 2019], С.К. Кужугет [Кужугет и др., 2017], полевые исследования авторов.

При обработке материалов использовались пакеты программ MS Excel, включающие стандартные методы обработки рядов наблюдений на основе математической статистики и графических методов, программный комплекс ArcGIS.

При анализе динамики структуры землепользования была использована следующая терминология.

Земли сельскохозяйственного назначения. В соответствии с Земельным кодексом РФ «землями сельскохозяйственного назначения признаются земли, находящиеся за границами населенного пункта и предоставленные для нужд сельского хозяйства, а также предназначенные для этих целей» [Земельный..., 2004]. Земли сельскохозяйственного назначения состоят из *сельскохозяйственных и несельскохозяйственных угодий*.

К *сельскохозяйственным угодьям* относят пашни, сенокосы, пастбища, многолетние насаждения, залежные земли. Сельскохозяйственные угодья в составе земель сельскохозяйственного назначения имеют приоритет в использовании и подлежат особой охране.

К *несельскохозяйственным угодьям* относят болота, древесно-кустарниковые насаждения, земли под водой, дорогами, строениями, оленьими пастбищами и прочими землями (овраги, каменистые земли, пески, после добычи полезных ископаемых).

Результаты и обсуждение

Земельные ресурсы Республики Тыва формируются под совместным воздействием разнообразных природных условий среды. Сложный рельеф, неравномерное количество атмосферных осадков, глубокое промерзание почв, различные мощности и механический состав почвообразующих пород существенно влияют на формирование почвенного покрова, используемого в сельском хозяйстве [Природные..., 2018]. Основным районом земледелия

республики является равнинный и низкогорный степной пояс с черноземными и лугово-черноземными почвами.

Структура земель сельскохозяйственного назначения в Республике Тыва за рассматриваемый период (более 40 лет) претерпела значительные трансформации. Эти изменения обусловлены не только внешними социально-экономическими причинами конца XX в., но и внутренними административно-территориальными: сокращалась площадь одних административных районов (кожуунов) и увеличивалась других, появились новые кожууны (Сут-Хольский, Чаа-Хольский, Чеди-Хольский, Тере-Хольский). За исследуемый отрезок времени самая большая площадь земель сельскохозяйственного назначения была в 1990 г. – 6812,2 тыс. га (рис. 2).

Затем, на протяжении почти четверти века, наблюдалось сокращение площадей, используемых в сельском хозяйстве, минимальная площадь в 2005 г. составляла всего 1219,9 тыс. га [Жуланова, 2016]. С 2006 г. общая площадь земель сельскохозяйственного назначения начала восстанавливаться, и в последнем десятилетии наблюдается стабилизация структуры, изменения происходят, но незначительные, в пределах нескольких тысяч гектаров. На 01.01.2020 площадь земель данной категории – 3363,9 тыс. га, что составляет примерно 18 % от общей площади Республики Тыва [Государственный..., 2019].

В целом площадь сельскохозяйственных угодий, как и общая площадь земель сельскохозяйственного назначения, в республике не оставалась неизменной на протяжении второй половины XX – первой половины XXI в. Например, в 1976 г. площадь сельскохозяйственных угодий в Тыве составляла 4623,2 тыс. га, что почти в 2 раза больше современных площадей, занятых пашнями, пастбищами и сенокосами. Эти преобразования отмечались не только по отдельным годам во всей республике, но в отдельных административных районах (табл. 1).

Анализируя динамику площадей земель, используемых в сельском хозяйстве по административным районам, можно сделать ряд выводов. В период с 1980 г. до начала 1990-х гг. больше 40 % площади республики занимали кожууны, в которых сельскохозяйственные угодья составляли свыше 20 % территории, а в двух районах доля угодий занимала около 50 % от общей площади: Овюрский, Тес-Хемский (рис. 3, а).

В Овюрском районе в 1980 г. сельскохозяйственные угодья занимали 55,4 % от всей территории. На первых местах в ранжировании земель, входящих в категорию «пашни», на тот период располагались Тандинский (76 005 га) и Кызылский (58 616 га) районы соответственно. Эти административные единицы входят в лесостепную и степную подзоны

Центральной подтаежно-степной сельскохозяйственной зоны с наилучшими условиями для развития земледелия [Экономика..., 1973].

В 1990 г. количество районов с долей сельскохозяйственных угодий свыше 20 % от общей площади увеличилось до 11, но это произошло за счет образования нового административного района – Сут-

Хольского (из-за частичной передачи доли земель Дзун-Хемчикского района). В связи с этим в Дзун-Хемчикском районе произошло сокращение сельскохозяйственных угодий почти в 2 раза. Тес-Хемский и Овюрский кожууны сохранили свои позиции, т.е. доля сельскохозяйственных угодий здесь больше 50 % территории (рис. 3, б).

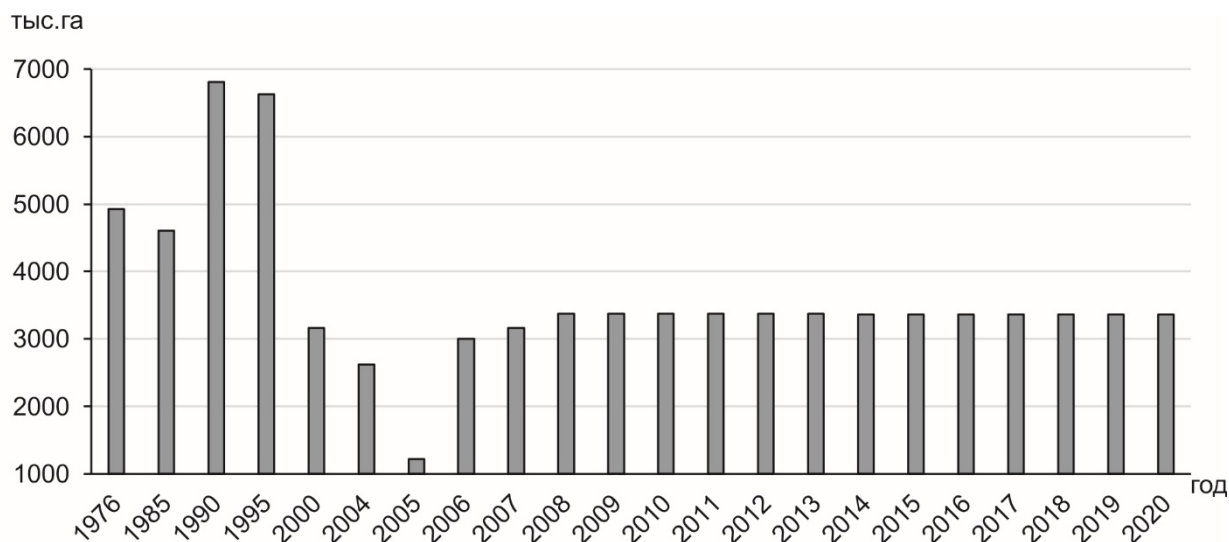


Рис. 2. Динамика площади земель сельскохозяйственного назначения в Республике Тыва по [Государственный..., 2006–2019; Жуланова, 2012]

Fig. 2. Dynamics of the area of agricultural land in the Tuva Republic by [Gosudarstvennyy..., 2006–2019; Zhulanova, 2012]

Таблица 1

Доля сельскохозяйственных угодий в общей площади районов Республики Тыва, га

Table 1

Share of agricultural land in the total area of districts of the Tuva Republic, ha

Название кожууна	1980 г.		1990 г.		2019 г.	
	площадь	сельхоз-угодья	площадь	сельхоз-угодья	площадь	сельхоз-угодья
Бай-Тайгинский	792 282	231 617	792 282	248 493	792 282	168 212
Барун-Хемчикский	630 835	229 935	630 835	288 690	625 966	112 543
Дзун-Хемчикский	1 317 583	434 531	567 747	484 007	648 456	296 037
Каа-Хемский	2 572 604	156 667	2 572 604	254 027	2 572 604	200 141,5
Кызылский	1 764 024	277 593	317 091	65 218	852 665	233 307,6
Монгун-Тайгинский	441 420	154 530	441 420	279 803	441 420	169 683
Овюрский	452 250	250 549	452 250	239 206	452 250	217 875
Пий-Хемский	913 055	264 275	913 055	272 340	795 189	116 806,6
Сут-Хольский	–	–	–	–	669 125	163 595
Тандинский	753 826	241 135	753 826	346 370	509 170	104 626,7
Тере-Хольский	–	–	–	–	1 005 000	37 088
Тес-Хемский	668 923	405 220	668 923	415 314	668 723	367 948,8
Тоджинский	4 475 749	22 229	4 475 749	37 994	4 475 749	28 629
Улуг-Хемский	949 578	407 912	949 578	412 181	533 540	163 600
Чаа-Хольский	–	–	–	–	290 310	34 657,6
Чеди-Хольский	–	–	–	–	370 632	35 533
Эрзинский	1 108 145	305 224	1 108 145	360 708	1 083 012	203 576,6

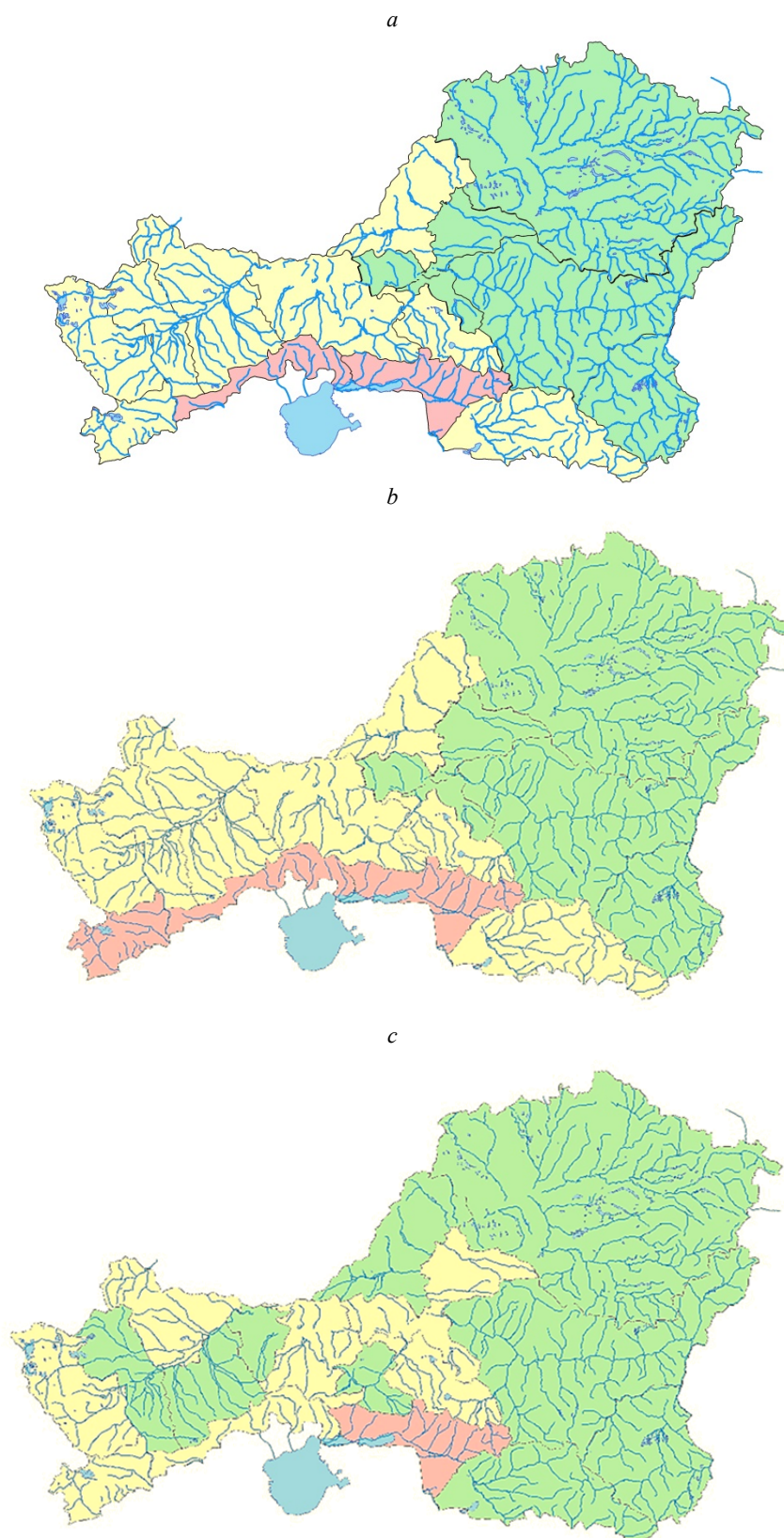


Рис. 3. Динамика площадей сельскохозяйственных угодий в Тыве

a – 1980 г., *b* – 1990 г., *c* – 2019 г. Доля сельскохозяйственных угодий от общей площади района: красный цвет – более 50 %; зеленый цвет – от 20 до 50 %; желтый – менее 20 %

Fig. 3. Dynamics of agricultural land areas in Tuva

a – 1980, *b* – 1990, *c* – 2019. The share of agricultural land in the total area of the district: red – more 50 %; green color – from 20 to 50 %; yellow – less 20 %

На 2019 г. в Республике Тыва насчитывалось 17 административных районов (см. рис. 1, табл. 1). Только один район – Тес-Хемский – сохранил свое лидирующее положение (55 %), во всех остальных доля сельскохозяйственных угодий резко снизилась.

Особенно это характерно для Барун-Хемчикского (в 3 раза), Эрзинского (в 1,5 раза) районов. В Дзун-Хемчикском районе снижение еще более значительное: с 76,5 до 17,3 %. И это объяс-

няется не только снижением площадей пашни, пастбищ и сенокосов, но и изменением территории района. Например, в Дзун-Хемчикском районе произошло увеличение территории на 80 709 га (табл. 2) за счет присоединения двух единиц – сел Ийме и Баян-Тала, которые входили в состав вновь созданного Сут-Хольского района. В этом районе также часть земель из категории пашня переведена в категорию «залежные земли».

Таблица 2

Динамика структуры сельскохозяйственных угодий Дзун-Хемчикского и Тандинского районов Республики Тыва

Table 2

Dynamics of the structure of agricultural land in the Dzun-Khemchik and Tadinsky regions Republic of Tuva

Район	Год	Общая площадь, га	Пашня, га	Сенокос, га	Пастбище, га	Залежь, га	Многолетние насаждения, га	Доля, %
Дзун-Хемчикский	1980	1 317 583	56 909	7 554	370 062	–	6	76,5
	1990	567 747	34 276	5 040	194 255	–	6	41,1
	2019	648 456	16 224	5 071	252 103	22 632	7	17,3
Тандинский	1980	753 826	76 005	7 409	157 721	–	–	32
	1990	753 826	103 070	4 291	239 006	–	3	46
	2019	509 170	24 550	2 564	77 045,7	467	–	20,5

Анализируя карты-схемы динамики сельскохозяйственных угодий (см. рис. 3), можно заметить, что большая часть районов, в которых произошло сокращение площадей, используемых в сельском хозяйстве, расположены в центральных и юго-западных частях Республики Тыва. В восточной части, в которой находятся Тоджинский, Каа-Хемский, Тере-Хольский районы, изменений в структуре землепользования не наблюдалось.

Для выбора ключевых участков комплексного ландшафтно-экологического мониторинга также важно учесть изменение структуры сельскохозяйственных угодий в одном районе в течение продолжительного отрезка времени. Примером может служить Тандинский кожуун, расположенный в центральной части республики, в Тувинской котловине и в предгорьях хребта Восточный Танну-Ола (см. рис. 1). На его территории есть интересные природные объекты, в том числе и реликтовые (Балгазынский сосновый бор), озера Чагытай, Дус-Холь, урочище Дургенский каньон и антропогенные ландшафты, находящиеся в стадии трансформации, исследование которых имеет особую роль при изучении влияния климата, техногенеза на выявление структуры биоразнообразия в основных типах геосистем.

В Тандинском районе за исследуемый период происходили значительные изменения в структуре сельскохозяйственных земель. В 1990-х гг. при той же общей площади территории по сравнению с 1980 г. выросла площадь пашни примерно на 27 тыс. га, пастбищ – на 81 тыс. га, а площадь сенокосов, наоборот, снизилась почти в 2 раза. В настоящее

время площадь пашни по сравнению с 1990 г. сократилась в 4 раза, пастбищ – в 3 раза, сенокосов – в 1,6 раза. Но стоит отметить, что и размеры района уменьшились на 244 тыс. га.

При проведении экспедиционных работ в пределах Тандинского района, к северо-западу от оз. Чагытай на шлейфовом склоне южной экспозиции предгорной равнины Восточного Танну-Ола нами был отмечен участок с подростом из лиственницы (рис. 4, а, б). Подрост высотой от нескольких сантиметров до 2 м произрастает на склоне как отдельными экземплярами, так и рядами-куртинами, состояние его удовлетворительное.

Этот участок вошел в состав шести ключевых выделов на территории Тывы, выбранных во время проведения рекогносцировочных полевых исследований для выяснения доминирующего фактора смены одного типа растительности другим. В таких районах, как Тандинский, зарастание степного склона древесной растительностью может быть результатом влияния как природных факторов, так и воздействия человека: уменьшение площади сенокосов и пастбищ, прекращение распашки территории и выпаса скота.

Заключение

Для Республики Тыва характерно изменения климатических параметров и структуры сельскохозяйственного землепользования. Оба фактора, несомненно, оказывают влияние на возникновение и активизацию природных процессов и явлений: оползни, камнепады, наводнения, термокарст, опустыни-

вание и др.; компоненты (растительность и животные), а также в целом на состояние и функционирование геосистем.

Для мониторинга вышеперечисленных процессов необходимо выбрать наиболее представительные ключевые участки. С этой целью нами были проведены исследования динамики земель сельскохозяйственного назначения и сельхозугодий за последние

40 лет в целом для республики и отдельно в административных районах.

В Барун-Хемчикском, Эрзинском, Дзун-Хемчикском, Тандинском кожуунах произошли самые большие изменения: доля сельскохозяйственных угодий сократилась в 1,5–4 раза. На месте залежных земель, бывших пастбищах происходит возобновление естественной растительности.



Рис. 4. Ключевой участок «Чагытай»

а – местоположение на космическом снимке и топокарте, б – подрост из лиственницы (фото З.Н. Квасниковой, август 2020)

Fig. 4. Key section “Chagytai”

а – location on the satellite image, б – arch undergrowth (photo by Z.N. Kvasnikova, August, 2020)

Дальнейшие детальные комплексные ландшафтно-экологические исследования, в том числе с использованием дешифрирования космических снимков, архивных данных административных районов, сельских поселений за рассматриваемый период, позволят ответить на многие вопросы, связанные с

влиянием глобального потепления климата, хозяйственной деятельностью человека на изменения, уже происходящие в Тыве, и для составления прогнозов на ближайшее будущее.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-67-46018).

ЛИТЕРАТУРА

Андрейчик М.Ф. Изменение климата в горных условиях республики Тыва на примере Бай-Тайгинского района // Вестник Байтуйского федерального университета им. И. Канта. 2014. Вып. 1. С. 14–19.

Боков В.А. Экогеодинамика Крымского региона: концептуальные подходы // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2005. Вып. 1. С. 7–11.

Годовой земельный отчет по Тувинской АССР за 1980 год.

Государственные доклады о состоянии и об охране окружающей среды Республики Тыва за 2006–2015 // Официальный портал Республики Тыва. URL: <http://www.npa.rtyva.ru> (дата обращения: 03.09.2020).

Государственные (национальные) доклады о состоянии и использовании земель в Российской Федерации за 2010–2019 // Официальный сайт Федеральной службы государственной регистрации, картографии и кадастра. URL: <https://rosreestr.gov.ru/site/activity/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 10.02.2020).

Отчет о наличии земель и распределением их по категориям, угодьям и землепользователям Тувинской АССР / Государственный комитет РСФСР по земельной реформе. Кызыл, 1990. 82 с.

Статистические ежегодники Республики Тыва // Официальный сайт Управления Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю, Республике Хакасия и Республике Тыва. URL: <https://krasstat.gks.ru/folder/45814> (дата обращения: 04.09.2020).

Жуланова В.Н., Чупрова В.В. Современное состояние земельных ресурсов и плодородия агропочв Тувы // Вестник КрасГАУ. 2009. № 2. С. 57–63.

Жуланова В.Н. Оценка использования сельскохозяйственных угодий и плодородия пахотных почв Тывы // Земледелие, почвоведение и агрохимия. 2012. № 1 (26). С. 46–52.

Жуланова В.Н. Оценка земельных ресурсов и плодородия почв сельскохозяйственного назначения Тувы // Таврический научный обозреватель. 2016. № 2 (7). С. 220–223.

Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ // Официальный сайт КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/ (дата обращения: 01.08.2020).

Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад / под ред. А.О. Кокорина; Всемирный фонд дикой природы (WWF России). М., 2011. 168 с.

Кужугет С.К., Монгуш С.С. Структура земельного фонда центрального макрорайона Тывы в постсоветское время (на примере Улуг-Хемского района) // Вестник Забайкальского государственного университета. 2017. Т. 23, № 1. С. 11–17.

Куулар Х.Б. Особенности климата Республики Тыва во второй половине XX в. и в XXI в. // Метеорология и гидрология. 2015. № 1. С. 51–57.

Природные ресурсы Республики Тыва. Т. 1 / А.Д. Самбуу, И.М. Красноборов, В.В. Севастьянов и др.; отв. ред. В.И. Котельников. Новосибирск: Гарамонд, 2018. 488 с.

Самбуу А.Д., Дапылдай А.Б., Куулар А.Н., Хомушку Н.Г. Проблемы опустынивания земель Республики Тыва // Аридные экосистемы. 2012. Т. 18, № 4 (53). С. 35–44.

Самбуу А.Д. Восстановление агроэкосистем в республике Тыва // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2019. Т. 149. С. 147–155.

Самбуу А.Д., Дабиев Д.Ф., Монгуш Ш.В., Монгуш Б.С. Подъем и упадок аграрных угодий Республики Тыва в XX и XXI вв. // Почвоведение и агрохимия. 2020. № 3. С. 94–108.

Статистический ежегодник Республики Тыва 2014 год // Федеральная служба государственной статистики по Республике Тыва. URL: http://tuvastat.ru/bgd/EZHEG_2014/Main.htm (дата обращения: 04.09.2020).

Статистический ежегодник Республики Тыва: стат. сб. Красноярскстат, 2019. 425 с.

Харламова Н.Ф., Останин О.В. Обзор современного термического режима Алтае-Саянского экорегиона и возможные прогнозы // Известия Алтайского государственного университета. 2012. Т. 1. С. 147–152.

Экономика Тувинской АССР / отв. ред. С.В. Клопов. Кызыл: Туvin. книж. изд-во, 1973. 377 с.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / eds. by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller. Cambridge, United Kingdom; New York, NY, USA: Cambridge University Press. URL: <http://www.ipcc.ch> (дата обращения: 17.09.2020)

IPCC, 2014. Climate change 2014: Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_ru.pdf (дата обращения: 23.04.2017).

Авторы:

Квасникова Зоя Николаевна, кандидат географических наук, доцент, кафедра географии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия; ведущий научный сотрудник, Туvinский государственный университет, Кызыл, Россия.

E-mail: zoi.kwas@rambler.ru

Ховалыг Алдынай Олеговна, кандидат географических наук, доцент, кафедра географии и туризма, Туvinский государственный университет, Кызыл, Россия.

E-mail: aldyn@mail.ru

Донгак Сырга Огонекновна, магистрант, естественно-географический факультет, Туvinский государственный университет, Кызыл, Россия.

E-mail: syrga.dongak1994@mail.ru

Доржу Урана Валериевна, кандидат биологических наук, доцент, кафедра анатомии, физиологии и БЖД, Туvinский государственный университет, Кызыл, Россия.

E-mail: shurava82@mail.ru

Z.N. Kvasnikova^{1,2}, A.O. Khovalyg², S.O. Dongak², U.V. Dorzhu²¹National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia²Tuvan State University, Kyzyl, RussiaDYNAMICS OF AGRICULTURAL AREAS AS AN INDICATOR
OF BIODIVERSITY MONITORING IN THE REPUBLIC OF TYVA

The study of climate change is an urgent problem. At the moment, the global trend towards climate warming has been proven, but the factors determining its changes are insufficient. But not all processes are caused by climate change. In addition, the result of climate change may be interrelated with anthropogenic factors. Complex landscape-ecological studies, including the dynamics of nature management (rural, forestry, etc.) and its influence on many natural processes, will help to answer these questions.

The aim of the work is to analyze the dynamics of lands occupied in the agricultural sector of the Republic of Tyva over the past forty years and to select representative sites for the organization of comprehensive monitoring studies.

The Republic of Tuva, located in the center of Asia, in its natural appearance reflects the features of the influence of the neighboring territories: from the north and north-east – taiga Eastern Siberia, from the south and southeast – desert-steppe regions of Mongolia, from the west – mountain taiga Altai. All these conditions have determined the diversity of natural landscapes and the ecological value of the territory.

The article is based on materials from reports of different levels, statistical yearbooks, archival funds, field research by authors, etc. The materials were processed using MS Excel software packages and GIS technologies in the ArcGIS software package.

The authors found that the structure of agricultural lands of the Republic of Tyva during the analyzed period underwent tangible changes, which were caused not only by external socio-economic reasons of the end of the 20th century, but also by internal administrative-territorial ones (reduction of the areas of some regions and increase in others, as well as the creation of new ones).

It is shown that, overall, the areal structure of agricultural lands changed during the second half of the XX – first half of the XXI century. For example, in 1976 the area of agricultural land in Tuva was 4623.2 thousand hectares, which is almost 2 times more than the modern areas. These transformations were noted not only in individual years throughout the republic, but in individual administrative regions. So, it is shown that in the period from 1980 to the early 90s. Most of the districts (kozhuuns) of the region had agricultural territories that did not exceed 20 %. In just two kozhuuns, the share of lands exceeded 50% of the total area (Ovyursky and Tes-Khemsy).

A study in the aspect of periods shows that in 1990 the area of agricultural land had maximum indicators (6812.2 thousand hectares), Then there was a decrease in the area of land of this category and in 2005 it was equal to 1219.9 thousand hectares, and at the beginning of 2020 – 3363.9 thousand hectares. As a result, the authors note that the largest changes in agricultural land occurred in three kozhuuns, namely, their reduction by 1.5–4 times. At the same time, the restoration of natural vegetation was recorded in the place of fallow lands.

Keywords: Republic of Tuva, Tuva, agricultural lands, dynamics, structure, climate warming

References

Andreychik M.F. *Izmenenie climate v gornyh usloviyah respubliki Tyva na primere Bay-tayginskogo rayona* [Climate change in the mountainous conditions of the Republic of Tyva on the example of Bai-taiginsky district] // Bulletin of the Baltic Federal University named after I. Kant. 2014. V.1. pp. 14–19. In Russian

Bokov V.A. *Ecogeodinamika Krymskogo regiona: conceptual'nye podhody* [Ecogeodynamics of the Crimean region: conceptual approaches] // Geopolitics and ecogeodynamics of regions. 2005. V.1. pp. 7–11. In Russian

Godovoy zemel'nyi otchet po Tuvinskoy ASSR za 1980 god. [Annual land report for the Tuva ASSR for 1980]. In Russian

Gosudarstvennye doklady o sostoyanii i ob ohrane okruzhayushey sredy Respubliki Tyva za 2006-2015. [State reports on the state and environmental protection of the Republic of Tyva for 2006–2015] Official portal of the Republic of Tyva. URL: <http://www.npa.rtyva.ru>. (Date of access: 03.09.2020). In Russian

Gosudarstvennye (natsional'nye) doklady o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Rossiyskoy Federatsii za 2010-2019 [State (national) reports on the state and use of land in the Russian Federation for 2010–2019] Official website of the Federal service for state registration, cartography and cadastre. URL: <https://rosreestr.gov.ru/site/activity/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii>. (Date of access: 10.02.2020). In Russian

Otchet o nalichii zemel' i raspredelenii ih po kategoriyam, ugod'yam i zemlepol'zovatelyam Tuvinskoy ASSR. [Report on the availability of land and its distribution by category, land and land users of the Tuva ASSR]. State Committee of the RSFSR on land reform. Kyzyl. 1990. 82 p. In Russian

Statisticheskie ezhegodniki Respubliki Tyva. [Statistical yearbooks of the Republic of Tyva]. Official website of the Office of the Federal state statistics service for the Krasnoyarsk territory, the Republic of Khakassia and the Republic of Tyva. URL: <https://krasstat.gks.ru/folder/45814>. (Date of access: 04.09.2020). In Russian

Zhulanova V. N., Chuprova V.V. *Sovremennoe sostoyanie zemel'nykh resursov i plodorodiya agropochv Tuvy* [Current state of land resources and agricultural soil fertility in Tuva] // Vestnik KrasGAU. No 2. 2009. pp. 57–63. In Russian

Zhulanova V.N. *Osenka ispol'zovaniya sel'skhozaystvennykh ugodiy i plodorodiya pahotnykh pochv Tyvy*. [Assessment of agricultural land use and arable soil fertility in Tuva] // Agriculture, soil science and Agrochemistry. No 1 (26). 2012. pp. 46–52. In Russian

Zhulanova V.N. *Ocenka zemel'nykh resursov i plodorodiya pochv sel'skhozajstvennogo naznacheniya Tuvy* [Assessment of land resources and soil fertility for agricultural purposes in Tuva] // Tavrichesky scientific observer. 2016. No 2 (7). pp. 220–223. In Russian

Zemel'nyi kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 25.10.2001 N 136-FZ Official site of ConsultantPlus. [Land Code of the Russian Federation of October 25, 2001 N 136-FZ. Official website ConsultantPlus] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/. (Date of access: 01.08.2020). In Russian

Izmenenie klimata I ego vozdeystvie na ekosistemy, naselenie I hozyaistvo rossiyskoy chaste Altae-Sayanskogo ekoregiona: ozenochnyi doklad [Climate change and its impact on ecosystems, population and economy of the Russian part of the Altai-Sayan ecoregion: an assessment report] / Edited by A. O. Kokorin, the world wildlife Fund (WWF). Moscow. 2011. 168 p. In Russian

Kuzhuget S.K., Mongush S.S. *Struktura zemel'nogo fonda sentral'nogo microrayona Tyvy v postsovetское vremya (na primere Ulug-Khemskogo rayona)* [Structure of the land Fund of the Central macro-district of Tyva in the post-Soviet period (on the example of Ulug-Khem district)] Vestnik of the TRANS-Baikal state University. 2017. V. 23. No. 1. pp. 11–17. In Russian

Kuular H.B. *Osobennosti klimata Respubliki Tyva vo vtoroy polovine XX v and XXI v* [Climate features of the Republic of Tuva in the second half of the XX century and in the XXI century] // Meteorology and hydrology. 2015. No. 1. pp. 51–57. In Russian

Prirodnye resursy Respubliki Tyva [Natural resources of the Republic of Tyva]. Volume 1. A.D. Sambuu, I.M. Krasnoborov, V.V. Sevastyanov and do. Ed. V.I. Kotelnikov. Ministry of natural resources and ecology of the Russian Federation, Tuva Institute for integrated development of natural resources SB RAS, Central Siberian Botanical garden SB RAS, Tomsk state University, Tuva state University. Novosibirsk: Garamond Publishing house, 2018. 488 p. In Russian

Sambuu A.D., Dapylday A.B., Kuular A.N., Homushku N.G. Problems of land desertification in the Republic of Tuva // Arid ecosystems. 2012. V. 18. No 4 (53). pp. 35–44. In Russian

Sambuu A.D. *Vosstanovlenie agroekosistem v Respublike Tyva* [The restoration of agro-ecosystems in the Republic of Tyva] // Collection of scientific papers Of the state Nikitsky Botanical garden. 2019. V. 149. pp. 147–155. In Russian

Sambuu A.D., Dabiev D.F., Mongush Sh. B., Mongush B.S. *Pod'em i upadok agrarnykh ugodiy Respubliki Tyva v XX i XXI vv* [Rise and decline of agricultural lands of the Republic of Tuva in the XX and XXI centuries] // Soil science and Agrochemistry. 2020. No 3. pp. 94–108. In Russian

Statisticheskii ezhegodnik Respubliki Tyva za 2014 god [Statistical Yearbook of the Republic of Tuva 2014] // Federal state statistics service for the Republic of Tyva. URL: http://tuvastat.ru/bgd/EZHEG_2014/Main.htm (Date of access: 04.09.2020). In Russian

Statisticheskii ezhegodnik Respubliki Tyva [Statistical Yearbook of the Republic of Tuva. Stat. sat. Krasnoyarskstat, 2019. 425 p. In Russian

Harlamova N.F., Ostanin O.B. Review of the current thermal regime of the Altai-Sayan Ecoregion and possible forecasts // Proceeding of the Altai state University. 2012. V. 1. pp. 147–152.

Ekonomika Tuvinskoj ASSR [Economy of the Tuva ASSR] / *Ovred. S.V. Klopov*. Kyzyl: Tuvinskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1973, 377 p. In Russian

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)] [Electronic resource] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. URL: <http://www.ipcc.ch> (Date of access: 17.09.2020)

IPCC, 2014. Climate change 2014: Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_ru.pdf (Date of access: 23.04.17).

Author's:

Kvasnikova Zoya N., Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Faculty of Geology and Geography, Department of Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia; Leading Researcher, Tuvan State University, Kyzyl, Russia.

E-mail: zoi kwas@rambler.ru

Khovalyg Aldynai O., Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Faculty of Natural Sciences, Department of Geography and Tourism, Tuva State University, Kyzyl, Russia.

E-mail: aldyn@mail.ru

Dongak Syrga O., Undergraduate Student, Faculty of Natural Sciences, Department of Geography and Tourism, Tuva State University, Kyzyl, Russia.

E-mail: syrga.dongak1994@mail.ru

Dorzhu Urana V., Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Faculty of Natural Sciences, Department of Anatomy, Physiology and Life Safety, Tuva State University, Kyzyl, Russia.

E-mail: shurava82@mail.ru

УДК 502.5 (204)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ



Л.И. Усманова, Л.В. Замана

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия

На основании результатов химико-аналитических работ, проведенных в рамках мониторинга геологической среды на участках размещения гидрозолоотвалов теплоэлектростанций Восточного Забайкалья, дана гидрохимическая характеристика прудов-отстойников. Для выполнения анализов водных проб использовались общепринятые нормированные методы определений компонентов. Химический состав объектов исследования различается по основным гидрохимическим показателям, степени минерализации и жесткости.

Ключевые слова: теплоэнергетика, пруд-отстойник, золошлаковые отложения, инфильтрация, химический состав

Введение

Взаимодействие теплоэнергетики и окружающей среды происходит на всех стадиях трансформации (добыча, переработка, транспортировка и т.д.) первичных энергоресурсов [Целюк, 2009; Pokale, 2012]. Использование поверхностных водных объектов или водоносных горизонтов, связанных с ними, в качестве источников водоснабжения для нужд теплоэнергетики – один из основных факторов взаимодействия теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) и теплоэлектростанций (ТЭС) с водной средой [Вера, 2016]. Основная часть забираемой воды расходуется на охлаждение конденсаторов паровых турбин; системы золо- и шлакоудаления, химводоочистки, охлаждения и промывки оборудования потребляют 7 % общего расхода воды, являясь при этом основным источником примесного загрязнения.

Теплоэнергетика является основным водопользователем в Забайкальском крае. Читинская ТЭЦ-1 имеет наибольшие объемы забора воды (46–50 % от суммарного водозабора края) и сброса сточных вод [Абакумова, 2009], но самый маленький процент экономии (4,6 %) свежей воды за счет оборотных и повторных вод, осуществляя прямоточное водоснабжение из оз. Кенон, на берегу которого она расположена.

Удаленные гидравлическим способом зола и шлаки – отходы угольной теплоэнергетики – поступают в виде пульпы в гидрозолошлакоотвалы (ГЗШО), где происходит осветление воды в прудах-отстойниках в результате осаждения взвешенных частиц. С инфильтрационными водами растворенные формы токсичных компонентов золошлаков поступают в подземные воды [Злобина и др., 2017; Humbarde et al., 2013]. Химический состав пульпы определяется составом золошлаковых отложений (ЗШО), который, в свою очередь, зависит от марки

исходного топлива. Основными компонентами ЗШО являются кислородные соединения кремния, алюминия, железа, кальция, магния [Алексеева и др., 2004]. Содержание некоторых из них может существенно превосходить значения их концентраций в земной коре: CaO в 4–12 раз, Al₂O₃ – примерно в 2 раза, Fe₂O₃ – в 1,5–3 раза, MgO – в 2–3 раза. Кроме того, в золошлаках содержится большое количество микроэлементов; концентрации отдельных из них могут существенно превышать их кларковые значения в земной коре и предельно допустимые концентрации (ПДК) в почве. Их относят к потенциально токсичным элементам. Наиболее часто ЗШО угольных ТЭС России содержат такие потенциально токсичные микроэлементы, как свинец, цинк, никель, медь, кобальт, хром, молибден, стронций, ртуть и др. Их содержание в золошлаках может превышать уровень ПДК (в почве) в 2–40 раз [Делицын и др., 2012].

В данной работе дана характеристика химического состава прудов-отстойников ГЗШО некоторых ТЭЦ Восточного Забайкалья: Читинских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, Шерловогорской и Приаргунской ТЭЦ (рис. 1), эксплуатирующих бурые угли местных угледобывающих предприятий – Харанорского и Восточного угольных разрезов. Наибольший объем потребления топлива имеет Читинская ТЭЦ-1.

Цель исследования – эколого-гидрохимическая оценка отстойников ГЗШО ТЭЦ, которые являются потенциальными источниками загрязнения природных вод на территории их размещения.

Материалы и методы исследования

Данное исследование основано на результатах химико-аналитических работ, проведенных Институтом природных ресурсов, экологии и криологии

СО РАН (ИПРЭК СО РАН) в 2018–2020 гг. в рамках мониторинга геологической среды на участках размещения гидрозолоотвалов Читинских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 и Шерловогорской ТЭЦ. Дополнительно ис-

пользованы материалы ГУП «Забайкалгеомониторинг» за 2017 г., полученные при ведении мониторинга геологической среды в пределах территории влияния исследуемых золоотвалов.

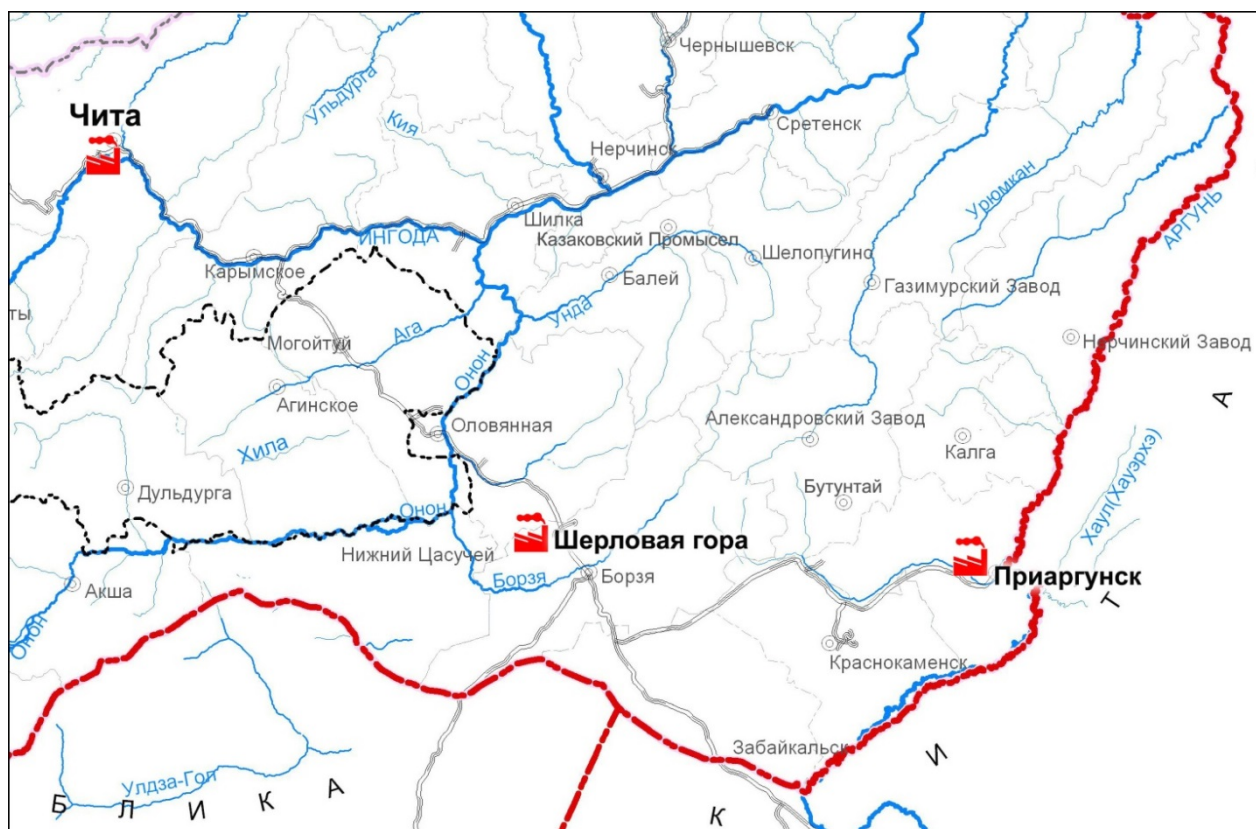


Рис. 1. Карта-схема места расположения тепловых электростанций на территории Восточного Забайкалья

Fig. 1. Schematic map of the location of thermal power plants on the territory of Eastern Transbaikalia

В рамках мониторинга проводился отбор водных проб из отстойников, скважин и поверхностных водных объектов, находящихся в зоне влияния ГЗШО. Сроки опробования: июнь, сентябрь и ноябрь 2018 г., июнь и ноябрь 2019 г. (за исключением золоотвала Шерловогорской ТЭЦ), июнь, сентябрь и октябрь 2020 г. Золоотвал Приаргунской ТЭЦ при выезде на опробование был сухим, поэтому водные пробы не отбирались. Для характеристики химического состава ГЗШО Приаргунской ТЭЦ использованы материалы научно-исследовательских работ по оценке состояния окружающей среды и воздействия на нее золоотвала Приаргунской ТЭЦ, выполненных ИПРЭК СО РАН в 2001–2002 гг.

Анализ проб на общий химический состав и некоторые микроэлементы выполнялся в лаборатории геоэкологии и гидрогеохимии ИПРЭК СО РАН, аттестованной на производство анализов природных вод. Использовались общепринятые нормированные методы определений компонентов. Микроэлементный состав

определялся методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в аналитических центрах Лимнологического института СО РАН и Института геохимии СО РАН (г. Иркутск).

Наименование химического типа воды дано от 20 %-экв согласно ОСТ 41-05-263-86.

Эколого-гидрохимическая оценка золоотвалов проводилась на основе сравнения содержания токсиканта в пруде-отстойнике с ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ГН 2.1.5.1315-03).

Результаты и обсуждение

Читинская ТЭЦ-1 – самая крупная тепловая электростанция в Забайкальском крае, введена в эксплуатацию в 1965 г. Станция работает на харанорском и татауровском бурых углях; микроэлементный состав их приведен в табл. 1 (по [Мязина, 2004]).

Золоотвал Читинской ТЭЦ-1 (рис. 2) расположен в 3 км к северо-западу от ее площадки и занимает площадь около 115 га. Он размещен в естественном понижении рельефа в днище Читино-Ингодинской впадины и по гипсометрическим отметкам находится выше промплощадки ТЭЦ. Сооружение введено в эксплуатацию в марте 1973 г. без противοфилтpационного экрана. Подача золосодержащей пульпы осуществляется по напорному трубопроводу. Осветленная вода используется для оборотного водоснабжения. В качестве водоема-охладителя и источника воды для техно-

логических нужд станции используется оз. Кенон, на берегу которого она расположена.

С 1973 по 1977 г. в окрестностях золоотвала наблюдался интенсивный подъем уровня подземных вод вследствие инфильтрации техногенных вод. С 1997 по 2008 г. уровень относительно стабилизировался; это было обусловлено постоянным напором и постоянным объемом разгрузки фильтрующихся из гидрозолоотвала вод. С 2009 г. до настоящего времени в районе золоотвала ТЭЦ-1 фиксируется незначительный, но устойчивый рост уровня подземных вод.

Таблица 1

Микроэлементный состав углей Харанорского и Татауровского месторождений и золошлаковых отложений Читинских ТЭЦ

Table 1

The microelement composition of the Kharanor and Tataurovo deposit coals and ash and slag deposits of the Chitinskaya TPPs

Химический элемент	Средний кларк в бурых углях, г/т	Средний кларк в ЗШО от бурых углей, г/т	Кларк элемента в земной коре, мг/кг	Содержание в золе углей, мг/кг		Содержание в ЗШО, мг/кг	
				Месторождение угля		Читинских	
				Харанорское	Татауровское	ТЭЦ-1	ТЭЦ-2
Ba	130–170	830–970	628	1580	1380	–	–
B	53–59	380–440	34	–	3,5	–	–
Be	1,1–1,3	6,2–7,2	2,3	8,7	5,4	3,7	1,9
V	20–24	130–150	106	550	363	81,8	35,9
Bi	0,75–0,93	3,5–5,1	0,23	2,2	3,4	–	–
W	1,0–1,4	4,3–6,7	2,03	7,5	–	12,6	18,5
Ga	5,2–5,8	28–30	–	32,4	20,8	18,0	11,0
Ge	1,9–2,1	10–12	1,3	1,6	2,0	2,4	2,2
Yb	0,95–1,05	5,3–5,7	–	7,5	2,6	–	–
Y	8,2–9,0	41–47	–	42,3	14,7	–	–
Co	3,9–4,5	26–28	15	25,4	33,4	17,6	5,7
La	9,5–10,5	58–64	32	63,4	49,8	–	–
Li	9–11	45–53	–	–	–	39,4	16,1
Mn	95–105	490–550	770	950	2 500	–	–
Cu	13–15	68–76	27	110	83,4	29,5	21,2
Mo	1,9–2,3	13–15	1,1	53	20,4	9,4	22,6
As	6,0–8,8	41–57	5,6	55,2	196	36,7	14,7
Ni	8,1–9,9	48–58	50	57,3	84,2	35,4	18,2
Rb	9,1–10,9	45–55	–	99,6	70,6	–	–
Pb	6,3–7,1	37–41	17	77,3	134	52,9	22,6
Se	0,95–1,25	8,6–10	–	35,2	25	–	–
Sr	110–130	670–810	270	1112,5	517	890	599
Sb	0,76–0,88	4,0–4,8	0,81	2,0	2,0	2,3	1,0
Cr	14–16	77–87	92	215	52	35,4	24,2
Zn	17–19	100–120	75	870	–	58,6	27,5
Tl	0,61–0,75	4,6–5,6	0,75	–	–	–	–
U	2,4–3,0	14–16	–	–	–	25	6,8

Примечание. Кларк элементов – из [Касимов, Власов, 2015]; кларк бурых углей и ЗШО – из [Юдович, Кетрис, 2005], «–» – нет данных.

Note. Clark elements from [Kasimov, Vlasov, 2015]; clark of coal and ash and slag deposits [Yudovich, Ketris, 2005]; «–» – no data.



Рис. 2. Золоотвал Читинской ТЭЦ-1

a – пруд-отстойник; b – сброс гидрозолошлака

Fig. 1. The ash dump of the Chitinskaya TPP-1

a – settling pond; b – discharge water solution of ash and slag

На территории размещения исследуемого объекта распространены порово-пластовые воды четвертичных отложений и трещинно-пластовые воды нижнемеловых пород. Водовмещающие породы представлены песчано-супесчаным материалом, песчаниками, трещиноватыми аргиллитами и алевролитами. Направление движения потока подземных вод направлено в сторону оз. Кенон и впадающей в него р. Кадалинки [Усманова, 2019].

За исследуемый период вода отстойника сульфатная магниевое-кальциевая (рис. 3) с величиной общей жесткости 11,5–23,2 мг-экв/л и величиной минерализации более 1 г/л (табл. 2; рис. 4, b). По величине pH воды щелочные (табл. 2). В составе вод отмечаются высокие концентрации сульфатов и фторидов (табл. 2), характерные для ГЗО. Источником кремния, содержание которого в водах отстойника достигает 20,8 мг/л, являются алюмосиликатные зольные компоненты исходного угля. В воде оз. Кенон, из которого производится забор, содержания кремния за тот же период опробования составили 0,8–2,07 мг/л.

Результаты проведенных в рамках мониторинга исследований подземных вод, находящихся в зоне влияния техногенного объекта, указывают на поступление широкого спектра химических элементов в результате фильтрации из него в водоносный горизонт, что подтверждается превышением нормативов для питьевых вод по сульфатам, фтору, бору, литию и другим показателям [Усманова, 2019; Замана и др., 2020].

Читинская ТЭЦ-2 – старейшая теплоэлектростанция Забайкальского края, запущена в эксплуатацию в 1936 г. Станция для работы использует уголь Харанорского бурогоугольного месторождения. В настоящее время для технологического водо-

снабжения ТЭЦ-2 используется подрусловой горизонтальный однолучевой водозабор и групповой водозабор, состоящий из четырех скважин глубиной 170–200 м.

Гидрозолоотвал ТЭЦ-2 (рис. 5) находится у тыловой закраины первой правобережной надпойменной террасы р. Ингоды. Он состоит из трех небольших секций, длина каждой около 400 м и ширина 150 м.

Отстойник золоотвала Читинской ТЭЦ-2 характеризуется наиболее низкой минерализацией (см. табл. 3; рис. 4, b) из всех исследуемых здесь, что можно объяснить использованием наименее минерализованной воды для золоудаления. Обогащение воды сульфатом и фтором, наиболее показательных для взаимодействия воды со свежей золой, в ходе транспортировки пульпы здесь существенно ниже (табл. 3), на что могут влиять как геохимические характеристики углей, так и технологии их сжигания и удаления золы. Содержание кремния ниже, чем в осветленной воде отстойника Читинской ТЭЦ-1, но выше, чем в отстойнике Шерловгорской ТЭЦ-1 (рис. 4, a). Воды отстойника за исследуемый период по анионному составу гидрокарбонатно-сульфатные (рис. 3), по катионному – натриево-кальциевые с величиной общей жесткости 1,88–7,40 мг-экв/л (табл. 3). Воды характеризуются слабощелочной или щелочной реакцией среды.

В пределах размещения золоотвала выделяются порово-пластовые воды голоценовых аллювиальных отложений и трещинно-пластовые воды нижнемеловых пород. Порово-пластовые воды приурочены к отложениям русловой и пойменной фаций аллювия, трещинно-пластовые воды – к песчаникам и трещиноватым песчаным алевролитам.

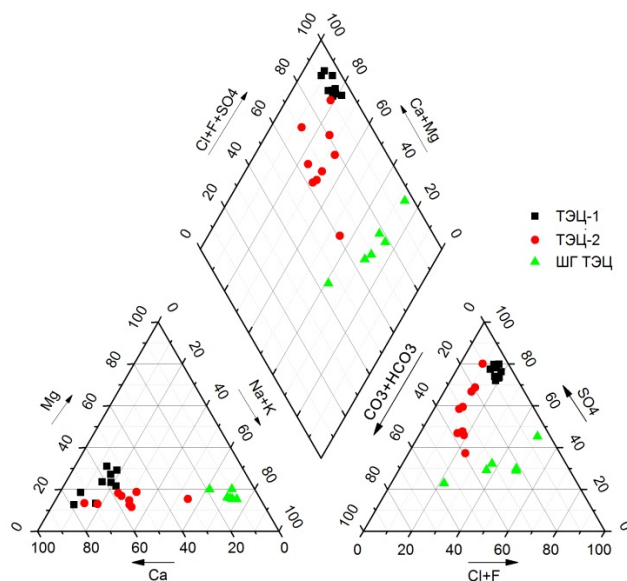


Рис. 3. Пайпер-диаграмма состава вод прудов-отстойников Читинской ТЭЦ-1, Читинской ТЭЦ-2 и Шерловогорской ТЭЦ

Fig. 3. Piper-diagram of the water composition of the settling ponds of the Chitinskaya TPP-1, Chitinskaya TPP-2 and Sherlovogorskaya TPP

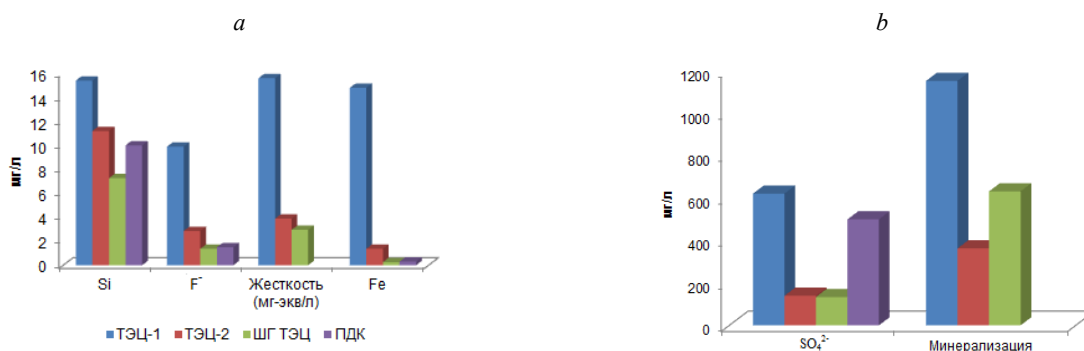


Рис. 4. Соотношение концентрации кремния, фтора, железа и общей жесткости (а); сульфата и величины минерализации (б) в воде прудов-отстойников Читинских ТЭЦ и Шерловогорской ТЭЦ

Fig. 4. Concentration ratio of silicon, fluorine, iron and total hardness (a); sulfate and value of mineralization (b) in the water of the settling ponds of the Chitinskaya TPPs and Sherlovogorskaya TPP

Таблица 2

Химический состав пруда-отстойника золоотвала Читинской ТЭЦ-1

Table 2

The chemical composition of the settling pond of the ash dump of the Chitinskaya TPP-1

Параметр	Единица измерения	2017 г.	2018 г.				2019 г.		2020 г.			ПДК
		август	июнь	сентябрь	ноябрь		июнь	ноябрь	июнь	сентябрь	октябрь	
рН		8,90	8,90	8,33	9,30		9,5	10,0	8,50	8,70	8,67	—
Жесткость общая	мг-экв/л	17,4	13,7	11,5	23,2		20,3	12,6	14,5	12,4	14,4	—
HCO ₃ ⁻	мг/л	50,3	44,2	68,3	37,8		3,95	0,00	70,9	57,9	79,0	—
CO ₃ ²⁻		18,0	12,0	4,80	36,0		39,5	52,2	<6,0	9,18	9,79	—
SO ₄ ²⁻		724,5	717,5	513,9	511,7		720,5	556,8	782,5	518,4	547,2	500
Cl ⁻		116,5	114,1	65,2	69,8		81,5	73,4	81,5	82,6	86,3	350
Ca ²⁺		249,5	199,3	148,2	372,1		262,0	212,8	208,7	167,8	209,5	—
Mg ²⁺		60,3	45,7	49,4	56,6		87,8	24,6	49,7	48,9	48,3	50

Пара-метр	Единица измерения	2017 г.	2018 г.				2019 г.		2020 г.			ПДК
		август	июнь	сентябрь	ноябрь	июнь	ноябрь	июнь	сентябрь	октябрь		
Na ⁺		90,3	84,3	56,6	47,1	67,3	59,8	65,7	56,8	58,1	200	
K ⁺		6,61	7,47	5,53	6,99	8,13	4,11	2,04	1,59	1,76	–	
M		1 330	1 242	919	1 205	1 392	1 007	1 281,7	955,3	1 052,1	–	
F ⁻		13,8	9,97	1,77	10,4	14,8	5,87	11,7	10,4	10,7	1,2–1,5	
Si		20,8	16,0	17,8	17,0	18,6	9,51	12,9	9,98	16,1	10	
Sr		–	5,11	3,03	6,86	9,97	4,73	3,60	3,09	2,41	7,00	
B		–	2,90	–	4,12	3,25	2,93	3,39	2,90	2,14	0,5	
Ba		–	0,24	–	0,73	0,58	0,56	0,19	0,11	0,17	0,7	
Br		–	0,24	–	0,33	0,15	0,16	0,17	0,21	0,17	0,2	
Mn		0,04	0,017	0,074	1,09	5,75	0,18	0,02	0,05	0,03	0,1	
Fe		0,59	0,20	0,56	42,3	83,2	5,90	0,08	0,10	0,03	0,3	
Li	мкг/л	–	72,0	–	97,0	57,0	53,0	43,0	70,0	51,0	30	
Be		–	0,031	–	0,050	0,008	0,020	0,015	0,009	0,007	0,2	
Al		–	380,0	–	293,0	125,0	129,8	27,0	18,0	7,40	200	
Cu		–	2,27	5,44	3,18	1,37	5,35	1,61	1,33	2,10	1 000	
Zn		–	2,40	0,14	6,10	1,23	17,7	5,80	13,8	7,00	1 000	
As		–	58,0	–	152,0	113,0	10,1	156,0	95,0	79,0	10,0	
Se		–	8,0	–	21,0	8,2	8,5	13,7	–	7,0	10,0	
Pb		–	<ПО	0,88	0,96	0,13	0,85	0,13	0,009	0,023	10,0	
Rb		–	15,3	–	18,0	11,9	9,56	10,9	13,1	10,3	–	
Co		–	0,67	<ПО	0,85	0,38	0,27	0,16	0,24	0,13	100	
Ni		–	2,30	5,79	3,70	1,31	1,91	1,83	2,09	3,49	20	
Cr		–	47,0	–	65,0	49,0	48,1	22,0	18,0	17,0	50(Cr ⁶⁺)	
V		–	87,0	–	147,0	98,0	62,0	64,0	69,0	64,0	100	
W		–	76,0	–	53,0	53,0	40,2	69,0	78,0	58,0	50	
Mo		–	102,0	–	69,0	75,0	49,6	94,0	112,0	81,0	70	
Cd		–	0,12	–	0,39	0,46	2,71	1,01	1,21	0,83	1,00	
Sb		–	8,50	–	13,7	9,50	5,30	9,50	7,80	6,90	5,00	
Tl		–	0,060	–	0,066	0,089	0,020	0,024	0,033	0,023	0,10	
U		–	3,70	–	7,10	2,47	0,15	5,10	5,60	4,88	–	

Примечание. Здесь и в табл. 3, 4: «–» – не определялось или в графе ПДК – норматив отсутствует; ПО – предел обнаружения; М – минерализация.

Note. Here and in the tables 3, 4: «–» – was not determined or in the MPC column – there is no standard; DL – detection limit; M – mineralization.



Рис. 5. Золоотвал Читинской ТЭЦ-2

a – пруд-отстойник; b – секция сброса гидрозолошлака

Fig. 5. The ash dump of the Chitinskaya TPP-2

a – settling pond; b – discharge water solution of ash and slag section

Таблица 3

Химический состав пруда-отстойника золоотвала Читинской ТЭЦ-2

Table 3

The chemical composition of the settling pond of the ash dump of the Chitinskaya TPP-2

Показатель	Единица измерения	2017 г.	2018 г.				2019 г.		2020		
		август	июнь	сентябрь	ноябрь		июнь	ноябрь	июнь	сентябрь	октябрь
рН		7,88	8,70	9,94	9,25		7,62	8,90	7,90	10,1	9,45
Жесткость общая	мг-экв/л	3,34	3,06	1,88	3,14		4,02	4,37	7,40	5,00	2,72
HCO ₃ ⁻	мг/л	163,2	53,4	12,8	86,6		61,3	92,1	89,0	0,00	67,2
CO ₃ ²⁻		3,52*	9,00	33,6	25,2		—	30,6	<6,0	41,6	13,2
SO ₄ ²⁻		122,4	151,3	69,7	110,4		172,5	131,8	143,3	253,1	101,1
Cl ⁻		56,1	11,6	7,12	20,9		11,8	31,1	14,5	14,0	27,5
Ca ²⁺		44,1	50,8	30,7	49,5		62,2	66,6	124,3	84,4	39,6
Mg ²⁺		13,6	6,42	4,20	8,07		11,2	12,7	14,6	9,60	9,00
Na ⁺		91,3	33,5	19,1	31,0		31,9	31,7	26,4	25,8	29,1
K ⁺		1,82	2,74	1,92	1,84		2,20	1,33	<1,0	<1,0	<1,0
M		493,2	325,1	183,7	341,6		361,6	408,0	416,3	434,7	307,4
F ⁻		0,72	3,97	1,09	3,30		5,48	2,18	3,23	4,28	1,51
Si		8,35	9,35	9,88	11,1		10,2	15,9	6,04	17,7	11,9
Sr		0,92	1,68	0,92	1,31		1,94	1,73	1,43	1,72	0,78
B		—	—	—	1,05		2,72	1,18	2,15	2,16	0,81
Ba		—	—	—	0,23		0,18	0,19	0,094	0,40	0,15
Br		—	—	—	0,056		0,059	0,043	0,059	0,082	0,042
Mn		0,19	0,005	0,078	0,055		0,050	0,12	0,01	0,03	0,04
Fe		5,52	0,18	1,59	0,69		0,17	3,56	0,16	0,27	0,21
Li	мкг/л	—	—	—	48,0		39,0	40,4	31,0	41,0	36,0
Be		—	—	—	0,010		0,007	0,010	0,043	0,011	0,005
Al		—	219,6	1958	171,0		52,0	103,0	105,0	106,0	122,0
Cu		—	4,56	4,58	7,61		0,83	3,18	1,71	0,94	1,06
Zn		—	<ПО	0,14	4,13		3,03	4,19	14,2	4,24	0,85
As		—	—	—	56,0		93,0	45,0	84,0	89,0	28,0
Se		—	—	—	3,23		2,50	1,34	2,03	—	0,48
Pb		—	0,19	1,49	1,45		0,10	0,74	0,30	0,011	0,044
Rb		—	—	—	10,9		12,0	7,14	12,6	10,9	6,30
Co		—	<ПО	<ПО	<ПО		0,10	0,12	0,052	0,038	0,028
Ni		—	0,72	5,10	4,56		1,09	0,98	1,29	0,76	0,80
Cr		—	—	—	4,12		7,20	4,17	2,09	8,20	1,64
V		—	—	—	53,0		69,0	33,9	34,0	65,0	25,0
W		—	—	—	13,0		20,0	10,8	13,9	14,6	8,80
Mo		—	—	—	14,1		38,0	12,2	49,0	40,0	11,1
Cd		—	—	—	0,10		0,37	0,25	0,60	0,43	0,12
Sb		—	—	—	5,30		6,70	2,47	4,93	4,03	2,40
Tl		—	—	—	0,009		0,007	0,010	0,007	0,007	0,006
U		—	—	—	1,74		3,54	1,53	6,10	4,12	1,28

Примечание. * – содержание CO₂.Note. * – CO₂ content.

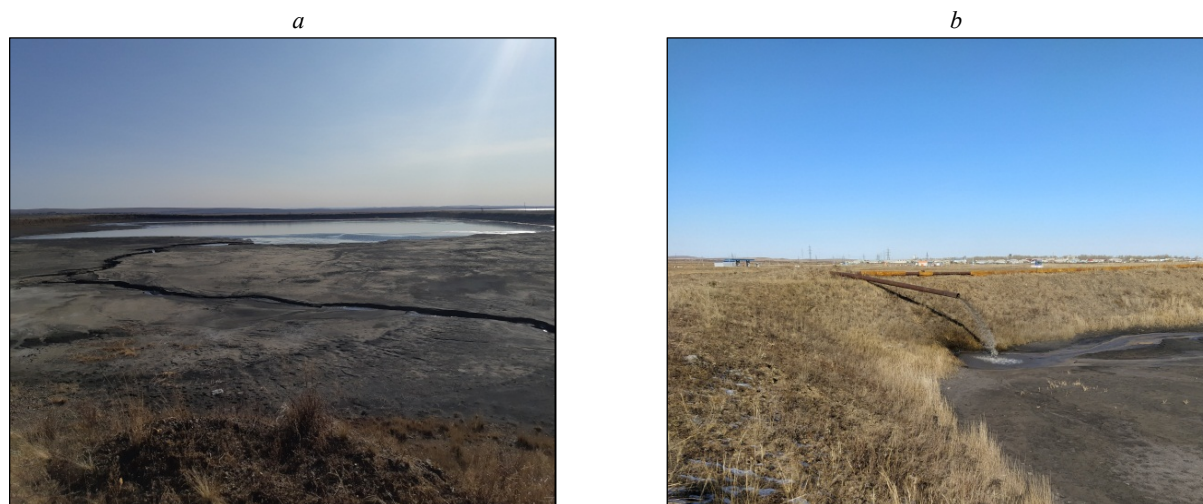


Рис. 6. Золоотвал Шерловогорской ТЭЦ

а – пруд-отстойник; б – секция сброса гидрозолошлака

Fig. 6. The ash dump of the Sherlovogorskaya TPP

а – settling pond; б – discharge water solution of ash and slag section

Таблица 4

Химический состав пруда-отстойника золоотвала Шерловогорской ТЭЦ

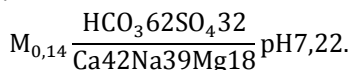
Table 4

The chemical composition of the settling pond of the ash dump of the Sherlovogorskaya TPP

Показатель	Единица измерения	2017 г.	2018 г.		2020 г.		
		июль	июнь	август	июль	сентябрь	октябрь
рН		9,02	8,90	8,67	9,00	9,00	9,84
Жесткость общ.	мг-экв/л	4,11	2,33	2,31	3,00	2,95	2,99
HCO ₃ ⁻	мг/л	140,3	138,8	155,6	143,4	140,0	104,5
CO ₃ ²⁻		30,0	18,0	7,80	15,0	17,1	100,4
SO ₄ ²⁻		134,0	130,5	138,3	171,0	162,5	67,5
Cl ⁻		121,4	108,5	106,9	202,5	200,1	46,3
F ⁻		1,20	1,23	2,36	1,29	1,20	0,87
Ca ²⁺		24,8	20,6	20,0	23,3	19,0	29,1
Mg ²⁺		18,2	15,9	16,0	22,3	24,4	18,7
Na ⁺		149,4	137,0	143,2	207,1	163,0	109,3
K ⁺		4,00	4,00	3,75	1,36	1,52	<1,0
M		623,3	577,0	597,0	787,3	730,2	480,0
Si		4,18	6,75	2,98	5,00	5,37	19,3
Sr		0,95	0,84	0,76	0,89	0,89	0,66
B		–	–	1,74	1,42	1,58	0,89
Ba		–	–	0,055	0,058	0,063	0,056
Br		–	–	0,55	0,55	0,50	0,18
Mn		0,048	0,007	0,001	0,010	0,070	0,070
Fe		0,64	0,15	0,051	0,030	0,13	0,53
Li	мкг/л	–	–	60,0	56,0	47,0	45,0
Be		–	–	0,012	0,010	0,005	0,005
Al		–	258,4	577,0	121,9	104,0	113
Cu		–	3,87	10,9	2,77	1,50	2,65
Zn		–	<ПО	9,10	122,2	4,34	3,75
As		–	–	39,0	80,5	72,0	27,0
Se		–	–	2,11	4,26	–	0,35

Показатель	Единица измерения	2017 г.	2018 г.		2020 г.		
		июль	июнь	август	июль	сентябрь	октябрь
Pb		–	<ПО	1,26	0,59	0,012	0,021
Rb		–	–	15,0	9,34	10,2	4,34
Co		–	<ПО	0,18	0,18	0,10	0,16
Ni		–	2,47	0,73	1,60	1,80	13,4
Cr		–	–	6,80	9,07	3,60	6,70
V		–	–	53,0	52,3	43,0	37,0
W		–	–	25,0	20,8	26,0	13,8
Mo		–	–	43,0	31,8	34,0	113,0
Cd		–	<ПО	0,59	0,55	0,54	0,88
Sb		–	–	3,86	1,44	1,98	1,23
Tl		–	–	0,007	0,004	0,005	0,008
U		–	–	7,00	4,61	5,40	7,60

Подземные воды аллювиальных отложений за исследуемый период имели следующий (усредненный) состав:

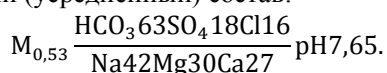


Шерловогорская ТЭЦ работает с 1956 г. Основным видом топлива на ТЭЦ является бурый уголь Харанорского угольного разреза. Водоснабжение станции осуществляется из артезианских скважин Харанорского и Северного водозаборов.

Золоотвал (рис. 6, а, б) расположен в Тургино-Харанорской впадине в пределах депрессионной воронки, образованной в процессе эксплуатации нескольких водозаборов Харанорского месторождения подземных вод. Хорошо проницаемые аллювиальные отложения способствуют активной фильтрации загрязненных вод в водоносный горизонт. Летом гидрозолоотвал почти полностью осушается за счет фильтрации и, в меньшей степени, испарения.

По гидрохимическим показателям ГЗШО Шерловогорской ТЭЦ отличается от золоотвалов Читинских ТЭЦ как по катионному, так и по анионному составу (см. рис. 3). Среди анионов преобладают хлориды, основной катион – натрий. Такой состав воды может быть обусловлен использованием ТЭЦ соляной кислоты и едкой щелочи для чистки котлов. Нельзя исключить и некоторую роль состава воды источников водоснабжения ТЭЦ. В 2017–2020 гг. величина общей жесткости составляла 2,31–4,11 мг-экв/л, минерализации – 0,48–0,79 г/л (см. табл. 4). Содержание сульфатов и фтора здесь изменялось в тех же пределах, что и в золоотвале Читинской ТЭЦ-2.

Подземные воды в исследуемый период имели следующий (усредненный) состав:



Приаргунская ТЭЦ (ПТЭЦ) введена в эксплуатацию в 1961 г.; работает лишь в период отопительного сезона. Вода на ТЭЦ поступает из четырех ар-

тезианских скважин, расположенных в пойме р. Аргунь в 5 км от поселка.

Гидрозолоотвал ПТЭЦ (рис. 7) расположен на первой надпойменной левобережной террасе р. Урулюнгуй – левого притока р. Аргунь. Благодаря высокой фильтрационной способности голоценовых аллювиальных грунтов, которыми сложена терраса реки, техногенная вода из золоотвала в теплый период года, когда ТЭЦ не работает, полностью фильтруется. Происходит «пыление» высохшей пульпы на поселок. Для заполнения чаши ГЗШО с целью уменьшения «пыления» увеличивается забор воды.

Вследствие небольшого объема золы и отсутствия воды в чаше золоотвала в теплый период года, её влияние на гидродинамический режим подземных вод практически отсутствует.

В связи с отсутствием аналитических данных за последние годы по составу воды гидрозолоотвала ПТЭЦ, гидрохимическая характеристика приводится по результатам анализов прошлых лет. По единичным пробам в 2001 г. вода отстойника ПТЭЦ гидрокарбонатная натриево-кальциевая, в 2002 г. – сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатная кальциево-магниево-натриевая с величиной жесткости 6,53 и 6,17 мг-экв/л соответственно. При фильтрации происходит значительный вынос хлорида-иона из накопленной в отвале золы, что видно из сравнения с пробой (табл. 5), отобранной из озера в самом золоотвале. Обогащение золы хлором, вероятно, связано с использованием хлористого натрия в технологии водоподготовки. При фильтрации также происходит значительный вынос железа и марганца. Величина жесткости фильтрационных вод 13,2 мг-экв/л.

Химический состав подземных вод вблизи золоотвала Приаргунской ТЭЦ по результатам, полученным в 2013 г., следующий: pH 7,62–8,83, величина минерализации 0,78–4,58 г/л, величина общей жесткости 2,90–22,4 мг-экв/л, содержание сульфатов, мг/л; 99,4–1 478, гидрокарбонатов 323–

1403, хлоридов 100,6–355,0, фторидов 0,47–3,94, кальция 18–52, магния 24,3–248,1, натрия 116,3–872,4, калия 2,51–79,5, железа 22,3–59,7, марганца 0,15–1,83. Максимальные концентрации сульфатов, хлоридов, гидрокарбонатов, натрия, калия, магния, значения минерализации и жесткости отмечались в скважине 3 (рис. 8), расположенной между золоотвалом (вблизи действующей третьей секции) и р. Урулюнгуй (рис. 8). В 2014 г. отмечалось повышение минерализации и содержания сульфатов в скважине 1 (рис. 8) и некоторое снижение этих показателей в скважине 3 (до 3,10 г/л и 739 мг/л соответственно), что, возможно,

вызвано преимущественным заполнением в 2014 г. первой секции золоотвала, а в 2013 г. – третьей.

Во все сроки опробования за период 2017–2020 гг. в микроэлементном составе всех исследуемых прудов-отстойников (за исключением Приаргунской ТЭЦ) превышали ПДК концентрации бора, лития и мышьяка (рис. 9, а, б, табл. 2). В пруде-отстойнике Читинской ТЭЦ-1 регулярно превышали нормативный уровень концентрации вольфрама, сурьмы, железа, периодически превышали или были близки к значениям ПДК содержания бария, брома, марганца, селена, молибдена, ванадия, стронция, алюминия и хрома (см. табл. 2).



Рис. 7. Золоотвал Приаргунской ТЭЦ

Fig. 7. The ash dump of the Priargunskaya TPP

Таблица 5

Химический состав водных проб с территории размещения золоотвала Приаргунской ТЭЦ

Table 5

The chemical composition of water samples from the territory of the ash dump of the Priargunskaya TPP

Показатель	Единица измерения	2001 г.				2002 г.	
		Номер пробы				1	2
		1	2	3	4		
pH	–	8,60	8,69	8,64	6,60	8,84	8,7
Жесткость общая	мг-экв/л	7,99	5,36	13,2	–	6,17	4,27
HCO ₃ [–]	мг/л	632,0	503,0	1081	381,2	319,4	279,1
CO ₃ ^{2–}		14,4	19,8	10,4	–	9,9	9,9
SO ₄ ^{2–}		24,8	16,8	48,0	161,0	124,0	88,0
Cl [–]		60,3	63,1	211,8	166,0	124,2	49,4
F [–]		1,60	0,85	2,68	1,15	1,12	0,83
Ca ²⁺		117,6	70,5	170,4	78,8	52,9	27,6
Mg ²⁺		25,3	22,0	56,6	58,4	42,3	34,7
Na ⁺		91,3	82,4	185,2	205,6	120,5	89,8
K ⁺		5,3	3,6	5,2	15,5	5,19	4,16
M		975,0	782,0	1772	–	789,6	573,6
Si		9,4	3,0	3,5	–	7,5	5,6
Sr		0,55	0,28	0,88	–	0,46	0,34

Показатель	Единица измерения	2001 г.				2002 г.	
		Номер пробы				1	2
		1	2	3	4		
Mn	мкг/л	0,14	0,20	1,20	72,2	0,05	0,15
Fe		0,69	0,47	2,18	191,6	0,17	2,06
Li		20,0	10,0	30,0	—	—	—
Cu		6,62	13,8	2,48	2,10	12,0	5,90
Zn		6,90	11,6	15,2	8,10	24,8	6,00
Pb		4,02	0,05	0,84	4,90	1,85	1,18
Co		0,04	0,01	0,03	2,70	1,15	0,67
Ni		14,4	9,13	7,94	4,30	0,86	5,26

Примечание. 1 – золоотвал; 2 – вода системы охлаждения; 3 – разгрузка фильтрационных вод золоотвала в протоку р. Урулюнгу; 4 – водная вытяжка золы (мг/кг); «—» – не определялось.

Note. 1 – ash dump; 2 – water cooling system; 3 – unloading filtration water ash dump in the river Urulungui; 4 – water extraction of ash (mg/kg); «—» – no determined.



Рис. 8. Схема наблюдательной сети территории золоотвала Приаргунской ТЭЦ

Fig. 8. Scheme of the observation network of the territory of the ash dump of the Priargunskaya TPP

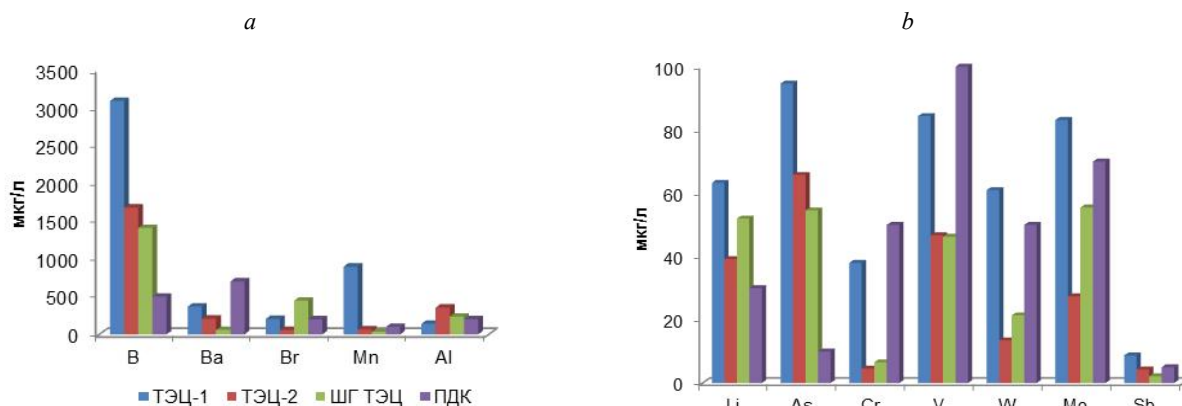


Рис. 9. Соотношение ПДК и концентрации микроэлементов (мкг/л): В, Ва, Вг, Мп, Аl (а) и Li, As, Cr, V, W, Мо и Sb (b) в воде прудов-отстойников Читинских ТЭЦ и Шерловгорской ТЭЦ

Fig. 9. Ratio of MPC and concentration of microelements ($\mu\text{g/L}$): B, Ba, Br, Mn, Al (a) and Li, As, Cr, V, W, Mo and Sb (b) in the water of the settling ponds of the Chitinskaya TPPs and Sherlovogorskaya TPP

В отстойниках Читинской ТЭЦ-2 и Шерловогорской ТЭЦ в отдельные сроки уровни содержания железа, сурьмы и алюминия превышали норматив или были близки к нему (см. рис. 9; табл. 3, 4); кроме того, в первом зафиксировано превышение ПДК по марганцу, во втором – по брому. Концентрации таких элементов, как ванадий, вольфрам, молибден, находятся в пределах нормы; барием и хромом воды обогащены незначительно. Имеющиеся данные по отстойнику Приаргунской ТЭЦ указывают на превышение ПДК по марганцу и железу.

Заключение

Воды исследованных золоотвалов слабощелочные, щелочные с величиной pH в диапазоне 7,62–10,0. Наиболее минерализованным является золоотвал Читинской ТЭЦ-1 (минерализация более 1 г/л), наименее – золоотвал Читинской ТЭЦ-2 (менее 0,5 г/л). Анионно-катионный состав осветленной воды определяется составом воды источников водоснабжения и зола, интенсивностью водообмена в системе гидрозолоудаления, соотношением оборотной и свежей воды, использованием тех или иных реагентов для водоподготовки и чистки котлоагрегатов и другими факторами. В зависимости от этого в воде доминирует любой из трех основных анионов, тогда как в составе катионов преобладает кальций или натрий.

Наиболее высокие содержания сульфатов, фторидов и кремния отмечаются в ГЗШО Читинской ТЭЦ-1. Существенно ниже они в других сооружениях, исследуемых здесь, что, вероятно, связано с разным объемом сжигаемого топлива и способом сжигания.

Микрокомпонентный состав золоотвалов характеризуется сходным набором элементов, концентра-

ции которых не соответствуют нормативу. Это бор, литий, мышьяк, железо и марганец. Кроме того, превышают норматив в ГЗШО: Читинских ТЭЦ – сурьма, Читинской ТЭЦ-1 – бром и вольфрам, Шерловогорской ТЭЦ – бром. Повышены, близки к ПДК или в отдельные сроки превышают ее концентрации ванадий, молибден, селен, стронций, алюминий, хром. Содержания этих элементов (кроме алюминия и сурьмы) значительно выше в отстойнике Читинской ТЭЦ-1.

Концентрации таких металлов, как медь, цинк, свинец, никель, кобальт, в водах отстойников низкие, что, вероятно, обусловлено щелочной средой, высокие значения pH которой ограничивают накопление элементов вследствие образования слаборастворимых гидроксидов [Перельман, 1989]. Исключение составляют ванадий, мышьяк, молибден, хром и т.д., проявляющие в условиях щелочной среды анионогенные свойства.

На основании проведенного исследования можно констатировать, что при определенных условиях вследствие большего объема сжигаемого угля и, следовательно, накапливаемых ЗШО, высоких содержаний загрязняющих компонентов в фильтрационных водах, наиболее вероятным источником загрязнения может являться золоотвал Читинской ТЭЦ-1. Учитывая, что степень фильтрации из ГЗШО под воздействием разных факторов (изменение фильтрационных характеристик пород ложа золоотвала в результате деградации многолетней мерзлоты под влиянием высокотемпературных вод или механического нарушения их целостности; смена режима и состава подземных вод близлежащих подземных горизонтов и т.д.) может меняться со временем, поверхностные и подземные водные объекты, находящиеся в зоне влияния таких сооружений, изначально подвержены экологическому риску.

ЛИТЕРАТУРА

- Абакумова В.Ю.** Влияние водопользования в теплоэнергетике Забайкальского края на водные объекты // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2009. № 2. С. 46–50.
- Алексеева Т.Е., Гольдина Т.М.** Некоторые аспекты мониторинга состояния золошлакоотвалов ТЭС и объектов природной среды в зоне их воздействия // Теплоэнергетика. 2004. № 12. С. 29–33.
- Делицын Л.М., Ежова Н.Н., Власов А.С., Сударева С.В.** Золоотвалы твердотопливных тепловых электростанций как угроза экологической безопасности // Экология промышленного производства. 2012. № 4. С. 15–26.
- Замана Л.В., Аскарлов Ш.А., Усманова Л.И., Усманов М.Т., Чебыкин Е.П.** Загрязнение подземных и поверхностных вод в зоне влияния фильтрационных утечек гидрозолоотвала Читинской ТЭЦ-1 // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов : материалы XX Междунар. науч.-практ. конф. (30 ноября – 04 декабря 2020 года, г. Чита) : в 3 ч. Чита : Забайкальский государственный университет, 2020. С. 78–82.
- Злобина В.Л., Медовар Ю.А., Юшманов И.О.** Трансформация состава и свойств подземных вод при изменении окружающей среды. М. : Мир науки, 2017. 191 с.
- Касимов Н.С., Власов Д.В.** Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2015. № 2. С. 7–17.
- Мязина В.И.** Эколого-технологическая оценка золошлаковых отходов тепловых электростанций Восточного Забайкалья // Дис. ...канд. техн. наук. Чита, 2004. 189 с.
- Перельман А.И.** Геохимия : учебник. М. : Высшая школа, 1989. 528 с.
- Усманова Л.И.** Гидрогеохимическая характеристика вод зоны влияния гидрозолоотвала Читинской ТЭЦ-1 // Успехи современного естествознания. 2019. № 11. С. 166–172.

Целюк Д.И. Особенности техногенного воздействия золоотвалов Средней Сибири на подземные воды : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2009. 24 с.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург : Уральское отделение РАН, 2005. 648 с.

Bera A. Impact of Bandel Thermal Power Plant (BTPS) on Hugli River, Hugli, West Bengal // International Journal of Scientific Research. 2016. V. 5, is. 4. P. 1–5.

Humbarde Smita V., Panaskar D.B.F., Pawar R.S. Impact of Indiscriminate Disposal of Waste from Thermal Power Plant on Groundwater Resources // Universal Journal of Environmental Research and Technology. 2013. V. 3, is. 6. P. 630–640.

Pokale W.K. Effects of thermal power plant on environment // Scientific Reviews and Chemical Communications. 2012. V. 2, is. 3. P. 212–215.

Авторы:

Усманова Лариса Ивановна, младший научный сотрудник, лаборатория геоэкологии и гидрогеохимии, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: larisaum@mail.ru

Замана Леонид Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория геоэкологии и гидрогеохимии, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: l.v.zamana@mail.ru

Geosphere Research, 2021, 2, 87–100. DOI: 10.17223/25421379/19/8

L.I. Usmanova, L.V. Zamana

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia

COMPARATIVE ECOLOGICAL AND HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF HYDRAULIC ASH AND SLAG DUMPS OF HEAT POWER STATIONS OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX OF THE EASTERN TRANSBAIKALIA

Based on the results of chemical-analytical work carried out in the framework of monitoring the geological environment at the sites for the disposal of ash dumps at the TPPs of East Transbaikalia, the hydrochemical characteristic of the settling ponds is given, which makes it possible to assess potentially dangerous objects of pollution of natural waters. To perform analyzes of water samples, generally accepted standardized methods for determining the components were used.

The chemical composition of the objects of study varies in basic hydrochemical parameters, degree of mineralization and hardness. The waters of the facilities are alkaline with a pH greater than 7.5. Calcium and sulfate predominate in the cationic-anion composition of ash dumps of the Chitinskaya TPPs, Sherlovogorskaya TPP – chloride and sodium, Priargunskaya TPP – bicarbonate and calcium or sodium. The highest concentrations of sulfates, fluorides, silicon, hardness value and degree of mineralization are noted in the ash dump of the Chitinskaya TPP-1. Maximum values here are: sulfates – 724.5 mg/l, fluorides – 14.8 mg/l, silicon – 20.8 mg/l, hardness – 23.2 mEq/l. The degree of mineralization of the settler waters is more than 1 g/l. The ash dump of the Chitinskaya TPP-2 is the least mineralized of the studied objects. The smallest amount of hardness is noted in the settling pond of the Sherlovogorskaya TPP. In the filtration waters of the ash dump of the Priargunskaya TPP, a significant increase in the chlorine content is noted as a result of the removal from the ash with which it is enriched; during filtration, manganese and iron are also intensively removed. Data on trace elements determined by the method of mass spectrometry with inductively coupled plasma are not available for this object.

In clarified water of ash dumps, concentrations of boron, lithium, iron, manganese, arsenic exceed the maximum permissible standards. In addition, there is an excess of MPC in ash dumps: Chitinskaya TPPs – barium and antimony, Chitinskaya TPP-1 – bromine and tungsten, Sherlovogorskaya TPP – bromine and aluminum. Close to the maximum permissible concentration or in some periods exceed the contents of vanadium, molybdenum, selenium, antimony, strontium, aluminum, tungsten, chromium. Their highest concentrations, with the exception of aluminum, antimony, and uranium, are contained in the settler of the Chitinskaya TPP-1. Alkaline environmental conditions limit the accumulation of heavy metals – copper, lead, nickel, cobalt, etc.

Keywords: *heat power engineering, settling pond, ash and slag deposits, infiltration, chemical composition*

References

Abakumova V.Yu. *Vliyaniye vodopol'zovaniya v teploenergetike Zabaykal'skogo kraya na vodnye ob'ekty* [The effect of water use in thermal energy sphere in the Transbaikalia region on the local water bodies] // Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya. 2009. No 2. pp. 46–50. In Russian

Alekseeva T.E., Gol'dina T.M. Certain aspects of monitoring the state of ash and slag dumps at thermal power stations and of the components of the natural environment in their zone of influence // Thermal Engineering. 2004. V. 51. No 12. pp. 974–978.

Delitzin L.M., Ezhova N.N., Vlasov A.S., Sudareva S.V. *Zolootvaly tverdotoplivnykh teplovykh elektrostantsiy kak ugroza ekologicheskoy bezopasnosti* [Ash disposal areas of coal's power stations as the threat to environmental safety] // Ekologiya promyshlennogo proizvodstva. 2012. No 4. pp. 15–26. In Russian

Zamana L.V., Askarov Sh.A., Usmanova L.I., Usmanov M.T., Chebykin E.P. *Zagryaznenie podzemnykh i poverkhnostnykh vod v zone vliyaniya fil'tratsionnykh utechek gidrozolootvala Chitinskoy TETs-1* [Pollution of underground and surface water in the area of influence of filter leaks of the hydraulic ash dump of Chitinskaya TPP-1] // Kulaginskies chteniya: tekhnika i tekhnologii proizvodstvennykh protsessov: materialy XX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (30 noyabrya – 04 dekabrya 2020 goda, g. Chita). V 3-kh chastyakh. Chita: Izdatel'stvo: Zabaykal'skiy gosudarstvennyy universitet, 2020. pp. 78–82. In Russian

Zlobina V.L., Medovar Yu.A., Yushmanov I.O. *Transformatsiya sostava i svoystv podzemnykh vod pri izmenenii okruzhayushchey sredy: monografiya* [Transformation of the composition and properties of groundwater under environmental changes] Monograph. Moscow: OOO Izdatel'stvo «Mir nauki», 2017. 191 p. In Russian

Kasimov N.S., Vlasov D.V. *Klarki khimicheskikh elementov kak etalony sravneniya v ekogeokhimii* [Clarkes of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry] // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya. 2015. No 2. pp. 7–17. In Russian

Myazina V.I. *Ekologo-tehnologicheskaya otsenka zoloshlakovykh otkhodov teplovykh elektrostantsiy Vostochnogo Zabaykal'ya* [Ecological and technological assessment of ash and slag waste from thermal power plants in East Transbaikalia]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Chita, 2004. 22 p. In Russian

Perel'man A.I. *Geokhimiya: Uchebnik*. [Geochemistry: Textbook]. Moscow: Vysshaya shkola, 1989. 528 p. In Russian

Usmanova L.I. *Gidrogeokhimicheskaya kharakteristika vod zony vliyaniya gidrozolootvala Chitinskoy TETs-1* [Hydrogeochemical characteristics of the waters of influenced zone of the Chitinskaya TPP-1 ash dump] // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2019. No 11. pp. 166–172. In Russian

Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Toksichnye jelementy-primesi v iskopaemyh ugljah* [Toxic Trace Elements in Coal]. Ural'skoe otdelenie RAN, 2005. 648 p. In Russian

Bera A. Impact of Bandel Thermal Power Plant (BTPS) on Hugli River, Hugli, West Bengal // International Journal of Scientific Research. 2016. V. 5. Iss. 4. pp. 1–5.

Humbarde Smita V., Panaskar D. B.F., Pawar R.S. Impact of Indiscriminate Disposal of Waste from Thermal Power Plant on Groundwater Resources // Universal Journal of Environmental Research and Technology. 2013. V. 3. Iss. 6. pp. 630–640.

Pokale W. K. Effects of thermal power plant on environment // Scientific Reviews and Chemical Communications. 2012. V. 2. Iss. 3. pp. 212–215.

Author's:

Usmanova Larisa I., Junior Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia.

E-mail: larisaum@mail.ru

Zamana Leonid V., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia.

E-mail: l.v.zamana@mail.ru

МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ

УДК 551.583

ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДКОВ И ДИНАМИКА СНЕЖНОСТИ В ГОРАХ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ

М.М. Адаменко¹, Я.М. Гутак¹, И.П. Треньков²



¹ Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

² Государственный природный заповедник «Кузнецкий Алатау», Междуреченск, Россия

Производится анализ изменений годового количества осадков и снежности центральной части гор Кузнецкого Алатау на основе данных метеостанций и снегомерных исследований с 1960 по 2020 г. Выявлен устойчивый тренд увеличения осадков. Установлена закономерность: в Кузнецком Алатау за последние 30 лет в среднем 40 % осадков от годовой суммы накапливается в снежном покрове и 60 % выпадает преимущественно в жидкой фазе. Выявлено, что в субальпийской зоне наветренных западных и юго-западных склонов в снежном покрове накапливается до 1 800 мм в слое воды. Результаты указывают на состоятельность мнения П.С. Шпина, утверждавшего, что величина годового количества осадков в горах Кузнецкого Алатау достигает 3 000–3 500 мм в год и более.

Ключевые слова: изменение климата, увеличение осадков, снегомерные исследования

Введение

Изменение режима выпадения осадков, их объема или периодичности в настоящее время отмечается повсеместно, в том числе и для территории Сибири. Оценка пространственно-временной изменчивости стока рек Республики Алтай показала, что изменение стока «в значительно мере обусловлено возросшей в настоящее время, пространственной и временной неоднородностью в выпадении осадков» [Аванесян, 2013, с. 19]. Для Западно-Сибирской равнины выявлен рост среднегодового количества осадков со скоростью до 17,8 мм/10 лет в зоне лесостепи и отмечено увеличение с 1970-х гг. повторяемости случаев аномально большого среднегодового количества осадков [Евсеева, Филандышева, 2016]. Для верховьев бассейна р. Томь с 1983 г. наблюдается значительный рост величин снегозапасов с интенсивностью 30–56 мм/10 лет [Вершинина, 2017]. В горах Кузнецком Алатау отмечается рост годовых сумм осадков за последние 40 лет, с интенсивностью до 80 мм/10 лет [Адаменко и др., 2017].

Текущие климатические изменения создают повышенные экологические риски, особенно в условиях имеющейся недоизученности климатических особенностей отдельных территорий Сибири. К таковым относятся горы Кузнецкого Алатау, отличающиеся аномально большим количеством осадков. Ввиду субмеридионального простиражения горной структуры, она является естественным барьером на пути циклонов и усиливает циклоническую деятельность. На распределение осадков в пределах

западного макросклона Кузнецкого Алатау большое влияние оказывают также локальные факторы, а именно соответствие ориентировки речных долин и хребтов с направлением адвективных потоков, что способствует возникновению сильных восходящих токов воздуха, интенсивному развитию процессов конденсации и отдаче влаги на сравнительно небольшой территории.

Активное развитие туризма в горах Кузнецкого Алатау, в том числе и в зимнее время (пос. Приисковый; туристический район «Поднебесные Зубья»), в условиях отсутствия понимания климатических особенностей региона способствует росту количества несчастных случаев. Анализ несчастных случаев, произошедших за последние годы, показал, что большинство было вызвано снежным покровом или опасными метеорологическими явлениями, связанными с выпадением осадков. В связи с обозначенной проблемой в данной статье производится анализ происходящих изменений внутригодового распределения осадков и динамики снежности в горах Кузнецкого Алатау.

Материалы и методы исследований

В ходе работы были проанализированы следующие материалы.

1. Данные по месячным и годовым суммам осадков приземного слоя воздуха из базы данных ВНИИГМИ-МЦД [Булыгина и др., 2020] по гидрометеорологической станции (ГМС) «Ненасная» за период наблюдений с 1934 по июнь 2019 г.

2. Первичные данные наблюдений по ежедневным объемам осадков из открытой базы данных портала Метеоцентр [Метеоцентр..., 2020] по ГМС «Центральный рудник» и «Ненастная» за 2019 г.

3. Данные справочников по климату СССР [Справочник по климату СССР, 1956; Научно-прикладной справочник..., 1990].

4. Результаты снегомерных работ, проводимых в заповеднике «Кузнецкий Алатау» в бассейне р. Средняя Терсь в 2011–2020 гг. В статье приводятся данные по трем снегопунктам, отличающихся наибольшей перио-

дичностью измерений (KUZ-VTR-1-SDG-2 «Кордон Верхняя Терсь», KUZ-VTR-1-SDG-1 «Метеостанция», KUZ-VTR-2-SDG-1 «Рыбное»).

5. Суточные данные о высоте снежного покрова из базы данных ВНИИГМИ-МЦД по ГМС «Ненастная» за период наблюдений с 2011 по 2020 г. [Булыгина и др., 2020].

При обработке данных применены методы математической статистики (линейной и нелинейной регрессии, корреляционный анализ и др.). Географическое расположение объектов исследования представлено на рис. 1.

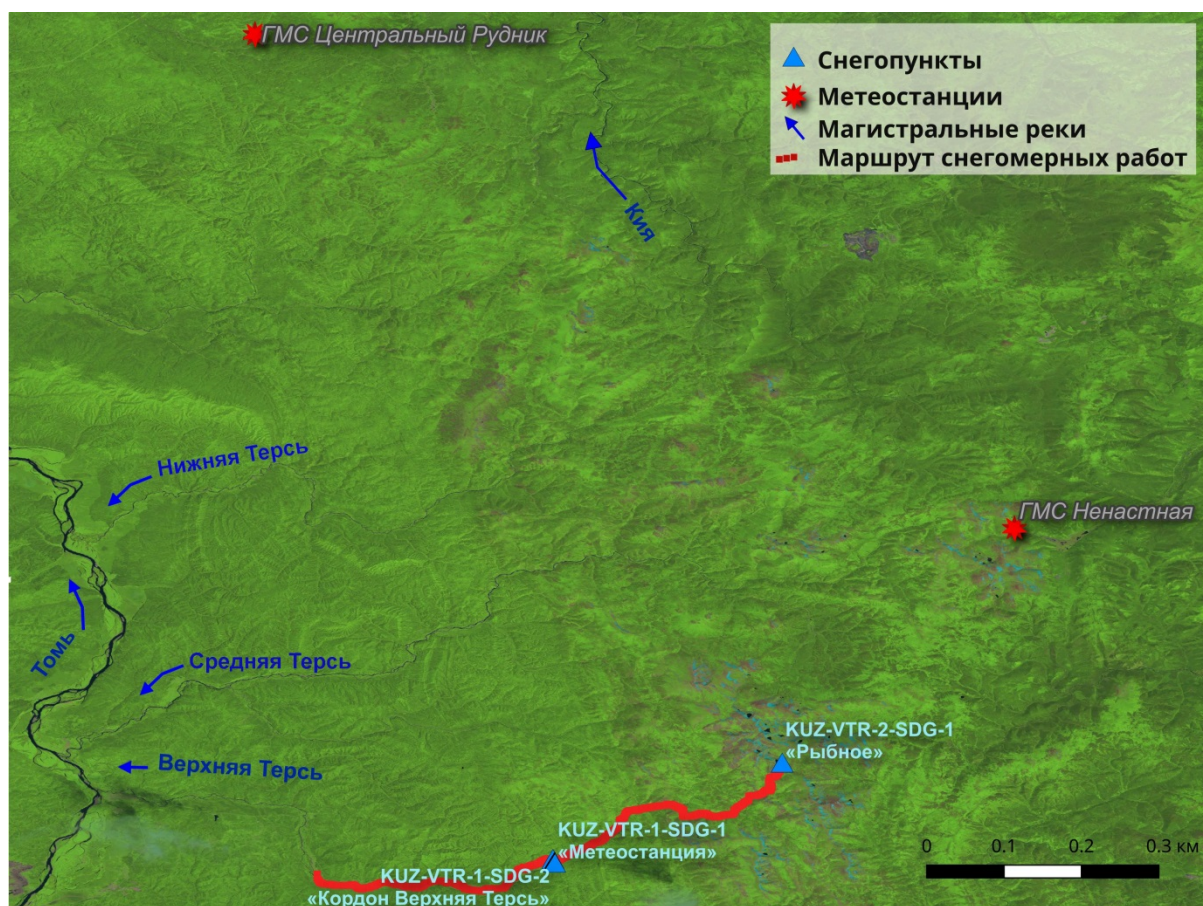


Рис. 1. Район исследования

Fig. 1. Objects and sites locations

Результаты и обсуждения

В предгорьях западного макросклона Кузнецкого Алатау годовая сумма осадков оценена как 800 мм/год [Ресурсы..., 1972]. Поднимаясь к осевому водоразделу, количество осадков увеличивается. При этом имеющиеся в литературе данные о количестве осадков в водораздельной зоне Кузнецкого Алатау сильно разнятся. Максимальное годовое количество осадков в обозначенном районе неизвестно и в разных трудах оценива-

ется по-разному. В «Ресурсах поверхностных вод СССР» – до 1 500 мм/год [Ресурсы..., 1972, с. 15, 16]; расчетным методом по модулю стока – до 2 190 мм/год [Шпинь, 1971, с. 165]; по результатам снегомерных съемок в южной части западного склона Кузнецкого Алатау – до 3 000 мм/год и более [Шпинь, 1975, с. 87].

В пределах горной системы Кузнецкого Алатау в настоящее время функционируют две метеостанции: «Центральный рудник» и «Ненастная», которые расположены в предгорьях и на восточном (подветрен-

ном) склоне. Их наблюдения не позволяют оценить максимально возможное количество осадков в горах Кузнецкого Алатау, которое выпадает на западном склоне вблизи водоразделов осевых хребтов и массивов. При выявленных недостатках описываемые метеостанции отличаются длительной периодичностью наблюдений и расположены в пределах территории, слабо охваченной хозяйственной деятельностью человека, на значительном удалении от крупных населенных пунктов и промышленных центров. Это делает их репрезентативными при оценке происходящих климатических изменений.

На восточном макросклоне в приводораздельной зоне расположена ГМС «Ненастная» (поселок Приис-

ковое, абс. высота 1 178 м н. у. м.), которая ведет наблюдения с 1934 г. На западном макросклоне на абс. высоте 495 м н. у. м. расположена ГМС «Центральный Рудник», которая ведет наблюдения с 1937 г. В открытом доступе специализированных массивов для климатических исследований представлены данные ГМС «Ненастная» за весь период наблюдений. Для ГМС «Центральный Рудник» в открытом доступе имеются результаты метеорологических наблюдений только за 2019 г.

Для имеющегося массива данных (весь 2019 г.) по двум ГМС был произведен корреляционный анализ режима выпадения осадков, результаты которого представлены на рис. 2.

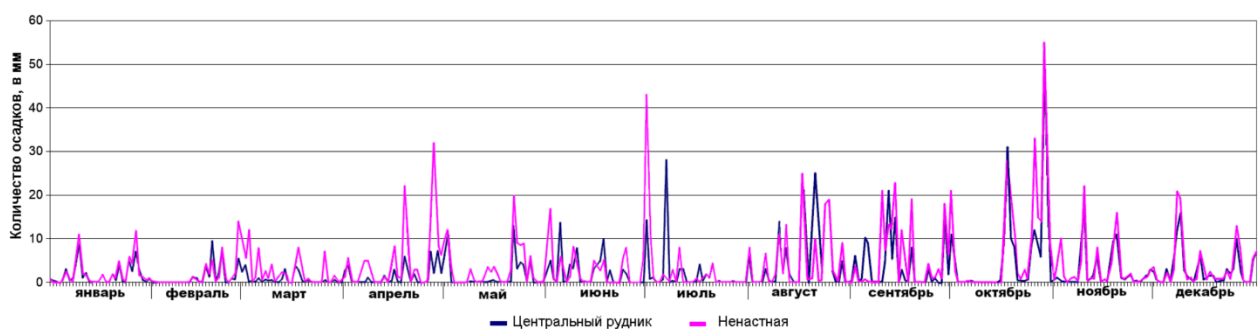


Рис. 2. Совмещенный график суточных сумм осадков по ГМС «Центральный рудник» и «Ненастная» (за 2019 г. по суткам)

Fig. 2. Combined graph of daily precipitation amounts by weather stations “Central Rudnik” and “Nenastnaya” (for 2019 by days)

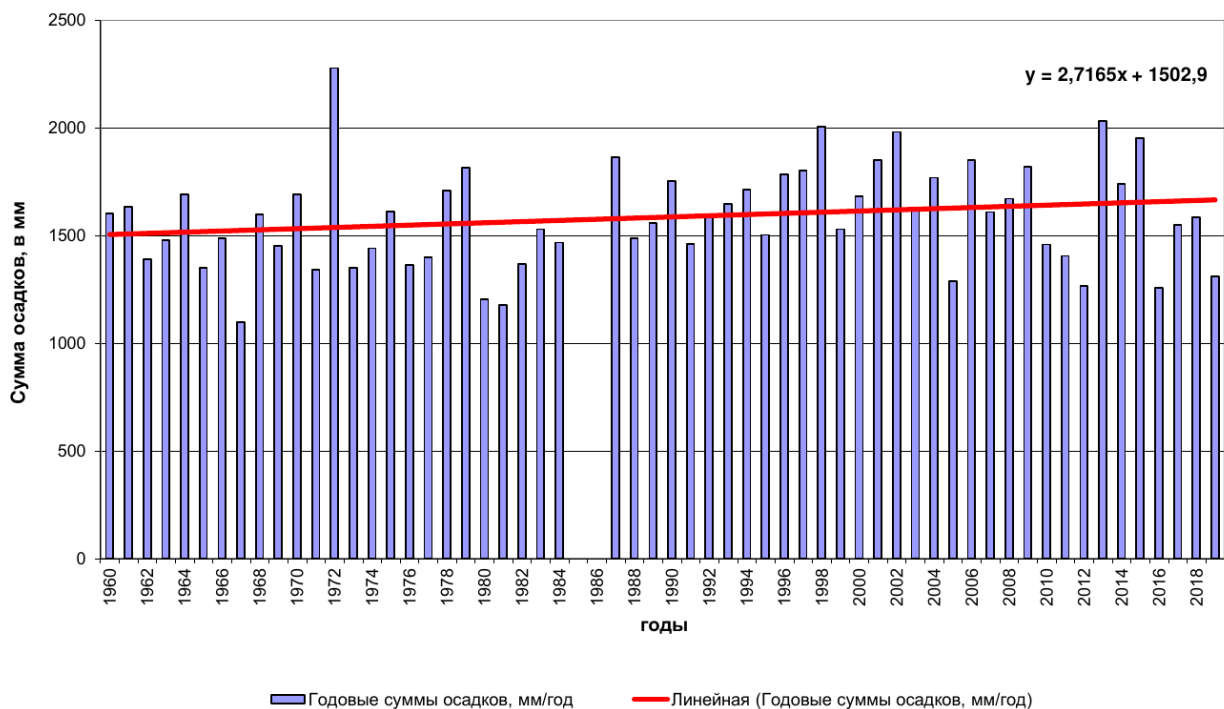


Рис. 3. Многолетний ход годовых сумм осадков по ГМС «Ненастная» с 1960 по 2019 г.

Fig. 3. Long-term variation of annual precipitation amounts according to “Nenastnaya” weather station, from 1934 to 2019

Таблица 1

**Сводные данные о динамике выпадения осадков в горах Кузнецкого Алатау в XX–XXI вв.
(по данным ГМС Ненастная)**

Table 1

**Summary data about the dynamics of precipitation in the Kuznetsk Alatau mountains in the XX–XXI centuries
(according to the data of «Nenastnaya» weather station)**

Показатель	Месяц												За год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Значения за период 1936–1950 гг. (по : [Справочник по климату СССР, 1956])													
Среднемесячные и среднегодовые осадки, мм	9	6	14	40	101	135	131	119	123	50	15	11	755
Коэффициент вариации месячного и годового количества осадков	1	0,6	0,7	0,3	0,4	0,2	0,4	0,4	0,5	0,8	0,6	0,7	0,2
Значения за период 1950–1980-х гг. (по: [Научно-прикладной справочник по климату СССР, 1990])													
Среднемесячные и среднегодовые осадки, мм	118	88	96	90	124	126	133	135	130	134	186	147	1507
Коэффициент вариации месячного и годового количества осадков	0,47	0,65	0,40	0,43	0,45	0,35	0,41	0,33	0,48	0,32	0,42	0,54	0,44
Значения за период 1990–2019 гг. (по: [Булыгина и др., 2020])													
Среднемесячные и среднегодовые осадки, мм	112,9	90,6	118,2	134,3	137,6	124,0	117,5	134,9	151,0	195,7	179,5	154,5	1650,7
Коэффициент вариации месячного и годового количества осадков	0,57	0,54	0,51	0,46	0,56	0,35	0,35	0,47	0,40	0,32	0,31	0,48	0,13

Режим выпадения осадков по суткам на ГМС «Ненастная» и «Центральный рудник» отличается высокой синхронностью: коэффициент корреляции для всего массива данных составляет 0,75. Анализ по месяцам показывает, что наибольшая синхронность в выпадении осадков прослеживалась в январе, мае, августе, октябре, ноябре и декабре (коэффициенты в пределах 0,83–0,94). При этом для марта и июля корреляция слабая (0,34 и 0,12 соответственно). Вероятно, распределение осадков в марте и июле определяется в Кузнецком Алатау локальными факторами. Анализа в рамках одного года явно недостаточно для выявления количественных зависимостей, но выявленная синхронность в выпадении осадков указывает на допустимость экстраполяции данных по ГМС «Ненастная» (расположенной в зоне осевого водораздела) и для западного макросклона гор Кузнецкого Алатау. В прошлых работах [Адаменко и др., 2017] мы доказывали, что ГМС «Ненастная» подходит для оценки динамики температурного режима гляцио-ниваальной зоны Кузнецкого Алатау в летний период.

В табл. 1 представлены данные среднемноголетних месячных и годовых сумм осадков по ГМС «Ненастная» по трем временным периодам: 1936–1950-е; 1950–1980-е и 1990–2019-е гг. Результаты

свидетельствуют о происходящем в XX–XXI столетиях увеличении осадков. Период наблюдений (с 1934 по 1953 г.) отличается существенно меньшими годовыми суммами осадков, чем за последующие периоды. Усредненные годовые осадки за период 1936–1950 гг. составляют 755 мм/год, а за период 1950–1980 гг. – уже 1 507 мм/год (почти в 2 раза больше). Данная особенность, вероятно, обуславливается несовершенством системы метеонаблюдений в этот период. В «Справочнике по климату СССР» для рассматриваемой метеостанции отмечается, что наблюдения над осадками проводились дождемерами с воронкообразной защитой [Справочник..., 1956]. Кроме того указывается, что «до 1941 г. за холодный период суммы преуменьшены вследствие выдувания осадков» [Справочник..., 1956, с. 29].

Действительно, месячные суммы осадков холодного периода с 1941 г. увеличиваются в среднем на 1–12 мм. Как отмечает С.Ю. Гаврилова, в первой половине 1950-х гг. на метеостанциях СССР производилась замена дождемера на осадкомер конструкции Третьякова, что привело к нарушению климатологической однородности временных рядов осадков [Гаврилова, 2010]. По данным Ц.П. Швера, максимальный недоучет в месячных суммах твердых осад-

ков по дождемеру составлял более 60–70 % от показаний осадкомера [Швер, 1965].

В литературе имеется ряд публикаций, косвенно указывающих, что выявленный факт увеличения осадков в горах Кузнецкого Алатау с середины 1950-х гг. отражает многолетние циклы в изменении режимов увлажнения для Западной Сибири. Для зоны лесостепи Западной Сибири внутри периода 1930–1940-х гг. отмечается несколько циклов с преобладанием режима недостаточного увлажнения [Евсеева, Филандышева, 2016]. Период 1950-х гг. был неблагоприятным для развития оледенения Кузнецкого Алатау, в особенности 1950–1953 гг. [Шпинь, 1971, с. 167]. В период с 1954 по 1971 г. отмечалось увеличение снежности гор Кузнецкого Алатау в сравнении с предыдущими годами [Шпинь, 1971, с. 167]. Решить данный научный вопрос мог бы анализ парных фотографий гляциальных объектов.

В связи со спорностью данных ГМС «Ненастная» в период наблюдений с 1934 по 1954 г., при расчете климатического тренда брались данные с 1960 г. На рис. 3 представлена динамика годовых сумм осадков с 1960 г., по данным которых рассчитан линейный тренд. При этом из выборки исключены 1985 и 1986 гг., так как в этот период годы имеется нарушение целостности наблюдений – наблюдения не велись в течение двух и трех месяцев соответственно. Даже если не брать в расчет данные наблюдений до 1960-х гг. при анализе динамики годовых сумм осадков по ГМС «Ненастная» отмечается устойчивый растущий тренд. Если средняя годовая сумма осадков в середине XX в. составляла 1 507 мм [Научно-прикладной справочник..., 1990], то за период 1990–2019 гг. уже 1650,7 мм.

Таким образом, можно утверждать, что на протяжении второй половины XX – начала XXI в. в горах Кузнецкого Алатау произошло значительное увеличение годового количества осадков. Анализ изменений во внутригодовом распределении осадков показал, что в XXI в. произошло небольшое процентное увеличение осадков теплого периода (с апреля по октябрь) в сравнении со второй половиной XX в. По средним значениям 1950–1980 гг. за теплый период года (IV–X месяцы) выпадало около 57 %, в то время как «зимние» осадки (с ноября по март) составляли 42 % от годовой суммы. Средние значения последних 30 лет (с 1990 по 2019 г.): в холодный период (XI–III месяцы) выпадает 39 %, а в теплый – 60 % от годовой суммы. В настоящее время для гор Кузнецкого Алатау можно установить закономерность, что около 40 % осадков от годовой суммы накапливается в снежном покрове, в то время как 60 % выпадает преимущественно в жидкой фазе. На фоне повсеместно увеличивающихся годовых температур смещение осадков в сторону жидких выступает логичным.

Выявленные закономерности в распределении осадков в горах Кузнецкого Алатау позволяют использовать данные снегомерных работ для решения ряда теоретических и практических задач, связанных с мониторингом осадков на западных склонах гор Кузнецкого Алатау, где выпадает наибольшая годовая сумма осадков для всей Западной Сибири [Ресурсы..., 1972, с. 15]. С 2011 г. Государственный заповедник «Кузнецкий Алатау» в сотрудничестве с Институтом горного дела и геосистем Сибирского государственного индустриального университета проводит систематические наблюдения за снежным покровом в этом районе. Это единственные в своем роде исследования для обширной территории всего западного макросклона гор Кузнецкого Алатау.

Снегомерные работы проводятся по стандартной методике [Быков, Попов, 2011]. Районом проведения ежегодных исследований является бассейн р. Верхняя Терсь, охватывающий Канымское нагорье. В ходе полевых работ изучаются особенности снегонакопления в горах Кузнецкого Алатау, производится описание снежной толщи и определение плотности снега с дальнейшим расчетом водозапаса на снегопунктах. Снегомерный маршрут имеет протяженность 52 км. Работы проводятся в первой декаде – середине марта. За прошедшие 10 лет исследований количество снегопунктов на снегомерном маршруте из года в год увеличивалось, при этом оценивалась репрезентативность заложенных снегопунктов и отбирались наиболее показательные. В настоящее время снегомерный маршрут в долине Верхней Терси сформирован и включает девять снегопунктов, которые равномерно расположены по долине от среднего течения до верховьев и наиболее показательно отображают особенности снегонакопления на западном склоне Кузнецкого Алатау.

Для анализа годовой изменчивости характеристик снежного покрова в горах Кузнецкого Алатау в 2011–2020 гг. использовались результаты наблюдений по трем снегопунктам на западном макросклоне: KUZ-VTR-1-SDG-2 «Кордон Верхняя Терсь», KUZ-VTR-1-SDG-1 «Метеостанция», KUZ-VTR-2-SDG-1 «Рыбное». Результаты полевых исследований сравнивались с наблюдениями за снежным покровом по ГМС «Ненастная» из базы данных ВНИИГМИ-МЦД [Булыгина и др., 2020]. С целью исключить влияние отдельных снегопадов была рассчитана средняя высота снежного покрова за 1–2 декаду марта. Именно в этот период проводились снегомерные исследования в заповеднике «Кузнецкий Алатау».

Снегопункты KUZ-VTR-1-SDG-2 «Кордон Верхняя Терсь» и KUZ-VTR-1-SDG-1 «Метеостанция» расположены в одной ландшафтной зоне предгорий на левом борте долины р. Верхняя Терсь, 319 и 397 м н. у. м. соответственно.

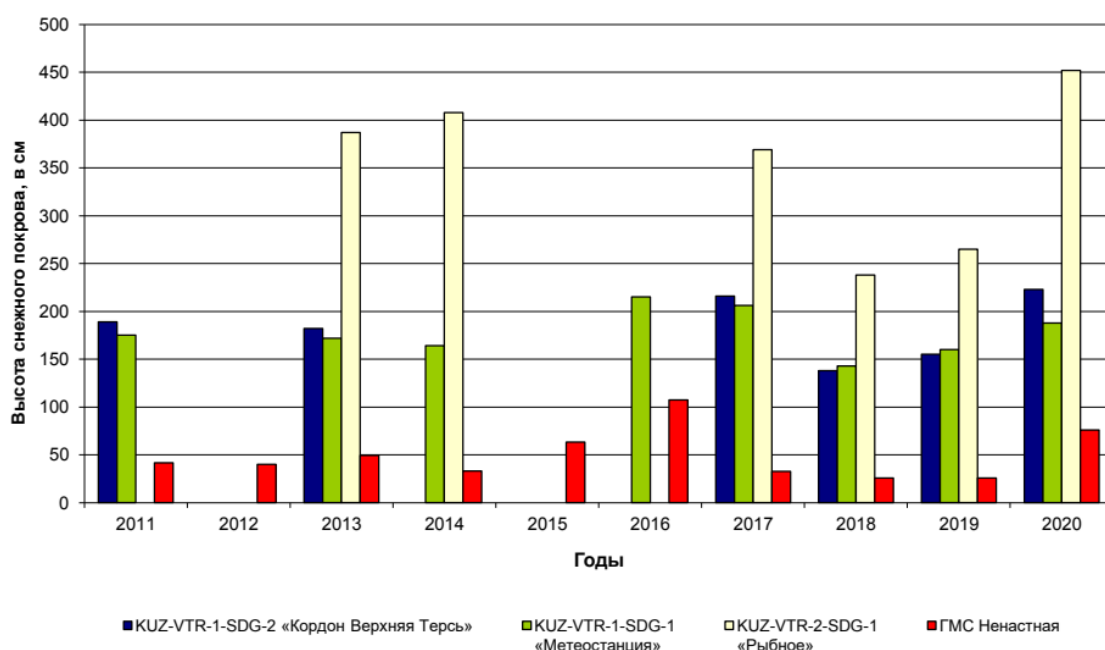


Рис. 4. Изменение высоты снежного покрова в горах Кузнецкого Алатау в 2011–2020 гг.

Fig. 4. Dynamics of the snow cover height in the Kuznetsk Alatau Mountains in 2011–2020

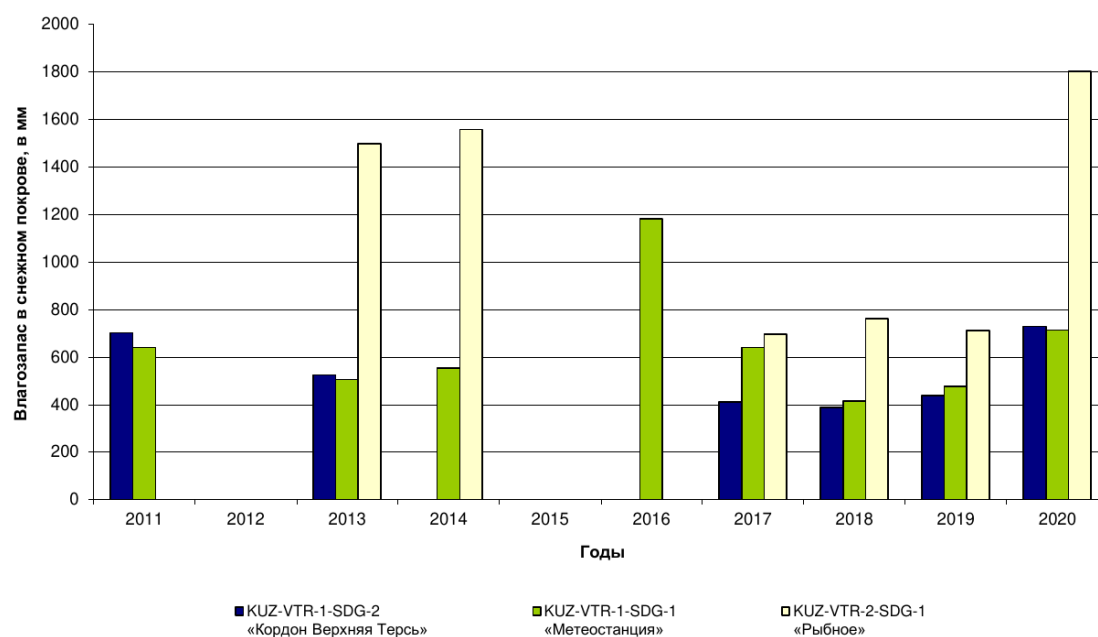


Рис. 5. Динамика влагозапаса в снежном покрове в горах Кузнецкого Алатау в 2011–2020 гг.

Fig. 5. Dynamics of water content in the snow cover in the Kuznetsk Alatau Mountains in 2011–2020

Первый снежок заложен на взлеске смешанного пихтово-березового леса, второй – на окраине заболоченной поляны размером около 1 000 м². Расстояние между снежками по прямой – около 500 м. Из лесобразующих пород здесь преобладают береза повислая, пихта сибирская, сосна сибирская, в подлеске встречается калина.

Снежок KUZ-VTR-2-SDG-1 «Рыбное» расположен на абсолютной высоте 1 029 м н. у. м. на левом борте карового озера с одноименным названием, в приводораздельной зоне западного (наветренного) макросклона гор Кузнецкого Алатау. Шурф заложен на открытой заболоченной поляне, общей экспозиции вниз по долине р. Верхняя Терсь. Ландшафты

представлены верховыми болотами, субальпийскими лугами и среднегорными смешанными березово-пихтово-кедровыми лесами.

Сравнение динамики высоты снежного в 2011–2020 гг., по данным снегомерных наблюдений авторов и по ГМС «Ненастная», показало положительную зависимость. Коэффициент корреляции между высотой снежного покрова на ГМС «Ненастная» и снегопунктом KUZ-VTR-1-SDG-1 «Рыбное» (ближайшим к метеостанции) – 0,77; с снегопунктом KUZ-VTR-1-SDG-1 «Метеостанция» (наиболее длинный ряд наблюдений) – 0,71.

Диаграммы, отражающие динамику высоты снежного покрова и водозапаса покрова в горах Кузнецкого Алатау в 2011–2020 гг., представлены на рис. 4, 5. В целом высота снежного покрова и водозапас на западном макросклоне Кузнецкого Алатау напрямую зависят от абсолютной высоты снегопункта. От предгорий к осевому водоразделу с повышением высоты места увеличивается высота снежного покрова и водозапас в нем. В приводораздельной части выше абсолютных 1 400 м н. у. м. высота снежного покрова резко уменьшается. На накопление снега здесь влияет метелевый перенос на подветренный склон, активность которого варьируется от года к году. В отдельные годы, например в 2019 г., снежный покров с гольцов полностью сдувался, обнажив каменные россыпи. В водораздельной зоне, ближе к восточному макросклону, где расположена ГМС «Ненастная», высота снежного покрова существенно ниже, чем на западном (см. рис. 4). Так, высота снежного покрова на метеостанции «Ненастная» (пос. Приисковое, абс. высота 1178 м н. у. м.) – это всего лишь 15–18 % от высоты снежного покрова на снегопункте Рыбное (западный макросклон 1 029 м н. у. м.) за аналогичный год, хотя расстояние между этими объектами по прямой всего 41 км.

Оценивая цикличность изменений водозапаса в снежном покрове можно отметить, что наиболее снежными были 2013, 2016 и 2020 гг. В 2020 г. зафиксирована наибольшая высота снежного покрова и наибольший водозапас за все 10 лет снегомерных исследований на западном макросклоне. Сравнение результатов наблюдений 2020 г. с данными 2019 г. показало, что по девяти снегопунктам среднее значение высоты снежного покрова в 2020 г. выше на 61,7 см, а среднее значение водозапаса больше на 357,5 мм, чем в 2019 г. Зафиксированный во второй декаде марта 2020 г. водозапас на снегопункте KUZ-VTR-2-SDG-1 «Рыбное» составил 1801,5 мм, что

соответствует среднегодовому количеству осадков для западных и юго-западных склонов Канымского нагорья по данным Справочника по климату СССР. В 2015 г. снегомерные работы были сорваны плохими погодными условиями, однако по данным ГМС «Ненастная» видно, что этот год также отличался повышенной снежностью. Косвенно на это также указывают результаты исследования малых ледников района [Адаменко и др., 2017].

Заключение

Анализ динамики годовых объемов осадков по ГМС «Ненастная» показывает в горах Кузнецкого Алатау их устойчивый растущий тренд. Наибольшее увеличение осадков произошло с 1934 по 1955 г. Среднегодовые осадки за последние 30 лет (1990–2019 гг.) составляют 1650,7 мм/год. Это более чем в 2 раза больше, чем фиксировалось в первой половине XX столетия.

Результаты снегомерных работ в долине р. Верхняя Терсь также подтверждают факт значительного большего количества осадков в горах Кузнецкого Алатау, чем считалось ранее. Во второй декаде марта 2020 г. водозапас в приводораздельной зоне западного макросклона составил 1801,5 мм, что соответствует среднегодовому количеству осадков для западных и юго-западных склонов Канымского нагорья по данным Справочника по климату СССР.

Анализ процентного распределения осадков по месяцам внутри года в горах Кузнецкого Алатау показывает, что за холодный период года (с ноября по март) выпадает около 40 % от годовой суммы, в то время как в теплый период (с апреля по октябрь) – 60 %. Таким образом, расчетным методом можно предположить, что годовое количество осадков в 2020 г. может достичь 3 000 мм в год и более. По всей видимости, подтверждается мнение Петра Сергеевича Шпиня, который еще в 1970-х гг. утверждал, что максимальная величина годового количества осадков в горах Кузнецкого Алатау в отдельные годы достигает 3 000–3 500 мм и более.

Полученные данные расширили ряд наблюдений за снежным покровом в горах Кузнецкого Алатау. Наблюдения за снежным покровом в заповеднике «Кузнецкий Алатау» проводятся ежегодно в схожую декаду уже девятый год, что, вместе с анализом данных гидрометеостанций позволяет оценивать современную динамику изменения климата всего западного макросклона горного района.

ЛИТЕРАТУРА

- Аванесян Р.А. Пространственно-временные особенности формирования стока горных рек Алтая в условиях изменения природной среды : автореф... дис. канд. геогр. наук. Барнаул, 2013. 23 с.
- Адаменко М.М., Гутак Я.М., Антонова В.А. Изменение климата и размеров ледников в горах Кузнецкого Алатау в 1975–2015 гг. // Лед и Снег. 2017. Т. 57, № 3. С. 334–342.

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТ). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942. URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 01.10.2020).

Быков Н.И., Попов Е.С. Наблюдения за динамикой снежного покрова в ООПТ Алтае-Саянского экорегиона. Методическое руководство. Красноярск, 2011. 64 с.

Вершинина И.П. Геоэкологические условия формирования стока и прогнозы характеристик весеннего половодья реки Томи у города Томска : автореф. ... дис. канд. геогр. наук. Томск, 2017. 23 с.

Гаврилова С.Ю. Устранение неоднородности временных рядов атмосферных осадков и их использование для анализа изменений режима увлажнения на территории России : автореф. ... дис. канд. геогр. наук. СПб., 2010. 23 с.

Евсеева Н.С., Филандышева Л.Б. Динамические изменения климата и селективность развития природных процессов на территории Западно-Сибирской равнины // Геосферные исследования. 2016. № 1. С. 124–139.

Метеоцентр : метеорологический портал. URL: <http://meteoecenter.net/> (дата обращения: 01.10.2020).

Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Ч. 1–6. Вып. 21: Красноярский край и Тувинская АССР. Ч. 4: Влажность воздуха, атмосферные осадки и снежный покров. Л. : Гидрометеиздат, 1990. 665 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 15: Алтай и Западная Сибирь, вып. 2: Средняя Обь. Л. : Гидрометеиздат, 1972. 407 с.

Справочник по климату СССР. Вып. 21: Красноярский край. Метеорологические данные за отдельные годы. Ч. Па: Атмосферные осадки; Ч. Ша: Снежный покров. Л. : Гидрометеиздат, 1956. 329 с.

Швер Ц.А. Исследование результатов наблюдений по дождемеру и осадкомеру. Л. : Гидрометеиздат, 1965. 170 с.

Шпинь П.С. Некоторые вопросы современного оледенения Кузнецкого Алатау // Вопросы географии Кузбасса и Горного Алтая. Новокузнецк, 1971. Вып. 4. С. 155–173.

Шпинь П.С. О снежном покрове и количестве осадков в южной части Кузнецкого Алатау // Гляциоклиматология Западной Сибири. Л., 1975. С. 74–88.

Авторы:

Адаменко Марина Михайловна, кандидат географических наук, доцент, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.

E-mail: adamenko.marina@gmail.com

Гутак Ярослав Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия.

E-mail: gutakjarslav@andex.ru

Тренков Иван Павлович, заместитель директора по научно-исследовательской работе, Государственный природный заповедник «Кузнецкий Алатау», Междуреченск, Россия

E-mail: trenkoff@rambler.ru

Geosphere Research, 2021, 2, 101–109. DOI: 10.17223/25421379/19/9

М.М. Adamenko¹, Ya.M. Gutak¹, I.P. Trenkov²

¹*Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia*

²*Federal State Natural Reserve "Kuznetsk Alatau", Mezhdurechensk, Russia*

CHANGES IN THE INTRA-ANNUAL DISTRIBUTION OF PRECIPITATION AND THE DYNAMICS OF SNOWFALL IN THE KUZNETSK ALATAU MOUNTAINS

The article analyzes the changes in the annual precipitation on the western slope and in the axial part of the Kuznetsk Alatau Mountains from 1960 to 2020. This territory is interesting because it receives the largest annual precipitation for the whole of Western Siberia. Based on data of two meteorological stations operating in the area the climatic indicators of the amount of precipitation by months and average annual for the 30-year period from 1990 to 2020 are calculated. The results were compared with the data of the second half of the XX century. The results showed a steady upward trend in rainfall. So the average annual amount of precipitation according to the weather station “Nenastnaya” for the period 1950–1980 was 1,507 mm in the water layer and for the period 1990–2019 it was 1,650.7 mm. There is also a shift in precipitation towards the liquid phase. A pattern has been revealed: on average for the last 30 years, in the Kuznetsk Alatau Mountains 40% of the annual precipitation is accumulated in the snow cover and 60 % falls mainly in the liquid phase.

The second part of the article describes the results of snow measurements in the Verkhnyaya Ters' river basin conducted from 2011 to 2020 within the most poorly studied and most humid part of the mountainous region. The literature data about the amount of precipitation in the near-watershed zone of the Kuznetsk Alatau is differ greatly: in the “USSR Surface Water Resources” – up to 1,500 mm/year; by the calculation method by the flow modulus – up to 2,190 mm/year; according to the results of snow measurements in the southern part of the western slope of the Kuznetsk Alatau – up to 3,000 mm/year. Snow measurements showed that the height of the snow cover and liquid-water content in it on the western slope of the Kuznetsk Alatau directly depend on the absolute height of the place. From the foothills to the axial watershed, with an increase in the height of the place, the height of the snow cover and the liquid-water content in it is increase. Above 1,400 m, the depth of the snow cover decreases sharply due to the snow drift to the leeward slope, up to the complete absence of snow cover. In the subalpine zone of the windward western and southwestern slopes at the headwaters of the Verkhnyaya Ters' river, water content in the snow cover by mid-March accumulates up to 1,800 mm in the water layer. Thus, by the calculation method based on the updated climatic parameters, it can be assumed that the annual precipitation in 2020 can reach 3,000 mm per year or more. The results of snow measurements have shown that the maximum average annual precipitation in the Kuznetsk Alatau Mountains can be significantly higher than indicated in the climatic reference books. For the first time, the opinion that

the value of the annual precipitation in the Kuznetsk Alatau Mountains reaches 3,000–3,500 mm and more was expressed by P.S. Spin. The results of the work confirm his assumption.

Keywords: *climate change, increased precipitation, snow measurements*

References

- Avanesyan R.A. *Prostranstvenno-vremennye osobennosti formirovaniya stoka gornyh rek Altaya v usloviyah izmeneniya prirodnoy sredy* [Spatial-temporal features of the formation of the flow of mountain rivers of Altai under conditions of changes in the natural environment]: dissertation abstract. "Gorno-Altai State University". Barnaul, 2013. 23 p. In Russian
- Adamenko M.M., Gutak Ya.M., Antonova V.A. Climate change and the size of glaciers in the Kuznetsky Alatau Mountains between 1975 and 2015 // *Ice and Snow*. 2017. V. 57. No 3. pp. 334–342. In Russian
- Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Alexandrov T.M. *Opisanie massiva dannyh sutochnoy temperatury vozduha i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stantsiyah Rossii i byvshego SSSR* [Description of the array of daily air temperature and precipitation data at meteorological stations of Russia and the former Soviet Union (TTTR)]. Certificate of state database registration: 2014620942. URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (Date of accessed 10/01/2020). In Russian
- Bykov N.I., Popov E.S. *Nablyudeniya za dinamikoj snezhnogo pokrova v OOPT* [Observations of the dynamics of snow cover in specially protected natural areas]. Methodical guidance. Krasnoyarsk, 2011. 64 p. In Russian
- Vershinina I.P. *Geoekologicheskie usloviya formirovaniya stoka i prognozy harakteristik vesennego polovoda reki Tomi u goroda Tomsk* [Geoecological conditions of runoff and forecasts of spring flood characteristics of the Tom River near the Tomsk city]: dissertation abstract. "National Research Tomsk State University". Tomsk, 2017. 23 p. In Russian
- Gavrilova S.Yu. *Ustraneniye neodnorodnosti vremennykh ryadov atmosferynykh osadkov i ih ispol'zovanie dlya analiza izmenenij rezhima uvlazhneniya na territorii Rossii* [Elimination of the inhomogeneity of the time series of atmospheric precipitation and their use for the analysis of changes in the moisture regime on the territory of Russia]: dissertation abstract. "Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikov". St. Petersburg, 2010. 23 p. In Russian
- Evseeva N.S., Filandysheva L.B. Dynamic climate changes and selectivity of natural processes in the West Siberian plain // *Geosphere Research*. 2016. No 1. pp. 124–139. In Russian
- Meteocenter: meteorological portal. URL: <http://meteocenter.net/> (Date of accessed 10/01/2020). In Russian
- Nauchno-prikladnyy spravochnik po klimatu SSSR [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR]. Ser. 3. Ch. 1–6. Issue 21: Krasnoyarsk region and Tuva Autonomous Soviet Socialist Republic. Part 4. Air humidity, precipitation and snow cover. Leningrad: Publishing house "Gidrometeoizdat", 1990. 665 p. In Russian
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR / Srednyaya Ob'* [Surface water resources of the USSR / Middle Ob]. Leningrad: Publishing house "Gidrometeoizdat", 1972. V. 15, Iss. 2. 407 p. In Russian
- Spravochnik po klimatu SSSR* [Reference book on the climate of the USSR]. Issue 21: Krasnoyarsk region. Meteorological data for selected years. Part IIa Atmospheric precipitation. IIIa Snow cover. Leningrad: Publishing house "Gidrometeoizdat", 1956. 329 p. In Russian
- Shver Ts.A. *Issledovanie rezul'tatov nablyudenij po dozhdemeru i osadkomeru* [Investigation of observation results using pluviometer and Tretyakov rain gauge]. Leningrad: Publishing house "Gidrometeoizdat", 1965. 170 p. In Russian
- Spin P.S. *Nekotorye voprosy sovremennogo oledeneniya Kuzneckogo Alatau* [Some questions of the modern glaciation of the Kuznetsk Alatau] // *Questions of the geography of Kuzbass and Gorny Altai*. Iss. 4. Novokuznetsk, 1971. pp. 155–173. In Russian
- Spin' P.S. *O snezhnom pokrove i kolichestve osadkov v yuzhnoy chasti Kuzneckogo Alatau* [About snowpack and precipitation in the southern part of the Kuznetsky Alatau] // *Glyatsioklimatologiya Zapadnoy Sibiri*. Leningrad, 1975. pp. 74–88. In Russian.

Author's:

Adamenko Marina M., Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia.

E-mail: adamenko.marina@gmail.com

Gutak Yaroslav M., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Professor, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia.

E-mail: gutakjaroslav@andex.ru

Trenkov Ivan P., Deputy Director for Research, State Natural Reserve "Kuznetsk Alatau", Mezhdurechensk, Russia

E-mail: trenkoff@rambler.ru

УДК 551.582

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ В ЛЕСАХ ТОМСКОГО РЕГИОНА: КЛИМАТИЧЕСКИЙ ФАКТОР И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РИСКИ

Л.И. Кижнер, Н.К. Барашкова, О.В. Носырева



Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

На основе оценки климатической изменчивости комплекса метеорологических величин, определяющих потенциальную возможность возникновения пожара, выявлено определенное влияние климатического фактора на наблюдающееся учащение лесных пожаров в регионе. Оцениваются экономические показатели степени адаптации лесного комплекса к современным климатическим условиям.

Ключевые слова: показатель пожарной опасности, климатические изменения, высокая пожарная опасность, адаптация, средние потери

Введение

В последние годы в России, как и во многих частях земного шара, остро встала проблема возникновения пожаров на больших территориях. Эти стихийные явления стали возникать не только в теплые полугодия, но и в течение всего года. Причин такого проявления стихийных бедствий, очевидно, несколько, но есть и сторонники влияния климатического фактора. Одним из основных факторов возникновения пожаров являются условия погоды. Мониторинг, в том числе и прогноз, условий, благоприятствующих возникновению пожаров по территории нашей страны, обеспечивает Гидрометеорологическая служба России. Эти условия изучены достаточно подробно и называются пожарной опасностью (ПО). Выявлено, что ПО тесно связана с режимом выпадения осадков, и она тем выше, чем продолжительней период отсутствия осадков.

Опасной пожарной стихией являются лесные пожары, ежегодно причиняющие огромный ущерб экологического (в том числе биоразнообразию и местам обитания ценных и редких видов животных и растений), социального (угрозы жизни населению) и экономического характера [AghaKouchak et al., 2020]. Лесные пожары негативно влияют и на изменения климата, увеличивая содержание CO_2 в атмосфере за счет потерь углерода, накопленного в биомассе и почве [Всемирный..., 2021].

Возникновение пожаров происходит вследствие антропогенного (человеческого) и естественного факторов [Hansen et al., 2011; Littell et al., 2016; Abatzoglou et al., 2018]. На пожары, возникшие по вине человека, приходится примерно 60 % общей площади их утраты. Исследования (например, [Владимирова и др., 2017]) подтверждают, что промышленные рубки, строительство дорог и другой инфраструктуры в первозданных лесах приводят к росту

числа пожаров. При этом Россия входит в тройку мировых лидеров по скорости и площади утраты первозданных лесов наряду с Бразилией и Канадой [Всемирный..., 2021].

В XXI в. количество лесных пожаров существенно выросло. Рост обусловлен, с одной стороны, расширением хозяйственной деятельности человека, с другой – изменением естественных условий, способствующих увеличению ПО [Morgan et al., 2001; Flannigan et al., 2013; Ponomarev et al., 2016; Gorbatenko et al., 2020].

Территория Томской области находится в таежной зоне Западной Сибири, лесная отрасль является одной из ведущих в хозяйственном комплексе. За период 2012–2019 гг. от пожаров погибло более 20 тыс. га лесных насаждений [Томская..., 2019; Томская..., 2020]. Наиболее сильные пожары здесь отмечались в 2012–2014, 2016–2018 гг. В аномальное жаркое и сухое лето 2012 г. было зарегистрировано 518 лесных пожаров на общей площади 102120,3 га. Шлейфы дыма, дешифрируемые на спутниковых снимках, распространялись по территории области и соседних регионов. В Томске вертикальная и горизонтальная видимость составила 80–100 м, наблюдалась мгла и сильный запах дыма [Поляков и др., 2014].

Согласно Второму оценочному докладу Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, в южной части Сибири к концу XXI в. пожароопасный сезон будет на 20–50 дней длиннее, что существенно увеличит количество возгораний [Второй..., 2014].

В этой связи представляет значительный научный и практический интерес климатическая оценка тенденций в условиях, благоприятных возникновению пожаров на конкретных территориях.

Целью настоящей работы является оценка для станции Томск климатических изменений метеорологических факторов, влияющих на потенциальную

возможность возникновения пожара, и экономическая трактовка происходящих событий.

Метеорологические факторы пожарной опасности

Высокая ПО обуславливается синоптическими процессами (длительное господство антициклона над огромными территориями), сезоном года, характером растительности, а также метеорологическими условиями: температурой и влажностью воздуха, режимом осадков и ветра. Последняя характеристика оказывает влияние на скорость испарения и распространение уже возникшего пламени.

Для оценки ПО разработаны специальные показатели (индексы), в которых учитывается, в первую очередь, температурно-влажностный режим временного периода. Заметим, что ПО – это комплекс благоприятных условий погоды, который не всегда приводит к возникновению пожара, поэтому часто добавляют определение «потенциальная» пожарная опасность (ППО). Усугубление ситуации может произойти как вследствие человеческого фактора, так и при возникновении дополнительных естественных причин (например, сухие грозы).

В показателях, характеризующих ПО, используются три первые вышеуказанные метеорологические величины, а для оценки ППО применяют комплексные характеристики, включающие эти величины. За рубежом используется индекс FFI (forest fire index – индекс лесных пожаров [Gerstengarbe et al., 1999]. Он рассчитывается в течение вегетационного периода. В числителе суммируется количество дней, когда максимальная температура была выше 25 °C, а в знаменателе суточное количество осадков за этот период.

В России в службе лесного хозяйства для характеристики пожароопасности обычно используется комплексный показатель пожарной опасности в лесу (КП), а метеорологическая опасность возгорания леса определяется ежедневно и подразделяется по классам горимости леса [ГОСТ..., 1099; Шерстюков, Шерстюков, 2007].

В нашем исследовании используется показатель КП, определяемый по формуле В.Г. Нестерова:

$$КП = \sum_{i=1}^n (T - Td)T, \quad (1)$$

где T – температура в срок наблюдений, когда обычно отмечается ее максимум, °C; Td – температура точки росы в этот же срок; n – число сухих дней без осадков (в том числе и дней с осадками менее 2,5 мм). Пожароопасность тем выше, чем больше величина КП.

Материал и методы исследования

Для достижения поставленной цели были рассмотрены условия на станции Томск в бездождные

периоды (БДП) в пожароопасные сезоны (апрель–сентябрь) с 1924 по 2015 г. БДП и их характеристики – начало и конец, длительность периода без выпадения осадков, температура воздуха (средняя и максимальная), минимальная относительная влажность воздуха и скорость ветра (средняя и максимальная) определены по Специализированному массиву данных, представленному на сайте ФБГУ «СибНИГМИ», г. Новосибирск (<http://sibnigmi.ru/cgi-bin/inst/index.pl?5&81>).

Всего выявлено 3 003 БДП с общим количеством сухих дней 9 426. Для каждого периода по максимальной температуре и минимальной влажности определен индекс КП, который при такой методике расчета, соответственно, может быть незначительно завышен. Рассчитаны следующие показатели, характеризующие структуру БДП и ПО:

1) непрерывная продолжительность бездождных периодов (ПБДП) по грациям от 1 до 13 дней с шагом в один день, а далее – через три дня;

2) ежегодное число дней (S_i) со значениями КП, характеризующими разную пожарную опасность: S_1 – отсутствие опасности ($300 \geq КП > 0$); S_2 – малая ($1\,000 \geq КП > 300$); S_3 – средняя ($4\,000 \geq КП > 1\,000$); S_4 – высокая ($10\,000 \geq КП > 4\,000$); S_5 – чрезвычайная ($КП > 10\,000$). Величина КП, равная 1 000 и более, является критической, так как именно в этих условиях велика опасность возгорания леса, особенно, при наличии источника огня (по вине человека или молнии) [Шерстюков, Шерстюков, 2007];

3) суммарное значение КП (обозначено как $\sum КП$), полученное за пожароопасный сезон каждого года. При этом суммировались только значения $КП > 1\,000$, т.е. имеющие или превышающие критерий «средней пожароопасности». Этот показатель указывает на степень пожароопасности сезона;

4) максимальная за каждый год величина $КП_{\max}$ (характеризует интенсивность возникающих пожароопасных ситуаций);

5) годовое число дней (N) с $КП > 1000$ (рассчитывалось как сумма S_3 , S_4 и S_5).

Климатические тенденции характеристик 1 и 2 рассчитывались для двух климатических периодов: 1955–1984 гг. (условно принят за период без интенсивных климатических изменений) и 1985–2015 гг. (когда эти изменения стали проявляться в мировом масштабе); характеристики 3 и 5 – в целом за весь исследуемый период, начиная с 1924 г. Сравнительный анализ условий двух климатических периодов проведен с помощью стандартных статистических программ.

Обсуждение результатов

1. *Непрерывная продолжительность бездождных периодов.*

Наиболее часто (до 80 %) отмечаются периоды длительностью 1–2, 3–4 дня (табл. 1).

Различие в повторяемости разных градаций ПБДП в климатических периодах составляет не более 2 %. Можно отметить лишь, что в последний период наибольшая продолжительность бездождного периода составила 23 дня (2012 г.), а в предыдущий период – 21 день (1955, 1962 гг.).

2. Число дней с разной пожарной опасностью леса (S_i).

В обоих климатических периодах преобладают градации средней ($\approx 45\%$) и малой ($\approx 27\text{--}29\%$) опасности, а также отсутствие условий для горения леса. В 1/10 длительности пожароопасных сезонов отмечалась высокая опасность. Градация «чрезвычайная пожарная опасность» не регистрировалась.

Климатические изменения заключаются в незначительном увеличении в последние годы условий для повторяемости высокой пожарной опасности леса и, соответственно, уменьшения малой пожарной опасности.

3. Ежегодная сумма индексов горимости, превышающих значение 1 000 ед.

Минимальные значения этой характеристики составили 5 650 (1930 г.), максимальные – 32 190 (1953 г.), среднее за период – 16 760 (рис. 2).

Другими словами, период от начала наблюдений до 1955 г. можно характеризовать как более контрастный по условиям пожароопасности. В рассматриваемом втором климатическом периоде на терри-

тории Томской области в засушливый и жаркий 2012 г. значение $\sum КП$ составило 29 540, т.е. не достигло уровня 1953 г. Это подтверждается и значениями гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК), являющегося характеристикой уровня влагообеспеченности территории, которые характеризуют лето 2012 г. как сезон с засухой средней интенсивности [Поляков и др., 2014].

Обнаружено статистически достоверное увеличение характеристики к настоящему времени, рост $\sum КП$ составляет примерно 6 % за каждые 10 лет, что указывает на определенное влияние климатического фактора на наблюдаемое увеличение ПО в последние годы.

4. Максимальная за каждый год величина $КП_{\max}$.

Данная характеристика статистически значимо возрастает за последние 30 лет, что указывает на формирование более интенсивных условий горимости леса. Увеличение составляет примерно 10 % за десятилетие (рис. 3).

5. Годовое число дней со значениями $КП > 1\,000$ (N).

Величина N изменяется за период исследований от 18 (10 % от всего числа дней с ПО, 1930 г.) до 100 (55 %, 1953 г.) при среднем значении 53 (30 %). Это означает, что наиболее вероятна ситуация, при которой в 30 % дней теплого полугодия пожарная опасность является средней и выше, во влажный год эта цифра составляет 10 %, в сухой – 55 %. Отмечается статистически значимое увеличение (более 5 % в десятилетие) этой величины (рис. 4).

Повторяемость продолжительности бездождных периодов по градациям, %

Таблица 1

Repeatability of the duration of periods without rain by gradations, %

Table 1

Период, годы	Непрерывная продолжительность, дни							
	1–2	3–4	5–6	7–8	9–10	11–12	13–15	≥ 16
1955–1984	58,6	19,6	10,1	4,7	3,5	1,8	1,3	0,3
1985–2015	56,7	20,6	10,1	5,6	2,9	2,0	1,3	0,8

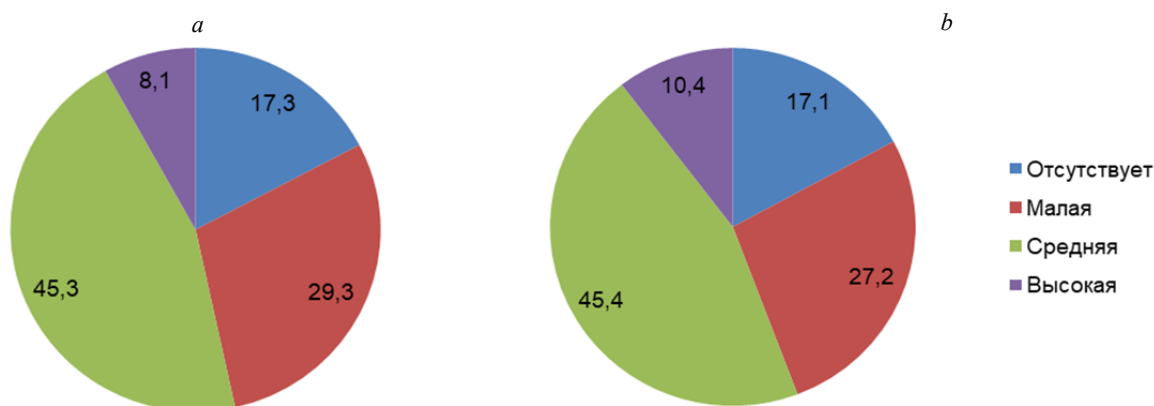


Рис. 1. Распределение числа дней (%) с различной пожарной опасностью по климатическим периодам: 1955–1984 гг. (a); 1985–2015 гг. (b)

Fig. 1. Distribution of the number of days (%) with different fire hazard by climatic periods: 1955–1984 (a); 1985–2015 (b)

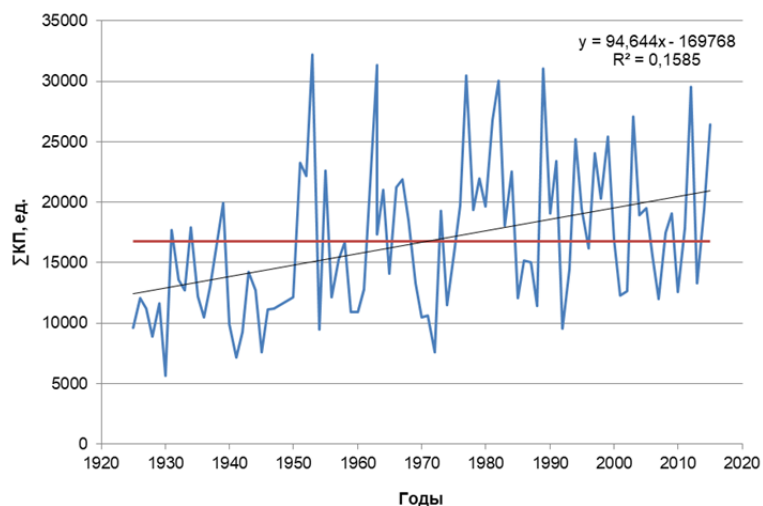


Рис. 2. Многолетние изменения $\Sigma КП = S3 + S4 + S5$
Горизонтальная линия – среднее многолетнее значение

Fig. 2. Long-term changes of complex indicator $\Sigma CI = S3 + S4 + S5$
Horizontal line – average long-term value

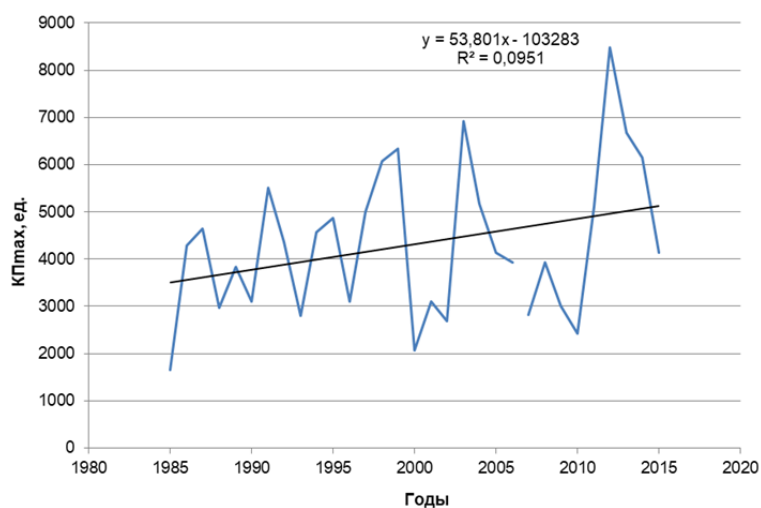


Рис. 3. Значения $КП_{max}$

Fig. 3. The values CI_{max}

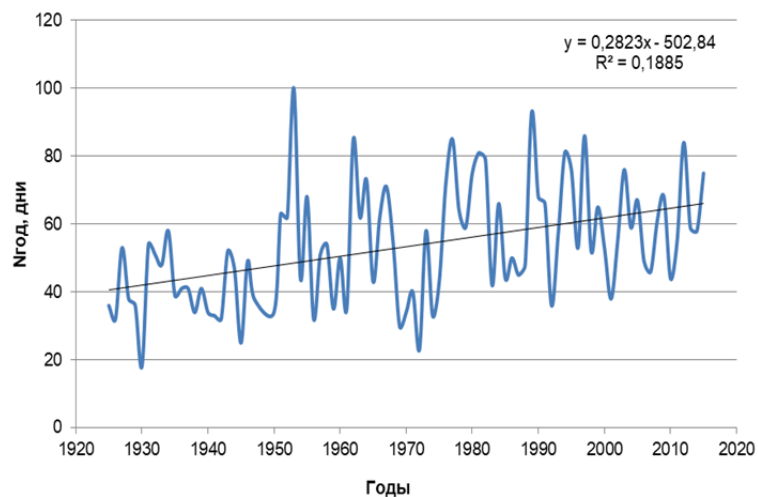


Рис. 4. Динамика значений N

Fig. 4. Dynamics of values N

Таким образом, рассмотренные показатели указывают на статистически значимое увеличение природной опасности пожаров по метеорологическим условиям.

Адаптация лесного комплекса региона к метеорологическим условиям с высокой пожарной опасностью

В настоящее время в России и других странах определены основополагающие подходы к оценкам потерь от опасных условий погоды в зависимости от стратегии потребителя, особенностей хозяйственного объекта, а также качества предоставляемой метеорологической информации (они обобщены, например, в монографии [Хандожко, 2005]). Кроме того, активно разрабатываются механизмы адаптации секторов экономики к наблюдаемым и прогнозируемым изменениям климата. Адаптация потребителя отражает не только потребность в метеорологической, в том числе и прогностической, информации, но и его готовность приспосабливаться к ней, минимизируя возможные потери [Хандожко и др., 2001]. Другими словами, адаптация – это способ учета и подстройки к ожидаемым погодным или климатическим условиям.

Для экономических расчетов в метеорологии часто используется матрица соответствия (сопряженности) между прогнозами и фактической погодой, а также стоимостная матрица (чаще – матрица потерь от опасных погодных условий). Матрицы соответствия включают число случаев различных сочетаний прогностической и фактической информации (они могут быть выражены также в долях от 1 или процентах), в том числе общее число прогнозов за период. Стоимостная матрица, или матрица потерь, учитывает, соответственно, стоимость (С) защитных мероприятий для уменьшения потерь от неблагоприятных метеорологических условий. Дополнительно рассматриваются реальные потери (L) и рассчитывается коэффициент непредотвращенных потерь (ϵ), который изменяется от 0 до 1. Если $\epsilon = 0$, меры защиты кардинальны, т.е. потери по условиям предотвращаются полностью; если ϵ изменяется от 0 до 1, то меры защиты таковы, что прямые потери предотвращаются частично. Матрица потерь – это выраженные в денежном выражении последствия действий потребителя (принимать или не принимать защитные меры при наличии или отсутствии опасного явления).

Характеризовать степень адаптации можно с помощью различных соотношений, полученных на основе величин С, L, ϵ .

В данной работе используется показатель адаптации G [Хандожко, 2005]:

$$G = L(1-\epsilon) / (C+L(1+\epsilon)). \quad (2)$$

Он представляет собой отношение предотвращенных потерь (числитель) к общим издержкам (знаменатель). Интегральная величина G^* определяется с учетом матрицы соответствия

$$G^* = n11L(1-\epsilon) / (n01C+L(n12+n11\epsilon)). \quad (3)$$

В формуле (3) $n11$ – число случаев оправдавшихся прогнозов наличия явления (пожара в данном случае); $n12$ – число неоправдавшихся прогнозов отсутствия явления (ошибки риска); $n01$ – общее число прогнозов наличия явления за период; $n11\epsilon L$ – непредотвращенные потери; $n12L$ – прямые потери, обусловленные прогностическими ошибками риска; $n01C$ – затраты на меры защиты от пожаров. Видно, что G^* зависит от экономических характеристик, а также от качества прогнозов погоды (в виде элементов $n11$, $n12$ и $n01$).

Формула (2) отражает степень адаптации на основе экономических характеристик производства, а формула (3) дает оценку степени адаптации, достигнутой с использованием прогностической метеорологической информации за определенный период. При $G^* > 1$ предотвращенные потери больше общих потерь, включая производственные ($n01 \cdot C$) и природные ($L \cdot (n12 + n11\epsilon)$). Чем больше показатель отличается от 1, тем адаптация более успешна, производство более рентабельно и лучше приспособлено к «капризам» погоды.

На основе изложенной методики была проведена экономическая оценка возможной адаптации лесного хозяйства к выявленным климатическим изменениям комплексного показателя пожарной опасности. В качестве основной характеристики использовано число дней с высокой пожарной опасностью. В табл. 2 приведены экономические показатели, необходимые для расчетов. К сожалению, в научной литературе их значения отсутствуют, поэтому в работе были рассчитаны по косвенным характеристикам, взятым из разных источников.

Показатель адаптации зависит от специфики производства и экономических показателей. Прогностическая информация представлена в матрицах сопряженности (табл. 3), данные приводятся в долях от 1. Построение матриц осуществлялось с учетом следующих положений:

1) высокая пожарная опасность приводит к возникновению пожара, ее повторяемость в первый климатический период равна 8 % (или 0,08), а во второй – 10,4 % (0,104) (см. рис. 1);

2) оправдываемость прогностической информации составляет 95 % (0,95), что соответствует приблизительно средней величине оправдываемости прогнозов чрезвычайной пожарной опасности (100 %) и прогнозов гроз как источников пожаров (83 %). (Предупрежденность различных опасных явлений, являющаяся характеристикой качества прогнозов, указана в Архиве [Всероссийский..., 2021]).

Дадим расшифровку обозначений и величин на примере первого климатического периода (табл. 3):

– Буквы «Ф» и «П» отражают, соответственно, фактическое наличие опасного явления (в данном случае пожар) и прогноз опасного явления;

– природная повторяемость пожаров составляет 0,08 (первая строка, третий столбец);

– вероятность отсутствия пожаров составляет 0,92 (вторая строка, третий столбец);

– оправдываемость прогнозов гроз составила 0,95 (оправдавшиеся прогнозы – сумма вероятностей главной диагонали);

– вероятность неоправдавшихся прогнозов отсутствия пожаров (0,010) – это вероятность ошибок риска;

– вероятность неоправдавшихся прогнозов наличия пожаров (0,040) – вероятность ошибок перестраховки. Последние две цифры взяты произвольно, но они отражают тот факт, что в реальных прогнозах ошибки перестраховки наблюдаются чаще, чем ошибки риска.

Принцип построения матрицы за второй климатический период аналогичен, при этом учтено, что вероятность пожара равна 0,104, а оправдываемость прогнозов – 0,951.

С использованием экономических показателей (табл. 2) и метеорологической информации (табл. 3) был рассчитан показатель адаптации G^* как функции от величин C/L и ϵ .

Жирным курсивом выделены области успешной адаптации ($G^* > 1$) для организаций лесной отрасли с разными экономическими характеристиками. Видно, что, чем меньше отношение затрат к убыткам (C/L) и коэффициент непредотвращенных потерь (ϵ), тем в большей степени отрасль приспосабливается к высокой степени пожароопасности. Здесь заложен следующий механизм подстройки под критические

условия погоды: с одной стороны, нужно стремиться уменьшать стоимость мер защиты по предупреждению пожаров и уменьшать величину ϵ , с другой – при определенной климатической повторяемости пожаров улучшать качество прогнозов погоды за счет уменьшения ошибок риска. Таким образом, технически оснащенные хозяйства и выбирающие оптимальную стратегию лучше подготовлены к неблагоприятным условиям и меньше подвержены их влиянию. Таблица 4 может быть использована в хозяйствах лесного комплекса для выбора способов управления и защиты с целью достижения эффективной адаптации в условиях высокой пожароопасности леса.

Приведем результаты расчета средних байесовских потерь на один прогноз [Хандожко и др., 2001] с двумя различными начальными значениями C/L и ϵ (табл. 5) с учетом климатической изменчивости повторяемости высокой горимости леса (8 и 10,4 % соответственно). Расчеты выполнены на основе матрицы сопряженности (табл. 3) и матрицы потерь (табл. 5) с использованием вышеприведенных значений C , L . В таблице приведены используемые нами обозначения, а числовые значения (в скобках) соответствуют одному из вариантов расчета ($C/L = 0,1$ и $\epsilon = 0,2$). Средние потери рассчитываются путем умножения элементов матрицы потерь на соответствующие элементы матрицы сопряженности.

Приведенная матрица отражает потери при различных сочетаниях «прогноз – погода – решение потребителя» в случае полного доверия прогнозу (это означает, что хозяйственник предпринимает меры защиты или их игнорирует, полностью ориентируясь на прогноз наличия или отсутствия высокой горимости леса).

Рассчитанные средние потери при разных экономических показателях приводятся в табл. 6.

Таблица 2

Экономические показатели, используемые в лесной отрасли Томской области

Table 2

Economic indicators used in the forest industry of the Tomsk region

Показатель	Обоснование выбора
L – средняя стоимость сгоревшего леса на корню. $L = 360$ тыс. руб./сут	Расчеты за 4 года (с 2015 по 2019 г.) показали, что в среднем при пожарах сгорает лес на корню в объеме 44,3 тыс. м ³ за календарный год [Статистический..., 2020]. Рыночная стоимость леса (лиственница, осина, тополь) составляет от 100 до 4 000 руб./м ³ [Торговая..., 2021]. В расчетах принята стоимость 1 500 руб./м ³ . Итого, средняя ежегодная стоимость сгоревшего леса составляет 66 млн руб. Если рассчитывать за 1 сут пожароопасного периода (апрель–сентябрь – 180 дней), то суточные убытки от сгоревшего леса составляют примерно 360 тыс. руб. Необходимо также иметь в виду, что стоимость сгоревшего леса определяется не только ценой древесины – она намного выше, если учитывать его экологическое, социальное значение и др.
C – стоимость противопожарных мероприятий. В начальном варианте $C = 0,1 * L = 36$ тыс. руб./сут	Стоимость средств предупреждения и тушения лесных пожаров (лесопожарные трактора, вездеходы, катера, бортовые, вахтовые автомобили, пожарные емкости), содержание базы авиационной охраны лесов, затраты на пожарно-химические станции, реконструкцию и эксплуатацию пожарных наблюдательных пунктов, аренду воздушных судов для тушения пожара, наземное патрулирование, спутниковый дистанционный мониторинг, беспилотные летательные аппараты и др. [Лесной..., 2008]
ϵ – изменяется от 0 до 0,4	При обслуживании лесного комплекса меры защиты не являются кардинальными. Как правило, и при выполнении противопожарных мероприятий наблюдаются убытки, величина которых может меняться

Таблица 3

Матрицы сопряженности прогностической и фактической информации о пожарах

Table 3

Conjugate matrix of prognostic and factual information on fires

Период 1955–1984 гг.				Период 1985–2015 гг.			
Наличие пожара (Ф)	Прогноз пожаров (П)		Сумма по факту наличия (отсутствия) пожара	Наличие пожара (Ф)	Прогноз пожаров (П)		Сумма по факту наличия (отсутствия) пожара
	Ожидается (П)	Не ожидается (-П)			Ожидается (П)	Не ожидается (-П)	
Пожар был (Ф)	0,07	0,01	0,08	Пожар был (Ф)	0,095	0,009	0,104
Пожара не было (-Ф)	0,04	0,88	0,92	Пожара не было (-Ф)	0,04	0,856	0,896
Сумма по прогнозам	0,11	0,89	1	Сумма по прогнозам	0,135	0,865	1

Таблица 4

Значения показателя адаптации G*

Table 4

Adaptation indicator values G*

Период 1955–1984 гг.						Период 1985–2015 гг.					
ε	C/L, C = 36 тыс. руб./сут					ε	C/L, C=36 тыс. руб./сут				
	Величина постоянная						Величина постоянная				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0	3,33	2,19	1,63	1,3	1,08	0	4,22	2,64	1,92	1,51	1,24
0,1	2,25	1,62	1,26	1,03	0,88	0,1	2,67	1,88	1,45	1,18	0,99
0,2	1,6	1,22	0,98	0,82	0,71	0,2	1,83	1,38	1,15	0,96	0,83
0,3	1,17	0,92	0,77	0,65	0,57	0,3	1,3	1,03	0,85	0,79	0,63
0,4	0,86	0,7	0,59	0,51	0,45	0,4	0,94	0,77	0,65	0,56	0,5
0,5	0,76	0,52	0,45	0,39	0,35	0,5	0,68	0,57	0,49	0,43	0,38

Таблица 5

Матрица потерь при некардинальных мерах защиты, тыс. руб./прогноз

Table 5

Matrix of losses in case of non-cardinal protection measures, thousand rubles/forecast

Ф _i фактическое наличие или отсутствие пожара	Решение потребителя в соответствии с прогнозом погоды	
	d (П) принимаются меры защиты	d (-П) меры защиты игнорируются
Пожар был	C + εL (108,0)	L (360,0)
Пожара не было	C (36,0)	0

Таблица 6

Средние потери (тыс. руб./прогноз) при разных характеристиках адаптации с учетом изменения повторяемости высокой горимости леса

Table 6

Average losses (thousand rubles/forecast) at different characteristics of adaptation, taking into account changes in the frequency of high wildfire occurrence in forest

Период 1955–1984 гг.		Период 1985–2015 гг.	
C/L = 0,1 ε 0,2	C/L = 0,2 ε 0,3	C/L = 0,1 ε 0,2	C/L = 0,2 ε 0,3
12,6	17,6	14,9	21,8

Наблюдается увеличение повторяемости высокой горимости леса на 2,4 % во втором периоде относительно первого при одном и том же качестве прогноза (см. табл. 3), но разных (реальных) значениях C/L и ε, приведенных в табл. 6. При этом средние потери возрастают на 18 % (первый и третий столбцы) и 24 % (второй и четвертый столбцы таблицы).

Заключение

Анализ индекса пожарной опасности выявил увеличение пожароопасности лесов в Томске в последние 90 лет. Несмотря на отсутствие существенных изменений в значениях ПБДП, отмечается статистически значимое увеличение числа дней с метеорологическими условиями, способствующими возникновению пожаров.

гическими условиями, создающими предпосылки для возникновения лесных пожаров.

Значимо возросла за теплое полугодие сумма индексов горимости, превышающих значение 1 000 ед. Увеличилось, хотя и незначительно (на 2,3 %, что составляет примерно 8 дней за 30 лет), число дней с высокой пожарной опасностью леса и на столько же уменьшилось число дней с малой пожарной опасностью. Предварительные расчеты, выполненные для станции Напас, расположенной в таежной зоне на севере Томской области, дают аналогичную картину.

Представленные количественные показатели пожароопасного сезона подтверждают определенное влияние климатического фактора на учащение лесных пожаров в регионе. В неблагоприятные пожароопасные сезоны важную роль играют техническая составляющая (оборудование и технические средства) и технологическая оснащенность (способы ра-

боты, регламент действий) организаций лесного хозяйства.

При существующей природной повторяемости пожаров в регионе необходимыми условиями улучшения экономических показателей, согласно рассчитанных G^* , являются уменьшение затрат на лесозащитные мероприятия и, соответственно, уменьшение коэффициента непредотвращенных потерь.

В условиях доверия к прогностической информации особенно актуальным является улучшение ее качества. Рост повторяемости высокой пожарной опасности на единицы процентов приводит к увеличению средних потерь на порядок. По расчетам, фактическое увеличение повторяемости высокой горимости леса на 2,4 % приводит к росту потерь от 12 до 16 млн руб. за пожароопасный сезон.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-45-700010 p_a).

ЛИТЕРАТУРА

- Владимирова Н., Крылов А., Милаковский Б., Пуреховский А.** Влияние дорог и рубок на гибель от пожаров лесов юга Дальнего Востока России // Устойчивое лесопользование. 2017. № 2 (50). С. 5–9. URL: <https://wwf.ru/upload/iblock/36c/02.pdf> (дата обращения: 15.04.2021).
- Всемирный фонд дикой природы WWF.** Лесные пожары. URL: <https://wwf.ru/about/positions/lesnye-pozhary/> (дата обращения: 15.04.2021).
- Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных.** Специализированные массивы. Неблагоприятные условия погоды, нанесшие экономические потери. URL: <http://www.meteo.ru> (дата обращения: 15.04.2021).
- Второй** оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В.В. Ясюкевич, В.А. Говоркова. М.: Росгидромет, 2014. 1009 с. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2016/od2/od2full.pdf> (дата обращения: 15.04.2021).
- ГОСТ Р 22.1.09-99.** Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. 12 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-22-1-09-99> (дата обращения: 15.04.2021).
- Лесной план Томской области.** Основные положения / Администрация ТО. Томск, 2008. 65 с.
- Поляков Д.В., Барашкова Н.К., Кузевская И.В.** Погодно-климатическая характеристика аномального лета 2012 г. на территории Томской области // Метеорология и гидрология. 2014. № 1. С. 38–47.
- Статистический ежегодник 2020** : стат. сб. Томск, 2020. 107 с.
- Томская область в цифрах.** 2019 : краткий стат. сб. Томск : Томскстат, 2019. 236 с.
- Томская область в цифрах.** 2020 : краткий стат. сб. Томск : Томскстат, 2020. 236 с.
- Торговая система лесной промышленности Lesprom.** Предложения о продаже леса на корню. URL: https://www.lesprom.com/ru/trade/%D0%9B%D0%B5%D1%81_%D0%BD%D0%B0_%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%8E_4/ (дата обращения: 15.04.2021).
- Хандожко Л.А.** Экономическая метеорология. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 492 с.
- Хандожко Л.А., Коршунов А.А., Шаймарданов М.З.** Адаптация потребителя (производственного объекта) к ожидаемым условиям погоды: методическая основа и практическая реализация // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2001. Вып. 168. С. 41–53.
- Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б.** Лесные пожары на территории России при потеплении климата в XXI веке. ВНИИГМИ-МЦД, 2007. 313 с.
- Abatzoglou J.T., Williams A.P., Boschetti L., Zubkova M., Kolden C.A.** Global patterns of interannual climate–fire relationships // Global Change Biology. V. 24, is. 11. 2018. P. 5164–5175
- AghaKouchak A., Chiang F., Huning L.S., Love C.A., Mallakpour I., Mazdiyasni O., Moftakhari H., Papalexiou S.M., Ragno E., Sadegh M.** Climate Extremes and Compound Hazards in a Warming World // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 2020. V. 48. P. 519–548
- Flannigan M., Cantin A.S., de Groot W.J., Wotton M., Newbery A., Gowman L.M.** Global wildland fire season severity in the 21st century // Forest Ecology and Management. 2013. V. 294. P. 54–61. doi: 10.1016/j.foreco.2012.10.022.
- Gerstengarbe F.W., Werner P.C., Lindner M., Bruschek G.** Estimation of Future Forest Fire Development in the State of Brandenburg Background // International forest fire news. 1999. № 21. P. 91–93.
- Gorbatenko V.P., Volkova M.A., Nosyreva O.V., Zhuravlev G.G., Kuzhevskaja I.V.** Influence of Climatic Conditions on Western Siberian Forest Fires. Chapter 12 // Predicting, Monitoring, and Assessing Forest Fire Dangers and Risks. USA : IGI Global, 2020. P. 269–293. URL: <https://www.igi-global.com/book/predicting-monitoring-assessing-forest-fire/234504>
- Hansen J., Sato M., Kharecha P., Schuckmann K.** Earth's energy imbalance and implications // Atmospheric Chemistry and Physics. 2011. V. 11. P. 13421–13449. doi: 10.5194/acp-11-13421-2011.

Littell J.S., Peterson D.L., Riley K.L., Liu Y., Luce C.H. A review of the relationships between drought and forest fire in the United States // *Global Change Biology*. 2016. V. 22, is. 7. P. 2353–2369.

Morgan P., Hardy C.C., Swetnam T.W., Rollins M.G., Long D.G. Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and fine-scale fire patterns // *International Journal of Wildland Fire*. 2001. V. 10 (4). P. 329–342.

Ponomarev E.I., Kharuk V.I., Ranson K.J. Wildfires Dynamics in Siberian Larch Forests // *Forests*. 2016. № 7 (6). P. 125. doi: 10.3390/f7060125.

Авторы:

Кижнер Любовь Ильинична, кандидат географических наук, доцент, кафедра метеорологии и климатологии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.
E-mail: kdm@mail.tsu.ru

Барашкова Надежда Константиновна, кандидат географических наук, доцент, кафедра метеорологии и климатологии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.
E-mail: nkbar@sibmail.com

Носырева Ольга Владимировна, кандидат географических наук, доцент, кафедры метеорологии и климатологии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.
E-mail: ov_nosyreva@mail.ru

Geosphere Research, 2021, 2, 110–119. DOI: 10.17223/25421379/19/10

L.I. Kizhner, N.K. Barashkova, O.V. Nosyreva

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

FIRE HAZARD IN FORESTS OF THE TOMSK REGION: CLIMATIC FACTOR AND ECONOMIC RISKS

Dangerous fire elements are forest fires, which annually cause enormous damage of a social and economic nature. The territory of the Tomsk region is located in the taiga zone of Western Siberia; the forestry industry is one of the leading in the economic complex. For the period 2012–2019 here more than 20 thousand hectares of forest plantations died from fires. In this regard, the climatic assessment of trends in conditions favorable to the occurrence of fires in specific territories is of considerable scientific and practical interest.

The purpose of this work is to assess climatic changes in meteorological factors for the Tomsk station affecting the potential for a fire, and an economic interpretation of the events taking place.

To assess the fire hazard, special indicators (indices) have been developed, which take into account, first of all, the temperature and humidity conditions of the time period. In our study, the CI indicator (complex indicator) is used. The fire hazard is the higher, the higher the CI value.

The economic indicators of the degree of adaptation of the forest complex to modern climatic conditions are estimated.

The conditions at Tomsk station during rainless periods during fire hazardous seasons (April – September) from 1924 to 2015 were considered. Determined rainless periods and their characteristics - the beginning and end, the duration of the period without precipitation, air temperature (average and maximum), minimum relative humidity and wind speed (average and maximum).

Analysis of the fire hazard index revealed an increase in the fire hazard of forests in Tomsk over the past 90 years. There is a statistically significant increase in the number of days with meteorological conditions that create preconditions for the occurrence of forest fires.

During the warm half of the year, the sum of the flammability indices increased significantly. The number of days with a high forest fire hazard has increased and the number of days with a low fire hazard has decreased. The presented quantitative indicators of the fire hazardous season confirm a certain influence of the climatic factor on the frequency of forest fires in the region.

In unfavorable fire-hazardous seasons, an important role is played by the technical component (equipment and technical means) and technological equipment (methods of work, rules of procedure) of forestry organizations.

With the existing natural recurrence of fires in the region, the necessary conditions for improving economic indicators are a decrease in the cost of forest protection measures and a decrease in the coefficient of unforeseen losses.

Keywords: *fire hazard indicator, climatic changes, high fire hazard, adaptation, average losses*

References

Vladimirova N., Krylov A., Milakovskiy B., Purekhovskiy A. *Vliyanie dorog i rubok na gibel' ot pozharov lesov yuga Dal'nego Vostoka Rossii* [Impact of roads and felling on deaths of forest from fire in the south of the Russian Far East] // *Sustainable Forestry*. 2017. No 2 (50). pp. 5–9. URL: <https://wwf.ru/upload/iblock/36c/02.pdf> (Date of accessed 15.04.2021). In Russian

Vsemirnyy Fond dikoy prirody WWF. Lesnye pozhary. [WWF – Russia Position on Forest Fires]. URL: <https://wwf.ru/about/positions/lesnye-pozhary/> (Date of accessed 15.04.2021). In Russian

Vserossiskii nauchno-issledovatel'skii institut gidrometeorologicheskoi informatsii – Mirovoi zentr dannich. Spezialisirovannye massivi. Neblagopriyatnye usloviya pogody, nanesshie ekonomicheskie poteri [All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center. Specialized arrays. Unfavorable weather conditions causing economic losses] URL: <http://www.meteo.ru> (Date of accessed 15.04.2021). In Russian

Vtoroi ozenozhnyi dolad Rosgidrometa ob izmeneniakh klimata I ich posledstviach na territorii Rossiiskoi Federazii. Technicheskoe resume [Second Roshydromet assessment report on climate change and its consequences in Russian Federation]. Moscow. 2014. 1009 p. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2016/od2/od2full.pdf> (Date of accessed 15.02.2019). In Russian

GOST R 22.1.09-99. Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh. Monitoring i prognozirovaniye lesnykh pozharov. Obshchiye trebovaniya [GOST R 22.1.09-99. Safety in emergencies. Monitoring and forecasting forest fires. General requirements]. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov, 1999. 12 p. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-22-1-09-99> (Date of accessed 15.04.2021). In Russian

- Lesnoy plan Tomskoy oblasti. Osnovnyye polozheniya* [Forest plan of the Tomsk region. Basic Provisions] / Tomsk Region Administration. Tomsk, 2008. 65 p. In Russian
- Polyakov D.V., Barashkova N.K., Kuzhevskaya I.V. *Pogodno-klimaticheskaya kharakteristika anomal'nogo leta 2012 g. na territorii Tomskoy oblasti* [Weather and climatic characteristics of the abnormal summer 2012 in the Tomsk region] // *Meteorology and Hydrology*. 2014. No 1. pp. 38–47. In Russian
- Statisticheskii yezhegodnik 2020. Statisticheskii sbornik* [Statistical Yearbook 2020. Statistical Digest]. Tomsk, 2020. 107 p. In Russian
- Tomskaya oblast' v tsifrakh. 2019: Kratkiy statisticheskii sbornik* [Tomsk region in figures. 2019: Brief statistical collection] / Tomsk : Tomskstat, 2019. 236 p. In Russian
- Tomskaya oblast' v tsifrakh. 2020: Kratkiy statisticheskii sbornik* [Tomsk region in figures. 2020: Brief statistical collection] / Tomsk : Tomskstat, 2020. 236 p. In Russian
- Torgovaya sistema lesnoy promyshlennosti Lesprom. Predlozheniya o prodazhe lesa na kornyu* [Trading system of timber industry Lesprom. Proposals for the sale of standing timber]. URL: https://www.lesprom.com/ru/trade/%D0%9B%D0%B5%D1%81_%D0%BD%D0%B0_%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%8E_4/ (Date of accessed 15.04.2021). In Russian
- Khandozhko L.A. *Ekonomicheskaya meteorologiya* [Economic meteorology]. St. Petersburg: Hydrometeoizdat, 2005. 492 p. In Russian
- Khandozhko L.A., Korshunov A.A., Shaymardanov M.Z. *Adaptatsiya potrebitelya (proizvodstvennogo obyekt) k ozhidayemym usloviyam pogody: metodicheskaya osnova i prakticheskaya realizatsiya* [Adaptation of the consumer (production facility) to the expected weather conditions: methodological basis and practical implementation] // *Trudy VNIIGMI-MTSD*. 2001. V. 168. pp. 41–53. In Russian
- Sherstyukov B.G., Sherstyukov A.B. *Lesnyye pozhary na territorii Rossii pri poteplenii klimata v 21 veke* [Forest fires in Russia during climate warming in the 21st century]. VNIIGMI-MTSD, 2007. 313 p. In Russian
- Abatzoglou J.T., Williams A. P., Boschetti L., Zubkova M., Kolden C.A. Global patterns of interannual climate–fire relationships // *Global Change Biology*. 2018. V. 24, Iss. 11. pp. 5164–5175
- AghaKouchak A., Chiang F., Huning L.S., Love C.A., Mallakpour I., Mazdiyasni O., Moftakhari H., Papalexioiu S.M., Ragno E., Sadegh M. Climate Extremes and Compound Hazards in a Warming World // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2020. V. 48. pp. 519–548
- Flannigan M., Cantin A.S., de Groot W.J., Wotton M., Newbery A., Gowman L.M. Global wildland fire season severity in the 21st century // *Forest Ecology and Management*. 2013. V. 294. pp. 54–61. doi:10.1016/j.foreco.2012.10.022
- Gerstengarbe F.W., Werner P.C., Lindner M., Bruschek G. Estimation of Future Forest Fire Development in the State of Brandenburg Background // *International forest fire news*. 1999. No 21. pp. 91–93
- Gorbatenko V.P., Volkova M.A., Nosyreva O.V., Zhuravlev G.G., Kuzhevskaya I.V. Influence of Climatic Conditions on Western Siberian Forest Fires. Chapter 12. / *Predicting, Monitoring, and Assessing Forest Fire Dangers and Risks*. USA: IGI Global, 2020. pp.269–293. URL: <https://www.igi-global.com/book/predicting-monitoring-assessing-forest-fire/234504> (Date of accessed 15.04.2021)
- Hansen J., Sato M., Kharecha P., Schuckmann K. Earth's energy imbalance and implications // *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011. V. 11. pp. 13421–13449. doi:10.5194/acp-11-13421-2011
- Littell J.S., Peterson D.L., Riley K.L., Liu Y., Luce C.H. A review of the relationships between drought and forest fire in the United States // *Global Change Biology*. 2016. V. 22, Iss. 7. pp. 2353–2369
- Morgan P., Hardy C.C., Swetnam T.W., Rollins M.G., Long D.G. Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and fine-scale fire patterns // *International Journal of Wildland Fire*. 2001. V. 10 (4), pp. 329–342
- Ponomarev E. I., Kharuk V. I., Ranson K. J. Wildfires Dynamics in Siberian Larch Forests // *Forests*. 2016. 7 (6), 125. doi: 10.3390/f7060125

Author's:

Kizhner Lubov I., Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: kdm@mail.tsu.ru

Barashkova Nadezhda K., Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: nkbar@sibmail.com

Nosyreva Olga V., Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: ov_nosyreva@mail.ru

Научный журнал

ГЕОСФЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

GEOSPHERE RESEARCH

2021. № 2

Редактор Ю.П. Готфрид
Оригинал-макет А.И. Лелоюр
Редактор-переводчик С.И. Гертнер
Дизайн обложки Л.Д. Кривцовой

*Для оформления обложки использована проекция Земного шара
из работы: Stampfli G.M., Borel G.D. / Earth and Planetary Science Letters 196 (2002) 17-33.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00588-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00588-X)*

Подписано к печати 10.06.2021 г. Формат 60х84¹/₈.
Гарнитура Times. Печ. л. 15; усл. печ. л. 13,9.
Тираж 50 экз. Заказ № 4691. Цена свободная.

Дата выхода в свет 17.06.2021 г.

Журнал отпечатан на полиграфическом оборудовании
Издательства Томского государственного университета
634050, г. Томск, Ленина, 36
Тел. 8(382-2)–52-98-49; 8(382-2)–52-96-75
Сайт: <http://publish.tsu.ru>; E-mail: rio.tsu@mail.ru