

ГЕОСФЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

GEOSPHERE RESEARCH

Научный журнал

2020

№ 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
2020

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 индустриального 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

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

Рихванов Л.П., д-р геол.-минерал. наук, профессор Томского политехнического университета, Томск, Россия

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

Сазонов А.М., д-р геол.-минерал. наук, профессор Сибирского 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, SGeol, компания Holumoor 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 Карлтонского 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

Rikhvanov L.P., Professor of the Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 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

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ, СТРАТИГРАФИЯ

Маликов Д.Г. Строение I надпойменной террасы в нижнем течении р. Биджа (Южно-Минусинская впадина) и новые данные по фауне местонахождения Мохово	6
Подобина В.М. Олигоценные фораминиферы Западной Сибири и других регионов. Проблема латдорфского яруса	16
Шпанский А.В., Ильина С.А. Таксономическое положение двурогого носорога из подпуск-лебяжьинского фаунистического комплекса Западной Сибири	32

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Мотова З.Л., Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М. Состав и условия формирования позднедокембрийских терригенных пород карагасской серии (Бирюсинское Присаянье)	44
---	----

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Абрамов Б.Н., Еремин О.В., Филенко Р.А., Цыренов Т.Г. Оценка потенциальной экологической опасности природно-техногенных комплексов рудных месторождений (Восточное Забайкалье, Россия)	64
Богданов Н.А., Ермолаев Б.В., Басс О.В., Паранина А.Н. Ртуть в донных осадках акватории и в устьях рек: Калининградский залив	76
Замана Л.В., Вахнина И.Л. Влияние россыпной золотодобычи на природные комплексы речных долин бассейна реки Амур (Восточное Забайкалье, Россия)	83

ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Чупикова С.А., Прудников С.Г., Андронаке И.К. Морфометрические особенности структуры речных бассейнов Ойна-Харальского рудного узла (Тува)	90
---	----

ПАМЯТНАЯ ДАТА

Паршина Н.В. Товарищу Плеханову, астероиду и человеку	101
--	-----

CONTENTS

PALEONTOLOGY, STRATIGRAPHY

Malikov D.G. The structure of the first floodplain terraces in the lower reaches of the Bija River (South Minusinsk basin) and new fauna data of the Mokhov location	6
Podobina V.M. Oligocene foraminifera of Western Siberia and other regions. Problem of the Latdorfian stage	16
Shpansky A.V., Ilyina S.A. The taxonomic position of the two-horned Rhinoceros from Podpusk-Lebyazhye faunal complex of Western Siberia	32

REGIONAL GEOLOGY

Motova Z.L., Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M. The composition and conditions of the origin of Late Precambrian terrigenous rocks of the Karagass group (Biryusa Sayan Region)	44
---	----

GEOECOLOGY

Abramov B.N., Eremin O.V., Filenko R.A., Tsyrenov T.G. Assessment of potential environmental hazards of natural and man-made complexes of ore deposits (Eastern Transbaikalia, Russia)	64
Bogdanov N.A., Ermolaev B.V., Bass O.V., Paranina A.N. Mercury in the bottom sediments of the ship channel and river mouths: the Vistula lagoon	76
Zamana L.V., Vakhnina I.L. The influence of alluvial gold mining on the natural complexes of river valleys of Amur River basin (Eastern Transbaikalia, Russia)	83

GEOMORPHOLOGY

Chupikova S.A., Prudnikov S.G., Andronache I.K. Morphometric features of the structure of river basins Oina-Kharal ore node (Tuva, Russia)	90
---	----

MEMORABLE DATE

Parshina N.V. Comrade Plekhanov, Asteroid and Big Man	101
--	-----

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ, СТРАТИГРАФИЯ

УДК 569.3:551.791

СТРОЕНИЕ I НАДПОЙМЕННОЙ ТЕРРАСЫ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. БИДЖА (ЮЖНО-МИНУСИНСКАЯ ВПАДИНА) И НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ФАУНЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ МОХОВО

Д.Г. Маликов

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



Приводится описание разреза отложений I надпойменной террасы р. Биджа и местонахождения ископаемой фауны Мохово. Приведены характеристика и описание имеющегося остеологического материала по крупным и мелким млекопитающим. Крупные млекопитающие представлены *Mammuthus primigenius*, *Equus ferus*, *Ovis ammon*, *Bison priscus*, *Cervus elaphus*, *Saiga tatarica* и *Capreolus capreolus*, мелкие млекопитающие – *Lagurus lagurus*, *Microtus* sp. и *Spermophilus* sp. Фауна имеет преимущественно степной облик, что характерно для равнинной части котловины в каргинское время.

Ключевые слова: мамонтовая фауна, поздний плейстоцен, Енисей, Минусинская котловина, Республика Хакасия.

Введение

Местонахождения млекопитающих позднего плейстоцена распространены на территории Минусинской котловины весьма неравномерно. В большинстве своем они сосредоточены в Северо-Минусинской впадине [Оводов, 2009; Маликов, 2015], в то время как в Южно-Минусинской впадине такие местонахождения единичны и сильно удалены друг от друга (рис. 1, А). Малое количество местонахождений затрудняет реконструкции и не позволяет нормально проследить площадное распространение фауны.

Одним из местонахождений, призванных восполнить пробел в информации об истории фауны Южно-Минусинской впадины, является местонахождение Мохово, описанное автором [Маликов, 2014]. Фаунистические остатки в местонахождении были представлены отдельными находками на бечевнике Красноярского водохранилища. Возраст местонахождения был предварительно определен второй половиной позднего плейстоцена.

Настоящая работа посвящена описанию геологического строения разреза, из которого происходят фаунистические материалы, а также новым данным, полученным по фауне крупных и мелких млекопитающих.

Принятые сокращения: ЗМ ХГУ – зоологический музей Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова (Абакан, Россия); ПМ ТГУ – палеонтологический музей Томского государственного университета (Томск, Россия); ХНКМ – Хакасский национальный краеведческий музей им. Л.Р. Кызласова (Абакан, Россия); ИГМ СО РАН – Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск, Россия); ИЯФ СО РАН – Институт

ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (Новосибирск, Россия).

Геолого-географическая характеристика местонахождения

Местонахождение располагается в окрестностях с. Мохово (53°57' с.ш., 91°26' в.д.) Усть-Абаканского района Республики Хакасия. При низком уровне вод Красноярского водохранилища (апрель–май), приблизительно в 700 м от устья р. Биджа автором исследовано обнажение отложений I надпойменной террасы. По данным А.П. Пуминова и Ф.С. Бузулуцкова [1968], в Южно-Минусинской впадине I надпойменная терраса р. Енисей имеет высоту 5–6 м, а у его притоков даже таких крупных, как Абакан и Туба, высота первой террасы составляет 2–3 м. Отложения террасы сложены супесями, песками и суглинками. Галечники в основании видимой части разрезов наблюдаются очень редко.

Обнажение представляет собой участок размытой террасы длиной ~100 м, расположено выше верхнего подпорного уровня водохранилища и не подвергается затоплению, уровень воды примерно на метр ниже бровки террасы. Для исследования террасы было сделано три зачистки на расстоянии ~30 м друг от друга. Литология слоев во всех зачистках идентична. Также наблюдается постепенное снижение высоты террасы по направлению к устью реки от максимального уровня ~2,5 м от уреза воды (в первой зачистке) до ~2,3 м (в третьей).

Сводный разрез террасы можно представить следующим образом (рис. 1, В) – в основании террасы находится слой коричневых глин, который подстилает русловой аллювий (светло-коричневые пески с галькой).

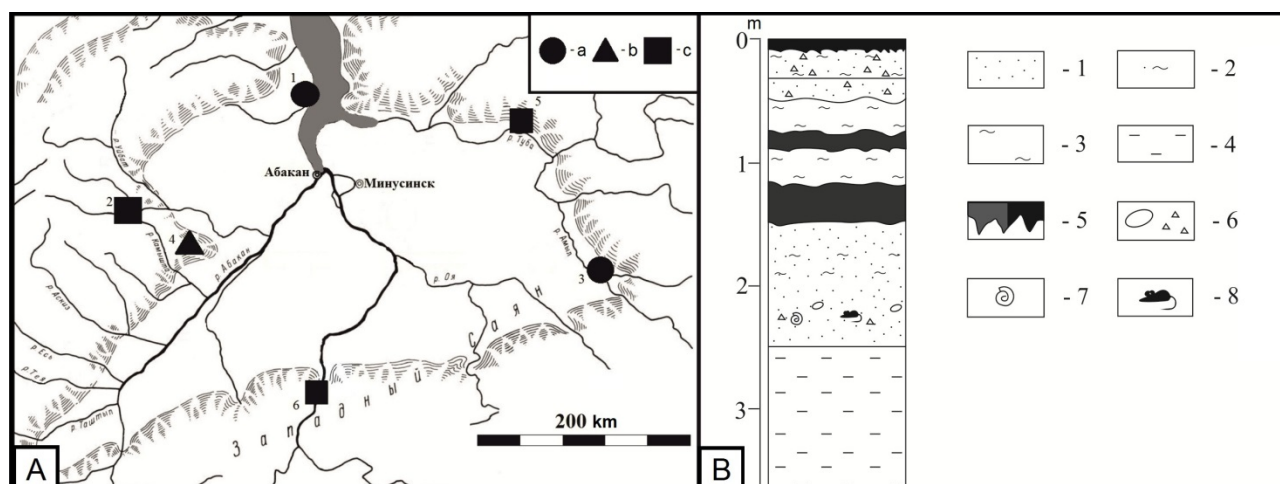


Рис. 1. Основные местонахождения крупных млекопитающих позднего плейстоцена Южно-Минусинской впадины (А). Геологический разрез I надпойменной террасы р. Биджа (В)

А – Типы тафоценозов: а – аллювиальные; б – пещерные; с – палеолитические стоянки. Местонахождения: 1 – Мохово; 2 – Узунжул; 3 – Верхний Кужебар; 4 – Пещера Фанатиков; 5 – Ирба 2; 6 – Майна, Уй 1 и 2; В – Строение разреза: 1 – песок; 2 – супесь опесчаненная; 3 – суглинок; 4 – глина; 5 – гумусовый горизонт; 6 – гальки; 7 – раковины моллюсков; 8 – остатки млекопитающих

Fig. 1. The main locations of Late Pleistocene large mammals of the South Minusinsk basin (A). Geological section of the I floodplain terrace of the Bigja river (B)

А – The taphocenosis type: a – alluvial; b – cave; c – paleolithic site. The name of locations: 1 – Mochovo; 2 – Uzunzhul; 3 – Verkhniy Kuzhebar; 4 – Fanatikov cave; 5 – Irba 2; 6 – Mayina, Ui 1 and 2; В – Section structure: 1 – sands; 2 – sandy loam; 3 – loam; 4 – clay; 5 – humus horizon; 6 – pebbles; 7 – mollusk shells; 8 – mammals remains

Выше располагаются прослой средних суглинков с песками, которые постепенно сменяются темно-серыми плотными суглинками (вероятно, являющимися ископаемыми почвами гидроморфного ряда). Эти суглинки перекрываются небольшим слоем песков, на которых в свою очередь залегает горизонт красно-коричневой супеси.

Разрез I надпойменной террасы р. Биджа (описание сверху вниз):

1. Современный почвенный горизонт, комковатый, светло-коричневого цвета. Мощность 7–10 см.

2. Красно-коричневая супесь опесчаненная, с мелкой (до 1 см) выветрелой галькой. Граница с нижележащим слоем резкая. Мощность 28 см.

3. Светло-коричневый песок с мелкой (до 1,5–2 см) галькой. Мощность 7 см.

4. Светло-коричневые средние суглинки с темными пятнами. Мощность 40 см.

5. Темно-серый плотный средний суглинок – горизонт ископаемой почвы. Мощность 25 см.

6. Коричневые средние суглинки. Мощность 45 см.

7. Темно-коричневые тяжелые суглинки, уплотненные, пористые с прослоями песка – горизонт ископаемой почвы. Мощность 40 см.

8. Пески горизонтально-слоистые светло-коричневые (с рыжева), среднезернистые, горизонтально-слоистые. В средней части с прослоями темно-серого глинистого алеврита, в нижней части с прослоями крупнозернистого песка и гальки до 1 см. Изредка встречаются разрозненные остатки мелких млекопитающих и раковины моллюсков. Мощность 75 см.

9. Глины темно-коричневые, плотные, вязкие. Мощность более 85 см.

Непосредственно в разрезе определимые костные остатки крупных млекопитающих пока не обнаружены. В осыпи у зачистки найдена первая фаланга лошади (ПМ ТГУ 59/7), окрашенная в красно-коричневые тона, что предполагает ее захоронение в светло-коричневых песках слоя 8. При промывке этих песков с целью сбора микротерииофауны также получены мелкие неопределимые фрагменты костей крупных млекопитающих аналогичной сохранности. Исходная окраска черепа архара (ПМ ТГУ 59/1) красно-коричневая, выветрелая поверхность кости светло-серая. Кроме этого, в полостях черепа сохранился песок и мелкие гальки, схожие с таковыми образующими слой 8 обнажения. Некоторые другие образцы также сохранили красноватую окраску (например, рог сайгака). Для черепа архара (ПМ ТГУ 59/1) была получена ^{14}C датировка $23\,160 \pm 235$ л.н. (NSKA-02068), калиброванный возраст составляет 27 035–27 795 л.н. По мнению автора, датировка может быть несколько омоложена.

По совокупности палеонтологических, тафономических и геохронологических данных геологический возраст местонахождения Мохово оценивается автором как каргинский, возможно, часть материалов собранных на бечевнике, может иметь голоценовый возраст.

Материал и методы

Костные остатки крупных млекопитающих собраны на бечевнике, от устья р. Биджа до южной границы Оглахтинского массива. Остатки микротериофауны и малакофауны получены при промывке светло-коричневых песков слоя 8 ситом с диаметром ячеи 1 мм.

Костные остатки крупных млекопитающих хранятся в коллекциях ЗМ ХГУ экз.: 6346–6358, ПМ ТГУ экз.: 59/1–59/14, один экземпляр хранится в ХНКМ (6507). Материалы по микротериофауне хранятся в ИГМ СО РАН без коллекционных номеров. Определенный материал составил 26 костных остатка крупных млекопитающих и 9 остатков мелких млекопитающих (табл. 1).

Таблица 1

Список млекопитающих из местонахождения Мохово

Table 1

List of mammals from the Mokhovo location

№ п/п	Вид	Кол-во, шт.
1	<i>Mammuthus primigenius</i> Blumenbach, 1799	1
2	<i>Cervus elaphus</i> L., 1758	2
3	<i>Capreolus pygargus</i> L., 1758	6
4	<i>Equus ferus</i> Boddaert, 1785	11
5	<i>Bison priscus</i> Bojanus, 1827	2
6	<i>Ovis ammon</i> L., 1758	3
7	<i>Saiga tatarica</i> L., 1766	1
8	<i>Spermophilus</i> sp.	1
9	<i>Lagurus lagurus</i> Pallas, 1773	6
10	<i>Microtus</i> sp.	2

Измерения костей крупных млекопитающих производились по общепринятым методикам [Driesch, 1976; Eisenmann, Beckouche, 1986; Гарутт, Форонова, 1976; Цалкин, 1951]. Номенклатура промеров длинных костей конечностей взята из работы фон ден Дриш [von den Driesch, 1976]: GL – наибольшая длина кости; Вр – ширина проксимального отдела, Др – поперечник проксимального отдела, SD – ширина диафиза, DD – поперечник диафиза, Bd – ширина дистального отдела, Dd – поперечник дистального отдела. Измерения остатков крупных млекопитающих производились штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. В случае неполных замеров, при повреждении кости, перед промером ставился символ «с». Радиоуглеродное датирование выполнено на комплексе экспериментальной установки: ускорительный масс-спектрометр ИЯФ СО РАН (г. Новосибирск).

Результаты исследования

Макротиериофауна. Основная масса находок представляет собой плохо сохранившиеся фрагменты костей. Несмотря на небольшое количество материала, для местонахождения удалось установить относительно богатый видовой состав, представленный 7 видами крупных млекопитающих.

***Mammuthus primigenius* Blumenbach, 1799:** в коллекции имеется один зуб мамонта (ХНКМ 6507)

левый М³ (рис. 2, 1). Зуб светло-коричневого цвета, хорошей сохранности, есть небольшие повреждения краев некоторых пластин на жевательной поверхности, частично поврежден цемент на боковых поверхностях. В зубе сохранилась 21 пластина, из которых 16 затронуты стиранием (12 до полных петель), оставшиеся 5 не стерты. Складчатость эмали небольшая. Длина зуба 245 мм, ширина 103 мм, высота нестертой пластины 143 мм, частота пластин на 10 см равна 9, толщина пластины 12 мм, толщина эмали 1,8 мм.

По толщине эмали зуб близок зубам толстоэмалевой формы мамонтов, относимых И.В. Фороновой [2001] к каргинскому времени. У толстоэмалевой формы толщина эмали составляет 1,8 мм (lim 1,7–2,0). В то же время частота пластин у экземпляра из Мохово несколько ниже, чем у мамонтов из Кузбасса – 10,2 (9,6–10,8).

***Equus ferus* Boddaert, 1785.** Остатки лошадей составляют 11 костей, представленных разными элементами скелета: 2 зуба, плечевая, фрагмент лучевой, пястная, большая берцовая, астрагал, плюсневая, фаланги (2 первые, 1 вторая и 1 копытная). Размеры плечевой кости (ЗМ ХГУ 6352): SD = 37 мм, Bd = 73 мм, Bdt = 70 мм, Dd = 78 мм. Размеры большой берцовой кости (ЗМ ХГУ 6356): GL = 334 мм, BP = 87,4 мм, Др = 83 мм, SD = 41,5 мм, DD = 34 мм, Bd = 68 мм, Dd = 45 мм. Размеры 1-й фаланги (ПМ ТГУ 59/7; 59/8): GL = 82; 74 мм, BP = 51,5; 46 мм, Др =

33; 31 мм, SD = 35; 31 мм, DD = 22; 21 мм, Bd = 45; 41 мм, Dd = 23; 20 мм. Размеры 2-й фаланги (ПМ ТГУ 59/9): GL = 43 мм, BP = 51 мм, Dp = 31 мм, SD = 43 мм, Bd = 45 мм, Dd = 22 мм. Размеры копытной фаланги (ПМ ТГУ 59/10): GL = 55 мм, GB = 68 мм, BF = 44 мм, LF = 23 мм, Ld = 47,5 мм, HP = 39 мм.

Ранее сообщалось [Маликов, 2014], что пястная кость (ЗМ ХГУ 6354) лошади из Мохово (рис. 2, 4) является самой мелкой из известных для позднего плейстоцена и голоцена Сибири. Размеры плюсневой кости (ЗМ ХГУ 6358): наибольшая длина = 250 мм, ширина/поперечник диафиза = 32/36,5 мм, ширина/поперечник проксимального эпифиза = 49/41 мм, диаметр фасетки для os carpalе III = 43 мм, диаметр фасетки для os carpalе IV = 11 мм, ширина дистального эпифиза в надсуставных буграх/в суставном блоке = 47/49 мм, поперечник сагитального гребня = 38 мм, наименьший/наибольший поперечник медиального мышелка = 28/31 мм. Сравнение размеров данной кости с аналогичными костями из других регионов Сибири [Плассеева, Клементьев, 2017] также указывает на то, что лошадь из местонахождения Мохово можно считать одной из самых

мелких лошадей позднего плейстоцена и голоцена Сибири.

Сравнительный анализ пястной и плюсневой костей, обнаруженных в местонахождении Мохово, показал их сходство с аналогичными костями тарпана *Equus ferus* Boddaert, 1785. По размеру обе кости принадлежали некрупным особям. Применяя методику расчета роста лошадей [Витт, 1952] можно сказать, что лошади из местонахождения Мохово были от 112 до 136 см в холке, что соответствует малорослым и мелким лошадям. Расчет роста по большой берцовой кости не противоречит этому значению.

***Cervus elaphus* L., 1758.** Остатки благородного оленя представлены шейным позвонком и центральной костью заплюсны.

***Capreolus pygargus* L., 1758.** Остатки косули представлены атлантом, фрагментом лопатки, двумя поврежденными дистальными эпифизами больших берцовых костей, астрагалом и дистальным эпифизом плюсневой кости. Лопатка (ПМ ТГУ 59/6) сильно повреждена, у нее разрушены суставная впадина и проксимальный отдел, ширина лопатки в шейке составляет 24 мм.

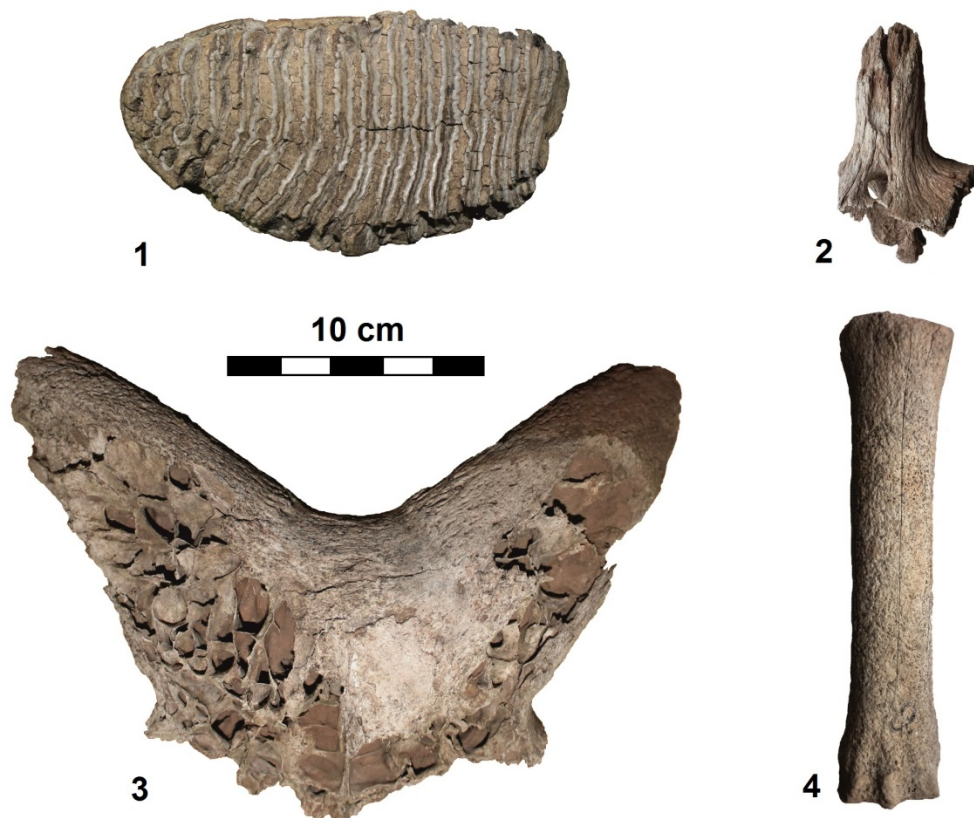


Рис. 2. Остатки крупных млекопитающих из местонахождения Мохово

1 – левый М³ *Mammuthus primigenius* (ХНКМ 6507); 2 – фрагмент левого рогового стержня *Saiga tatarica* (ЗМ ХГУ 6349); 3 – череп архара *Ovis ammon* (ПМ ТГУ 59/1); 4 – правая пястная кость *Equus ferus* (ЗМ ХГУ 6354)

Fig. 2. The large mammals remains from Mokhovo location

1 – the *Mammuthus primigenius* left M³ (KHNM 6507); 2 – the fragment of *Saiga tatarica* left horn-core (ZM KHSU 6349); 3 – the *Ovis ammon* cranium (PM TSU 59/1); 4 – the *Equus ferus* right metacarpale (ZM KHSU 6354)

Два фрагмента больших берцовых костей. От одной (ЗМ ХГУ 6355) сохранилась только задняя поверхность: $Bd = 34,8$ мм. От второй кости (ПМ ТГУ 59/11) сохранились дистальный эпифиз и нижняя часть диафиза, размеры: $DD = \sim 14,0$ мм, $Bd = 32,0$ мм, $Dd = 23,0$ мм. Астрагал (ПМ ТГУ 59/12) сохранился хорошо, есть небольшие повреждения пяточной фasetки. По размерам (длина 37,0 мм, ширина 23,5 мм, индекс ширины 63,5%) этот астрагал идентичен ко-сули каргинского возраста из Тункинской долины – длина 36,9 мм, ширина 23,5 мм, индекс ширины 63,6% [Shchetnikov et al., 2015]. Дистальный конец плюсневой кости взрослой особи (ПМ ТГУ 59/13) имеет следующие размеры: $SD = 17,5$ мм, $DD = 16,0$ мм, $Bd = 27,5$ мм, $Dd = 19,5$ мм.

***Bison priscus* Bojanus, 1827.** Остатки бизона представлены поврежденной плечевой костью и поясничным позвонком. У плечевой кости (ЗМ ХГУ 6351) отсутствует проксимальный эпифиз, поэтому невозможно произвести часть измерений. Кость принадлежала не крупной особи. $SD = 55$ мм, $Bd = 108,6$ мм, $Bdt = 108,8$ мм. Аналогичные размеры плечевых костей отмечены для каргинских бизонов Куртака (min–(M)–max): 47–(60,4)–70; 103–(119,3)–130; 92–(106,8)–118 мм и Грота Проскурякова: 50,3–(61,2)–70,5; 108,5–(115,9)–119,3; 94,3–(104,9)–110 мм соответственно [Васильев, Оводов, 2009].

***Ovis ammon* L., 1758.** Остатки архара представлены фрагментами от черепов двух особей и одним первым шейным позвонком. Один череп (ПМ ТГУ 59/1) принадлежал взрослой особи (рис. 2, 3). Другой череп (ПМ ТГУ 59/2) подростка, умершего, су-

дя по развитию роговых стержней, в возрасте чуть больше года (рис. 3).

У черепа взрослой особи (ПМ ТГУ 59/1) сохранились лобно-затылочная область и основания роговых стержней (рис. 2, 3). Череп архара из местонахождения Мохово немного мельче, чем экземпляры из Кожухово I и Михайловского прииска, как по общим размерам, так и по размерам роговых стержней (табл. 2). При этом экземпляр из Мохово по всем параметрам лежит в границах изменчивости современных *Ovis ammon ammon* Горного Алтая.

***Saiga tatarica* L., 1766.** Представлена фрагментом основания левого рогового стержня (экз. ЗМ ХГУ 6349) с частично сохранившимися костями черепа и глазницы (рис. 2, 4). Роговой стержень подвергся сильному выветриванию и значительно окатан, по этой причине его сравнение с остатками из других регионов затруднительно [Маликов, 2014].

Микротериофауна. Данные по микротериофауне местонахождения Мохово пока малочисленны и в основном представлены изолированными фрагментами костей и зубов. Материал слабо окатан, костные остатки имеют темно-коричневый цвет, иногда покрыты черными пятнами. В собранной коллекции имеются определяемые фрагменты зубов *Lagurus lagurus* Pallas, 1773 (фрагменты от трех m1, двух m2 и одного m3), *Microtus* sp. (фрагменты m1 и m3), фаланга *Spermophilus* sp. и неопределимые фрагменты костей Arvicolinae. Фрагменты m1 *L. lagurus* представлены антероконидом и сохранившимися петлями T2–T5, T4 и T5 слабо слиты между собой, антероконид имеет форму трилистника.

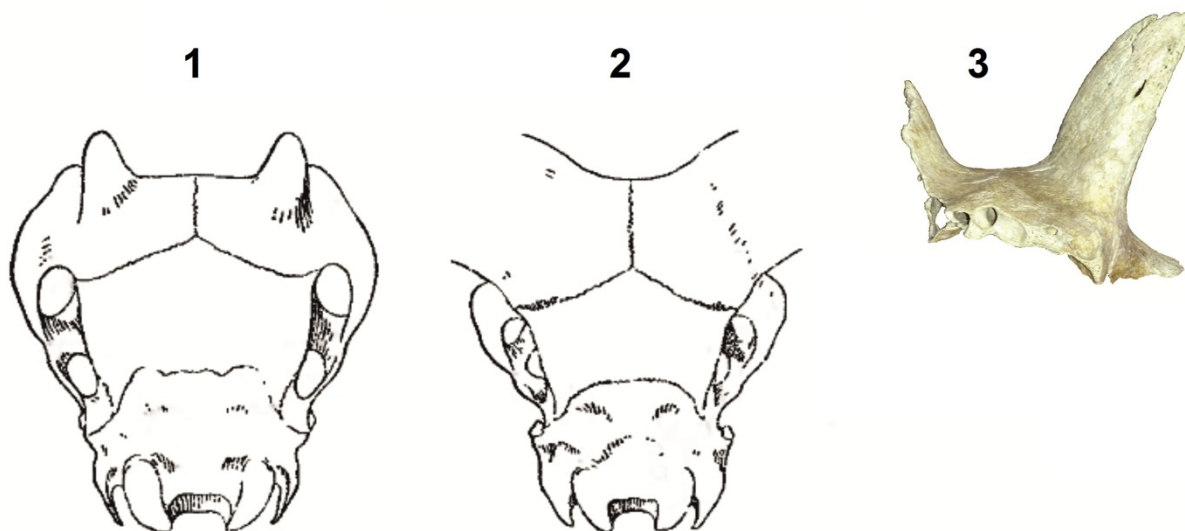


Рис. 3. Развитие роговых стержней в онтогенезе самцов *Ovis ammon* [Цалкин, 1951]

1 – в возрасте 9 месяцев; 2 – в возрасте 2 лет; 3 – фрагмент черепа ПМ ТГУ 59/2 из Мохово

Fig. 3. The development of horn-cores in the ontogenesis of *Ovis ammon* males [Tsalkin, 1951]

1 – at the 9 months age; 2 – at the 2 years age; 3 – skull fragment (PM TSU 59/2) from Mokhovoye location

Таблица 2

Размеры (мм) черепов ископаемых и современных *Ovis ammon*

Table 2

Skulls measurements (mm) of the fossil and recent *Ovis ammon*

Промеры*	Минусинская котловина			Современные <i>O. ammon</i> , Русский и Монгольский Алтай [Боесков, 2001], $n = 9$	
	Мохово ПМ ТГУ 59/1	Кожухово I [Шпанский, Маликов, 2015]	Михайловский прииск [Алексеева, 1980]	lim	М
1	160,0	167,0	176,0	152,0–180,0	166,78
2	43,0	37,0	33,0	–	–
3	340,0	356,0	385,0/375,0	310,0–374,0	340,44
4	111,0	124,0	136,0	110,0–128,0	115,9
5	97,0	96,0	107,0	79,0–115,0	91,8
6	94	113	105	85–102	92,56
7	26,0	26,8	26,0	–	–
8	25,0	21,0	20,5	–	–
9	188,0	196,0	199,0	165,0–186,0	175,78
10	122,5	129,0	120,0	107,0–129,0	118,22

* Промеры [Цалкин, 1951]: 1 – наибольшая ширина между основаниями рогов снаружи, 2 – наименьшая ширина между основаниями рогов внутри, 3 – обхват стержней у основания, 4 – передне-задний диаметр рога (там же), 5 – боковой диаметр рога (там же), 6 – угол расхождения роговых стержней, 7 – ширина затылочного отверстия, 8 – высота затылочного отверстия, 9 – длина зароговой части от наивысшей точки лба до нижнего края затылочного отверстия, 10 – наибольшая ширина затылка.

* Measurements [Tsalkin, 1951]: 1 – width between horns, 2 – minimum distance between inner margins of horn processes, 3 – horncore basal circumference, 4 – oro-aboral diameter of horncore base, 5 – dorso-basal diameter of horncore base, 6 – angle of divergence of horncores, 7 – greatest breadth of the foramen magnum, 8 – height of the foramen magnum, 9 – greatest height of the occipital region, 10 – greatest breadth of occipital condyles.

Заключение

Несмотря на фрагментарность материала, он однозначно указывает на плейстоценовый возраст местонахождения Мохово. Из 7 идентифицированных видов крупных млекопитающих, 3 вида (*Mammuthus primigenius*, *Bison priscus*, *Saiga tatarica*) вымерли на данной территории к голоцену. Ареал *Ovis ammon* имел максимальное распространение в позднем плейстоцене. С развитием скотоводства и усилением антропогенного пресса произошло вытеснение архара с равнинной (степной) территории Минусинской котловины в малопригодные предгорные и высокогорные районы, в которых развита преимущественно таежная растительность. В результате этого к настоящему времени вид перестал встречаться в регионе [Маликов, 2017]. Это также указывает на плейстоценовый возраст местонахождения. Видовой состав крупных млекопитающих местонахождения Мохово наиболее близок фауне местонахождения Узунжол (табл. 3), для которого, как и для описываемого местонахождения предполагается каргинский возраст [Маликов, 2015]. Все это, в совокупности с ^{14}C датировкой ($23\,160 \pm 235$ л.н.), полученной для черепа архара, позволяет относить фауну местонахождения Мохово к каргинскому времени, вероятно, его заключительному этапу. Для некоторых почв поздне-каргинского времени на юге

Западной Сибири характерны ^{14}C датировки близкого возраста: Белово – $23\,160 \pm 550$ л.н. (СОАН-2499) и $23\,114 \pm 793$ л.н. (NSKA-s821), Красногорское – $23\,065 \pm 420$ л.н. [Сизикова и др., 2015; Zykina et al., 2019]. Это также подтверждает каргинский возраст фауны местонахождения Мохово.

Отдельного обсуждения заслуживает ^{14}C датировка, полученная в ИЯФ СО РАН. Результаты, получаемые на этой установке, до сих пор нельзя интерпретировать однозначно. В отчете по теме «Геохронологические и палеоэкологические аспекты изучения каменного века Евразии на основе биостратиграфических, геохимических и изотопных методов» [Отчет..., 2016] приводятся датировки для местонахождения Волчья Грива, лежащие в интервале $17\,236\text{--}20\,284$ радиоуглеродных лет. Эти датировки близки накопленному массиву датировок для данного местонахождения, основная масса которых лежит в интервале $\sim 18\text{--}11$ тыс. л.н. [Зенин и др., 2017]. Результаты радиоуглеродного датирования образцов ранненеолитических комплексов памятника Тартас-1 (Среднее Приморье) в лаборатории ИЯФ СО РАН практически полностью совпали с датами, полученными ранее в Центре археометрии им. К. Энгельхорна [Молодин и др., 2019]. Датировки иски-тимской почвы из разреза Белово также оказались идентичными (см. выше). В то же время для установки

ИЯФ СО РАН известны и заведомо некорректные датировки, в том числе и отрицательные [Отчет..., 2016]. Таким образом, автор считает, что датировку ($23\,160 \pm 235$ NSKA-02068), полученную для черепа архара из местонахождения Мохово, следует рассматривать как ориентировочную и требующую подтверждения датировками в других лабораториях.

Остатки микротериофауны пока малочисленны и их сложно использовать для целей стратиграфии и

палеогеографических реконструкций. Тем не менее присутствие остатков *Lagurus lagurus* и *Spermophilus* sp. подтверждает наличие степных условий в период формирования аллювиальных отложений I надпойменной террасы р. Биджа. Таким образом, местонахождение фауны Мохово формировалось в позднекаргинское время, фауна крупных и мелких млекопитающих указывает на широкое развитие степных и лесостепных ландшафтов.

Таблица 3

Крупные млекопитающие из местонахождений Южно-Минусинской впадины

Table 3

The large mammals from the locations of the South Minusinsk basin

Вид	Мохово	Маликов, 2015		Пещера фанатиков [Оводов, 2009]	Ирба 2 [Поляков и др., 2018]	Васильев, 1996		
		Узунжол	В. Кужебар			Уй 1	Уй 2	Майна
<i>Lepus</i> sp.				+	+	+	+	+
<i>Marmota</i> sp.						+		
<i>Canis lupus</i>				+				
<i>Vulpes vulpes</i>				+		+		+
<i>Vulpes corsak</i>				+				
<i>Ursus arctos</i>		+		+	+			
<i>Martes zibellina</i>				+				
<i>Gulo gulo</i>				+				+
<i>Mustela putorius</i>				+				
<i>Crocuta spelaea</i>				+				
<i>Mammuthus primigenius</i>	+	+	+					
<i>Equus ferus</i>	+	+	+	+	+	+		+
<i>Equus hemionus</i> (?)						+		+
<i>Coelodonta antiquitatis</i>		+	+					
<i>Cervus elaphus</i>	+	+	+		+	+	+	+
<i>Capreolus pygargus</i>	+							+
<i>Megaloceros giganteus</i>		+			+			
<i>Alces alces</i>								+
<i>Rangifer tarandus</i>		+			+			
<i>Bison priscus</i>	+	+	+	+	+	+		+
<i>Saiga tatarica</i>	+	+						
<i>Ovis ammon</i>	+	+				+	+	+
<i>Capra sibirica</i>						+	+	+

Такие условия характерны для долины р. Биджа и в настоящее время. Дальнейшие исследования местонахождения Мохово могут способствовать получению новой информации об ископаемой фауне крупных и мелких млекопитающих Южно-Минусинской впадины. Для установления более точного возраста фаунистической ассоциации в будущем будет необходимо проведение массового радиоуглеродного датирования.

Автор благодарен своему другу Р.М. Торину за поддержку и помощь в сборе фаунистического материала, а также сотрудникам ЗМ ХГУ, ПМ ТГУ и ХНКМ за возможность работы с коллекциями.

Изучение фауны и радиоуглеродное датирование выполнены при поддержке проекта РФФИ № 18-35-00118. Обобщение данных проведено в рамках государственного задания ИГМ СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеева Э.В. Млекопитающие плейстоцена юго-востока Западной Сибири (хищные, хоботные, копытные). М. : Наука, 1980. 188 с.

- Боевский Г.Г.** К систематике и распространению баранов рода *Ovis* (Artiodactyla, Bovidae) в плейстоцене и голоцене Сибири и Дальнего Востока // Зоологический журнал. 2001. Т. 80, № 2. С. 243–256.
- Васильев С.А.** Поздний палеолит Верхнего Енисея (по материалам многослойных стоянок района Майны). СПб. : Центр Петербургское Востоковедение, 1996. 224 с.
- Васильев С.К., Оводов Н.Д.** Бизоны (*Bison priscus* Bojanus, 1827) позднего плейстоцена Алтая и юга средней Сибири // Енисейская провинция. Красноярск : Красноярский краевой краеведческий музей, 2009. Вып. 4. С. 77–90.
- Витт В.О.** Лошади Пазарыкских курганов // Советская археология. 1952. № 16. С. 163–205.
- Гарутт В.Е., Форонова И.В.** Исследования зубов вымерших слонов : метод. рекомендации. Новосибирск : Наука, 1976. 35 с.
- Зенин В.Н., Лещинский С.В., Бурканова Е.М., Гулина А.В., Федяев Н.Я., Туманцева Д.В.** Новейшие исследования местонахождения мамонтовой фауны и позднего палеолита Волчьей гряды (Западная Сибирь) // Труды V (XXI) Всероссийского археологического съезда в Барнауле – Белокурихе. Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2017. Т. I. С. 42–46.
- Маликов Д.Г.** Новое местонахождение позднеплейстоценовой териофауны в устье р. Биджа (Южно-Минусинская впадина) // Амурский зоологический журнал. 2014. Т. 6, № 2. С. 111–116.
- Маликов Д.Г.** Крупные млекопитающие среднего-позднего неоплейстоцена Минусинской котловины, стратиграфическое значение и палеоэкогеография : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Томск, 2015. 227 с.
- Маликов Д.Г.** История ареала архара *Ovis ammon* L., 1758 в Минусинской котловине // Интегративная палеонтология: перспективы развития для геологических целей. Материалы LXIII сессии Палеонтологического общества при РАН (3–7 апреля 2017 г., Санкт-Петербург). СПб., 2017. С. 192–194.
- Молодин В.И., Ненахов Д.А., Мыльникова Л.Н., Райнхольд С., Пархомчук Е.В., Калинин П.Н., Пархомчук В.В., Растигеев С.А.** Радиоуглеродное датирование комплекса эпохи раннего неолита памятника Тартас-1 (Среднее Приомье) с использованием установки «Ускоритель масс-спектрометр ИЯФ СО РАН» // Археология, этнография и антропология Евразии. 2019. Т. 47, № 1. С. 15–22.
- Оводов Н.Д.** Древние звери Хакасии // Астроархеология – естественно-научный инструмент познания протонаук и астральных религий жречества древних культур Хакасии. Красноярск, 2009. С. 189–199.
- Отчет о научно-исследовательской работе (заключ.).** 190.1.2. Геохронологические и палеоэкологические аспекты изучения каменного века Евразии на основе биостратиграфических, геохимических и изотопных методов / ИАЭТ СО РАН; рук. Зенин В.Н.; исполн.: Деревянко А.П., Зыкин В.С., Зольников И.Д., Васильев С.К., Рудая Н.А., Кутнякова Л.А., Жилич С.В., Панов В.С., Нохрина Т.И. Новосибирск, 2016. 33 с. № ГР 01201355045. URL: <https://docplayer.ru/47304020-Referat-otchet-33-s-1-ch-4-ris-2-tabl-1-prilozhenie-evraziya-kamenny-vek-paleoekologiya-geohronologiya-mezhdisciplinarnye-issledovaniya.html>
- Плассеева Н.А., Клементьев А.М.** Позднеплейстоценовая лошадь *Equus (Equus) ferus* (Perissodactyla, Equidae) Прибайкалья и Забайкалья // Труды Зоологического института РАН. 2017. Т. 321, № 2. С. 180–198.
- Поляков А.В., Амзараков П.Б., Васильев С.А., Рыжов Ю.В., Корнева Т.В., Сапелко Т.В., Барышников Г.Ф., Бурова Н.Д., Гири Е.Ю., Ямских Г.Ю.** Стоянка финального палеолита Ирба-2 в предгорьях Саян (предварительные итоги исследований) // Stratium plus. 2018. № 1. С. 383–401.
- Пушинов А.П., Бузулуков Ф.С.** К литолого-минералогической характеристике кайнозойских аллювиальных отложений долины Енисея в зоне Минусинского межгорного прогиба // Неогеновые и четвертичные отложения Западной Сибири. М. : Наука, 1968. С. 56–76.
- Сизикова А.О., Зыкина В.С., Овчинников И.Ю., Панов В.С.** Комплексное изучение горизонтов лессов верхнего плейстоцена разреза Белово // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2015. № 4. С. 17–30.
- Форонова И.В.** Четвертичные млекопитающие юго-востока Западной Сибири (Кузнецкая котловина): филогения, биостратиграфия, палеоэкология. Новосибирск : СО РАН филиал «ГЕО», 2001. 230 с.
- Цалкин В.И.** Горные бараны Европы и Азии. М. : Изд-во МОИП, 1951. 343 с.
- Шпанский А.В., Маликов Д.Г.** Новые местонахождения четвертичных млекопитающих в междуречье рек Белый и Черный Июс, Республика Хакасия // Вестник Томского государственного университета. 2015. № 396. С. 245–257.
- Eisenmann V., Beckouche S.** Identification and discrimination of metapodials from Pleistocene and Modern Equus, wild and domestic // Meadow, H.P. Uermann. Equids in the ancient world, Beihefte zum Tubinger Atlas des Vorderen Orients, Reihe A. Wiesbaden, 1986. P. 116–163.
- Shchetnikov A.A., Klementiev A.M., Filinov I.A., Semenov E.Yu.** Large mammals from the Upper Neopleistocene reference sections in the Tunka rift valley, southwestern Baikal Region // Stratigraphy and Geological Correlation. 2015. V. 23, № 2. P. 214–236.
- Von den Driesch A.** A guide to the measurements of animals bones from archaeological sites // Peabody Mus. Bull. 1976. № 1. 136 p.
- Zykina V.S., Zykin V.S., Volvakh A.O., Smolyaninova L.G., Ovchinnikov I.Y.** The Loess-Paleosol Sequence at the Krasnogorskoye Section, the Low-Hill Zone of the Northeastern Altai Mountains // Archaeology, Ethology and Anthropology of Eurasia. 2019. V. 47, № 1. P. 3–14.

Автор:

Маликов Дмитрий Геннадьевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.
E-mail: dgmalikov@igm.nsc.ru

D.G. Malikov

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

THE STRUCTURE OF THE FIRTH FLOODPLAIN TERRACES IN THE LOWER REACHES OF THE BIJA RIVER (SOUTH MINUSINSK BASIN) AND NEW FAUNA DATA OF THE MOKHOV LOCATION

The description of the sediment section of the first floodplain terrace of the Bija River gives in this paper and new data on the fossil fauna of Mokhovo location in the Republic of Khakassia. The fauna location is associated with channel alluvium sediment at the base of the section of the Bija river terrace. The channel alluvium is overlain by floodplain sediments and alluvial soils. This fauna location is one of the few alluvial fauna locations in this region. The large mammals fauna is represented by woolly mammoth *Mammuthus primigenius*, horse *Equus ferus*, argali sheep *Ovis ammon*, buffalo *Bison priscus*, red deer *Cervus elaphus*, saiga antelope *Saiga tatarica* and roe deer *Capreolus capreolus*, the small mammals are represented by the remains of *Lagurus lagurus*, *Microtus* sp. and *Spermophilus* sp. A morphological study of bone remains was performed. The woolly mammoth from Mokhovo location can be attributed to a thick enamel form, close to the mammoths of the Karginian horizon from Kuznetsk Basin. The roe deer from the Mokhovo location are close to roe deer of the Karginian horizon from Tunka rift. The argali sheep from Mokhovo location is smaller than the Pleistocene argali of the Minusinsk depression and is close to the average size of recent animals from Altai. The horses from this location can be classified as short stature and small horses. The only roe deer and red deer have survived of the large mammals in the region is currently. The large mammals species composition of the Mokhovo locality is closest to the fauna of the Uzunzhul locality, for which the Karginian horizon is assumed, and is very different from the Sartanian horizon fauna in the localities of the region. The radiocarbon dating from the argali sheep skull was obtained and is confirmed the age of the fauna of the Mokhovo locality. The large and small mammals fauna data are indicate the predominance of steppe and forest-steppe landscapes in the region during the formation of alluvial deposits of the first floodplain terrace of the Bija River. These deposits were formed in the late Karginian time. The similar landscape conditions are typical for the Bija River valley at present.

Keywords: mammoth fauna, Late Pleistocene, Yenisey river, Minusinsk depression, Khakass republic.

References

- Alekseeva E.V. *Mlekopitayushchie pleystotsena yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri (khishchnye, khotobnye, kopytnye)* [Pleistocene mammals of the southeast of Western Siberia (predators, proboscideans, ungulates)]. Moscow: Nauka, 1980. 188 p. In Russian
- Boeskorov G.G. *K sistematike i rasprostraneniyu baranov roda Ovis (Artiodactyla, Bovidae) v pleystotsene i golotsene Sibiri i Dal'nego Vostoka* [On the taxonomy and distribution of sheep g. Ovis (Artiodactyla, Bovidae) in the Pleistocene and Holocene of Siberia and the Far East] // Zoologicheskij zhurnal. 2001. V. 80. N. 2. pp. 243–256. In Russian
- Vasil'ev S.A. *Pozdnij paleolit Verhnego Eniseya (po materialam mnogolosnykh stoyanok rajona Majny)* [Late Paleolithic of Upper Yenisei. A case study of multilayered sites around of Maina]. St. Petersburg, Tsentr Peterburgskoe vostokovedenie Publ., 1996, 224 p. In Russian
- Vasil'ev S.K., Ovodov, N.D. *Bizony (Bison priscus Bojanus, 1827) pozdnego pleystotsena Altaya i yuga Sredney Sibiri* [The bison (Bison priscus Bojanus, 1827) of the Late Pleistocene of the Altai and south of Central Siberia]. Eniseyskaya provintsiiya. 2009. V. 4. pp. 77–90. In Russian
- Vitt, V.O. *Loshadi Pazarykskikh kurganov* [Horses of the Pazaryk mounds]. Sovetskaya arkheologiya. 1952. N. 16. pp. 163–205. In Russian
- Garutt V.E., Foronova I.V. *Issledovaniya zubov vymershih slonov: Metodich. Rekomendacii* [Research on the teeth of extant elephants: methodological recommendations]. Novosibirsk: Nauka, 1976. 36 p. In Russian
- Zenin V.N., Leshchinskiy S.V., Burkanova E.M., Gulina A.V., Fedyaev N.Ya., Tumantseva D.V. The latest research of the mammoth fauna and Late Paleolithic site Volchia Griva (Western Siberia) // Proceedings of the 5th (21st) All-Russian Archaeological Congress (October 3–7, 2017, Barnaul, Belokurikha). Barnaul: Izdatel'stvo AGU, 2017. V. 1. pp. 42–46. In Russian
- Malikov D.G. *Novoe mestonahozhdenie pozdnepleystocenovoy teriofauny v ust'e r. Bidzha (Yuzhno-Minusinskaya vpadina)* [The new site of the Late Pleistocene theriofauna in estuaries of the Bija river (South Minusinsk depression)] // Amurskij zoologicheskij zhurnal. 2014. V. 6. N. 2. pp. 111–116. In Russian
- Malikov D.G. *Krupnye mlekopitayushchie srednego-pozdnego neoplejstocena Minusinskoj kotloviny, stratigraficheskoe znachenie i paleozoogeografiya* [Large mammals of Mid-Late Pleistocene from Minusinsk Basin, stratum, value and paleozoogeography]. Dissertation of candidate of Geological and Mineralogical Sciences. Tomsk, 2015. 227 p. In Russian
- Malikov D.G. *Istoriya areala arhara Ovis ammon L., 1758 v Minusinskoj kotlovine* [The history of the argali sheep *Ovis ammon* L., 1758 range in Minusinsk depression] // Integrativnaya paleontologiya: perspektivy razvitiya dlya geologicheskikh celej. Materialy LXIII sessii Paleontologicheskogo obshchestva pri RAN (3–7 aprelya 2017, Sankt-Peterburg). St. Petersburg, 2017. pp. 192–194. In Russian
- Molodin V.I., Nenakhov D.A., Mylnikova L.N., Reinhold S., Parkhomchuk E.V., Kalinkin P.N., Parkhomchuk V.V., Rastigeev S.A. The Early Neolithic Complex on the Tartas-1 Site: Results of the AMS Radiocarbon Dating // Archaeology, Ethology and Antropology of Eurasia. 2019. V. 47. N. 1. pp. 15–22. In Russian
- Ovodov N.D. *Drevnie zveri Hakasii* [Ancient beasts of Khakassia] // Astroarheologiya – estestvenno-nauchnyj instrument poznaniya protonauk i astral'nyh religij zhrechestva drevnih kul'tur Hakasii. Krasnoyarsk, 2009. pp. 189–199. In Russian
- Report on the research work (concluded.): 190.1.2. Geochronological and paleoecological aspects of the study of the Eurasian Stone Age on the basis of biostratigraphic, geochemical and isotopic methods / IAE SB RAS; supervisor: Zenin V.N.; performer: Derevyanko A.P., Zykin V.S., Zolnikov I.D., Vasiliev S.K., Rudaya N.A., Kutnyakova L.A., Zhilich S.V., Panov V.S., Nohrina T.I. Novosibirsk, 2016.33 p. GR No. 01201355045. In Russian. <https://docplayer.ru/47304020-Referat-otchet-33-s-1-ch-4-ris-2-tabl-1-prilozhenie-evraziya-kamenny-vek-paleoekologiya-geohronologiya-mezhdisciplinarnye-issledovaniya.html>
- Plasteeva N.A., Klement'ev A.M. *Pozdnepleystocenovaya loshad' Equus (Equus) ferus (Perissodactyla, Equidae) Pribajkal'ya i Zabajkal'ya* [Late Pleistocene horse *Equus* (Equus) ferus (Perissodactyla, Equidae) from the Cis-Baikal and Transbaikalia] // Trudy Zoologicheskogo Instituta RAN. 2017. V. 321. N. 2. pp. 180–198. In Russian

Polyakov A.V., Amzarakov P.B., Vasil'ev S.A., Ryzhov Yu.V., Korneva T.V., Sapelko T.V., Baryshnikov G.F., Burova N.D., Girya E.Yu., Yamskikh G.Yu. *Stoyanka final'nogo paleolita Irba-2 v predgor'yah Sayan (predvaritel'nye itogi issledovaniy)* [The Final Palaeolithic Site of Irba 2 in the Piedmonts of Sayan Mountains (preliminary results of investigations)] // *Stratum plus*. 2018. N. 1. pp. 383–401. In Russian

Puminov A.P., Buzuluckov F.S. K litologo-mineralogicheskoy harakteristike kajnozjskih allyuvial'nyh otlozhenij doliny Eniseya v zone Minusinskogo mezhgornogo progiba [On the lithological and mineralogical characterization of the Cenozoic alluvial deposits of the Yenisei valley in the Minusinsk intermountain trough zone] // «Neogenovye i chetvertichnye otlozheniya Zapadnoj Sibiri». Moscow : Nauka, 1968. pp. 56–76. In Russian

Sizikova A.O., Zykina V.S., Ovchinnikov I.Yu., Panov V.S. *Kompleksnoe izuchenie gorizontov lessov verhnego plejstocena razreza Belovo* [An integrated study of the Late Pleistocene loess horizons, the Belovo stratotype section] *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri*. 2015. N. 4. pp. 17–30. In Russian

Foronova I.V. *Chetvertichnye mlekopitayushchie yugo-vostoka Zapadnoj Sibiri (Kuzneckaya kotlovina) filogeniya, biostratigrafiya paleoekologiya* [Quaternary mammals of the southeast of Western Siberia (Kuznetsk Basin): phylogeny, biostratigraphy, and palaeoecology]. Novosibirsk: «GEO» SO RAN, 2001. 230 p. In Russian

Tsalkin V.I. *Gornye barany Evropy I Azii* [Wild Sheep of Europe and Asia]. Moscow: Moskovskoe Obschestvo Ispytatelei Prirody, 1951. 343 p. In Russian

Shpansky A.V., Malikov D.G. *Novye mestonahozhdeniya chetvertichnyh mlekopitayushchih v mezhdurech'e rek Belyj i Chyornyy Iyus, Respublika Hakasiya* [The new sites of mammoth fauna in the Chulym River head, the Khakass republic] // *Tomsk State University Journal*. 2015. V. 396. pp. 245–257. In Russian

Eisenmann V., Beckouche S. Identification and discrimination of metapodials from Pleistocene and Modern Equus, wild and domestic // Meadow, H.P. Uermann. *Equids in the ancient world*, Beihefte zum Tübinger Atlas des Vorderen Orients, Reihe A. Wiesbaden, 1986. pp. 116–163.

Shchetnikov A.A., Klementiev A.M., Filinov I.A., Semenov E.Yu. Large mammals from the Upper Neopleistocene reference sections in the Tunka rift valley, southwestern Baikal Region // *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2015. V. 23. N. 2. pp. 214–236.

Von den Driesch A. A guide to the measurements of animals bones from archaeological sites // *Peabody Mus. Bull*. 1976. N. 1. 136 p.

Zykina V.S., Zykin V.S., Volvakh A.O., Smolyaninova L.G., Ovchinnikov I.Y. The Loess-Paleosol Sequence at the Krasnogorskoye Section, the Low-Hill Zone of the Northeastern Altai Mountains // *Archaeology, Ethology and Anthropology of Eurasia*. 2019. V. 47. N. 1. pp. 3–14.

Author's:

Malikov Dmitriy G., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia.

E-mail: dgmalikov@igm.nsc.ru

УДК 563.12:551.781 (571.1)

ОЛИГОЦЕНОВЫЕ ФОРАМИНИФЕРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ДРУГИХ РЕГИОНОВ. ПРОБЛЕМА ЛАТДОРФСКОГО ЯРУСА

В.М. Подобина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия



Между нюрольской и тавдинской свитами Западной Сибири по резкому изменению их литологии и состава микрофауны определен перерыв в осадконакоплении, соответствующий, по-видимому, латдорфскому веку раннего олигоцена. Тавдинская свита содержит рюпельские комплексы фораминифер среднего олигоцена, сходные с таковыми северных регионов Европы, Атлантики и юго-востока США.

Ключевые слова: латдорфский век, перерыв, фораминиферы, рюпель, тавдинская свита, Западная Сибирь.

Введение

Применение других методов исследования микрофауны, а также учет общего хода геологической истории Западной Сибири дали возможность уточнить возраст тавдинской свиты (горизонта). Значительное изменение литологии и микрофауны между нюрольской и тавдинской свитами позволило предположить о проявлении на этом уровне восходящих тектонических движений уже с конца осадконакопления нюрольской свиты.

В результате этих движений произошел подъем Западной Сибири, а затем опускание южной половины территории и изменение направления трансгрессии (с северного на южное). Поэтому в тавдинской свите появились секретионно-известковые бентосные и планктонные фораминиферы и остракоды на смену кремнистым организмам из нижележащей нюрольской свиты. Кроме того, в тавдинской свите, как и в регионах Северной Европы, почти полностью отсутствуют радиолярии. Анализируя систематический состав секретионно-известковых бентосных и планктонных фораминифер и сравнивая их с таковыми Европы, Атлантики и юго-востока США, автор пришел к выводу о среднеолигоценном (рюпельском) возрасте тавдинской свиты. По мнению автора, нижний олигоцен (латдорфский ярус) в Западной Сибири и северных регионах Европы в основном выпадает из разреза в связи с подъемом их территории и отсутствием осадконакопления с конца нюрольской свиты (вторая фаза альпийского тектогенеза). Нижний олигоцен (латдорфский ярус) прослеживается в виде зон и слоев с фораминиферами в Средней и Южной Европе, а также в Крыму и Средней Азии, поэтому этот ярус необоснованно упразднили [Решение..., 1999].

В соответствии с обобщением известных сведений по микрофауне и геологическим событиям на территории Западной Сибири и по другим регионам целесообразно восстановить латдорфский ярус ниж-

него олигоцена, а рюпельский ярус вернуть на его прежнее место в среднем олигоцене общей стратиграфической шкалы палеогена.

Методика определения перерывов в осадконакоплении

В данной статье использован метод для определения отсутствующих в разрезе некоторых стратонів из-за перерывов в осадконакоплении. Наличие этих перерывов, обусловленных тектоническими движениями, впервые четко обозначено автором в палеогеновых, а ранее в меловых отложениях Западной Сибири [Подобина, 2018]. Для применения этого метода основными данными являются значительные различия литологического состава и вмещающей микрофауны в смежных стратонах. Для применения на практике данного метода использованы рекомендации Д.В. Наливкина [Наливкин, 1974], показавшего в своей работе на многочисленных примерах наличие разной длительности перерывов в палеозойских отложениях Русской плиты.

Резкое различие литологии и систематического состава вмещающей микрофауны (фораминифер, радиолярий, остракод) между смежными стратонами дает основание предполагать о длительных перерывах, соответствующих большей части или полному отсутствию ярусных подразделений. В частности, в разрезе палеогеновых отложений Западной Сибири автором установлены два довольно длительных перерыва. Первый из них представляет почти полное отсутствие датского яруса. Только самые нижние слои этого яруса установлены в виде выделяемой в верхах ганькинской свиты зоны *Brotzenella praeacuta*. Слои этой зоны сохранились местами только в понижениях рельефа Западной Сибири. Они соответствуют по шкале планктонных фораминифер [Решение..., 1999] зоне *Eoglobigerina taurica*; [Berggren, Kent, Aubry, 1995; Berggren, Pearson, 2005], зоне *Parvularogoglobigerina*

eugubina нижнего палеоцена. Датский перерыв в осадконакоплении, по-видимому, соответствует первой фазе альпийской эпохи тектогенеза.

Второй, значительный по времени перерыв в осадконакоплении относится к предполагаемому автором латдорфскому веку. Этот перерыв обусловлен, по-видимому, второй фазой альпийской эпохи тектогенеза. Значительное изменение литологии и вмещающей микрофауны между нюрольской и тавдинской свитами, а также присутствие в последней известковой микрофауны (фораминиферы и остракоды) вместо нюрольской кремнистой и полное отсутствие радиолярий – это результат тектонических движений на территории Западной Сибири, приведших к изменению гидрологического режима бассейна.

Сначала произошел подъем этого региона, а затем опускание его южной половины и изменение направления трансгрессии (с северного на южное). Вследствие этого произошло выпадение из разреза части отложений между верхним эоценом и средним олигоценом. К последнему относится тавдинская свита, которая по содержанию рюпельских фораминифер, что доказывалось многими сведениями, соответствует среднему (не нижнему) олигоцену. Автором предполагается, что перерыв в осадконакоплении между нюрольской и тавдинской свитами соответствует латдорфскому веку. Этот ярус по [Решение..., 1999] упразднен из палеогеновой схемы, а бывший среднеолигоценовый рюпельский ярус изменен на нижнеолигоценовый. Как доказали исследования автора, этот ярус должен быть восстановлен снова в среднем олигоцене, а латдорфский ярус целесообразнее вернуть в палеогеновую шкалу в качестве яруса нижнего олигоцена.

По-видимому, при подъеме северного борта Европы и Западной Сибири под действием второй фазы альпийского тектогенеза во многих этих регионах прослежено выпадение латдорфского яруса. Он сохранился местами, например в стратотипической местности Германии, особенно в более полных разрезах Атлантического (возле юго-западной Африки) и, возможно, в других океанах, где прослежены нижняя (*Globigerina tapuriensis*) и средняя (*G. ampliapertura*) зоны планктонных фораминифер, соответствующие нижнему и среднему олигоцену [Krashenninikov, Pflaumann, 1977]. Присутствие этих зон доказывает наличие латдорфского и рюпельского ярусов в палеогеновой стратиграфической шкале. В разрезе палеогеновых отложений Западной Сибири прослеживается только рюпельский ярус среднего олигоцена (тавдинская свита).

Олигоценовые фораминиферы Западной Сибири и других регионов

В разрезах тавдинской свиты одноименного горизонта на юге, западе, в центральном районе, а также на востоке обнаружены комплексы фораминифер,

которые оказались сходными по видовому составу с олигоценовыми (рюпельскими) комплексами многих регионов мира [Подобина, 1998, 2009].

Наиболее характерны планктонные фораминиферы, из которых определены: *Globorotalia aff. kugleri* Bolli, *Paragloborotalia postcretacea* (Mjatluk), *P. anguliofficialis* (Blow), *Turborotalia perfecta* Podobina, *Globanomalina micra* (Cole), *G. barbadoensis* (Blow), *Globigerina ouachitaensis* Howe et Wallace, *G. ouachitaensis* Howe et Wallace *gnaucki* Blow et Banner, *G. praebulloides* Blow, *G. galavisi* Bermudez *lucida* Podobina, *G. angustumbilicata* Bolli, *G. ampliapertura* Bolli, *G. angiporoides* Hornibrook, *G. senilis* Bandy, *G. prasaepis* Blow, *G. officinalis* Subbotina *praesentata* Podobina [Подобина, 1998]. В пределах Западносибирской провинции по разрезу палеогена происходит значительное изменение комплексов фораминифер. На смену эоценовым агглютинированным кварцево-кремнистым фораминиферам появляются секреторно-известковые бентосные и планктонные формы олигоцена [Подобина, 1997, 1998, 2009]. Наряду с планктонными встречаются известковые бентосные раковины видов *Cibicides lopjanicus* Mjatluk, *C. borislavensis* Aisenstat, *Cibicidoides pseudoungerianus* (Cushman), *Nonionellina oligocenica* (Cushman et McGlamary), *N. ovata* (Brotzen), *Evolutononion decoratum* (Cushman et McGlamary), *E. advenum* (Cushman), *Criboelphidium perrarium* Uschakova, *C. differensapertio* Uschakova, *C. parainvolutum* Uschakova, *C. rischtanicum* (N. Bykova), *Elphidiella vegrandia* Uschakova, *E. nitida* Podobina, *E. cosmica* Uschakova, *Protoglobobulimina coprolithoides* (Andreae), *P. ovata* (Orb.) (палеонт. табл. I–VI).

Комплекс фораминифер олигоцена Западной Сибири характеризует зону *Cibicidoides pseudoungerianus*, *Evolutononion decoratum*, занимающую большую часть разреза тавдинской свиты одноименного горизонта. В некоторых более полных разрезах центрального района Западной Сибири в самых верхах нюрольской свиты прослеживаются единичные пиритизированные ядра фораминифер преимущественно родов *Reophax*, *Haplophragmoides*, *Ammotarginulina* и др. [Подобина, 1998].

Фораминиферы из стратотипа рюпельского яруса исследовались по образцам из Бельгийских карьеров во время участия автора в полевой экскурсии (Симпозиум по палеогену, 25–30 августа 2003 г., г. Левен, Бельгия). В результате технической обработки образцов автором выделен представительный комплекс фораминифер из стратотипа рюпельского яруса одного из Бельгийских карьеров (близ г. Боом), разрабатываемого, как и все остальные, на добычу глины. Бельгийский комплекс обнаружен в глинах темно-серых и серых формации Боом, отличающихся от западносибирской тавдинской свиты содержанием большей примеси алевроитового материала, без пятен ожелезнения и почти не расслаивающихся при выветривании.

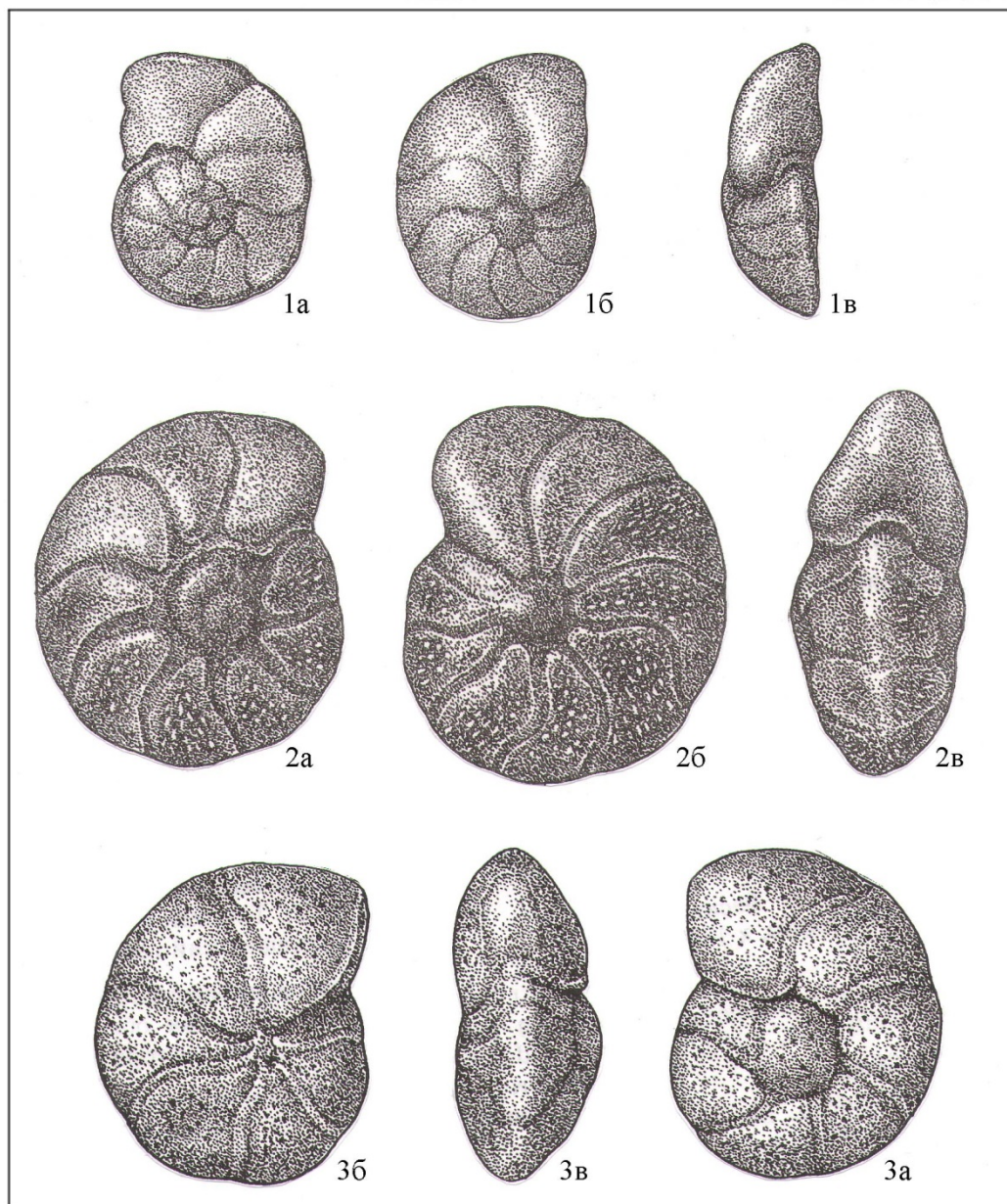
Палеонтологические таблицы I–VI

Средний олигоцен, Рупельский ярус, Тавдинская свита, Западная Сибирь: а – вид со спинной или с боковых сторон; б – вид с брюшной стороны; в – вид со стороны устья. Рисунки фораминифер с натуры выполнены художницей О.М. Лозовой. Представленные экземпляры фораминифер хранятся в лаборатории микропалеонтологии Сибирского палеонтологического научного центра (СПНЦ) ТГУ

Paleontological tables I–VI

Middle Oligocene, Rupelsky Stage, Tavdinskaya Suite, Western Siberia: а – view from the lateral or dorsal side; б – view from the ventral side; в – view from the mouth. Drawings of foraminifera from nature were made by the artist O.M. Lozovaya. Presented specimens of foraminifera are stored in the Laboratory of micropaleontology of the Siberian Paleontological Research Center (SPRC) of TSU

ТАБЛИЦА I

Фиг. 1. *Cibicides borislavensis* Aisenstat

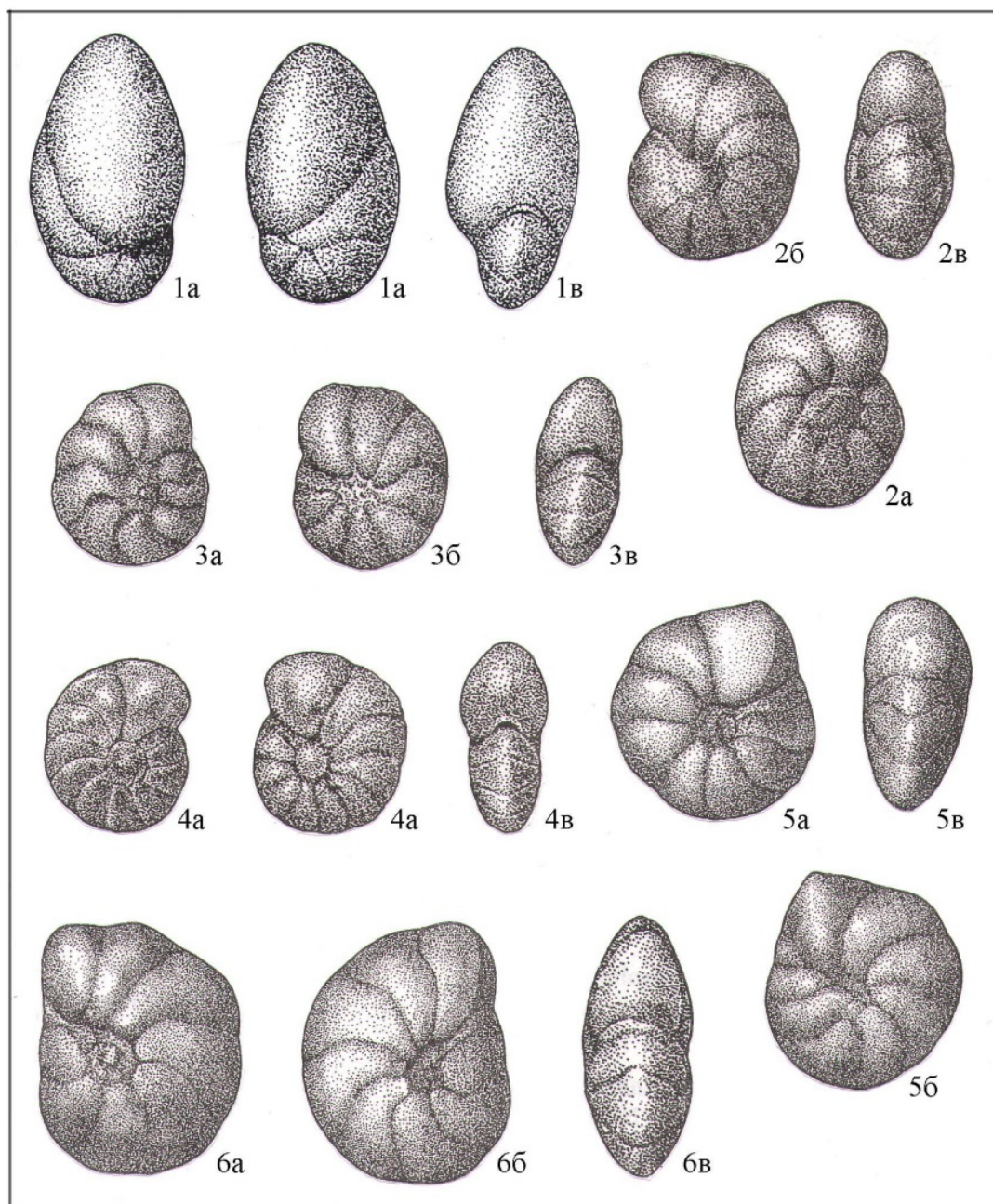
Экз. № 1821. Томская обл., мерид. течение р. Васюган (Западная партия), скв. 1, гл. 254,5 м; x56

Фиг. 2–3. *Cibicoides pseudoungerianus* (Cushman)

2 – экз. № 1823. Омская обл., Тарский профиль, скв. 46-к, гл. 204,0 м; x100

3 – экз. № 1826. Тюменская обл., Тобольская площадь, Овсяниковская площадь, скв. 19-к, инт. 205,2–202,2 м; x100

ТАБЛИЦА II

Фиг. 1. *Nonionellina oligocenica* Cushman et McGlamery

Экз. № 1833. Томская обл., мерид. течение р. Васюган (Западная партия), скв. 1, гл. 385,0 м; x100

Фиг. 2–3. *Evolutononion decoratum* (Cushman et McGlamery)

2 – экз. № 1834. Томская обл., мерид. течение р. Васюган (Западная партия), скв. 3, гл. 343,0 м; x80

3 – экз. № 1835. Томская обл., мерид. течение р. Васюган (Западная партия), скв. 2, гл. 289,0 м; x80

Фиг. 4. *Evolutononion advenum* (Cushman)

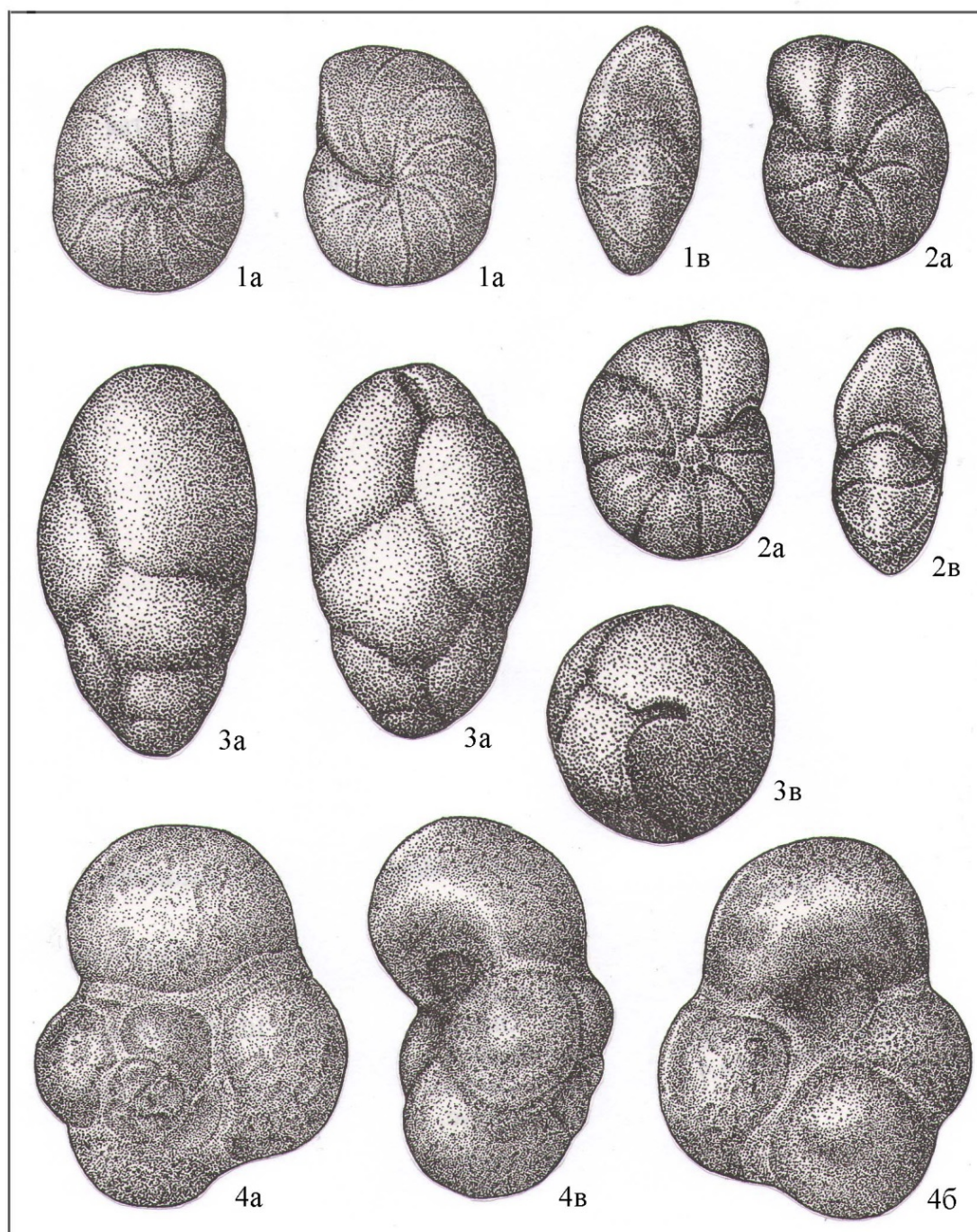
Экз. № 1836. Томская обл., мерид. течение р. Васюган (Западная партия), скв. 3, гл. 314,0 м; x80

Фиг. 5. *Criboelphidium differensapertio* Uschakova

Экз. № 1839. Томская обл., мерид. течение р. Васюган (Западная партия), скв. 2, гл. 314,0 м; x80

Фиг. 6. *Criboelphidium parainvolutum* Uschakova

Экз. № 1518. Томская обл., мерид. течение р. Васюган (Западная партия), скв. 2, гл. 314,0 м; x100



Фиг. 1. *Elphidiella vegrandia* Uschakova

Экз. № 1851. Томская обл., мерид. течение р. Васюган (Западная партия), скв. 1, гл. 374,0 м; х100

Фиг. 2. *Elphidiella cosmica* Uschakova

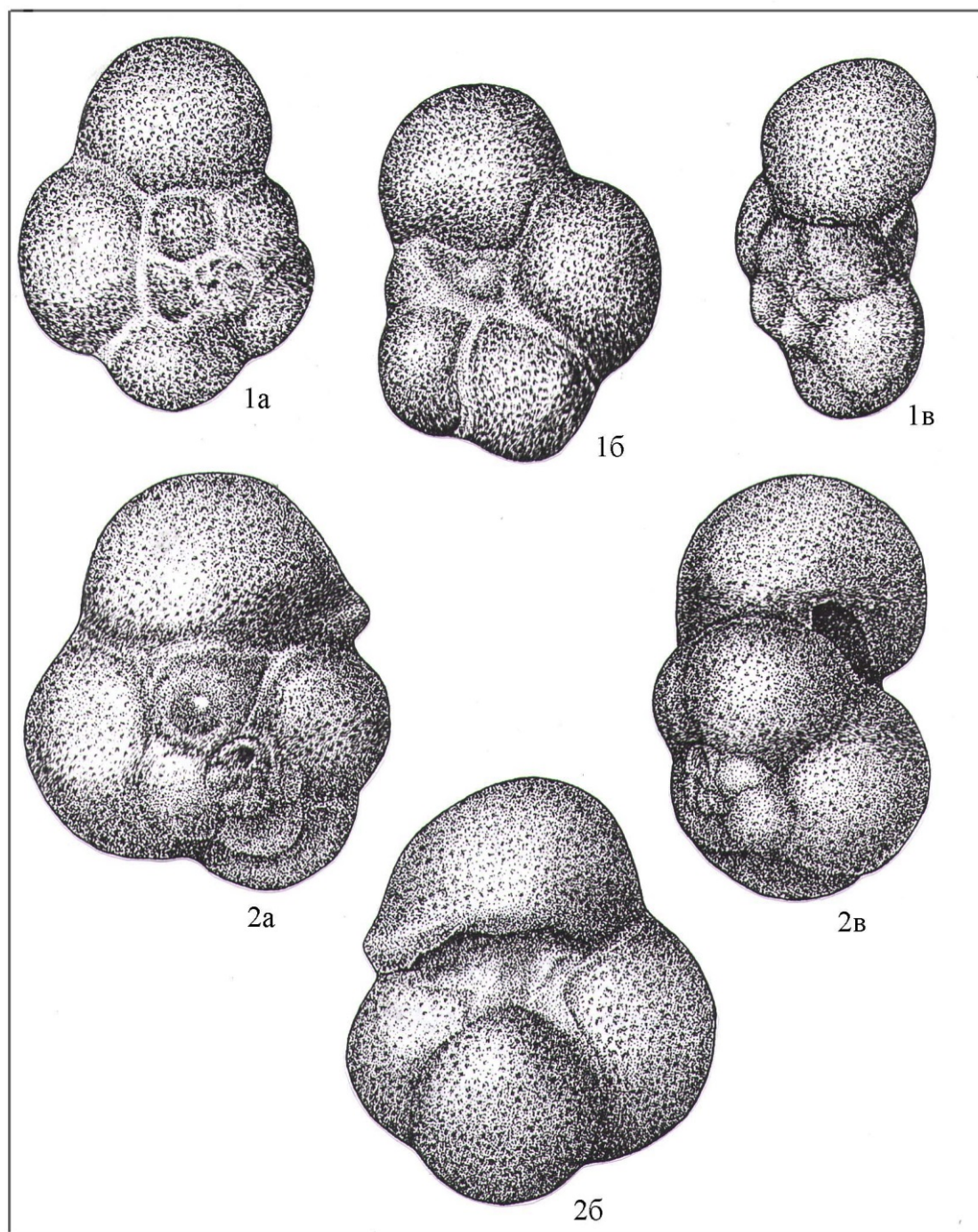
Экз. № 1522. Томская обл., мерид. течение р. Васюган (Западная партия), скв. 3, гл. 299,0 м; х80

Фиг. 3. *Protoglobobulimina coprolithoides* (Andreae)

Экз. № 1855. Томская обл., мерид. течение р. Васюган (Западная партия), скв. 1, гл. 385,0 м; х100

Фиг. 4. *Globigerina ouachitaensis* Howe et Wallace *gnaucki* Blow et Banner

Экз. № 1252. Омская обл., с. Петухово, скв. 4-к, инт. 66,1–64,1 м; х80

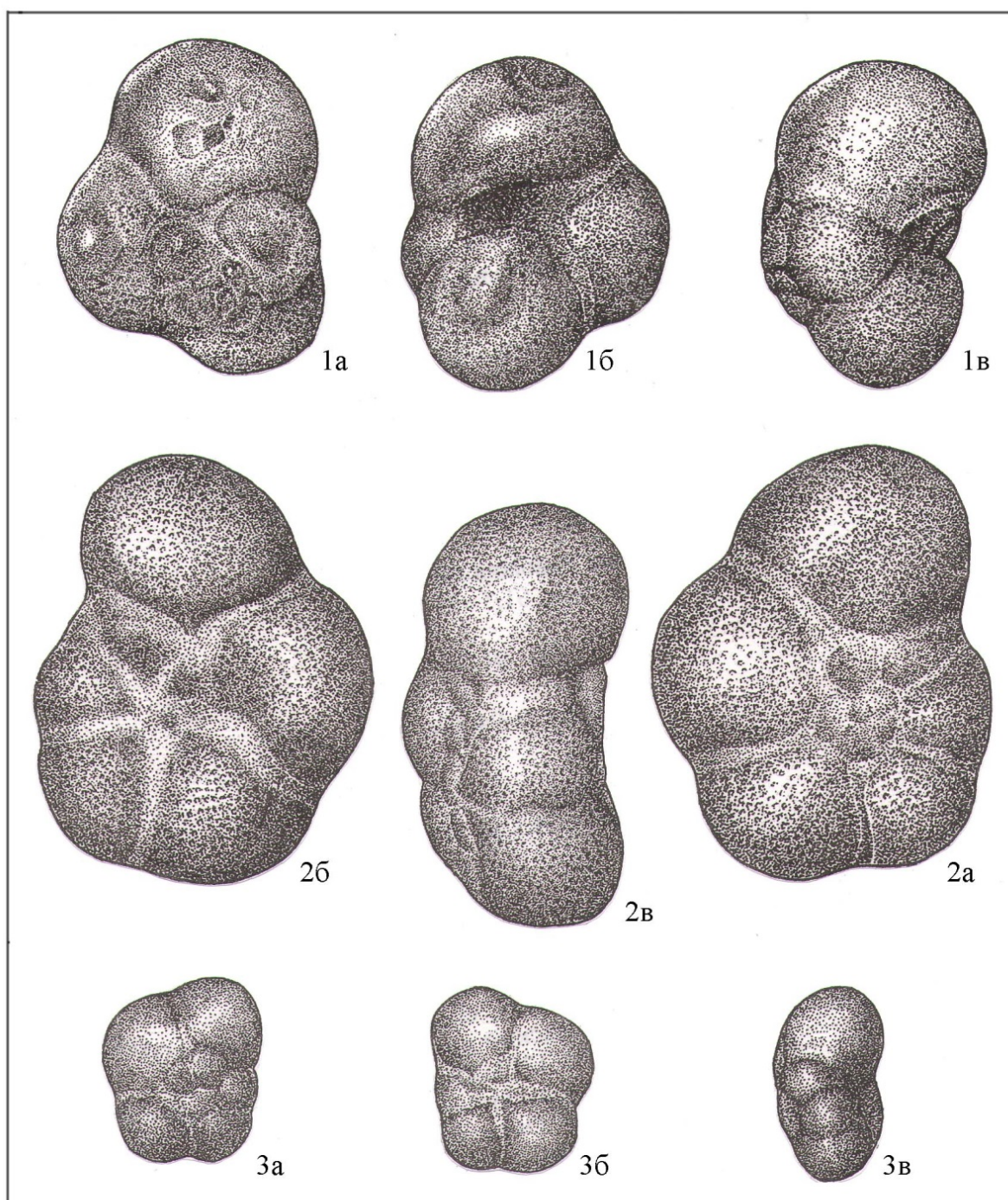


Фиг. 1. *Globigerina angustiumbilitata* Bolli

Экз. № 1259. Томская обл., бассейн р. Чижалка (Чижалская партия), скв. 13к, гл. 293,0 м; х80

Фиг. 2. *Globigerina ampliapertura* Bolli

Экз. № 1260. Омская обл., с. Петухово, скв. 4-к, инт. 101,1–94,8 м; х80



Фиг. 1. *Globigerina prasaepis* Blow

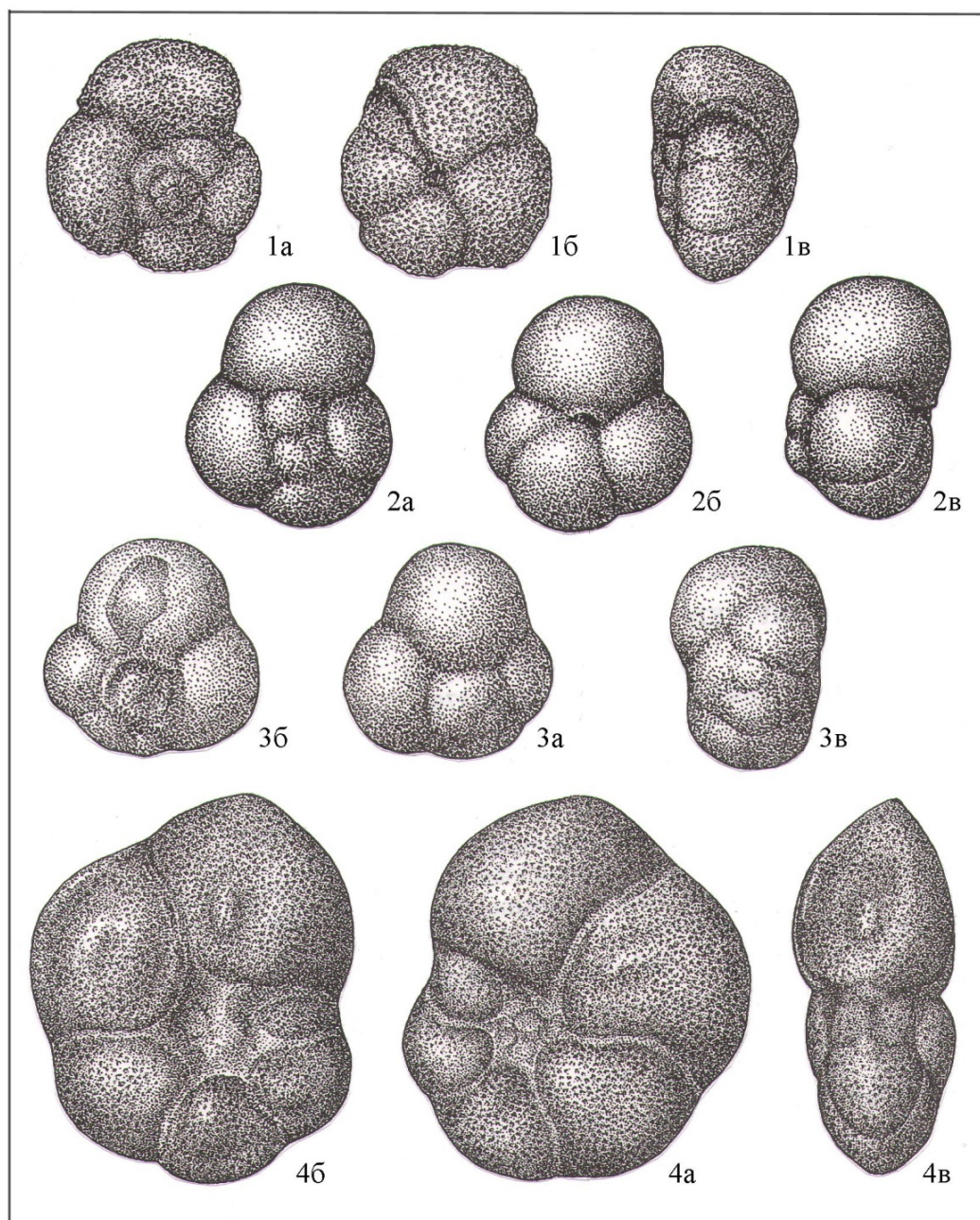
Экз. № 1265. Омская обл., с. Петухово, скв. 4-к, инт. 66,1–64,1 м; х80

Фиг. 2. *Paragloborotalia arguliofficialis* (Blow)

Экз. № 1269. Томская обл., бассейн р. Чижапка (Чижапская партия), скв. 13к, гл. 293,0 м; х80

Фиг. 3. *Paragloborotalia postcretacea* (Mjatluk)

Экз. № 1270. Томская обл., бассейн р. Чижапка (Чижапская партия), скв. 13к, гл. 293,0 м; х80

Фиг. 1. *Turborotalia perfecta* Podobina

Голотип № 1272. Омская обл., с. Петухово, скв. 4-к, инт. 61,5–56,8 м; х80

Фиг. 2–3. *Globigerina officinalis* Subbotina praesentata Podobina

Голотип № 1859, экз. № 1866. Томская обл., мерид. течение р. Васюган (Западная партия), скв. 1, гл. 374,0 м; х80

Фиг. 4. *Globanomalina barbadoensis* (Blow)

Экз. № 1280. Омская обл., с. Петухово, скв. 4-к, инт. 101,1–94,8 м; х80

Сравниваемые комплексы западносибирских и бельгийских фораминифер незначительно отличаются по видовому составу и количественному содержанию. Общими и характерными видами в обоих регионах, по

определению В.М. Подобиной, являются *Cibicidoides pseudoungerianus* (Cushman), *Evolutononion decoratum* (Cushman et McGlamery), *Nonionellina oligocenica* (Cushman et McGlamery) и виды рода *Globigerina*:

G. ouachitaensis Howe et Wallace, *G. juvenilis* (Bolli), *G. officinalis* Subbotina *praesentata* Podobina, *G. ampliapertura* Bolli, *G. angustumbilicata* Bolli. Эльфидииды и булиминиды в бельгийском рюпеле не обнаружены [Подобина, 2009].

Нижележащий комплекс агглютинированных фораминифер (нижние слои формации Боом) с раковинами почти белого цвета встречен в образце в одном из карьеров Бельгии. В комплексе определены виды *Rhabdammina cylindrica* Glaessner, *Ammodiscus* sp. indet, *Haplophragmoides rotundidorsatum* Hantken, *Ammomarginulina kiewensis* (Kaptarenko), *Textularia* sp. и др. Этот бельгийский комплекс сходен с таким агглютинированным фораминифер, установленным в самых низах олигоцена Причерноморской впадины [Каптаренко-Черноусова, Липник, 1953]. По-видимому, этот раннеолигоценовый комплекс имеет широкое распространение в Европе и, возможно, встречается местами на данном стратиграфическом уровне в Западной Сибири (самые верхние слои нюрольской свиты) и в других регионах.

По данным чешского исследователя Яна Кровского [Krhovsky, 1983], в Западных Карпатах к раннему олигоцену, но не рюпелю отнесены слои, включающие *Globigerina brevispira* Subbotina, *G. eocaena* Guembel, *G. angiporoides* Hornibrook, *G. anguliofficialis* Blow (зона P18). По определению Н.Н. Субботиной [Субботина, 1960], первый вид распространен в олигоценовых отложениях Предкарпатья. Второй вид – *G. eocaena* Guembel – по своим морфологическим особенностям, прежде всего, почти квадратному очертанию раковины, очень напоминает вид *G. hexagona* Natland из олигоценовых отложений Пуэрто-Рико [Todd, Blow, 1976; Подобина, 1998]. *Globigerina (Paragloborotalia) anguliofficialis* Blow является характерной для олигоцена о. Тринидад [Blow, 1969]. Этот вид в объеме рода *Paragloborotalia* встречен и в тавдинской свите Западной Сибири [Подобина, 1998, 2009].

Севернее, в Нидерландах, по-видимому, стратиграфически выше установлена фораминиферная (возможно, рюпельская) зона *Cibicides* (= *Cibicidoides*) *ungerianus* (= *pseudoungerianus*), *Rotaliatina bulimoides* [Doppert, Neele, 1983]. Видовой состав комплекса сходен по находкам представителей родов *Nonionellina*, *Cibicides*, *Cibicidoides* и др. с такими Западной Сибири и Бельгии. Однако олигоценовый (рюпельский) комплекс Нидерландов отличается присутствием видов *Bulimina alsatica* Cushman et Parker, *Rotaliatina bulimoides* (Reuss), *Trifarina gracialis* (Reuss) и др. Находки булиминид указывают на более глубоководные условия существования, по-видимому, в пределах глубин, соответствующих внешней части современного шельфа.

Сходный с западносибирским комплекс обнаружен в среднем олигоцене Польши [Odrzywolska-

Bienkowska, Pozaryska, Martini, 1978]. Польский комплекс довольно разнообразен и представлен 74 видами, из них 12 видов – планктонные формы. Присутствие таких видов планктонных фораминифер, как *Globigerina officinalis* Subbotina (= *G. officinalis praesentata* Podobina) и *G. turritina* Blow et Banner (= *G. ouachitaensis* Howe et Wallace *gnaucki* Blow et Banner), по мнению польских исследователей, указывает на ранний рюпель вмещающих пород. Обнаруженный здесь вид *Globigerina angustumbilicata* Bolli – также рюпельского возраста.

Многие из видов планктонных фораминифер, возможно, среднего олигоцена известны в разновозрастных отложениях Бельгии, Польши, Прикарпатья, о. Тринидад, Атлантики и Западной Сибири. К ним относятся виды: *Globigerina ampliapertura* Bolli, *G. ouachitaensis* Howe et Wallace, *G. ouachitaensis gnaucki* Blow et Banner, *G. angustumbilicata* Bolli, *G. brevispira* Subbotina, *G. praebuloides* Blow et Banner, *G. prasaepis* Blow.

Важно отметить присутствие в олигоцене Северных Карпат вида *Globigerina (Paragloborotalia) postcretacea* Mjatluk [Мятлюк, 1950]. Подобный вид установлен В.М. Подобиной [1998, 2009] в тавдинской свите Западной Сибири. Этот вид, но под названием *Globorotalia gemma* Jenkins, известен в олигоцене Новой Зеландии [Jenkins, 1965]. Дженкинс считал, что новозеландский вид по морфологии немного отличается от впервые установленного Е.В. Мятлюк [Мятлюк, 1950] вида *Paragloborotalia postcretacea* (Mjatluk) в олигоцене Северных Карпат. Позднее подобный вид под названием *Globorotalia gemma* Jenkins выделен в нижнем олигоцене Атлантического океана, юго-западнее Африки [Krashennnikov, Pflauman, 1977]. По мнению В.М. Подобиной [Подобина, 1998, 2009], вид *Paragloborotalia postcretacea* (Mjatluk) является характерным для среднего олигоцена многих регионов мира, в том числе Западной Сибири, а *Globorotalia (Paragloborotalia) gemma* Jenkins, по-видимому, его младший синоним.

В олигоцене платформенной части Украины (юго-запад Восточно-Европейской платформы) известны характерные виды фораминифер, прослеженные в стратотипе рюпеля Бельгии и в тавдинской свите Западной Сибири. К ним относятся *Spiroplectammina carinata* (Orb.) (= *S. attenuata* Reuss), *Cibicidoides pseudoungerianus* (Cushman), *Cibicides oligocenicus* Samoilova (= *C. borislavensis* Aisenstat), *Globigerina bulloides* Orbigny (= *G. officinalis* Subbotina *praesentata* Podobina), *Sphaeroidina variabilis* Reuss и др. [Каптаренко-Черноусова и др., 1963].

Алабамский (США) олигоценовый комплекс отличается от евроазиатских значительным видовым разнообразием [Cushman, McGlamery, 1942]. Однако общие элементы между алабамским и западносибирскими комплексами прослеживаются по присут-

ствию сходных видов родов *Nonionellina*, *Nonion* (*Evolutononion*), *Elphidium*, *Elphidiella* и др. По наличию последних можно предположить, что фораминиферы, возможно, среднего олигоцена в обоих регионах обитали в сравнительно мелководном бассейне. Однако западносибирский бассейн, исходя из малочисленности и однообразия фораминифер, находок единичных эльфидиид и нонионид, отличался менее благоприятным гидрологическим режимом и, по-видимому, пониженным содержанием карбоната кальция.

Подобное видовое разнообразие (преимущественно *Rotaliida*) наблюдается в канадских ранне- и среднеолигоценовых комплексах [McNeil, 1990]. Западносибирский среднеолигоценовый бассейн, исходя из малочисленности и однообразия фораминифер, находок единичных эльфидиид и нонионид, отличался мелководностью, менее благоприятным гидрологическим режимом и, по-видимому, пониженным содержанием растворенных карбоната кальция и солености.

Большое значение имеют находки в Западной Сибири вида *Globigerina ampliapertura* Bolli ранее известной одноименной среднеолигоценовой зоны. Этот вид впервые установлен Г. Болли в низах олигоцена о. Тринидад [Bolli, 1957]. Им же по присутствию этого вида выделена одноименная среднеолигоценовая зона. Находки вида *G. ampliapertura* Bolli в тавдинской свите указывают на подобную зону среднего олигоцена рюпельского яруса. Кроме того, Г. Болли впервые выделил вид *Globigerina juvenilis* Bolli. Несколько отличающийся вид *G. officinalis* Subbotina *praesentata* Podobina обнаружен В.М. Подобиной [Подобина, 1998; 2009] совместно с *Globigerina ampliapertura* Bolli в тавдинской свите.

Западносибирская зона *Cibicidoides pseudo-ungarianus*, *Evolutononion decoratum* по возрасту соответствует рюпельской зоне Бельгии и является почти одновозрастной с рюпельской зоной *Globigerina ampliapertura* Тринидада и других регионов.

Проблема латдорфского яруса

В Западной Сибири по фораминиферам и общим геологическим событиям имеются данные в пользу восстановления латдорфского яруса в качестве самостоятельного подразделения нижнего олигоцена, которому соответствует зона планктонных фораминифер – *Globigerina officinalis*, *G. tapuriensis*, соответствующая по нанопланктону зоне *Ericsonia subdisticha* (NP21 – низы NP22) [Решение..., 1999].

В Санкт-Петербурге в 1999 г. на заседании комиссии Межведомственного стратиграфического комитета по палеогеновой системе вместо ранее трехчленного утверждено двухчленное деление олигоцена: в состав нижнего подотдела был переведен

среднеолигоценовый – рюпельский ярус, а латдорфский ярус был упразднен, так как рассматривался на одном стратиграфическом уровне с верхнеэоценовым – приабонским ярусом. Выделяемый В.А. Крашенинниковым вслед за французскими исследователями [Orbigny, 1846; Cavelier, Pomerol, 1986], стампийский ярус в качестве нижнего яруса олигоцена не снимает проблему нижнего яруса олигоцена, так как по своему объему и положению в разрезе соответствует рюпелю. На основании изучения западносибирских известковых планктонных и бентосных фораминифер, их сопоставления с европейскими, атлантическими и американскими автор пришел к выводу о целесообразности восстановления латдорфского яруса, которому, по-видимому, соответствуют вышеуказанные зона планктонных фораминифер (P18) и зона кокколитофриды (NP21 – низы NP22). Но этот ярус в большинстве регионов, в том числе и в Западной Сибири, выпадает из разреза. Возможно, самые верхние слои нюрольской свиты с находками единичных пиритизированных ядер фораминифер (слои с *Reophax*) соответствуют началу формирования отложений латдорфского яруса, в дальнейшем выпадающего из разреза нижнего олигоцена (таблица).

По американской шкале планктонных фораминифер [Berggren et al., 1995] зоне P18 (ранее считавшейся латдорфской) соответствуют зона *Turbotalia cerroazulensis*, *Pseudohastigerina* sp., зона *P. naguawic-hiensis* [Berggren, Pearson, 2005], а по кокколитах – большая часть зоны NP21 и низы NP22.

Как известно, нижний олигоцен (латдорфский ярус) впервые был установлен в 50-х гг. прошлого столетия Е. Берихом в Северной Германии. В последующие годы в типовых разрезах этого подразделения, выделенного в латдорфский ярус, была обнаружена не только раннеолигоценовая, но также ниже поздне- и среднеэоценовая фауна моллюсков. Поэтому значение латдорфского яруса как стратиграфической единицы общей или международной шкалы было утрачено.

Впоследствии существенные данные для установления нижней границы олигоцена и утверждения латдорфского яруса получены немецкими исследователями Е. Мартини и З. Ритцковски [Martini, Ritzkowski, 1969] по нанопланктону (кокколитофоридам) в его стратотипической местности. Оказалось, что толща северогерманского «нижнего олигоцена» в южном районе его развития (Латдорф – Эгельн – Гельмштедт) заключала четыре зоны кокколитофорида, верхняя из которых – *Ellipsolithus* (?) *subdistichus* – была отнесена к нижнему олигоцену, следующие две нижележащие – к верхнему эоцену, а четвертая (самая нижняя) датировалась средним эоценом. По данным этих исследователей, в самом Латдорфе присутствует верхняя зона *Ellipsolithus* (?) *subdistichus*. Следовательно, в стратотипической местности (Латдорф) латдорфский ярус отвечает именно этой нижнеолиго-

ценовой зоне. Таким образом, нижнюю границу латдорфского яруса естественно проводить в подошве зоны *Ellipsolithus* (?) *subdistichus*, и его положение является определенным – в составе нижнего олигоцена. По Унифицированной региональной стратиграфической схеме Западной Сибири (2001) приведено двухчленное деление олигоцена – рюпельский и хаттский ярусы. Рюпельскому ярусу здесь, по мнению автора, ошибочно соответствуют латдорфская зона планктонных фораминифер – *Globigerina tapuriensis*, *G. officinalis*, с которой связаны зоны по нанопланктону – NP21 (*Ericsonia subdisticha*) и NP22 (нижняя половина).

По существовавшим проливам на Урале и частично через Тургайский пролив в Западную Сибирь проникла атлантическая и европейская микрофауна, прежде всего секретионно-известковые планктонные и бентосные фораминиферы. Кроме находок бентосных форм, встречен комплекс олигоценовых планктонных фораминифер, сходный с атлантическим, изученным Г. Болли, а затем А. Крашенинниковым и У. Плаумманом [Bolli, 1957; Krasheninnikov, Pflaumann, 1977]. Подобный комплекс, кроме южных, юго-западных и западных районов Западной Сибири, обнаружен севернее – в разрезах тавдинского горизонта центрального района (Каймысовский свод, скв. 1–4, Западная партия), а также восточнее в бассейне р. Чижалка (скв. 13к).

В пределах Западной Сибири в тавдинской свите одноименного горизонта по секретионно-известковым бентосным и, в основном, по планктонным фораминиферам прослеживаются только слои рюпельского возраста [Подобина, 1998, 2009].

В южной части Атлантического океана (близ юго-западного побережья Африки) в разрезе скв. 69А обнаружены все зоны олигоценовых планктонных фораминифер [Krasheninnikov, Pflaumann, 1977]. Из них зоны *Globigerina tapuriensis* и *G. selli* этими авторами рассматриваются как нижний олигоцен. Выше в этом разрезе установлена зона среднего олигоцена – *Globigerina ampliapertura*. По В.М. Подобиной, первая из указанных зон соответствует латдорфскому, вторая – рюпельскому ярусам олигоцена. Систематический состав в обеих зонах почти одинаков. Однако в комплексе с *Globigerina ampliapertura* отсутствуют виды-индексы нижней зоны.

У.Б. Харленд, А.В. Кокс и др. [Харленд и др. 1985] выделили нижнюю зону с одним видом-индексом – *Globigerina tapuriensis* (P18; NP21). Выше лежащая зона *G. selli* объединена ими с *G. ampliapertura* (P19, P20; NP22, NP23) рюпельского возраста. Этими авторами в хаттском ярусе отмечены две зоны: *G. opima opima* (P21, NP24) и *G. angulituralis* (P22, NP25) (таблица).

В обобщающей сводке (Bolli, Saunders, 1989) по планктонным фораминиферам олигоцена о-ва Трини-

дада и Восточной Венесуэлы (по которой указана нижняя зона) приведены зоны по этим организмам (снизу вверх): *Cassiglobigerina chipolensis*, *Pseudohastigerina micra* (нижний олигоцен); *Globigerina ampliapertura*, *G. opima opima* (средний олигоцен) и *Globigerina ciperoensis ciperoensis*, *G. kugleri* (верхний олигоцен). При сравнении со схемой в работе [Подобина, 2009] можно отметить, что зона *Globigerina ampliapertura*, *G. opima opima* [Bolli, Saunders, 1989] рюпельского возраста и соответствует в Западной Сибири слоям с подобным комплексом планктонных фораминифер, а также зоне бентосных фораминифер *Cibicidoides pseudoungerianus*, *Evolutonion decoratum*, распространенных на большей территории Западной Сибири.

На основании изучения западносибирских секретионно-известковых планктонных и бентосных фораминифер, их сопоставления с европейскими, атлантическими и американскими видами автор пришла к выводу о соответствии тавдинской свиты (горизонта) рюпельскому ярусу среднего олигоцена.

По представлению автора и других вышеуказанных исследователей, известная зона планктонных фораминифер *Globigerina ampliapertura* (P19) и зоны по нанопланктону (NP22 низы, NP23) – рюпельский ярус среднего олигоцена.

Данным зонам – *G. tapuriensis*, *G. ampliapertura* нижнего и среднего олигоцена (латдорфский и рюпельский ярусы) по унифицированной региональной стратиграфической схеме [2001] и [Решение..., 1999], по-видимому, соответствует одна зона планктонных фораминифер *Globigerina tapuriensis*, *G. officinalis*, что, по мнению В.М. Подобиной, не реально. К зоне *G. ampliapertura* правильнее присоединить зону *G. selli*, как это сделали У.Б. Харленд и соавт. [Харленд и др. 1985] и др.

Латдорфский ярус в Западной Сибири, кроме, возможно, самых нижних редко сохранившихся слоев в верхах нюрольской свиты (горизонта), выпадает из разреза; его время, по-видимому, соответствует перерыву в осадконакоплении. Возможно, уже с конца осадконакопления нюрольской свиты (горизонта) начались восходящие тектонические движения второй фазы альпийского тектогенеза, в результате которых отложения нижнего олигоцена отсутствуют в разрезе. Видимо, подобное явление происходило и в других северных регионах Евразии. Из-за подъема этих регионов в результате восходящих тектонических движений латдорфский ярус обнаружен местами, в частности, в стратотипической местности Германии. Более надежно латдорфский ярус или его фораминиферная зона (*G. tapuriensis*) установлен в непрерывном разрезе палеогена юго-восточной части Атлантического океана.

Сопоставление комплексов фораминифер эоцена и олигоцена в региональных стратиграфических горизонтах

Общая шкала			Унифицированные зональные шкалы палеогена [Решения..., 1999]		Ярусы по В.М.Подобной	По [Харленд и др., 1985]				По [Подобина, 2009] и последние данные				
Отдел	Подотдел	Ярус	По планкт. фораминиферам	По нанопланктону		Планктонные фораминиферы		Нанопланктон		Западная Сибирь				
										Фораминиферы				Горизонты надгоризонтов
										Зоны и слои	Комплексы фораминифер		Формы	
Олигоцен						Хаттский	<i>Globigerina angulifuturalis</i>	P22	<i>Sphenolithus ciperoensis</i>	NP25	Не обнаружены	Не обнаружены	Журавский	
Верхний	Хаттский		<i>Sphenolithus ciperoensis</i>	<i>Sphenolithus distentus</i>	<i>Globorotalia opima opima</i>			P21	<i>Sphenolithus distentus</i>	NP24				
							Нижний	Рюпельский	<i>Globigerina officinalis</i> , <i>Globigerina tapuriensis</i>	<i>Sphenolithus predistentus</i> <i>Helicosphaera reticulata</i>	Рюпельский	<i>Globigerina selli</i> , <i>G. ampliapertura</i>	P20 P19	<i>Sphenolithus predistentus</i> <i>Helicopontosphaera reticulata</i>
Латдорфский	<i>Globigerina tapuriensis</i>	P18	<i>Coccolithus (Ericsonia?) subdistichus</i>	NP21	Слои выпадают	Тавдинский								
		Эоцен						Приабонский	<i>Globigerina gortanii</i> <i>Turborotalia centralis</i>	P17	<i>Sphenolithus pseudoradians</i>	NP20	Слои с <i>Reophax</i>	<i>Reophax difflugiformis</i> Brady, <i>R. subfusiformis</i> Earland и др.
Верхний	Приабонский	<i>Turborotalia centralis</i>	<i>Dicaster barabensis</i> <i>Sphenolithus pseudoradians</i>	<i>Isthmolithus recurvus</i>	<i>Cribroantkenina inflata</i>	P16	<i>Isthmolithus recurvus</i>			NP19	Зона <i>Labrospira honesta</i>	<i>Reophax difflugiformis</i> Brady, <i>R. subfusiformis</i> Earland, <i>R. ampullacea</i> Brady, <i>Ammodiscus glabratus</i> Cushman et Jarvis, <i>Labrospira honesta</i> Podobina, <i>Haplophragmoides duplex</i> Podobina, <i>Trochammina infirma</i> Podobina		
						<i>Globigerina corpulenta</i>	<i>Chiasmolithus oamaroensis</i>		<i>Porticulasphaera seminivoluta</i>	P15			<i>Chiasmolithus oamaroensis</i>	NP18

Необходимо отметить факт отсутствия радиолярий в олигоцене по всем регионам Европы, в том числе и в пределах тавдинской свиты Западной Сибири. В своей обобщающей работе Р.Х. Липман также показала полное отсутствие радиолярий в олигоцене по многим регионам России [Липман, 1979, табл. 2]. Подобное явление указывает на значительные события, связанные с тектоническими движениями второй фазы альпийского тектогенеза, структурными перестройками, подъемом территории северных регионов и резким изменением условий обитания организмов, в том числе и в тавдинском бассейне.

Следует отметить, как указывалось, выпадение из многих разрезов латдорфского яруса в северных регионах Европы и Западной Сибири в связи с их подъемом в это время. В южных регионах (южные регионы Европы, Крым, Средняя Азия и др.), наоборот, прослеживается нижний олигоцен (зона *Lenticulina hermanni*), а также вышележащие средний и верхний подотделы [Самойлова, 1947; Бугрова, 2005; Бурштар, Никитина, Швембергер, 1963; Быкова, 1980; Вялов, Ильина, 1974; Халилов, 1951 и др].

По данным М.А. Ахметьева и соавт. [Ахметьев и др., 2004], тавдинская свита среднего эоцена и по их мнению, – это верхний подъярус бартонского яруса. Их данные внесены в региональную стратиграфическую схему Западной Сибири [Региональная..., 2001]. С этими доводами не согласна В.М. Подобина, так

как они не соответствуют действительности. Все приводимые выше факты доказывают этот вывод.

В.М. Подобина считает, что зона (P18) соответствует латдорфскому, а не рюпельскому ярусу. Вышележащая зона планктонных фораминифер – *Globigerina ampliapertura* [по Berggren, Kent, Aubry, 1995 и Berggren, Pearson, 2005 – в объеме рода *Turborotalia*] во всех схемах, как принято и по [Решение..., 1999], соответствует рюпельскому ярусу. По В.М. Подобной, эта зона рюпельского яруса, но не нижнего, а среднего олигоцена. Нижний олигоцен, по мнению автора, это упраздненный латдорфский ярус, который, учитывая все приведенные доказательства, целесообразнее восстановить в разрезе нижнего олигоцена.

Заключение

В верхах нюрольской свиты редко встречаются единичные пиритизированные ядра гаплофрагмидей и обломки рода *Reophax*, поэтому автором было предложено выделять в этой части разреза, на границе с тавдинской свитой, слои с *Reophax*. Возможно, это первые, местами сохранившиеся слои начала формирования латдорфского яруса, отсутствующего выше в разрезе. Автором предполагается перерыв в осадконакоплении между нюрольской и тавдинской свитами, соответствующий, по видимому, латдорфскому веку. Это, возможно, вы-

звано тектоническими движениями второй фазы альпийской эпохи тектогенеза. Вышележащие отложения тавдинской свиты, состоящие из зеленовато-серых, листоватых, алевролитистых глин, местами с пятнами ожелезнения, совершенно отличаются от пород нижележащего люлинворского надгоризонта в частности нюрольской свиты. В тавдинской свите почти отсутствует кремнистая органика и полностью – радиолярии. Под действием тектонических движений на рубеже нюрольской и тавдинской свит наблюдается изменение направления трансгрессии с северного на южное. Перед этим событием был перерыв в осадконакоплении из-за подъема территории Западной Сибири. Предполагается, как указывалось, что этот перерыв соответствует времени латдорфского века.

Тавдинская свита, включающая зону с комплексом фораминифер с *Cibicidoides pseudoungerianus*, *Evolutononium decoratum*, датируется автором средним олигоценом (рюпельским веком). Основанием для этого послужили находки характерных средне-олигоценовых бентосных и планктонных фораминифер,

широко распространенных в пределах Европы, Атлантики и юго-восточной части США.

Подъем территории к концу эоцена наблюдается в Северной Европе и Арктике, что доказывается обеднением систематического состава и количественного содержания комплексов фораминифер этих регионов, а также литологией вмещающих пород. В этой части разреза в верхнем эоцене наблюдаются грубозернистые раковины агглютинированных фораминифер и увеличение количества их псевдоморфоз.

Южнее в Южной и Средней Европе, в Крыму, в Средней Азии нижний олигоцен в виде соответствующих ему латдорфских фораминиферовых слоев или зон прослеживается во многих регионах. Это подтверждает существование и здесь, но в меньшей степени, перерывов осадконакопления в раннем олигоцене. Латдорфский ярус, как видно из вышеизложенного, следовало бы восстановить в нижнем олигоцене, переместив при этом рюпельский ярус на его прежнее место (средний олигоцен) в стратиграфической шкале палеогена.

ЛИТЕРАТУРА

- Ахметьев М.А., Александрова Т.Н., Беньямовский В.Н. и др. Новые данные по морскому палеогену Западно-Сибирской плиты. Ст. 2 // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2004. Т. 12, № 5. С. 65–86.
- Бугрова Э.М. Биостратиграфические подразделения палеогена и неогена по фораминиферам // Практическое руководство по микрофауне. Том. 8. Фораминиферы кайнозоя. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2005. С. 38–45.
- Бурштар М.С., Никитина Ю.П., Швембергер Ю.Н. Стратиграфия и условия формирования верхнеэоценовых и майкопских отложений Северного Ставрополя и Сало-Маньчжурского междуречья // Материалы по геологии и нефтегазоносности юга СССР / под ред. М.С. Бурштара. М. : Госгеолтехиздат, 1963. С. 89–104 (Тр. ВНИГРИ. Вып. 38).
- Быкова Н.К. Зональное расчленение по фораминиферам майкопских отложений глубокой опорной Карауданской скв. 6 юго-востока Мангышлака // Микрофауна и биостратиграфия фанерозоя нефтегазоносных районов СССР. Л., 1980. С. 139–156. (Тр. ВНИГРИ).
- Вялов О.С., Ильина А.П. О некоторых важных двухстворчатых моллюсках олигоцена и нижнего миоцена юга СССР // Палеонтологический сборник, № 10. Львов : Изд-во Львов. гос. ун-та, 1974. С. 44–49, палеонт. табл. 1.
- Каптаренко-Черноусова О.К., Голяк Л.М., Зернецкий Б.Ф., Краева Е.Я., Липник Е.С. Атлас характерных фораминифер юры, мела и палеогена платформенной части Украины. Киев : Изд-во АН УССР, 1963. С. 115–180, 19 палеонт. табл. (Тр. ИГН АН УССР. Сер. стратиграфии и палеонтологии. Вып. 45).
- Каптаренко-Черноусова О.К., Липник Е.С. Про нижньоолигоценовий горизонт низаних фораминифер Причорноморської западини // Геологический журнал. Академии наук УССР. 1953. Т. 13, вып. 1. С. 51–62.
- Липман Р.Х. Значение радиолярий для зональной шкалы палеогена юга СССР // Планктон и органический мир пелагиали в истории Земли : тр. XIX сессии ВПО. Л. : Наука, 1979. С. 69–86, 1 табл.
- Мятлюк Е.В. Стратиграфия флишевых осадков северных Карпат в свете данных фауны фораминифер // Микрофауна СССР. Тр. ВНИГРИ. Вып. 51. Сб. 4. Нов. сер. 1950. С. 225–287, 4 палеонт. табл.
- Наливкин Д.В. Проблемы перерывов // Этюды по стратиграфии. М. : Наука, 1974. С. 10–21.
- Подобина В.М. Новые данные по биостратиграфии морского палеогена Западной Сибири // Вопросы геологии и палеонтологии Сибири. Томск : Изд-во НТЛ, 1997. С. 61–66, 3 палеонт. табл.
- Подобина В.М. Фораминиферы и биостратиграфия палеогена Западной Сибири. Томск : Изд-во НТЛ, 1998. 338 с., 62 палеонт. табл.
- Подобина В.М. Фораминиферы, биостратиграфия верхнего мела и палеогена Западной Сибири. Томск : Том. гос. ун-т, 2009. 432 с., 73 палеонт. табл.
- Подобина В.М. Фораминиферы датского яруса нижнего палеогена Западной Сибири, их значение для стратиграфии // Горные ведомости. 2018. № 5 (159). С. 32–43, палеонт. табл. 2–7 (= 2–7 рис.).
- Решение XVI пленарного заседания МСК по палеогеновой системе. Л. : Недра, 1999. 6 с.
- Самойлова Р.Б. О некоторых новых и характерных видах фораминифер из верхнего палеогена Крыма // Бюллетень МОИП. 1947. Т. 22, № 4. С. 77–101.
- Субботина Н.Н. Пелагические фораминиферы палеогеновых отложений юга СССР // Палеогеновые отложения юга европейской части СССР. М. : Изд-во АН СССР, 1960. С. 24–36, 10 палеонт. табл.
- Унифицированная региональная стратиграфическая схема палеогеновых и неогеновых отложений Западно-Сибирской равнины. Принята на Межвед. регион. стратигр. совещ. по доработке и уточнению региональных стратиграф. схем палеогеновых и неогеновых отложений Западно-Сибирской равнины 28.09.2000 г. Утв. МСК России 02.02.2001 г.

- Халилов Д.М.** О фауне фораминифер и расчленении олигоценовых отложений северо-восточного предгорья Малого Кавказа // Известия АН АзССР. 1951. № 3. С. 43–61, 4 палеонт. табл.
- Харленд У.Б., Кокс А.В., Ллевеллин П.Г., Пиктон К.А.Г., Смит А.Г., Уолтерс Р.** Шкала геологического времени. М.: Мир, 1985. 140 с., ил.
- Berggren W.A., Kent D.V., Aubry M.P.** Geochronology, time scales and Global stratigraphic correlation. Publ. Society for Sedimentary Geology. III. Cenozoic Era. 1995. P. 129–212.
- Berggren W.A., Pearson P.N.** A revised tropical to subtropical Paleocene planktonic foraminiferal zonation // Journal of Foraminiferal Research. 2005. V. 35, № 4. P. 279–298.
- Blow W.H.** Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy // Proc. First International Conference on Planktonic Microfossils / eds P. Bronnmann and H. Renz. Geneva, 1967–1969. Bull. 1. P. 199–422, 54 pls.
- Bolli H.M.** Planktonic foraminifera from the Oligocene-Miocene Cipero and Lengua Formations of Trinidad, B.W.I. // Bull. United States National Museum. 1957. V. 215. P. 97–121, pl. 22–29.
- Bolli H.M., Saunders J.B.** Oligocene to Holocene low latitude planktonic foraminifera // Plankton Stratigraphy. V. 1: Planktic foraminifera, calcareous nannofossils and calpionellids. Cambridge: Cambridge university press, 1989. P. 155–262.
- Cavelier C., Pomerol C.** Stratigraphy of the Paleogene // Bull. de Société Géologique de France. 1986. V. 11, № 2. P. 255–265.
- Cushman J.A., McGlamery W.** Oligocene Foraminifera near Millry, Alabama // Geological Survey. 1942. V. 197-B. P. 63–83, 4 pls.
- Doppert J.W., Neele N.G.** Biostratigraphy of marine Paleogene deposits in the Netherlands and adjacent areas // Geological Survey of the Netherlands. 1983. Vol. 37(2). 79 p., 32 pls.
- Jenkins D.G.** Planktonic Foraminifera and Tertiary intercontinental correlation // Micropaleontology. 1965. V. 11, № 3. P. 265–277, 11 pls.
- Krasheninnikov V.A., Pflaumann U.** Zonal stratigraphy and planktonic foraminifera of Paleogene of the Atlantic ocean to the West Africa (Deep Sea Drilling Project), Leg 41. Washington, 1977. P. 581–611, 8 pls.
- Krhovský J.** Foraminifera of the Eocene // Oligocene boundary from the Pouzdřany Formation (The West Carpathians, Czechoslovakia) / Miscellanea Micropalaeontologica. Hodonin, 1983. P. 71–98, 10 pls.
- Martini E., Ritzkowski S.** Die Grenze Eozan – Oligozan in der Typus Region des Unter-Oligozans (Helmstedt, Egel, Latdorf) // Mem. Bur. resh. geol. et minières. 1969. № 69. P. 233–237.
- McNeil D.H.** Tertiary Marine Events of the Beaufort-Mackenzie Basin and Correlation of Oligocene to Pliocene Marine Outcrops in Arctic North America // J. Arctic Institute North America. 1990. V. 43, № 4. P. 301–313.
- Odrzywolska-Bienkowska E., Pozaryska K., Martini E.** Middle Oligocene microfossils from the Polish Lowlands: their stratigraphical and paleogeographical significance // Acta Palaeontol. Polonica. Warszawa, 1978. V. 23, № 3. P. 249–291, pls. 7–16.
- Orbigny A.** Foraminifères fossiles du bassin tertiaire de Vienne (Autriche). Paris: Gide et Comp., 1846. 312 p., 14 pls.
- Todd R., Blow D.** Smaller foraminifera from deep wells on Puerto Rico and St. // Croix Geol. Survey. Prof. Paper 863, Washington: U.S. Government Print, 1976. P. 32.

Автор:

Подобина Вера Михайловна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, кафедра палеонтологии и исторической геологии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: podobina@ggf.tsu.ru

Geosphere Research, 2020, 2, 16–31. DOI: 10.17223/25421379/15/2

V.M. Podobina

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

OLIGOCENIAN FORAMINIFERA OF WESTERN SIBERIA AND OTHER REGIONS. PROBLEM OF THE LATDORFIEN STAGE

The sharp difference in lithology and microfauna between Nurolskaya and Tavdinskaya suites of Western Siberia have been explained by the interruption in sedimentation. This interruption may be created by action of the Alpien tectonic movement. The quartz-siliceous of foraminiferal shells in Nurolskaya suite have been changed on calcareous ones in Tavdinskaya suite. Radiolaria have been absent not only in this suite of Western Siberia but in the different strata of Northern Europe. On the basis of characteristic foraminiferal species the age of Tavdinskaya suite was dated as Rupelian one. The uppermost layers of Nurolskaya suite have included single and less diversity Foraminifera. They have been remained from distraction in single depressions of Western Siberia. These layers may be offer to the beginning of Latdorfien stage. Upper layers of Latdorfien stage have taken out from Oligocenian section. On the basis of foraminiferal species Tavdinskaya suite correspond to Rupelian stage of Middle Oligocenian. The Foraminifera from Tavdinskaya suite are the same as ones in many other regions: Europe, Atlantic Ocean, USA and other regions. Lower Oligocenian (Latdorfien stage) including zone or layers with characteristic foraminifera has been observed in Middle, South Europe, Crimea and Middle Asia. Nevertheless Latdorfien stage was excluded from Comman Stratigraphic Scheme. In Tavdinskaya Suite of Western Siberia in general secetric – calcareous Foraminifera spread as Cibicidoides pseudoungerianus, Evolutononion Assemblage [Podobina, 1998, 2009]. This Assemblage includes characteristic Bentic and Planctonic species. Among them are Cibicidoides pseudoungerianus (Cushman), Nonionellina oligocenica (Cushman et Mc Glamary), N. ovata Brotzen, Evolutononion decoratum (Cushman et Mc Glamary), Cribroelphidium perratum Uschakova, C. parainvolutum Uschakova, Elphidiella vegrandia Uschakova, E. nitida Podobina, E. cosmica Uschakova. Among of planktonic species are Paragloborotalia postcretacea (Mjatluk), P. anguliofficalis (Blow), Turborotalia perfecta Podobina, Globigerina ouachitaensis Howe et Wallace gnaucki Blow et Banner, G. angustumbilicata Bolli, G. ampliapertura Bolli, G. senilis Bandy, G. prasaepis Blow, G. officinalis Subbotina praesentata Podobina [Podobina, 1998]. Foraminifera from stratotype of

Rupelian stage have been studied from specimens of Belgium quarries. Author have took part in field excursion (Symposium on Paleogene, August, 25-30, 2003 years, t. Leven, Belgium). Foraminifera Assemblage has been established by author in stratotype of Rupelian Stage (near town Boom). Common and characteristic in West Siberian and Belgium species are Cibicidoides pseudoungerianus (Cushman), Evolutononion decoratum (Cushman et Mc Glamary), Nonionelina oligocenica (Cushman et Mc Glamary) and species from Globigerina genera. Among them author have defined Globigerina ouachitaensis Howe et Wallace, G. juvenilis (Bolli), G. officinalis Subbotina praesentata Podobina, G. ampliapertura Bolli. Elphidium and Bulimina have not been established in Belgium Assemblage [Podobina, 2009]. Many of Planktonic species of Middle Oligocenian know in the same deposits, except Belgium, in Poland, Prekarpatie, Trinidad, South Atlantic Ocean and Western Siberia. The findings of Globigerina ampliapertura Bolli in Tavdinskaya suite of Western Siberia have big impotence, because have been included in known Middle Oligocenian zone. This species in Tavdinskaya suite shows on the presence of such zone of Middle Oligocenian (Rupelian Stage). West Siberian Cibicidoides pseudoungerianus, Evolutononion decoratum Zone correspond to age of Belgien Rupelian one. Also this West Siberian zone correspond to Rupelian Globigerina ampliapertura one of Trinidad, Atlantic Ocean and other Regions.

Keywords: *Latdorfien, interruption, Rupelian foraminifera, Tavdinskaya suite, Western Siberia.*

References

- Ahmet'ev M.A., Aleksandrova T.N., Ben'yamovskij V.N. i dr. *Novye dannye po morskomu paleogenu Zapadno-Sibirskoj plity. St. 2* [New data on the marine paleogene of the West Siberian Plate] // *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*. 2004. V. 12, № 5. pp. 65–86. In Russian
- Bugrova E.M. *Biostratigraficheskie podrazdeleniya paleogena i neogena po foraminiferam* [Biostratigraphic units of the Paleogene and Neogene by foraminifera] // *Prakticheskoe rukovodstvo po mikrofaune*. Tom. 8. Foraminifery kajnozoya. St. Petersburg: Izd-vo VSEGEI, 2005. pp. 38–45. In Russian
- Burshtar M.S., Nikitina YU.P., SHvemberger YU.N. *Stratigrafiya i usloviya formirovaniya verhneocenovykh i majkopskih otlozhenij Severnogo Stavropol'ya i Salo-Manychskogo mezhdurech'ya* [Stratigraphy and formation conditions of the Upper Eocene and Maikop deposits of the Northern Stavropol Territory and the Salo-Manych interfluvium] // *Materialy po geologii i neftegazonosno-sti yuga SSSR* (pod red. Burshtara M.S.). Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1963. pp. 89–104 (Tr. VNIGRI. Vyp. 38). In Russian
- Bykova N.K. *Zonal'noe raschlenenie po foraminiferam majkopskih otlozhenij glubokoj opornoj Karadanskoj skv. 6 yugo-vostoka Mangyshlaka* [About some important bivalve mollusks of the Oligocene and Lower Miocene of the south of the USSR] // *Mikrofauna i biostratigrafiya fanerozoya neftegazonosnykh rajonov SSSR*. Leningrad, 1980. pp. 139–156 (Tr. VNIGRI). In Russian
- Vyalov O.S., Il'ina A.P. *O nekotorykh vazhnykh dvuhstvorchatykh mollyuskakh oligocena i nizhnego miocena yuga SSSR* [About some important bivalve mollusks of the Oligocene and Lower Miocene of the south of the USSR] // *Paleontologicheskij sbornik*, № 10. L'vov: Izd-vo L'vovskogo gosuniversiteta, 1974. pp. 44–49, paleont. tabl. 1. In Russian
- Kaptarenko-CHernousova O.K., Golyak L.M., Zerneckij B.F., Kraeva E.YA., Lipnik E.S. *Atlas harakternykh foraminifer yury, mela i paleogena platformennoj chasti Ukrainy* [Atlas of characteristic foraminifera of Jurassic, Cretaceous and Paleogene platform part of Ukraine]. Kiev: Izd-vo AN USSR, 1963. pp. 115–180, 19 paleont. tabl. (Tr. IGN AN USSR. Ser. stratigrafii i paleontologii. Vyp. 45). In Russian
- Kaptarenko-CHernousova O.K., Lipnik E.S. *Pro nizhn'oligocenovij gorizont nizanih foraminifer Prichernomors'koi zapadiny* [About the Lower Precious Horizon of the Lower Foraminifera of the Black Sea Depression] // *Geol. zhurn. Akad. nauk USSR*. 1953. T. 13, vyp. 1. pp. 51–62. In Russian
- Lipman R.H. *Znachenie radiolyarij dlya zonal'noj shkaly paleogena yuga SSSR* [The value of radiolaria for the zonal paleogen scale of the south of the USSR] // *Plankton i organicheskij mir pelagialii v istorii Zemli*. Tr. XIX sessii VPO. Leningrad: Nauka, 1979. pp. 69–86, 1 tabl. In Russian
- Myatlyuk E.V. *Stratigrafiya flishevyykh osadkov severnykh Karpat v svete dannykh fauny foraminifer* [Stratigraphy of flysch sediments of the northern Carpathians in the light of the data of the fauna of foraminifera] // *Mikrofauna SSSR*. St. Petersburg. 4. Nov. ser. 1950. pp. 225–287, 4 paleont. tabl. / Tr. VNIGRI. Vyp. 51. In Russian
- Nalivkin D.V. *Problemy pereryvov* [Break Problems] // *Etyudy po stratigrafii*. Moscow: Nauka, 1974. pp. 10–21. In Russian
- Podobina V.M. *Novye dannye po biostratigrafii morskogo paleogena Zapadnoj Sibiri* [New data on biostratigraphy of the marine paleogene of Western Siberia] // *Vopr. geologii i paleontologii Sibiri*. Tomsk: Izd-vo Nauch.-tekhn. lit., 1997. pp. 61–66, 3 pal. tabl. In Russian
- Podobina V.M. *Foraminifery i biostratigrafiya paleogena Zapadnoj Sibiri* [Foraminifera and biostratigraphy of the Paleogene of Western Siberia]. Tomsk: Izd-vo NTL, 1998. 338 p., 57 pal. tabl. In Russian
- Podobina V.M. *Foraminifery, biostratigrafiya verkhnego mela i paleogena Zapadnoj Sibiri* [Foraminifera, biostratigraphy of the Upper Cretaceous and Paleogene of Western Siberia]. Tomsk: TGU, 2009. 430 p., 73 paleont. tabl. In Russian
- Podobina V.M. *Foraminifery datskogo yarusa nizhnego paleocena Zapadnoj Sibiri, ikh znachenie dlya stratigrafii* [Foraminifera of the Danish Stage of the Lower Paleocene of Western Siberia, Their importance for stratigraphy] // *Gornyye vedomosti*. 2018. № 5 (159). pp. 32–43. In Russian
- Reshenie XVI plenarnogo zasedaniya MSK po paleogenovoj sisteme* [Decision of the XVI plenary meeting of the MSC on the Paleogene system]. Leningrad: Nedra, 1999. 6 p. In Russian
- Samojlova R.B. *O nekotorykh novykh i harakternykh vidakh foraminifer iz verhnego paleogena Kryma* [About some new and characteristic species of foraminifera from the Upper Paleogene of Crimea] // *Byul. MOIP*. 1947. T. 22, № 4. pp. 77–101. In Russian
- Subbotina N.N. *Pelagicheskie foraminifery paleogenovykh otlozhenij yuga SSSR* [Pelagic foraminifera of Paleogene deposits of the south of the USSR] // *Paleogenovye otlozheniya yuga evropejskoj chasti SSSR*. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1960. pp. 24–36, 10 pal. tabl. In Russian
- Unificirovannaya regional'naya stratigraficheskaya skhema paleogenovykh i neogenovykh otlozhenij Zapadno-Sibirskoj ravniny. Prinyata na Mezhd. region. stratigr. soveshch. po dorabotke i utocnieniu regional'nykh stratigraf. skhem paleoge-novykh i neogenovykh otlozhenij Zapadno-Sibirskoj ravniny 28.09.2000 g.* [Unified regional stratigraphic scheme of Paleogene and Neogene deposits of the West Siberian Plain. Adopted by Mezhd. region. stratigr. conference to finalize and clarify the regional stratigraph. schemes of Paleogene and Neogene deposits of the West Siberian Plain on September 28, 2000]. *Utv. MSK Rossii 02.02.2001 g.* In Russian

- Halilov D.M. *O faune foraminifer i raschlenenii oligocenovykh otlozhenij severo-vostochnogo predgor'ya Malogo Kavkaza* [On the fauna of foraminifera and the partition of Oligocene sediments of the northeastern foothills of the Lesser Caucasus] // *Izv. AN AzSSR*. 1951. № 3. pp. 43–61, 4 pal. tabl. In Russian
- Harland U.B., Koks A.V., Llevellin P.G., Pikton K.A.G., Smit A.G., Uolters R. *SHkala geologicheskogo vremeni* [Geological time scale]. Moscow: Mir, 1985. 140 p., il. In Russian
- Berggren W.A., Kent D.V., Aubry M.P. Geochronology, time scales and Global stratigraphic correlation. Publ. Society for Sedimentary Geology. III. Cenozoic Era. 1995. pp. 129–212.
- Berggren W.A., Pearson P.N. A revised tropical to subtropical Paleocene planktonic foraminiferal zonation // *Journal of Foraminiferal Research*. 2005. V. 35. № 4. pp. 279–298.
- Blow W.H. Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy // *Proc. First International Conference on Planktonic Microfossils* / Eds P. Bronnmann and H. Renz. Geneva, 1967–1969. Bull. 1. pp. 199–422, 54 pls.
- Bolli H.M. Planktonic foraminifera from the Oligocene-Miocene Cipero and Lengua Formations of Trinidad, B.W.I. // *Bull. United States National Museum*. 1957. V. 215. pp. 97–121, pl. 22–29.
- Bolli H.M., Saunders J.B. Oligocene to Holocene low latitude planktonic foraminifera // *Plankton Stratigraphy*. V. 1: Planktic foraminifera, calcareous nannofossils and calpionellids. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. pp. 155–262.
- Cavelier C., Pomerol C. Stratigraphy of the Paleogene // *Bull. de Société Géologique de France*. 1986. V. 11, № 2. pp. 255–265.
- Cushman J.A., McGlamery W. Oligocene Foraminifera near Millry, Alabama // *Geological Survey*. 1942. V. 197-B. pp. 63–83, 4 pls.
- Doppert J.W., Neele N.G. Biostratigraphy of marine Paleogene deposits in the Netherlands and adjacent areas // *Geological Survey of the Netherlands*. 1983. V. 37 (2). 79 p., 32 pls.
- Jenkins D.G. Planktonic Foraminifera and Tertiary intercontinental correlation // *Micropaleontology*. 1965. V. 11. № 3. pp. 265–277, 11 pls.
- Krashennnikov V.A., Pflaumann U. Zonal stratigraphy and planktonic foraminifera of Paleogene of the Atlantic ocean to the West Africa (Deep Sea Drilling Project), Leg 41. Washington, 1977. pp. 581–611, 8 pls.
- Krhovský J. Foraminifera of the Eocene // Oligocene boundary from the Pouzdřany Formation (The West Carpathians, Czechoslovakia) / *Miscellanea Micropalaeontologica*. Hodonin, 1983. pp. 71–98, 10 pls.
- Martini E., Ritzkowski S. Die Grenze Eozan – Oligozan in der Typus Region des Unter-Oligozans (Helmstedt, Egel, Latdorf) // *Mem. Bur. resh. geol. et minières*. 1969. № 69. pp. 233–237.
- McNeil D.H. Tertiary Marine Events of the Beaufort-Mackenzie Basin and Correlation of Oligocene to Pliocene Marine Outcrops in Arctic North America // *J. Arctic Institute North America*. 1990. V. 43. № 4. pp. 301–313.
- Odrzywolska-Bienkowska E., Pozaryska K., Martini E. Middle Oligocene microfossils from the Polish Lowlands: their stratigraphical and paleogeographical significance // *Acta Palaeontol. Polonica*. Warszawa, 1978. V. 23. № 3. pp. 249–291, pls. 7–16.
- Orbigny A. Foraminifères fossiles du bassin tertiaire de Vienne (Autriche). Paris: Gide et Comp., 1846. 312 p., 14 pls.
- Todd R. and Blow D. Smaller foraminifera from deep wells on Puerto Rico and St. // *Croix Geol. Survey. Prof. Paper 863*, Washington: U.S. Government Print, 1976. p. 32.

Author's:

Podobina Vera M., 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: podobina@ggf.tsu.ru

ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ДВУРОГОВОГО НОСОРОГА ИЗ ПОДПУСК-ЛЕБЯЖЬИНСКОГО ФАУНИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.В. Шпанский, С.А. Ильина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия



Из отложений иртышской свиты описаны фрагмент нижней челюсти с m1 и m2 и фрагмент metatarsale III мелкого носорога. Остатки найдены в местонахождениях Моисеевка 1 и Лебяжье 2 на р. Иртыш (Павлодарская обл.). Геологический возраст отложений, вмещающих костные остатки, сопоставляется с гелазским ярусом (средний виллафранк). Для этого возрастного интервала на территории Западной Сибири установлен подпуск-лебяжьи́нский фаунистический комплекс. Морфометрические данные изученных костей позволили отнести их к *Stephanorhinus etruscus* Falconer. Эти находки являются первыми достоверно определенными остатками этрусского носорога на территории Западной Сибири.

Ключевые слова: *Stephanorhinus etruscus*, подпуск-лебяжьи́нский комплекс, средний виллафранк, гелазий, Западная Сибирь.

Введение

Южная часть Западно-Сибирской равнины административно относится к Казахстану, и в геологическом прошлом наиболее тесные связи у фауны Западно-Сибирской равнины были именно с территорией Казахстана и Средней Азии. Появление двурогих носорогов на территории Казахстана относится к среднему плиоцену (MN 16), из местонахождения Есекарткан П.А. Тлеубердиной описан *Dicerorhinus orientalis* (Schlosser, 1921), обитавший на юго-востоке Казахстана совместно с гиппарионами, гигантокамелюсом, мастодонтом и др. [Тлеубердина, 1982]. В пределах Западно-Сибирской равнины и Казахстана из отложений плейстоцена известны остатки двух видов двурогих носорогов – *Stephanorhinus kirchbergensis* Jäger и *Coelodonta antiquitatis* Blumenbach [Кожамкулова, 1981; Шпанский, 2018a].

Появление этих носорогов на территории Западно-Сибирской равнины в составе прииртышского фаунистического комплекса относится к началу среднего неоплейстоцена [Шпанский, 2016, 2018b]. В пределах Казахстана *S. kirchbergensis* появился в раннем неоплейстоцене [Хисарова, 1963]. Из более древних отложений, относимых к иртышской свите (гелазий), происходят остатки млекопитающих подпуск-лебяжьи́нского комплекса. Среди них известны остатки двух носорогов – *Elasmotherium* sp. и *Stephanorhinus* (= *Dicerorhinus*) sp. [Vislobokova, 1996]. Остатки обоих носорогов немногочисленны, представлены в основном костями посткраниального скелета и не имеют точного таксономического определения.

Описываемые в настоящей работе образцы двурогих носорогов из местонаждений Лебяжье 2 и Моисеевка 1 в коллекции музеев попали более 30 лет

назад и до настоящего времени не имели ни морфологической, ни таксономической характеристик.

Остатки млекопитающих в обнажениях между Подпуском и Лебяжьем известны как из глинистых отложений аксорской свиты (MN 16a), так и более многочисленные и разнообразные по видовому составу из иртышской свиты (MN 17). И.А. Вислобокова [Vislobokova, 1996] при определении стратиграфического положения местонаждений (точек находок) дала им обозначения – Лебяжье 1, 2, Подпуск 1, 2 (рис. 1). Мощность отложений иртышской свиты колеблется от 2 до 14 м. Местонахождение Лебяжье 2 расположено примерно в 6 км выше по течению р. Иртыш от п. Лебяжье, в 120 км южнее г. Павлодара.

В разрезе между поселками Пятирыжское и Железинка остатки млекопитающих происходят минимум из трех разновозрастных местонаждений (рис. 2, отметки 1, 4 и 5). Местонахождение Моисеевка 1, содержащее наиболее древнюю фауну, расположено ниже по течению от п. Пятирыжск, в 165 км от г. Павлодара на северо-запад (Павлодарская обл.). В косослоистой песчано-галечной толще, в основании разреза (рис. 2) найдены остатки лошади *Equus livensovensis* Bajgusheva, фаланга *Archidiskodon* sp. и нижняя челюсть носорога рода *Stephanorhinus*, которая описана ниже.

Материал и методика

Фрагмент правой ветви нижней челюсти ПОИКМ 100/386 с сохранившимися m1 и m2. Местонахождение: Моисеевка 1, правый берег р. Иртыш, верхняя часть иртышской свиты (Павлодарская область).

Проксимальная часть левого metatarsale III ПМ ТГУ 36/7. Местонахождение: Лебяжье 2, правый берег р. Иртыш, нижняя часть иртышской свиты (Павлодарская область).



Рис. 1. Схема геологического разреза плиоцен-четвертичных отложений по правому берегу р. Иртыш, между п. Лебяжье и с. Подпуск с расположением мест находок ископаемых млекопитающих [Vislobokova, 1996 с изменениями]

Условные обозначения: 1 – зеленватые глины аральской свиты; 2 – озерные красные глины павлодарской свиты; 3 – озерные полосатые глины аксорской свиты; 4 – аллювиальные пески и алевроиты нижней части иртышской свиты; 5 – аллювиальные пески верхней части иртышской свиты; 6 – озерные алевроиты и пески краснокутской свиты; 7 – пески и супеси кулундинской свиты со следами мерзлотных нарушений; 8 – аллювиальные отложения первой надпойменной террасы и субаэральные осадки; 9 – голоценовые эоловые осадки; 10 – местонахождения остатков млекопитающих

Fig. 1. Geological section of the Pliocene – Quaternary sediments on the right bank of the Irtysh river between villages Lebyazhye and Podpusk with the location of fossil mammal records [Vislobokova, 1996 with changes]

Legend: 1 – greenish clay of the Aral suite; 2 – lacustrine red clay of the Pavlodar suite; 3 – lacustrine clay of the Aksor suite; 4 – alluvial sands and siltstones of the lower part of the Irtysh suite; 5 – alluvial sands of the upper part of the Irtysh suite; 6 – lacustrine siltstones and sands of the Krasnokutsk suite; 7 – sands and sandy loams of the Kulunda suite with traces of cryogenic violations; 8 – alluvial sediments of the first terrace above flood-plain and subaerial deposits; 9 – holocene aeolian deposits; 10 – locations of mammal remains

Измерения нижней челюсти и зубов выполнены по методике А.В. Шпанского [2016]. При анализе морфологических признаков и размеров зубов использованы опубликованные материалы по *Stephanorhinus etruscus* Falconer, *S. jeanvireti* Guérin и *S. kirchbergensis* из местонахождений Европы и Сибири [Громова, 1935; Авакян, 1959; Kahlke, 1965, 1969; Алексеева, 1977; Давид, 1980; Guérin, 1980; van der Made, 2010; Tong, Wu, 2010; Shpansky, Billia, 2012; Шпанский, 2016; Шпанский, Боескорев, 2018 и др.]. Измерение metatarsale III проведено по методике J. van der Made [2010]: DAPp – передне-задний диаметр проксимального эпифиза; DTr – трансверзальный диаметр проксимального эпифиза. Сравнение проводилось с опубликованными европейскими материалами [Guérin, 1980; Fortelius et al., 1993; Lacombat, 2005; van der Made, 2010 и др.].

Описание

Фрагмент нижней челюсти с двумя зубами (m1 и m2) ПОИКМ 100/386 (рис. 3). Кость сильно минерализована, на буккальной стороне и большей части лингвальной стороны отсутствует компактная часть кости и обнажается губчатая кость. Сохранившаяся компактная кость на лингвальной стенке челюстной кости имеет многочисленные трещины. Высота го-

ризонтальной ветви на уровне заднего края m2 составляет 95 мм, толщина – 51 мм. Коронки зубов имеют вертикальные трещины и сколы. Передняя часть металофида m1 отломлена. Буккальная стенка гиполофида m2 имеет вертикальную трещину и смещение в буккальную сторону. Зубы стерты примерно наполовину. Коронки зубов слабо наклонены вперед. Эмаль зубов гладкая, блестящая, фарфоровидная, цемент отсутствует. Внутренние долилки открытые, треугольных очертаний, резко сужаются к основанию. Глубина долинок одинаковая. С лингвальной стороны долилки ограничены низким гребнем эмали. Металофид и гиполофид в поперечном сечении U-образные. На m1 ширина металофида у основания коронки немного меньше, чем ширина гиполофида. Цингулом развит на передних и задних стенках коронок зубов. Промеры зубов приведены в табл. 1.

Проксимальная часть левого metatarsale III ПМ ТГУ 36/7 (рис. 4). Кость маленьких размеров (табл. 2). Сохранившаяся длина кости 90 мм, что соответствует примерно 2/3 длины кости. Длина целой кости могла составлять около 135 мм.

Фасетка для сочленения с os tarsale (cuneiforme) имеет подковообразную форму с передним краем U-образной формы (рис. 4, e). С медиальной стороны расположена хорошо выраженная выемка.

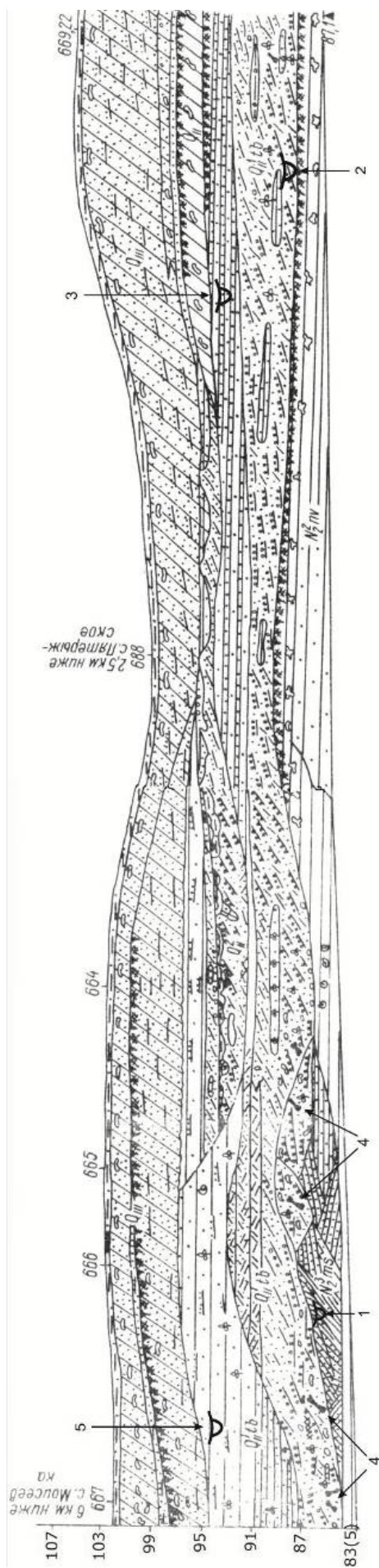


Рис. 2. Схема разреза четвертичных отложений на правом берегу р. Иртыш между с. Пятирыжск и п. Железинка (Павлодарская обл.) [Зинова, 1982; Шпанский, 2018а]

Цифрами обозначены местонахождения крупных млекопитающих: 1 – фрагмент челюсти *Stephanorhinus* sp., кости *Equus livensovensis* и фаланга *Archidiskodon* sp. (Моисеевка 1); 2 – череп *Phanagoroloxod irtyshensis*; 3 – скелет *Mammuthus trogontherii trogontherii* (Пятирыжск); 4 – многочисленные находки остатков млекопитающих вяткинского комплекса (Моисеевка 2, Железинка 1); 5 – челюсть *Crocota spelaea* и другие остатки млекопитающих прииртышского комплекса (Железинка 2)

Fig. 2. Section of quaternary sediments on the right bank of the Irtysh River between villages Pyatiryzhsk and Zhelezinka (Pavlodar region) [Zinova, 1982; Shpansky, 2018a]

Numbers mark the location of large mammals: 1 – jaw fragment of *Stephanorhinus* sp., bones of *Equus livensovensis* and phalanx of *Archidiskodon* sp. (Moiseevka 1); 2 – skull of *Phanagoroloxod irtyshensis*; 3 – skeleton of *Mammuthus trogontherii trogontherii* (Pyatiryzhsk); 4 – numerous records of mammal remains of Vyatka complex (Moiseevka 2, Zhelezinka 1); 5 – jaw of *Crocota spelaea* and other mammal remains of Priirtyshsky complex (Zhelezinka 2)

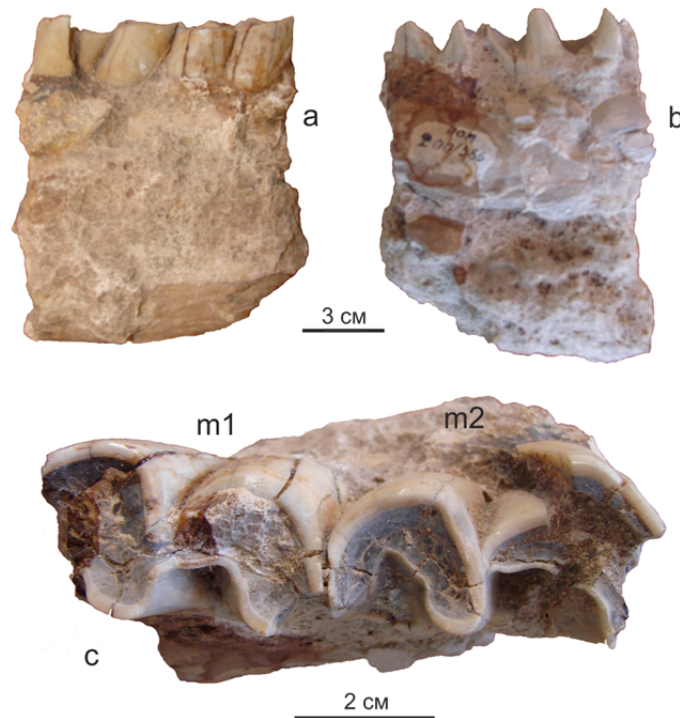


Рис. 3. Фрагмент нижней челюсти *Stephanorhinus etruscus* Falconer ПОИКМ 100/386 из местонахождения Моисеевка 1

a – вид с буккальной стороны; *b* – вид с лингвальной стороны; *c* – окклюзальный вид

Fig. 3. Lower jaw fragment of *Stephanorhinus etruscus* Falconer. Pavlodar's Museum of Local History 100/386 from Moiseevka 1

a – view from the buccal side; *b* – view from the lingual side; *c* – occlusal view

Размеры нижних зубов *Stephanorhinus etruscus* и *S. kirchbergensis*

Таблица 1

Table 1

The sizes of the lower teeth of *Stephanorhinus etruscus* and *S. kirchbergensis*

	Местонахождение / Site	Length m1	Width m1	Length m2	Width m2
<i>S. etruscus</i>	Moiseevka; ПОИКМ 100/386	43,0	30,0	51,0	33,0
	Leninakan; LM № 29 [Avakyan, 1959]	40,0	27,0	44,0	29,0
	Kolkotova Balka; n = 2 [David, 1980]	44,0; 45,8	28,0; 30,0	48,0; 48,6	29,0; 30,5
	Shutnovcy; n = 4 [David et al., 1990]	31,0–43,2	29,0–33,0	37,0–45,0	28,0–33,0
	Morskaya; GIN 301-35 [Alekseeva, 1977]	43,0	33,0		
	Morskaya; GIN 301-11 [Alekseeva, 1977]	43,0	27,0	45,5	
	Belyaevka [David, 1990]	44,0	30,0	45,0	32,0
	Shutnovcy GIN [Alekseeva, 1977]	43,2	29,0		
	Voigtstedt [Kahlke, 1965]	27,8–42,3	28,5–30,8	43,9–44,0	29,8–31,0
	Süssenborn [Kahlke, 1969]	26,0–50,8	26,0–32,5	39,8–49,5	24,2–34,2
	Aivaliki ; AMPG AVL-1 [Symeonidis et al., 2006]	39,4	27,3	42,7	28,8
	West Europe; n = 12, 14 [Guerin, 1980]	36(43,7)50	26,5(29,0)32	40(48,4)54	27,5(30,2)34
<i>S. kirchbergensis</i>	Koshkurgan [Hisarova, 1963]	54,0	35,0	60,0–62,0	36,0–47,0
	Krasniy Yar; PM TSU [Shpansky, Billia, 2012]	>54	38,7	60,6	42,4
	Kindal; KF MINS KP-397 [Shpansky, 2016]	53,5	37,5	58,5	35,5
	Mus Khaya; IGABM 400 [Shpansky, Boeskorov, 2018]	48,3	37,1	52,3	37,6
	Shennongjia [Tong, Wu, 2010]	41,8–47,9	33,1–37,0	51,8–56,5	34,6–36,3
	Moldova; n = 3 [David, 1980]	49,0–51,3	38,2–38,2	52,0–58,0	37,0–39,0
	ChernyYar; n = 2 [Gromova, 1935]	45,0	33,0	52,0–53,0	35,0–39,5
	Dmitrov, IV gateway [Alekseeva, 1977]	53,5	37,5		
	Poland; ZIN 10743 [Gromova, 1935]	48,2	36,0	50,0	38,5
	Taubach [Kahlke, 1977]	46,2–51,8	36,3–38,1	52,6–60,5	36,8–40,2
<i>S. jeanvireti</i> ; n = 2 [Guerin, 1980]		47(43,5)40	32(28,5)25		
<i>S. jeanvireti</i> ; n = 6 [Guerin, 1980]				53,5(50,0)47,5	34,5(30,75)29

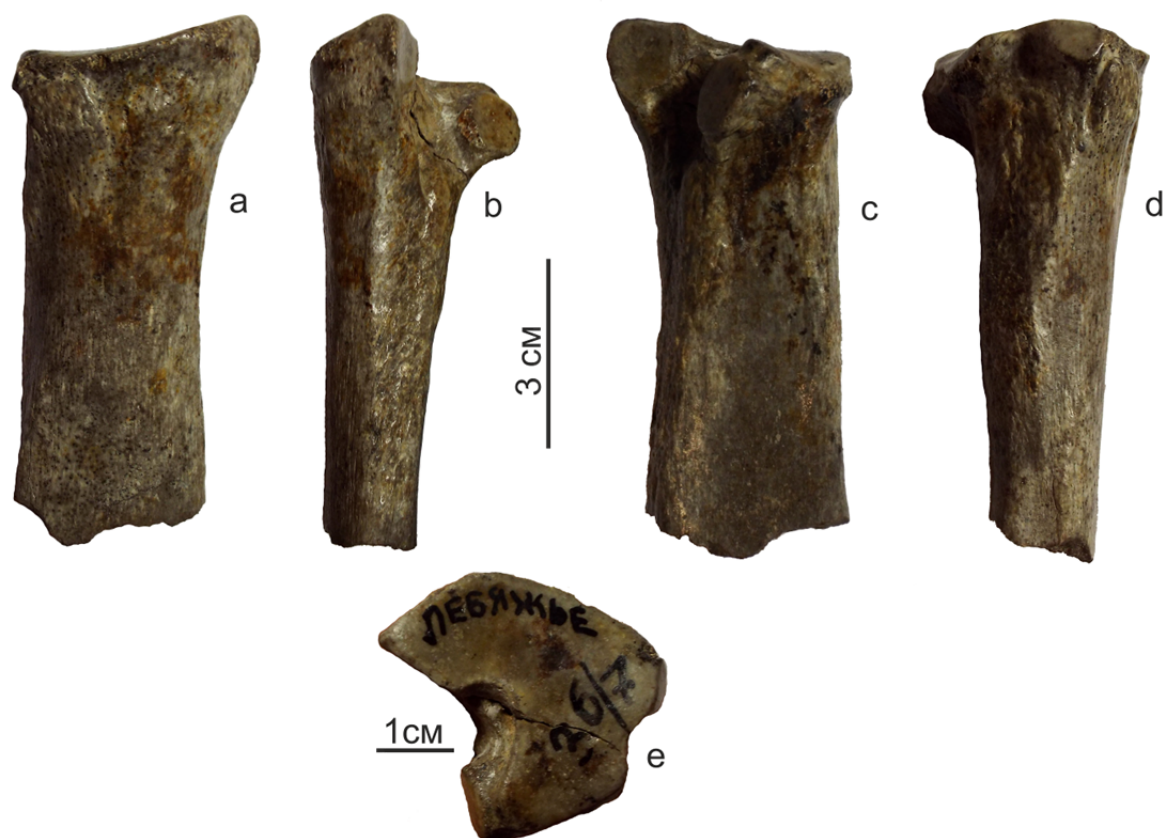


Рис. 4. Левое metatarsale III *Stephanorhinus etruscus* Falconer ПМ ТГУ 36/7 из местонахождения Лебяжье 2

a – дорсальный вид; *b* – латеральный вид; *c* – плантарный вид; *d* – медиальный вид; *e* – проксимальный эпифиз

Fig. 4. Left metatarsale III *Stephanorhinus etruscus* Falconer. Paleontology Museum at TSU 36/7 from Lebyazhye 2
a – dorsal view; *b* – lateral view; *c* – plantar view; *d* – medial view; *e* – proximal epiphysis

Размеры metatarsale III двурогих носорогов рода *Stephanorhinus*

Таблица 2

Metatarsale III sizes of two-horned rhinoceroses of the genus *Stephanorhinus*

Table 2

Вид и местонахождение / Taxon and Site	DAPp	DTp
<i>S. etruscus</i>		
Лебяжье (Lebyazhie); ПМ ТГУ 36/7	38,0	40,0
Tegelen [Viret, 1954]	40	44
Figline; IGF 731 [Fortelius et al., 1993]	35	41
La Cicogna; IGF 2239 v [Fortelius et al., 1993]	34	35
Upper Valdarno; IGF 2233 v [Fortelius et al., 1993]	37	41
Olivola; IGF 1934 [Fortelius et al., 1993]	33	38
West Europe; n = 18–24 [Guerin, 1980]	38,0–41,9–47,0	43,0–48,5–56,0
<i>S. cf. etruscus</i>		
Novye Kirgany; GIN 428-110 [Алексеева, 1977]	42	54
<i>S. jeanvireti</i>		
West Europe; n = 8–11 [Guerin, 1980]	44,0–48,8–53,0	53,0–57,1–60,5
<i>S. kirchbergensis</i>		
Bilzingsleben [van der Made, 2010]	55,0	52,9
Bilzingsleben [van der Made, 2010]	52,2	62,0
Bilzingsleben [van der Made, 2010]	50,0	59,7

Плантарная часть эпифиза сильно выступает назад и нависает над диафизом (рис. 4, *b*, *d*). Передне-задний и трансверзальный диаметр проксимального эпифиза близки друг к другу. Поперечник диафиза в средней части имеет широкоовальную форму со скошенными боковыми краями.

Обсуждение

Для конца плиоцена – палеоплейстоцена (=гелазия) отмечается существование двух форм мелких двурогих носорогов – *S. etruscus* и *S. jeanvireti*. Обе формы установлены в Европе. *S. jeanvireti* установлен Гереном [Guerin, 1973] для позднего плиоцена (=раннего виллафранка, MN 16) юга Западной Европы. Ограниченное географическое распространение и более древний возраст существования этого носорога делают маловероятным его присутствие столь далеко на востоке за пределами эндемичной области обитания – на юго-востоке Западно-Сибирской равнины. Более широкое географическое и стратиграфическое распространение имел этрусский носорог *S. etruscus*. Его остатки известны от Испании до Кавказа и Северного Причерноморья. Появление этрусского носорога также соотносится с концом плиоцена, а вымирание в Восточной Европе произошло во второй половине раннего неоплейстоцена. В пределах Казахстана и Западно-Сибирской равнины для квартала из рода *Stephanorhinus* до настоящего времени достоверно был известен только *S. kirchbergensis*, поэтому сравнение остатков носорога из отложений иртышской свиты сделано автором только с указанными выше формами.

Коренные зубы из Моисеевки отличаются плавными изгибами металофида и гиполофида. Размеры *m1* хорошо сопоставляются с зубами мелких носорогов – *S. jeanvireti* и *S. etruscus* и однозначно отличаются по размерам от крупных зубов *S. kirchbergensis* (рис. 5). Размеры *m2* занимают промежуточное положение между мелкими и крупными носорогами. Эта особенность, вероятно, связана с повреждением зуба и смещением его фрагмента, что могло привести к завышению размеров. Общее строение зубов носорога из Моисеевки близко строению зубов *S. jeanvireti* из *Valette* [Guerin, 1980], *S. etruscus* из Шутновцов [Давид и др., 1990] и *S. kirchbergensis* из Красного Яра [Shpansky, Billia, 2012].

Сложности вызывает сравнение носорога из Павлодарского Прииртышья с остатками из северо-восточного Приазовья, типовых местонахождений хапровского фаунистического комплекса, одновозрастного подпуск-лебяжьиному комплексу. По мнению В.В. Титова [2008], двурогий носорог хапровского комплекса имеет морфологические отличия как от *S. etruscus*, так и от *S. kirchbergensis* и от других видов этого рода. При этом размерные характеристики нижних зубов носорога из хапровских сло-

ев в основном соответствуют *S. etruscus* и близки размерам зубов из Моисеевки 1.

Metatarsale III из Лебяжье 2 по размерам хорошо соотносится с *S. etruscus* (рис. 6). От *S. jeanvireti* отличается формой проксимального эпифиза и меньшими размерами. У *S. jeanvireti* трансверзальный диаметр проксимального эпифиза превышает передне-задний, очертания проксимальной фасетки имеют форму перевернутой трапеции, у экземпляра из Лебяжье эти диаметры практически одинаковы, а проксимальная фасетка имеет округлые очертания. Эти признаки очень близки к экземпляру *S. etruscus* из Сенезе [Guerin, 1980]. Можно отметить сходство проксимального эпифиза (сильно оттянутый назад плантарный край) с *S. hundsheimensis* Toulou из Vallonnet [Lacombe, 2005]. Но ширина проксимального эпифиза (DTr) у этого носорога значительно превышает передне-задний поперечник (DATr), тогда как у metatarsale III из Лебяжье они почти равны и значительно меньших размеров. От *S. kirchbergensis* экземпляр из Лебяжье отличается значительно меньшими размерами (рис. 6) и округлыми очертаниями фасетки проксимального эпифиза. У носорога Мерка проксимальный эпифиз имеет резко треугольные очертания.

Геологический возраст отложений иртышской свиты в стратотипическом разрезе южнее п. Лебяжье определен в интервале 2,6–2,0 млн лет. Палеомагнитные исследования свиты показали, что она намагничена обратно и соотнесена с началом хрона Матуйма [Зыкин и др., 2011]. Наиболее многочисленные остатки крупных млекопитающих подпуск-лебяжьиного комплекса происходят из местонахождений в окрестностях с. Подпуск (табл. 3). Отсюда известны разнообразные остатки хищных, парно- и непарнокопытных, слона Громова. *Archidiskodon meridionalis gromovi* Garutt et Alexejeva является руководящей формой для хапровского фаунистического комплекса первой половины гелазия (рис. 7). В отложениях иртышской свиты в местонахождении Моисеевка 1 найдены зубы номинативного подвида южного слона *Archidiskodon meridionalis meridionalis* Nesti [Зинова, 1982]. При этом, из Моисеевки К.Ж. Жылкибаев [Жылкибаев, 1975] описывает зубы более древнего *A. meridionalis gromovi*, не указывая точной привязки их к разрезу.

Типичный южный слон (*A. meridionalis meridionalis*) имел более позднее распространение – со второй половины гелазия и до середины эоплейстоцена, и является руководящей формой для псепкупского фаунистического комплекса Восточной Европы.

Таким образом, отложения, с которыми связано местонахождение Моисеевка 1, можно предположительно соотносить с верхней частью иртышской свиты, что соответствует началу второй половины гелазия [Шпанский, 2018a].

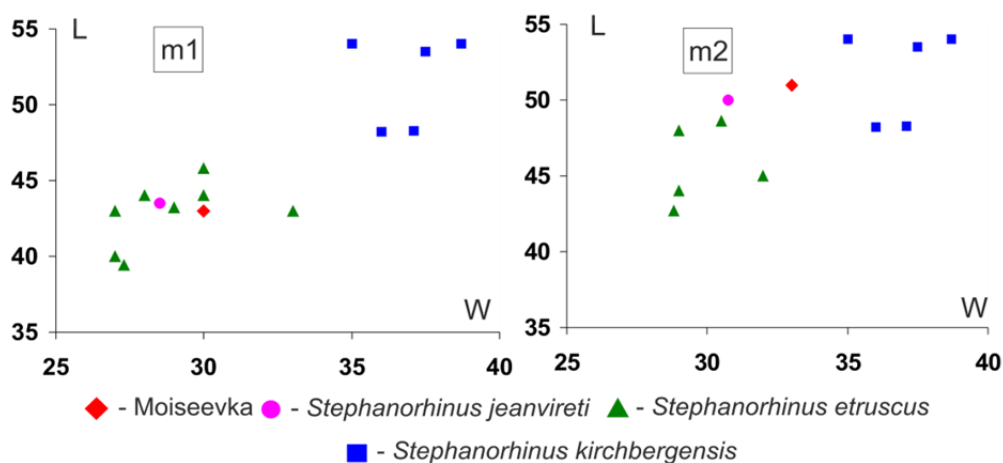


Рис. 5. Размеры (мм) нижних зубов m1 и m2 носорогов рода *Stephanorhinus*

L – длина коронки; W – ширина коронки (исходные данные см. в табл. 1)

Fig. 5. Lower m1 and m2 teeth sizes (mm) of rhinoceroses of the genus *Stephanorhinus*

L – crown length; W – crown width (initial data in Table 1)

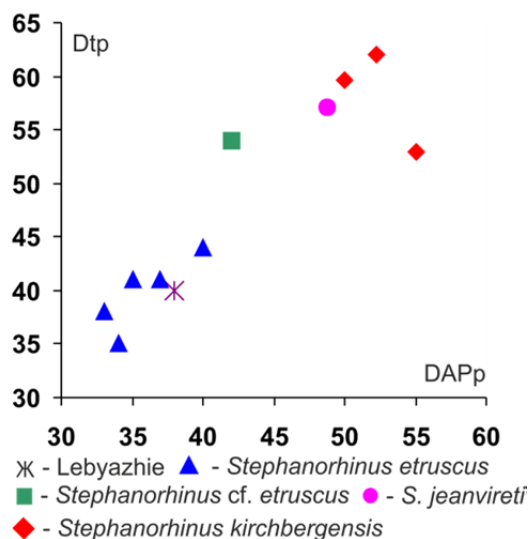


Рис. 6. Размеры (мм) проксимального эпифиза metatarsale III носорогов рода *Stephanorhinus*

DТр – трансверсальный диаметр; DAPp – передне-задний диаметр (исходные данные см. в табл. 2)

Fig. 6. Proximal epiphysis metatarsale III sizes (mm) of rhinoceroses of the genus *Stephanorhinus*

DТр – transversal diameter, DAPp – antero-posterior diameter (initial data in Table 2)

По данным В.С. Зажигина [Зажигин, 2009], обе пачки аллювия иртышской свиты охарактеризованы одинаковой фауной мелких млекопитающих. В целом фауна мелких и крупных млекопитающих подпуск-лебяжьиного комплекса по степени эволюционного развития мамонтоидных слонов, лошадей и мелких млекопитающих хорошо сопоставима с хапровским комплексом млекопитающих юга Восточной Европы и соотносится со средним виллафранком Западной Европы [Vislobokova, 1996; Зажигин, 2009; Шпанский, 2018a].

После гелазия остатки *S. etruscus* в Казахстане и Западной Сибири не обнаружены, в Западной Европе

он известен до начала раннего неоплейстоцена (MIS 19) [van der Made, 2010], а в отложениях Колкотовой балки входит в состав тираспольского фаунистического комплекса совместно со *S. kirchbergensis* (MIS 15-16) [Давид и др., 1990]. Но, по мнению J. van der Made [2010], мелкие представители *Stephanorhinus* раннего неоплейстоцена относятся к *S. hundsheimensis* (= *D. etruscus brachycephalus* Guérin). Одним из самых древних местонахождений (около 1 млн лет) этого носорога является грот Vallonnet (северо-запад Италии) [Lacombat, 2005; van der Made, 2010]. Отмеченное нами выше сходство metatarsale III из Лебяжьего с metatarsale III из Vallonnet может ука-

зывать на родственные связи *S. etruscus* и *S. hundsheimensis*. Для решения вопросов эволюционных и палеогеографических связей между Западно-Сибирской зоогеографической провинцией и Западной

Европой в настоящее время недостаточно данных и более молодых местонахождений. Для эоплейстоцена на территории Казахстана и Западно-Сибирской равнины остатки двурогах носорогов неизвестны (рис. 7).

Таблица 3

Видовой состав местонахождений крупных млекопитающих
подпуск-лебяжьино-фаунистического комплекса

Table 3

Species composition of Podpusk-Lebyazhye Faunal Complex's mammal locations

Вид	Лебяжье 2 / Lebyazhie 2	Подпуск / Podpusk	Прорва / Prorva	Моисеевка 1 / Moiseevka 1
<i>Ursus</i> sp.		+		
<i>Eocion minor</i> (Teilhard et Piveteau)		+		
<i>Meles</i> cf. <i>meles</i> L.			+	
<i>Homotherium</i> sp.		+		
<i>Pachycrocuta</i> sp.		+		
<i>Archidiskodon meridionalis gromovi</i> Garutt et Alexejeva	+	+	+	+?
<i>Archidiskodon meridionalis meridionalis</i> Nesti				+
<i>Equus livensovensis</i> Bajgusheva		+		+
<i>Equus</i> sp. (small)		+	+	
<i>Elasmotherium</i> sp.		+	+	+
<i>Stephanorhinus etruscus</i> Falconer	+	+	?	+
<i>Paracamelus</i> cf. <i>gigas</i> Schlosser		+		
<i>Eucladoceros</i> sp.		+		
<i>Antilospira</i> cf. <i>gracilis</i> Teilhard et Trassaert		+		
<i>Gazella (Vetagazella) sinensis</i> Teilhard et Piveteau		+	+	
<i>Bison (Eobison)</i> aff. <i>tamanensis</i> Ver.			+	
Bovinae gen. indet		+		

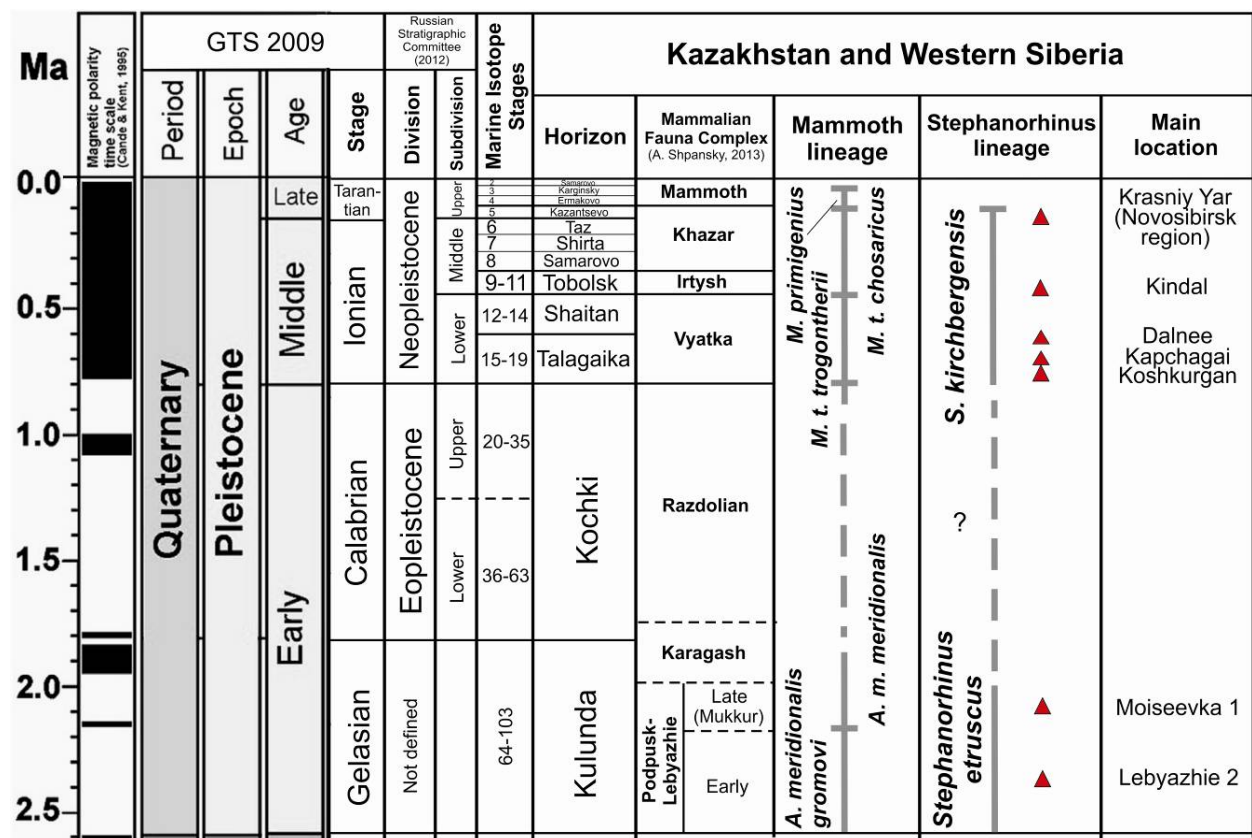


Рис. 7. Схема стратиграфического положения основных местонахождений и распространения носорогов рода *Stephanorhinus* на территории Казахстана и Западно-Сибирской равнины

Fig. 7. Stratigraphic position of main locations and expansion of rhinoceroses of the genus *Stephanorhinus* on Kazakhstan and the West Siberian plain territories

А с раннего неоплейстоцена появляются остатки крупного носорога Мерка *S. kirchbergensis*, который просуществовал до начала позднего неоплейстоцена [Шпанский, 2018a]. Со среднего неоплейстоцена на юге Западно-Сибирской равнины появляется *Coelodonta antiquitatis*.

На экологические условия обитания этрусского носорога существует два взгляда. По мнению А.И. Давида, этрусский носорог был обитателем степных и лесостепных ландшафтов [Давид и др., 1990]. Хорошо сохранившийся симфиз на нижних челюстях из Шутновцов (Украина) и Лас Хигуерулас (Италия) [Mazo, 1995] однозначно указывает на питание *S. etruscus* вегетативными побегами и листьями кустарников и молодых деревьев. Симфиз на этих челюстях имеет удлиненную узкую ложкообразную форму с плавно закругляющимся резцовым краем. На резцовом крае хорошо различимы две пары округлых альвеол резцов, направленных вперед и слабо вверх. Такая форма симфиза вместе с узким ростральным краем черепа удобны для просовывания головы в крону деревьев или кустарников, захвата ртом вегетативных побегов растений и обдираания с них листьев и плодов. Подобную форму симфиза описывает В. Громова [Громова, 1935] для *S. kirchbergensis* с Поволжья. Не исключено, что резцы этрусский носорог мог использовать для обдираания коры в холодное время года. Для европейского *S. etruscus* К. Герен предполагает питание нежными листьями, почками, веточками и плодами [Guerin, 2004]. Удлинение второго и третьего сегментов конечностей характеризует высокие скоростные способности этрусского носорога. По мнению К. Герена, морфологические особенности *S. etruscus* и ландшафтные условия среднего виллафранка Европы предполагают его обитание в разных биотопах – от разреженных лесов до лесистых саванн с достаточным увлажнением и возможными колебаниями температур. В.С. Волкова [Волкова, 1977] для времени формирования отложений иртышской свиты на юго-востоке Западно-Сибирской равнины отмечает развитие лугово-степной растительности с переходом к лесостепной с вероятным увеличением влажности. В нижней части иртышской свиты в

спорово-пыльцевых спектрах широко распространены злаковые и луговые травы, а для верхней части отмечено сокращение до 20–25% полынно-маревой и распространение осоково-разнотравной растительности. Климат этого времени был теплым и умеренно влажным. Широко развиты ландшафты саванного типа с обводненными участками. Присутствие в составе подпуск-лебяжьинской фауны газели, антилопы, верблюда и лошадей указывает на широкое развитие открытых степных участков и, возможно, полупустынь.

Заключение

Описанные материалы демонстрируют, что в гелазии *S. etruscus* имел более широкое распространение в Северной Евразии, чем в эоплейстоцене (калбрии). Для эоплейстоцена находки этого носорога известны только в пределах Европы. Севернее 55° с.ш. его остатки неизвестны на протяжении всего ареала. Сокращение ареала этрусского носорога может быть связано с сокращением лесных ландшафтов и усилением климатической сезонности с возможным увеличением снегового покрова в зимний сезон. Окончательное вымирание *S. etruscus* в раннем неоплейстоцене может быть связано с появлением и распространением в Европе крупного обитателя лесостепных ландшафтов и пойменных зарослей *S. kirchbergensis*. Остаются открытыми вопросы палеоэкогеографии *S. etruscus*: время появления на юге Западной Сибири, возможные пути миграции, а также продолжительность существования этого вида на данной территории. Также недостаточно проработанными остаются вопросы филогенетических связей *S. etruscus* с другими представителями рода *Stephanorhinus*, в частности с его вероятным потомком – *S. hundshaimensis*. В обоих отмеченных местонахождениях остатки этрусского носорога найдены совместно с остатками эласмотерия (*Elasmotherium* sp.), чей таксономический статус требует уточнения [Shpansky et al., 2016]. Непростым остается вопрос взаимоотношения и разделения экологических ниш между этими носорогами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ПОИКМ – Павлодарский областной историко-краеведческий музей (г. Павлодар).
ПМ ТГУ – Палеонтологический музей Томского государственного университета (г. Томск).

ЛИТЕРАТУРА

- Авакян Л.А. Четвертичные ископаемые млекопитающие Армении. Ереван, 1959. 72 с.
Алексеева Л.И. Териофауна раннего антропогена Восточной Европы. М. : Наука, 1977. 213 с.
Волкова В.С. Стратиграфия и история развития растительности Западной Сибири в позднем кайнозое. М. : Наука, 1977. 237 с.
Громова В. Об остатках носорога Мерка (*Rhinoceros mercki* Jaeg.) с Нижней Волги // Труды ПИН. 1935. Т. 4. С. 91–136. Таблицы I–III.
Давид А.И. Териофауна плейстоцена Молдавии. Кишинев : Штиинца, 1980. 188 с.

Давид А.И., Татаринев К.А., Свистун В.И. Хищные, хоботные и копытные раннего плейстоцена юго-запада СССР. Кишинев : Штиинца, 1990. 131 с.

Жылкыбаев К.Ж. Древние слоны Казахстана. Алма-Ата : Наука, 1975. 132 с.

Зажигин В.С. Комплексы мелких млекопитающих позднего плиоцена – раннего плейстоцена юга Западной Сибири // Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований : материалы VI Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. 19–23 октября 2009 г. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. С. 218–220.

Зинова Р.А. Плиоцен севера Центрального Казахстана: Материалы для корреляции разрезов Белоруссии и Казахстана. Минск : Наука и техника, 1982. 149 с.

Зыкин В.С., Зыкина В.С., Орлова Л.А., Савельева П.Ю., Сизикова А.О., Смолянинова Л.Г. Верхний кайнозой юга Западной Сибири: современное состояние стратиграфии и палеогеографии // Новости палеонтологии и стратиграфии. Приложение к журналу «Геология и геофизика». 2011. Т. 52, вып. 16–17. С. 137–152.

Кожамкулова Б.С. Позднекайнозойские копытные Казахстана. Алма-Ата : Наука, 1981. 144 с.

Титов В.В. Крупные млекопитающие позднего плиоцена Северо-Восточного Приазовья. Ростов н/Д : ЮНЦ РАН, 2008. 264 с.

Тлеубердина П.А. Позднеэоценовая фауна юго-востока Казахстана. Алма-Ата : Наука, 1982. 120 с.

Хисарова Г.Д. Ископаемые кости млекопитающих из Кошкурганского грифона (Южный Казахстан) // Материалы по истории фауны и флоры Казахстана. Алма-Ата : Наука, 1963. Т. 4. С. 42–65.

Шпанский А.В. Новые находки носорога Мерка (*Stephanorhinus kirchbergensis* Jäger 1839) (Rhinocerotidae, Mammalia) в Томском Приобье // Геосферные исследования. 2016. № 1. С. 24–39.

Шпанский А.В. Четвертичные крупные млекопитающие Западно-Сибирской равнины: условия обитания и стратиграфическое значение : дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Томск, 2018а. 313 с.

Шпанский А.В. Новые данные по местонахождению Григорьевка (Павлодарская область) // Актуальные проблемы естественнонаучного знания. Материалы международной конференции, посвященной 90-летию открытия памятника природы «Гусиный перелет». Павлодар : ПГПУ, 2018б. С. 494–499.

Шпанский А.В., Боевский Г.Г. Самая северная находка остатков носорога Мерка *Stephanorhinus kirchbergensis* Jäger 1839 и таксономическое положение *Coelodonta jacuticus* Russanov 1968 (Mammalia, Rhinocerotidae) // Палеонтологический журнал. 2018. № 4. С. 92–110.

Fortelius M., Mazza P., Sala B. *Stephanorhinus* (Mammalia: Rhinocerotidae) of the western European Pleistocene, with a revision of *S. etruscus* (Falconer, 1868) // Palaeontographia Italica. 1993. V. 80. P. 63–155.

Guerin C. Les trois especes de rhinoceros (Mammalia, Perissodactyla) du gisement pleistocene moyen des Abimes de La Fage a Noailles (Correze) // Nouv. Arch. Mus. Hist. Nat. Lyon, 1973. fasc. 11. P. 55–84. Pl. 5–17. Tabl. 27.

Guerin C. Les Rhinoceros (Mammalia, Perissodactyla) du Miocene terminal au Pleistocene superieur en Europe occidentale. Comparaison avec les especes actuelles // Docum. Lab. Geol. Lyon. 1980. № 79 (fasc. 2). P. 423–783.

Guerin C. Les rhinoceros (Mammalia, Perissodactyla) du gisement villafranchien moyen de Saint-Vallier (Drome) // Geobios. 2004. V. 37. P. 259–278.

Kahlke H.-D. Die Rhinocerotiden-Reste aus den Tonen von Voigstedt in Thüringen // Paläont. Abh. 1965. Abt. A., Bd. II, H. 2/3.

Kahlke H.-D. Die Rhinocerotiden-Reste aus den Kiesen von Süssenborn bei Weimar // Paläont. Abh. 1969. Abt. A., Bd. III, H. 3/4.

Kahlke H.-D. Die Rhinocerotidenreste aus den Travertinen von Taubach // Quartärpaläontologie. 1977. V. 2. P. 305–359.

Lacombat F. Les rhinoceros fossiles des sites prehistoriques de l'Europe mediterrannee et du Massif Central. Paleontologie et implications biochronologiques. Oxford, 2005. 175 p.

van der Made J. The rhinos from the Middle Pleistocene of Neumark-Nord (Saxony-Anhalt) // Veröffentlichungen des Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie. 2010. Band 62. P. 432–527.

Mazo A.V. *Stephanorhinus etruscus* (Perissodactyla, Mammalia) en el Villafranchiense inferior de Las Higuieruelas, Alcolea de Calatrava (Ciudad Real) // Estudios Geol. 1995. V. 51. P. 285–290.

Shpansky A.V., Aliyasova V.N., Ilyina S.A. The Quaternary Mammals from Kozhamzhar Locality (Pavlodar Region, Kazakhstan) // American Journal of Applied Sciences. 2016. V. 13 (2). P. 189–199.

Shpansky A.V., Billia E.M.E. Records of *Stephanorhinus kirchbergensis* (Jäger, 1839) (Mammalia, Rhinocerotidae) from the Ob' River at Krasny Yar (Tomsk region, southeast of Western Siberia) // Russian Journal of Theriology. 2012. № 1. P. 47–55.

Symeonidis N.K., Glauertsakis I.X., Seemann R., Giannopoulos V.I. Aivaliki, a New Locality with Fossil Rhinoceroses near Alistrati (Serres, Greece) // Beitr. Paläont. 2006. V. 30. P. 437–451.

Tong H.W., Wu X.Z. *Stephanorhinus kirchbergensis* (Rhinocerotidae, Mammalia) from the Rhino Cave in Shennongjia, Hubei // Chinese Science Bulletin. 2010. V. 55, № 12. P. 1157–1168.

Viret J. Le loess a bancs durcis de Saint-Vallier (Drome) et sa fauna de mammiferes villafrancheins // Nouv. Arch. Mus. Hist. Natur., Lyon, 1954. fasc. 4.

Vislobokova I.A. The Pliocene Podpusk-Lebbyazh'e mammalian faunas and assemblage, Western Siberia // Palaeontographia Italica. 1996. V. 83. P. 1–23.

Авторы:

Шпанский Андрей Валерьевич, доктор геолого-минералогических наук, доцент, кафедра палеонтологии и исторической геологии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: Shpansky@ggf.tsu.ru

Ильина Светлана Анатольевна, аспирант, кафедра палеонтологии и исторической геологии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: saliu@list.ru

A.V. Shpansky, S.A. Ilyina

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

THE TAXONOMIC POSITION OF THE TWO-HORNED RHINOCEROS FROM PODPUSK-LEBYAZHYE FAUNAL COMPLEX OF WESTERN SIBERIA

Sediments of the Irtysh suite are exposed on the right bank of the River Irtysh in the South-East of the West Siberian plain. The geological age of the sediments corresponds to the Gelasian Age (= Middle Villafranchian). The sands of the Irtysh suite contain the remains of large mammals of the Podpusk-Lebyazhye complex. The species composition of fauna and the evolutionary level of horses and elephants of the mammoth lineage allow us to compare it with Hapry fauna in the South of Eastern Europe (MN 17). The remains of the small two-horned rhinoceros were found among numerous mammal remains in Lebyazhye 2 and Moiseevka 1. The lower jaw fragment with m1 and m2 and metatarsale III are described in this article. The bones are highly mineralized. The teeth are about half worn down. The teeth crowns are slightly tilted forward. The teeth enamel is smooth, shiny, porcelain-like, without any cement. The inner valleys are open, sharply narrowing to the base. They have a triangular shape. The depth of the valleys is the same. The valleys are constrained by a low enamel ridge from the lingual side. Metalophid and hypolophid are U-shaped in the cross section. On m1, the width of the metalophid at the crown base is slightly less than the width of the hypolophid. The cingulum is developed on anterior and posterior crown walls of the teeth. The proximal part with a length of 90 mm was preserved from the left metatarsale III. It corresponds to about 2/3 of the bone length. The length of the whole bone could have been about 135 mm. The articular facet with os cuneiforme has a U-shape. There is a well-defined fossa on the medial side. The plantar part of the epiphysis protrudes strongly backwards and overhangs the diaphysis. The antero-posterior and transversal diameters of the proximal epiphysis are close to each other. The diaphysis diameter in the middle part has a wide oval shape with bevelled side edges. The teeth and metatarsale III are small in size (Tables 1 and 2). The comparative analysis of morphometric data showed that the studied remains can be related to *Stephanorhinus etruscus* Falconer. Its remains are known from Spain to the Caucasus and the Northern Black Sea region. The appearance of the Etruscan rhinoceros corresponds to the end of the Pliocene (MN 16), and its extinction in Eastern Europe occurred in the second half of the early Neo-Pleistocene. On the territories of Kazakhstan and the West Siberian plain, only *S. kirchbergensis* was reliably known from the genus *Stephanorhinus*. The remains of *S. etruscus* from these territories are described for the first time. The meadow-steppe vegetation was developed with the transition to forest-steppe for the time of sediment formation of the Irtysh suite in the South-East of the West Siberian plain. Grasses and meadow grasses, as well as a forest and shrub vegetation, are widely distributed in the spore-pollen spectra. The climate of this time was warm and subhumid. Savanna-type landscapes with watered areas are widely developed. The presence of gazelles, antelopes, camels and horses in Podpusk-Lebyazhye fauna indicates a wide development of open steppe areas and possibly semi-deserts.

Keywords: *Stephanorhinus etruscus*, Podpusk-Lebyazhinskiy faunal complex, Middle Villafranchian, Gelasian, Western Siberia.

References

- Avakyan L.A. *Chetvertichnyye iskopayemyye mlekopitayushchiye Armenii* [Quaternary fossil mammals of Armenia]. Yerevan, 1959. 72 p. In Russian
- Alekseeva L.I. *Theriofauna rannego antropogena Vostochnoi Evropy* [Early antropogene Theriofauna of East Europe]. Moscow: Nauka, 1977. 213 p. In Russian
- Volkova V.S. *Stratigrafia i istoriya razvitiya rastitelnosti Zapadnoi Sibiri v pozdnem kainozoe* [Stratigraphy and the history of vegetation development in Western Siberia in the Late Cenozoic]. Moscow: Nauka, 1977. 237 p. In Russian
- Gromova V. *Ob ostatkakh nosoroga Merka (Rhinoceros mercki Jaeg.) s Nizhnei Volgi* [On the remnants of rhinoceros Merck (Rhinoceros mercki Jaeg.) from the Lower Volga] // Proc. PIN, 1935. T. 4. pp. 91–136. Table I-III. In Russian
- David A.I. *Theriofauna pleistocena Moldavii* [Theriofauna of the Pleistocene of Moldova]. Kishinev: Shtiintsa, 1980. 188 p. In Russian
- David A.I., Tatarinov K.A., Svistun V.I. *Hishchnyye, hobotnyye i kopytnyye rannego pleistocena yugo-zapada SSSR* [Predatory, proboscis and ungulates of the early Pleistocene southwestern USSR]. Kishinev: Shtiintsa, 1990. 131 p. In Russian
- Zhylykbaev K.Zh. *Drevnie slony Kazakhstana* [Ancient elephants of Kazakhstan]. Alma-Ata: Nauka, 1975. 132 p. In Russian
- Zazhigin V.S. *Kompleksy melkikh mlekopitayushchikh pozdnego pliocena – rannego pleistocena yuga Zapadnoi Sibiri* [Complexes of small mammals of the Late Pliocene - Early Pleistocene of the south of Western Siberia] // Fundamentalnye problemy kvartera: itogi izucheniya i osnovnye napravleniya dalneishih issledovaniy. Materialy VI Vserossiyskogo soveshchaniya po izucheniyu chetvertichnogo perioda. 19-23 oktyabrya 2009. Novosibirsk: Izdat-vo SO RAN, 2009. pp. 218–220. In Russian
- Zinova R.A. *Pliocen severa Centralnogo Kazakhstana: Materialy dlya korrelyatsii razrezov Belorussii i Kazakhstana* [Pliocene of the north of Central Kazakhstan: Materials for the correlation of sections of Belarus and Kazakhstan]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1982. 149 p. In Russian
- Zykin V.S., Zykina V.S., Orlova L.A., Savelieva P.Yu., Sizikova A.O., Smolyaninova L.G. *Verkhniy kainozoi yuga Zapadnoi Sibiri: sovremennoe sostoyaniye stratigrafii i paleogeografii* [Upper Cenozoic south of Western Siberia: the current state of stratigraphy and paleogeography] // Novosti paleontologii i stratigrafii. Prilozhenie k zhurnalu «Geologia i geofizika», V. 52. 2011. № 16-17. pp. 137–152. In Russian
- Kozhamkulova B.S. *Pozdnokainozoiskie kopytnyye Kazakhstana* [Late Cenozoic ungulates of Kazakhstan]. Alma-Ata: Nauka, 1981. 144 p. In Russian
- Titov V.V. *Krupnyye mlekopitayushchiye pozdnego pliocena Severo-Vostochnogo Priazovia* [Large mammals of the late Pliocene of the North-East Azov region.]. Rostov-on-Don: UNC RAN, 2008. 264 p. In Russian
- Tleuberdina P.A. *Pozdneneogenovaya fauna yugo-vostoka Kazakhstana* [Late Neogene fauna of southeast Kazakhstan]. Alma-Ata: Nauka, 1982. 120 p. In Russian
- Khisarova G.D. *Iskopaemye kosti mlekopitayushchikh iz Koshkurganskogo grifona (Yuzhnyi Kazakhstan)* [Fossil bones of mammals from the Koshkurgan griffin (South Kazakhstan)] // Materialy po istorii fauny i flory Kazakhstana. Alma-Ata: Nauka, 1963. V. 4. pp. 42–65. In Russian

Shpansky A.V. *Novye nakhodki nosoroga Merka (Stephanorhinus kirchbergensis Jäger 1839) (Rhinocerotidae, Mammalia) v Tomskom Priobie* [New finds of Merck rhinoceros (*Stephanorhinus kirchbergensis* Jäger 1839) (Rhinocerotidae, Mammalia) in Ob area Tomsk region] // *Geosphere Research*. 2016. № 1. pp. 24–39. 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, 2018a. 313 p. In Russian

Shpansky A.V. *Novye dannye po mestonakhozhdeniyu Grigorievka (Pavlodarskaya oblast)* [New data on the location of Grigoryevka (Pavlodar region)] // *Aktualnye problemy estestvennonauchnogo znania. Materialy mezhdunarodnoi konferencii, posvyashchennoi 90-letiyu otkrytia pamyatnika prirody «Gusinyi perelet»*. Pavlodar: PGPU, 2018b. pp. 494–499. In Russian

Shpansky A. V., Boeskorov G.G. Northernmost Record of the Merck's Rhinoceros *Stephanorhinus kirchbergensis* (Jäger) and Taxonomic Status of *Coelodonta jacuticus* Russanov (Mammalia, Rhinocerotidae) // *Paleontological Journal*. 2018. V. 52. № 4. pp. 445–462.

Fortelius M., Mazza P., Sala B. *Stephanorhinus* (Mammalia: Rhinocerotidae) of the western European Pleistocene, with a revision of *S. etruscus* (Falconer, 1868) // *Palaeontographia Italica*. 1993. V. 80. pp. 63–155.

Guerin C. Les trois especes de rhinoceros (Mammalia, Perissodactyla) du gisement pleistocene moyen des Abimes de La Fage a Noailles (Correze) // *Nouv. Arch. Mus. Hist. Nat. Lyon*, 1973. fasc. 11. pp. 55–84. Pl. 5–17. Tabl. 27.

Guerin C. Les Rhinoceros (Mammalia, Perissodactyla) du Miocene terminal au Pleistocene superieur en Europe occidentale. Comparaison avec les especes actuelles // *Docum. Lab. Geol. Lyon*. 1980. № 79 (fasc. 2). pp. 423–783.

Guerin C. Les rhinoceros (Mammalia, Perissodactyla) du gisement villafranchien moyen de Saint-Vallier (Drome) // *Geobios*. 2004. V. 37. pp. 259–278.

Kahlke H.-D. Die Rhinocerotiden-Reste aus den Tonen von Voigstedt in Thuringen // *Paläont. Abh.* 1965. Abt. A., Bd. II, H. 2/3.

Kahlke H.-D. Die Rhinocerotiden-Reste aus den Kiesen von Süssenborn bei Weimar // *Paläont. Abh.* 1969. Abt. A., Bd. III, H. 3/4.

Kahlke H.-D. Die Rhinocerotidenreste aus den Travertinen von Taubach // *Quartärpaläontologie*. 1977. V. 2. pp. 305–359.

Lacombat F. Les rhinoceros fossiles des sites prehistoriques de l'Europe mediterrannee et du Massif Central. *Paleontologie et implications boichronologiques*. Oxford, 2005. 175 p.

van der Made J. The rhinos from the Middle Pleistocene of Neumark-Nord (Saxony-Anhalt) // *Veröffentlichungen des Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie*. 2010. Band 62. pp. 432–527.

Mazo A.V. *Stephanorhinus etruscus* (Perissodactyla, Mammalia) en el Villafranchiense inferior de Las Higuieruelas, Alcolea de Calatrava (Ciudad Real) // *Estudios Geol.* 1995. V. 51. pp. 285–290.

Shpansky A.V., Aliysova V.N., Ilyina S.A. The Quaternary Mammals from Kozhamzhar Locality (Pavlodar Region, Kazakhstan) // *American Journal of Applied Sciences*. 2016. V. 13(2). pp. 189–199.

Shpansky A.V., Billia E.M.E. Records of *Stephanorhinus kirchbergensis* (Jäger, 1839) (Mammalia, Rhinocerotidae) from the Ob' River at Krasniy Yar (Tomsk region, southeast of Western Siberia) // *Russian Journal of Theriology*. 2012. №1. pp. 47–55.

Symeonidis N.K., Glaourtsakis I.X., Seemann R., Giannopoulos V.I. Aivaliki, a New Locality with Fossil Rhinoceroses near Alistrati (Serres, Greece) // *Beitr. Paläont.* 2006. V. 30. pp. 437–451.

Tong H.W., Wu X.Z. *Stephanorhinus kirchbergensis* (Rhinocerotidae, Mammalia) from the Rhino Cave in Shennongjia, Hubei // *Chinese Science Bulletin*. 2010. V. 55. № 12. pp. 1157–1168.

Viret J. Le loess a bancs durcis de Saint-Vallier (Drome) et sa fauna de mammiferes villafrancheins // *Nouv. Arch. Mus. Hist. Natur.*, Lyon, 1954. fasc. 4.

Vislobokova I.A. The Pliocene Podpusk-Lebyyazh'e mammalian faunas and assemblage, Western Siberia // *Palaeontographia Italica*. 1996. V. 83. pp. 1–23.

Author's:

Shpansky Andrei V., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Associate 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

Ilyina Svetlana A., postgraduate student, Department of Historical Geology and Paleontology, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: saliu@list.ru

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 550.42:552.513:552.23(571.53/.55)

СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЗДНЕДОКЕМБРИЙСКИХ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД КАРАГАССКОЙ СЕРИИ (БИРЮСИНСКОЕ ПРИСАЯНЬЕ)



З.Л. Мотова, Т.В. Донская, Д.П. Гладкочуб, А.М. Мазукабзов

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

В работе представлены результаты петрографических и литогеохимических исследований позднедокембрийских терригенных отложений двух свит карагасской серии Бирюсинского Присянья. Полученные данные позволили выявить эпигенетические преобразования изученных пород на стадии позднего катагенеза и установить, что основным источником сноса являлись кислые магматические породы, а одним из наиболее вероятных источников могли быть гранитоиды саянского комплекса, широко распространенные в Присяянском краевом выступе фундамента Сибирского кратона.

Ключевые слова: поздний докембрий, терригенные породы, геохимия, петрография, катагенез, Сибирский кратон.

Введение и современное состояние вопроса

Позднедокембрийские осадочные толщи широко распространены в пределах южной окраины Сибирского кратона. В Бирюсинском Присянье породы этого возраста представлены терригенно-карбонатными отложениями карагасской и оселковой серий. Большинство исследователей [Дольник, Воронцова, 1972; Шенфиль, 1991; Эволюция..., 2006; Метелкин и др., 2010; Летникова и др., 2013; Gladkochub et al., 2019 и др.] считают, что накопление терригенно-карбонатных толщ карагасской и оселковой серий происходило в условиях окраинно-континентального бассейна, связанного с открытием Палеоазиатского океана, омывавшего южный фланг Сибирского кратона в позднем докембрии – раннем палеозое. Е.Ф. Летникова с соавторами [Летникова, Прошенкин, 2012] в результате проведенных петрографических, геохимических и изотопных (Sm-Nd) исследований предположили, что терригенные отложения карагасской серии образовались в результате размыва трахириолитов и ассоциирующего с ними пирокластического материала, неизвестных в настоящее время в пределах исследуемой территории. Ю.К. Советов с соавторами [Советов и др., 2015] на основании исследования крупногалечных конгломератов из базального горизонта шангулежской свиты карагасской серии установили, что обломочный материал в бассейн седиментации этой свиты поступал преимущественно с Сибирского кратона и был представлен осадочными (кремни, фтаниты, алевролиты, доломиты), метаморфическими (гранитогнейсы и ортокварциты) и магматиче-

скими породами (граниты, кварцевые порфиры и их туфы, пегматиты, габбро). Д.П. Гладкочубом с соавторами [Gladkochub et al., 2019] в результате изучения возраста детритовых цирконов U-Pb методом LA-ICP-MS из терригенных отложений карагасской серии были получены исключительно архей-раннепротерозойские возрасты, соответствующие возрасту магматических пород, распространенных на южной окраине Сибирского кратона [Rojas-Agramonte et al., 2011], при этом основные возрастные пики отвечают интервалу 1850–1840 млн лет и соответствуют возрасту гранитоидов саянского комплекса [Левицкий и др., 2002; Туркина и др., 2003, 2006; Донская и др., 2014], распространенных в Присяянском краевом выступе фундамента Сибирского кратона. Такая неоднозначность трактовки основных питающих провинций для терригенных отложений карагасской серии потребовала проведения дополнительных исследований с целью уточнения состава основных источников сноса обломочного материала, поступающего в бассейн седиментации. Для решения данной проблемы нами проведены детальные петрографические и литогеохимические исследования терригенных пород шангулежской и тагульской свит карагасской серии, результаты которых представлены в настоящей статье.

Геологическая характеристика района исследований

В строении Бирюсинского Присянья участвуют несколько тектонических блоков, самым крупным из них является Бирюсинский блок, в пределах ко-

торого широко распространены позднедокембрийские терригенные толщи (рис. 1). Бирюсинский блок протягивается на 350 км от бассейна р. Ока до р. Агул при максимальной ширине 80 км. На юго-востоке Бирюсинский блок примыкает к Урикско-Ийскому грабену, а на юго-западе ограничивается Главным Саянским разломом. На северо-западе

породы Бирюсинского блока перекрываются среднепалеозойскими отложениями Рыбинской впадины. Бирюсинский блок представляет собой гетерогенную структуру, состоящую из позднеархейских (хайламинская и монкресская серии) и раннепротерозойских пород (елашская и неройская серии) [Эволюция..., 2006].

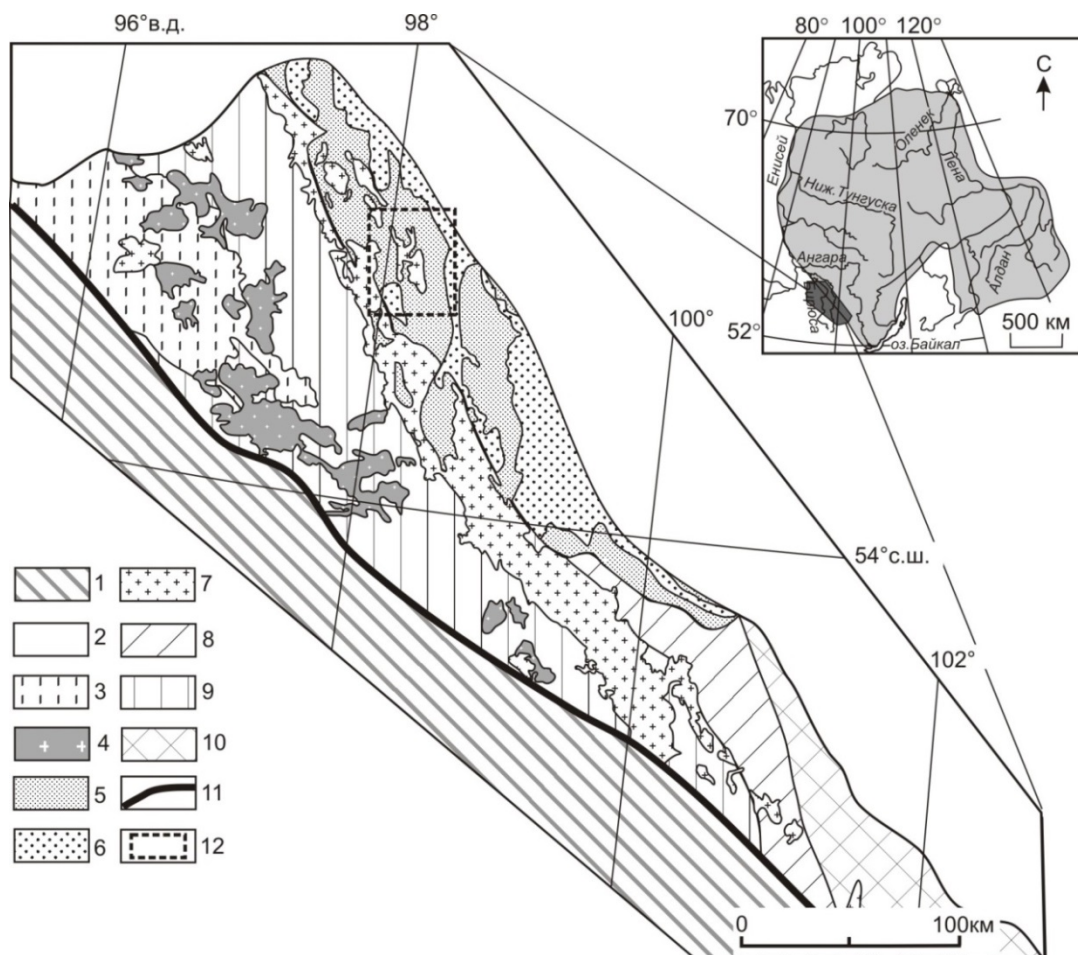


Рис. 1. Геологическая схема Бирюсинского Присянья [Галимова и др., 2012]

1 – Центрально-Азиатский складчатый пояс; 2 – фанерозойские образования чехла Сибирской платформы; 3 – девонские вулканогенно-осадочные породы наложенных впадин; 4 – палеозойские гранитоиды; 5 – осадочные отложения оселковской серии; 6 – осадочные отложения карагасской серии; 7 – раннепротерозойские постколлизийные гранитоиды; 8 – раннепротерозойские образования Урикско-Ийского блока фундамента Сибирского кратона; 9 – раннепротерозойские – архейские образования Бирюсинского блока фундамента Сибирского кратона; 10 – архейские образования Шарыжалгайского выступа фундамента Сибирского кратона; 11 – Главный Саянский разлом; 12 – участок детальных работ.

На врезке показаны контуры Сибирской платформы и район исследований.

Fig. 1. The geological scheme of the Biryusa Sayan Region [Galimova et al., 2012]

1 – Central Asian fold belt; 2 – Phanerozoic formations of the Siberian platform; 3 – Devonian volcanic-sedimentary rocks; 4 – Paleozoic granitoids; 5 – sedimentary rocks of the Oselok suite; 6 – sedimentary rocks of the Karagas suite; 7 – Early Proterozoic post-collisional granitoids; 8 – Early Proterozoic formations of the Urik-Iya block; 9 – Early Proterozoic-Archean formations of the Biryusa block; 10 – Archean formations of the Sharyzhalgai block; 11 – The main Sayan fault; 12 – section of detailed work.

The inset shows the contours of the Siberian platform and the study area.

В пределах Бирюсинского блока распространены раннепротерозойские гранитоиды саянского комплекса, прослеживающиеся вдоль зоны его сочленения с другими блоками Сибирского кратона. U-Pb возраст гранитоидов саянского комплекса варьируется от $1\,858 \pm 20$ до $1\,874 \pm 14$ млн лет [Левицкий и

др., 2002; Туркина и др., 2003, 2006; Донская и др., 2014]. Гранитоиды прорывают позднеархейские образования хайламинской и монкресской серий, а также раннепротерозойские образования елашской серии. В составе карагасской серии выделяются три свиты (снизу вверх) (рис. 2): шангулежская, тагуль-

ская и ипситская. Каждая из свит представляет собой крупный седиментационный цикл [Хоментовский и др., 1972; Шенфиль, 1991].

Шангулежская свита с размывом залегает на архейских и раннепротерозойских образованиях фундамента Сибирского кратона. В основании свиты находится горизонт конгломератов, выше по разрезу свита сложена разнозернистыми кварцевыми и аркозовыми песчаниками с линзами гравелитов, мелкогалечных конгломератов, алевролитов и аргиллитов. В верхней части разреза свиты залегают кремнистые доломиты, доломиты в переслаивании с алевролитами, аргиллитами и кремнистыми породами. Общая мощность шан-

гулежской свиты составляет 450–500 м. Тагульская свита с небольшим размывом залегает на породах шангулежской свиты и представлена красноцветными терригенно-карбонатными отложениями. Нижняя часть разреза сложена мелкогалечными конгломератами и гравелитами, выше залегают песчаники и алевролиты с прослоями доломитов. В верхней части свиты залегает толща тонко ритмично переслаивающихся алевролитов, алевролитистых аргиллитов с прослоями микрофитолитовых и строматолитовых доломитов [Брагин, 1986; Галимова и др., 2012; Советов и др., 2012]. Мощность тагульской свиты варьируется от 600 до 1000 м.

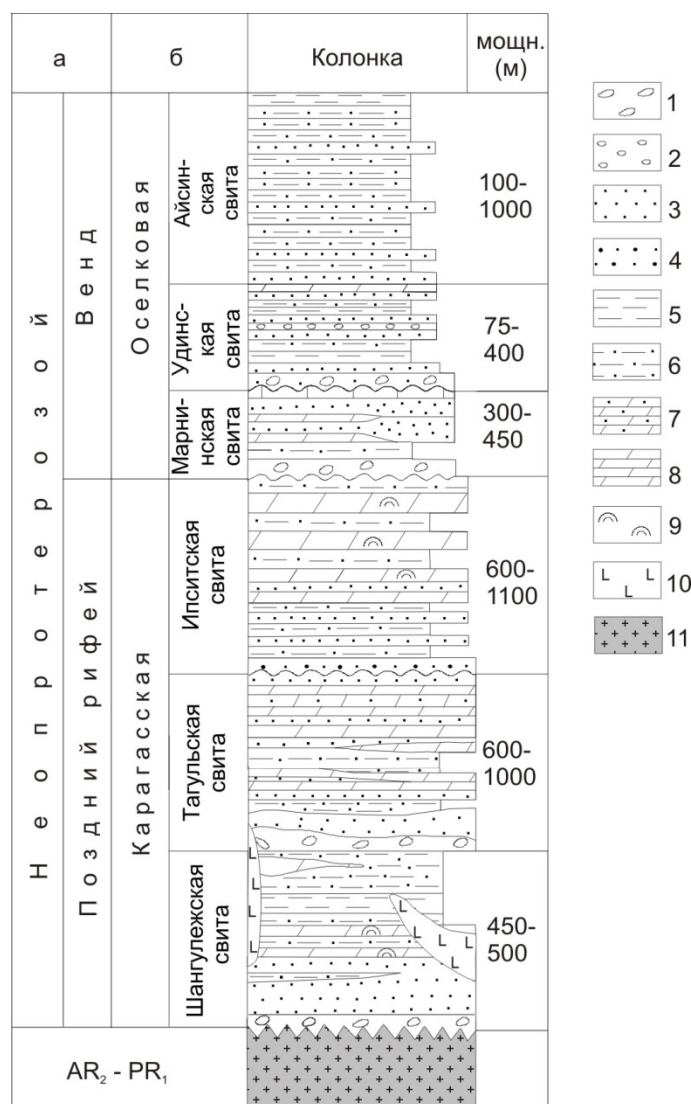


Рис. 2. Литологическая колонка докембрийских образований Бирюсинского Присянья модифицирована после [Решения..., 1983; Брагин, 1986]

а – общая хроностратиграфическая шкала; б – серии и свиты. 1 – конгломераты; 2 – мелкогалечные конгломераты и гравелиты; 3 – песчаники; 4 – кремнистые алевролиты и песчаники; 5 – аргиллиты; 6 – алевролиты; 7 – песчаные доломиты; 8 – доломиты; 9 – строматолиты и микрофитолиты; 10 – долериты и габбро-долериты; 11 – позднеархейский-раннепротерозойский фундамент Сибирского кратона

Fig. 2. The lithological column of Precambrian formations of the Biryusa Sayan Region modified after [Decision..., 1983; Bragin, 1986]

а – general chronostratigraphic scale; б – series and suites. 1 – conglomerates; 2 – small pebble conglomerates and gravelites; 3 – sandstones; 4 – siliceous siltstones and sandstones; 5 – mudstones; 6 – siltstones; 7 – sandy dolomites; 8 – dolomites; 9 – stromatolites and microphytolites; 10 – dolerites and gabbro-dolerites; 11 – Late Archean-Early Proterozoic foundation of the Siberian craton

Ипситская свита со стратиграфическим несогласием залегает на отложениях тагульской свиты. Нижняя часть свиты, однородная по составу, представлена тонкозернистыми кварцевыми и аркозовыми песчаниками. Верхняя часть свиты отличается резкой сменой набора пород и сложена доломитами, микрофитолитовыми доломитами, часто окремненными, переслаивающимися с алевролитами и аргиллитами. Мощность ипситской свиты изменяется от 600 до 1100 м.

Позднедокембрийский возраст отложений карагасской серии принимается на основании находок средне- и верхнерифейских строматолитов и микрофитолитов [Решения..., 1983], присутствия в разрезе шангулежской свиты силлов и даек габбро-долеритов нерсинского комплекса с Ar-Ar возрастом по плагиоклазу 741 ± 4 млн лет [Gladkochub et al., 2006], а также на основании U-Pb (LA-ICP-MS) гео-

хронологических исследований детритовых цирконов из терригенных отложений карагасской серии [Gladkochub et al., 2019].

Методы исследований

Петрографические и литогеохимические исследования терригенных отложений шангулежской и тагульской свит проведены по образцам, отобраным из коренных обнажений, расположенных по левому и правому бортам среднего течения р. Бирюса (рис. 3), сложенных в основном аркозовыми песчаниками и алевропесчаниками. Всего из отложений шангулежской и тагульской свит были отобраны 32 пробы аркозовых песчаников и алевропесчаников, в том числе 16 образцов из отложений шангулежской свиты, и 16 образцов из тагульской свиты.

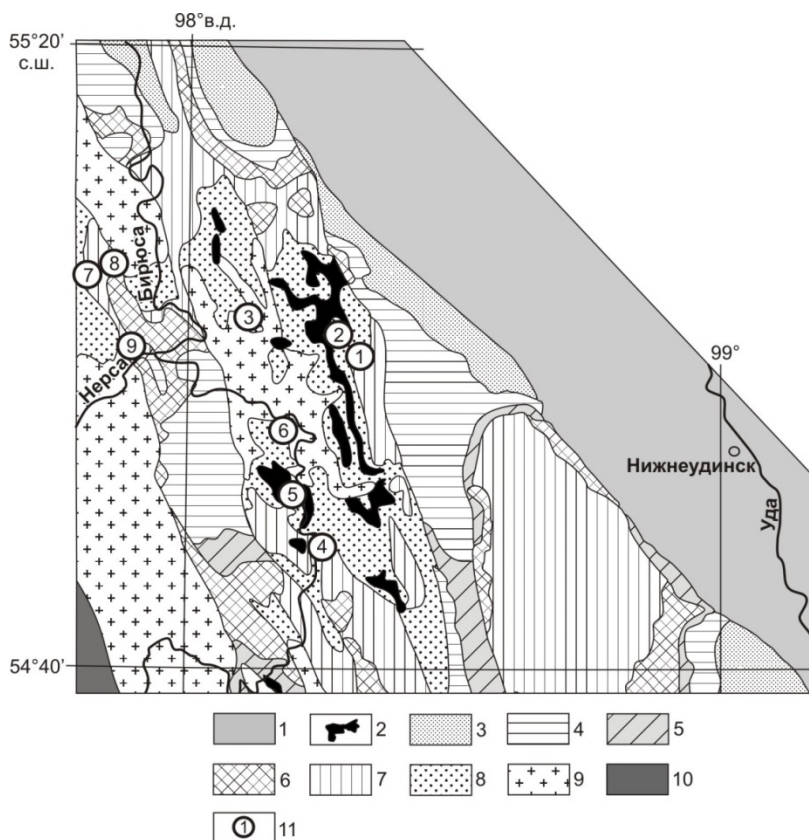


Рис. 3. Геологическая карта участка детальных работ [Галимова и др., 2012]

1 – фанерозойские образования чехла Сибирской платформы; 2 – дайки и силлы долеритов и габбродолеритов; 3–5 – оселковая серия: 3 – песчаники, алевролиты и аргиллиты айсинской свиты; 4 – песчаники, алевролиты, аргиллиты и гравеллиты удинской свиты; 5 – алевролиты, песчаники, известняки и доломиты марнинской свиты; 6–8 – карагасская серия: 6 – алевролиты, песчаники и доломиты ипситской свиты; 7 – песчаники, аргиллиты, алевролиты и доломиты тагульской свиты; 8 – конгломераты, песчаники, алевролиты и доломиты шангулежской свиты; 9 – раннепротерозойские гранитоиды саянского комплекса; 10 – раннепротерозойские – позднеархейские образования Бирюсинского блока фундамента Сибирского кратона; 11 – места отбора проб для литологических исследований и их номера (см. табл. 1).

Fig. 3. Geological map of the area of detailed work [according to Galimova et al., 2012]

1 – Phanerozoic formations of the Siberian platform; 2 – dikes and sills of dolerites and gabbrodolerites; 3–5 – oselok group: 3 – sandstones, siltstones and mudstones of the Aisa suite; 4 – sandstones, siltstones, mudstones and gravelstones of the Uda suite; 5 – siltstones, sandstones, limestones and dolomites of the Marnya suite; 6–8 – Karagas group: 6 – siltstones, sandstones and dolomites of the Ipsit suite; 7 – sandstones, mudstones, siltstones and dolomites of the Tagul suite; 8 – conglomerates, sandstones, siltstones and dolomites of the Shangulezh suite; 9 – Early Proterozoic granitoids of the Sayan complex; 10 – Early Proterozoic-Late Archean formations of the Biryusa block of the Siberian craton; 11 – sampling sites for lithological studies and their numbers (see Table 1).

Петрографические исследования шлифов были выполнены в Институте земной коры СО РАН с использованием поляризационных микроскопов Polam P-112 и Olympus BX53P. Определение основных петрогенных оксидов выполнено методом силикатного анализа в ЦКП «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН (аналитики: Царева Н.Ю., Бондарева Г.В.) по методике [Ревенко, 2014]. Содержания редких и редкоземельных элементов определены методом ICP-MS в Лимнологическом институте СО РАН, ОПЦКП «Ультрамикроанализ», на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500ce (Agilent Technologies Inc., США) (аналитик Пантеева С.В.). Концентрации элементов рассчитаны относительно международных стандартов AGV-2, BCR-2, JG-2, G-2, GSP-2. Химическое разложение проб для ICP-MS анализа проводилось в ЦКП «Геодинамика и геохронология» ИЗК

СО РАН методом сплавления с метаборатом лития, по методике [Panteeva et al., 2003]. Ошибка определений редких и редкоземельных элементов методом ICP-MS составляла не более 5%.

Петрографическая характеристика

По минеральному составу, в соответствии с классификацией по В.Н. Шванову [Шванов, 1987] (рис. 4), изученные породы шангулежской свиты классифицируются как олигомиктовые (полевошпат-кварцевые) песчаники и мезомиктовые (субаркозы) песчаники. Породы тагульской свиты, в соответствии с данной классификацией, относятся к олигомиктовым (полевошпат-кварцевым) песчаникам и аркозовым алевропесчаникам (рис. 4). Микрофотографии шлифов из образцов пород каждой группы приведены в табл. 1.



Рис. 4. Классификация песчаных и алевритовых пород [Шванов, 1987]

1 – точки составов пород шангулежской свиты; 2 – точки составов пород тагульской свиты

Fig. 4. Classification of sand and silty rocks [Shvanov, 1987]

1 – points of rock composition of the Shangulezhskaya suite; 2 – points of composition of rocks of the Tagul suite

Олигомиктовые (полевошпат-кварцевые) песчаники шангулежской свиты сложены полуокатанным и неокатанным обломочным материалом плохой и средней степени сортировки. Цемент глинистый. Структура псаммитовая, текстура массивная. В минеральном составе этих песчаников преобладают кварц (75–86%) и полевые шпаты (8–17%), представленные калиевыми полевыми шпатами и плагиоклазами. Второстепенные минералы представлены рудным минералом (ильменит) – 1–2%, биотитом – 1% и светлой слюдой – 1–3%. Акцессорные

минералы: сфен-лейкоксен, турмалин, апатит и циркон. Обломки пород (3–10%) представлены кислыми эффузивами, кремнями и гранитоидами. Кварц в породе окатан, корродирован, имеет волнистое погасание и массу включений гидроокислов железа. Повсеместно отмечается регенерация обломочных зерен кварца. Обломки полевых шпатов корродированы, плагиоклазы серицитизированы, калиевые полевые шпаты интенсивно пелитизированы и «пропитаны» гидроокислами железа. Также в породе отмечается повсеместное присутствие новообразованного

игольчатого тремолит-актинолитового агрегата с примесью хлорита и светлой слюды.

Мезомиктовые песчаники (субаркозы) шангулежской свиты сложены плохо отсортированным полуокатанным и неокатанным обломочным материалом. Цемент базально-поровый, глинисто-карбонатный. Структура породы псаммитовая, текстура массивная. В минеральном составе этих песчаников преобладают кварц (58–70%) и полевые шпаты (16–30%). Второстепенные минералы: рудный минерал (ильменит) (3–5%) и гидроокислы железа (2–4%). Среди минералов акцессорной группы наблюдаются циркон, турмалин, сфен-лейкоксен и светлая слюда. Обломки пород (2–18%) представлены кремнями, кислыми эффузивами и гранитоидами. Кварц в породе корродирован, трещиноват, имеет волнистое погасание. Края обломков кварца неровные, реакционные, разъедены цементирующим карбонатом. Отмечается интенсивная пелити-

зация калиевых полевых шпатов и серицитизация плагиоклазов. Края обломков полевых шпатов также разъедены цементирующим веществом.

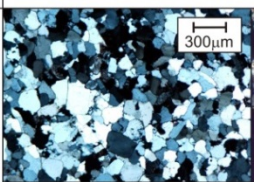
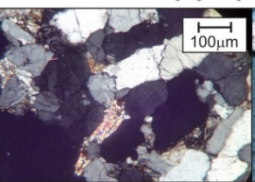
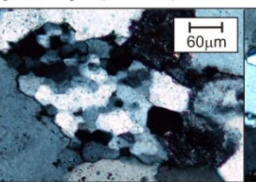
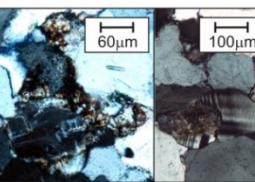
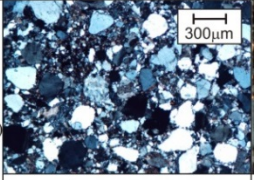
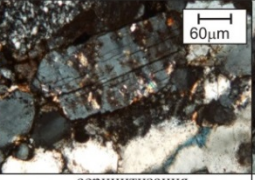
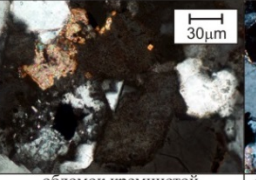
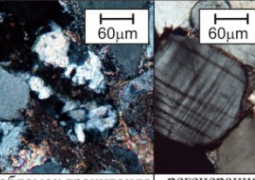
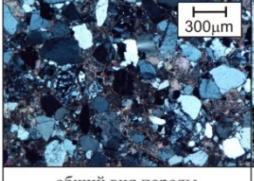
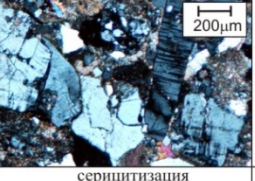
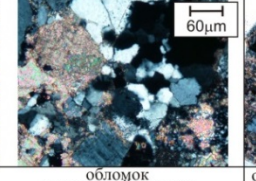
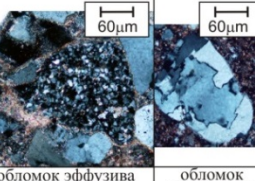
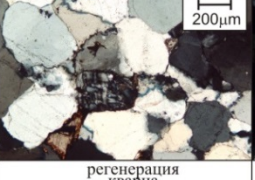
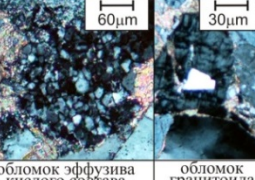
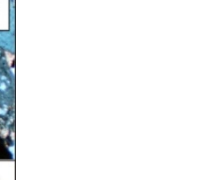
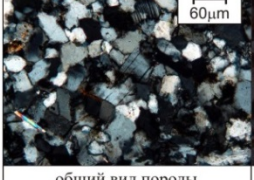
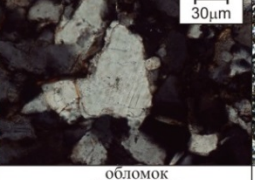
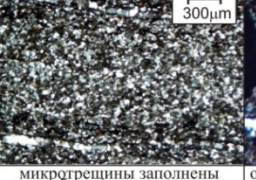
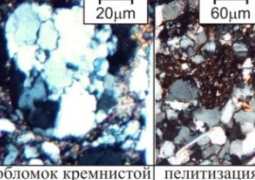
Аркозовые песчаники шангулежской свиты сложены полуокатанным и неокатанным, плохо отсортированным обломочным материалом. Цемент контакто-поровый, глинистый. Структура псаммитовая, текстура пятнистая. В минеральном составе преобладает кварц – 74% и полевые шпаты – 17%. Второстепенные минералы представлены гидроокислами железа (1–2%). Акцессорные минералы: циркон, турмалин, светлая слюда и сфен-лейкоксен. Среди обломков пород (8%) различаются гранитоиды и кремни. Кварц в породе имеет волнистое погасание и заполнен включениями гидроокислов железа. Полевые шпаты трещиноваты, обогащены гидроокислами железа. Калиевые полевые шпаты пелитизированы, плагиоклазы серицитизированы.

Таблица 1

Микрофотографии шлифов из песчаников и алевропесчаников шангулежской и тагульской свит карагасской серии

Table 1

Microphotographs of thin sections from sandstones and siltstones of the Shangulezh and Tagul suites of the Karagas group

Свита	Порода	Микрофотографии шлифов (николи ×)				
Шангулежская свита	Олиго-миктовые (полевошпатово-кварцевые) песчаники					
		общий вид породы	тремолит-актинолитовый агрегат с примесью хлорита	обломок кремнистой породы	обломок гранитоида	пелитизация КПШ
Шангулежская свита	Мезомиктовые песчаники (субаркозы)					
		общий вид породы	серицитизация плагиоклаза	обломок кремнистой породы	обломок гранитоида	регенерация КПШ
Шангулежская свита	Аркозовые песчаники					
		общий вид породы	серицитизация плагиоклаза	обломок кремнистой породы	обломок эффузива кислого состава	обломок гранитоида
Тагульская свита	Олиго-миктовые (полевошпатово-кварцевые) песчаники					
		общий вид породы	регенерация кварца	регенерация КПШ и кварца	обломок эффузива кислого состава	обломок гранитоида
Тагульская свита	Аркозовые алевропесчаники					
		общий вид породы	обломок гранитоида	микротрещины заполнены новообразованным кварцем	обломок кремнистой породы	пелитизация КПШ

Олигомиктовые (полевошпат-кварцевые песчаники) тагульской свиты сложены полуокатанным и неокатанным обломочным материалом средней степени сортировки. Цемент регенерационный, карбонатно-кремнистый, кремнистый. Структура псаммитовая, текстура массивная. В минеральном составе преобладают кварц (77–80%) и полевые шпаты (9–10%). Второстепенные минералы представлены рудным минералом (ильменит) (1%) и светлой слюдой (1–2%). Акцессорные минералы: циркон и апатит. Среди обломков пород (8–12%) выделяются гранитоиды, кварциты и кислые эффузивы. Кварц в породе корродирован, трещиноват, имеет волнистое погасание. Повсеместно отмечается регенерация обломочных зерен кварца. Полевые шпаты представлены калиевыми полевыми шпатами и плагиоклазами. Калиевые полевые шпаты пелитизированы, плагиоклазы серицитизированы. Порода катаклазирована, по микротрещинам интенсивно развиваются гидроокислы железа.

Аркозовые алевропесчаники тагульской свиты сложены полуокатанным и неокатанным обломочным материалом средней степени сортировки. Цемент контактовый, регенерационный, глинисто-гидрослюдистый. Структура пород алевропсаммитовая. Ориентированная микрослоистая текстура породы определяется однонаправленно ориентированными чешуйками биотита и мусковита. В минеральном составе аркозовых алевропесчаников преобладают кварц (51–70%) и полевые шпаты (27–46%). Второстепенные минералы представлены мусковитом (2–3%), биотитом (1–3%) и серицитом (1%). Акцессорные минералы: апатит, турмалин, ильменит, сфен-лейкоксен, циркон. Обломки пород (1–4%) представлены эффузивами кислого состава и гранитоидами. Кварц в породе трещиноват, давлен, имеет волнистое погасание. Полевые шпаты представлены калиевыми полевыми шпатами и плагиоклазами. Калиевые полевые шпаты интенсивно пелитизированы, плагиоклазы серицитизированы. В породе отмечается регенерация обломочных зерен кварца и полевых шпатов, а также хлоритизация биотита и мусковита. Микротрещины в породе заполнены новообразованным кварцем, по которому развиваются гидроокислы железа.

Литогеохимическая характеристика

Петрогенные элементы. Петрохимическая характеристика терригенных пород шангулежской и тагульской свит карагасской серии приведена с использованием 32 представительных анализов образцов песчаников и алевропесчаников, которые приведены в табл. 2.

Петрохимическая классификация терригенных отложений шангулежской и тагульской свит прове-

дена с использованием диаграммы Ф. Дж. Петтиджона с соавторами [Pettijohn et al., 1972]. Для генетической типизации аркозовых песчаников и алевропесчаников была использована система петрохимических модулей [Юдович, Кетрис, 2000]: ГМ (гидролизатный) = $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})/\text{SiO}_2$, ТМ (титановый) = $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, ЖМ (железный) = $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO})/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)$, ФМ (фемический) = $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})/\text{SiO}_2$, АМ (алюмокремневый) = $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$, рассчитанные значения которых приведены в табл. 2.

Олигомиктовые (полевошпат-кварцевые) песчаники шангулежской и тагульской свит обнаруживают концентрации SiO_2 , варьирующие от 65,16 до 97,22 мас.%. Концентрации Al_2O_3 в песчаниках этой группы изменяются от 1,59 до 13,79 мас. %. Отношение $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ в этих породах изменяется от 1 до 290. Рассчитанные значения гидролизатного модуля (ГМ = 0,02–0,16), наряду с концентрациями MgO (0,07–2,96 мас. %) и низкими значениями титанового модуля (ТМ = 0,01–0,04) и фемического модуля (ФМ = 0,01–0,14), позволяют классифицировать эти породы как силиты [Юдович, Кетрис, 2000]. Повышенные относительно фемического и титанового модулей значения железного модуля (ЖМ = 0,10–1,18), являются признаком наличия эпигенетических преобразований в песчаниках этой группы [Юдович, Кетрис, 2000].

Мезомиктовые песчаники (субаркозы) шангулежской свиты характеризуются содержаниями SiO_2 , варьирующими от 67,54 до 92,70 мас. % и Al_2O_3 – от 3,72 до 11,00 мас. %. Отношение $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ в песчаниках этой группы варьируется от 7 до 96. Значение гидролизатного модуля (ГМ = 0,11–0,23) и низкая магнезиальность (MgO = 0,03–0,07 мас. %) позволяют классифицировать эти песчаники как силиты. Как и олигомиктовые песчаники, породы этой группы характеризуются низкими значениями фемического (ФМ = 0,04–0,13) и титанового (ТМ = 0,02–0,04) модулей, относительно повышенных значений железного модуля (ЖМ = 0,24–0,74), что указывает на эпигенетическую проработку этих песчаников с образованием аутигенных минералов [Юдович, Кетрис, 2000].

Аркозовые песчаники тагульской и шангулежской свит характеризуются значениями SiO_2 , варьирующими от 74,43 до 92,70 мас. %, концентрации Al_2O_3 , изменяются от 0,20 до 3,27 мас. %. Значение $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ в этих породах варьируется от 44 до 94. Рассчитанная величина гидролизатного модуля (ГМ = 0,06–0,21) и низкая магнезиальность (MgO = 0,06–0,91) позволяет отнести эти породы к силитам. Для аркозовых алевропесчаников обеих свит отмечаются повышенные значения железного модуля (ЖМ = 0,09–0,43) относительно фемического (ФМ = 0,01–0,08) и титанового (ТМ = 0,01–0,04) мо-

дулей, что свидетельствует о наличии процессов эпигенетической проработки этих пород с образованием аутигенных минералов [Юдович, Кетрис, 2000].

Все исследуемые породы обнаруживают низкие показатели титанистости ($TM = 0,01-0,04$), позитивную корреляцию TM – $ЖМ$ ($r = 0,13$) и $ГМ$ – $ФМ$ ($r = 0,8$), (рис. 5, *a*, *b*), что в совокупности дает основание отнести их к осадочным породам первого цикла седиментации (т.е. образованным за счет разрушения первично-магматических пород) [Юдович, Кетрис, 2000]. На модульных диаграммах (рис. 5, *a*, *b*), наблюдается перекрытие точек составов песчанников и алевропесчанников шангулежской и тагульской свит карагасской серии, что свидетельствует об их генетическом родстве.

На классификационной диаграмме Ф.Дж. Петтиджона с соавторами [Pettijohn et al., 1972] (см. рис. 6)

большинство точек состава изученных пород шангулежской и тагульской свит расположены в поле пород, для которых характерны аномально низкие содержания Na_2O и отношение $\log(Na_2O/K_2O) < -1$, что свидетельствует о потере Na при эпигенетических преобразованиях. Породы с $\log(Na_2O/K_2O) > -1$ располагаются в полях аркозов, субаркозов и сублититов (рис. 6).

Редкие и рассеянные элементы. Содержания редких и рассеянных элементов в представленных образцах пород шангулежской и тагульской свит, а также отношения некоторых редких элементов приведены в табл. 3. Для наглядности особенностей распределения этих элементов в изученных песчаниках и алевропесчаниках проведено сопоставление их концентраций с таковыми в среднем протерозойском кратонном песчанике (СПКП) [Condie, 1993].

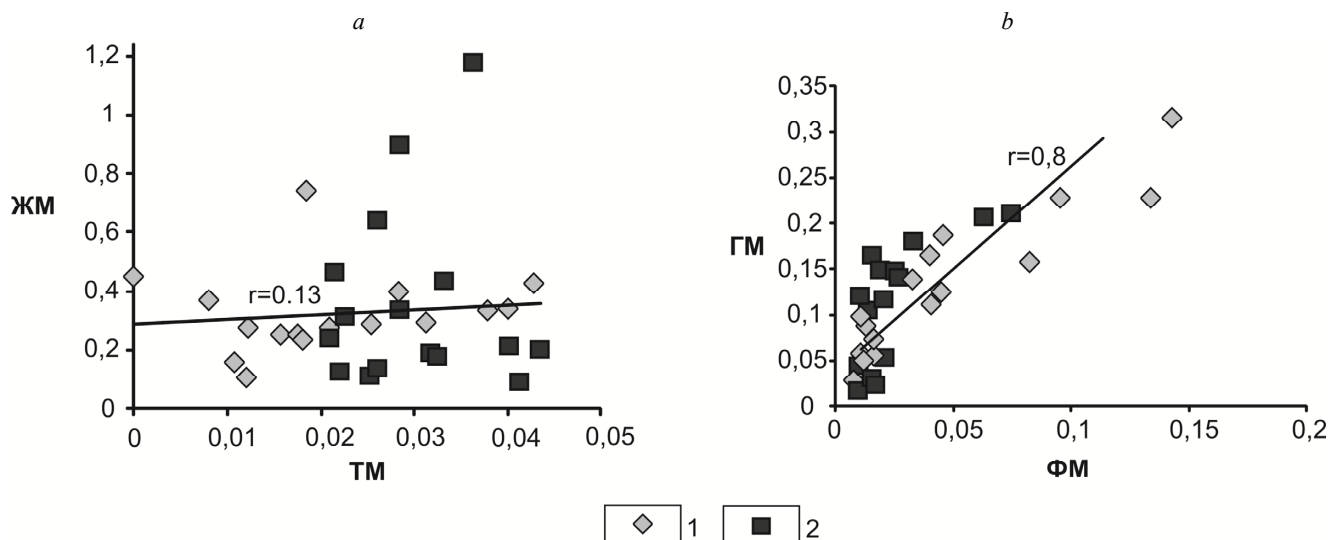


Рис. 5. Модульные диаграммы TM – $ЖМ$ (*a*), $ГМ$ – $ФМ$ (*b*) для песчанников и алевропесчанников шангулежской и тагульской свит карагасской серии [Юдович, Кетрис, 2000]

1 – песчаники и алевропесчаники шангулежской свиты; 2 – песчаники и алевропесчаники тагульской свиты

Fig. 5. Modular diagrams TM – $ЖМ$ (*a*), $ГМ$ – $ФМ$ (*b*) for sandstones and siltstones of the Shangulezh and Tagul suites of the Karagas group [Yudovich, Ketris, 2000]

1 – sandstones and siltstones of the Shangulezh suite; 2 – sandstones and siltstones of the Tagul suite

Таблица 2

Петрохимический состав терригенных отложений карагасской серии

Table 2

Major element (wt.%) concentrations for clastic rocks of the Karagas group

Компонент, мас. %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Шангулежская свита (Shangulezh suite)															
	Олигомиктовые (полевошпат-кварцевые) песчаники										Мезомиктовые песчаники (субаркозы)					Аркозы
	Т.н.1		Т.н.2			Т.н.3	Т.н.4	Т.н.5		Т.н.6	Т.н.1		Т.н.6			Т.н.3
	1115	1116	1118	1119	1120	1121	1126	1133	1134	1138	1114	1117	1139	1140	1141	1122
SiO_2	81,9	69,6	81,94	90,70	91,20	96,50	65,16	85,74	87,13	91,60	67,54	81,11	69,25	71,75	67,69	92,70
TiO_2	0,20	0,30	0,22	0,06	0,07	<0,02	0,59	0,09	0,07	0,08	0,44	0,21	0,16	0,17	0,16	0,03
Al_2O_3	7,08	7,91	8,65	4,90	3,98	1,59	13,79	7,49	6,49	3,85	11,0	6,72	10,2	9,4	8,7	3,72
Fe_2O_3	1,90	2,06	1,73	0,36	<0,20	<0,20	2,16	<0,20	<0,20	<0,20	3,15	1,12	1,34	0,46	0,69	<0,20

Компонент, мас. %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Шангулужская свита (Shangulezh suite)															
	Олигомиктовые (полевошпат-кварцевые) песчаники										Мезомиктовые песчаники (субаркозы)					Аркозы
	Т.н.1		Т.н.2			Т.н.3	Т.н.4	Т.н.5		Т.н.6	Т.н.1		Т.н.6			Т.н.3
	1115	1116	1118	1119	1120	1121	1126	1133	1134	1138	1114	1117	1139	1140	1141	1122
FeO	0,93	0,66	0,78	0,98	1,02	0,72	4,0	0,78	1,02	0,98	0,71	0,89	1,18	1,75	5,81	1,32
MnO	0,05	0,04	0,03	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,03	0,07	0,06	0,07	<0,01
MgO	0,65	2,96	0,13	0,13	0,13	0,07	3,16	0,23	0,10	0,17	2,55	1,27	0,56	0,62	2,5	0,13
CaO	0,61	3,86	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	0,51	0,31	0,22	<0,05	1,94	0,41	5,2	4,79	4,11	<0,05
Na ₂ O	0,12	0,08	1,83	1,21	0,95	0,03	0,13	1,2	0,64	0,48	0,09	0,11	0,75	0,56	0,14	0,04
K ₂ O	5,33	6,24	3,38	1,09	1,88	0,94	7,24	3,76	4,04	2,03	8,62	4,89	5,39	5,13	4,26	1,77
P ₂ O ₅	0,09	0,11	0,05	<0,03	<0,03	<0,03	0,14	<0,03	<0,03	0,04	0,13	0,11	0,07	0,07	0,08	<0,03
п.п.п.	0,16	0,26	0,57	0,49	0,33	0,06	2,64	0,09	0,06	0,30	0,80	0,12	1,12	0,94	2,36	0,14
CO ₂	0,82	5,81	0,19	н. обн	н. обн	0,08	0,25	0,2	0,14	0,06	2,73	1,95	4,51	4,03	3,22	0,07
Сумма	99,84	99,89	99,56	99,94	99,56	99,99	99,77	99,89	99,91	99,59	99,74	98,94	99,80	99,73	99,79	99,92
K ₂ O/Na ₂ O	44	78	2	1	2	31	56	3	6	4	96	44	7	9	30	44
ГМ	0,12	0,16	0,14	0,07	0,06	0,02	0,32	0,10	0,09	0,05	0,23	0,11	0,19	0,17	0,23	0,06
ТМ	0,03	0,04	0,03	0,01	0,02	—	0,04	0,01	0,01	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
ЖМ	0,40	0,34	0,29	0,27	0,25	0,45	0,43	0,10	0,16	0,25	0,34	0,29	0,25	0,24	0,74	0,37
ФМ	0,04	0,08	0,03	0,02	0,01	0,01	0,14	0,01	0,01	0,01	0,10	0,04	0,05	0,04	0,13	0,02

Окончание табл. 2

End of Table 2

Компонент (мас. %)	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
	Тагульская свита (Tagul suite)															
	Олигомиктовые (полевошпат-кварцевые) песчаники						Аркозовые алевропесчаники									
	Т.н.8						Т.н.9									
	1286	1286/1	1286/2	1286/3	1286/4	1286/5	z1326	z1327	z1328	z1329	z1330	z1331	z1332	z1333	z1334	z1335
SiO ₂	91,63	92,71	92,21	95,82	95,92	97,22	84,19	83,27	82,21	79,65	80,33	75,05	77,07	78,15	74,73	80,20
TiO ₂	0,07	0,07	0,07	0,04	0,04	0,03	0,20	0,26	0,36	0,22	0,30	0,32	0,44	0,28	0,35	0,39
Al ₂ O ₃	3,25	3,10	3,35	1,10	1,40	1,15	7,53	7,85	8,66	10,09	9,49	11,31	10,98	11,21	10,59	9,06
Fe ₂ O ₃	0,46	0,29	0,35	0,31	0,27	0,29	0,26	0,53	0,24	0,48	0,92	0,20	1,34	0,43	2,24	0,57
FeO	1,06	0,68	0,48	1,02	1,01	0,45	0,76	0,91	0,54	0,79	0,92	3,67	1,09	0,74	2,47	1,31
MnO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
MgO	0,17	0,10	0,10	0,15	0,10	0,10	0,07	0,24	0,09	0,25	0,21	0,86	0,14	0,06	0,91	0,33
CaO	0,34	0,18	0,13	0,41	0,10	0,10	0,11	0,05	0,10	0,07	0,05	0,07	0,27	0,27	0,05	0,14
Na ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,10	0,09	0,07	0,09
K ₂ O	2,90	2,83	2,93	0,92	1,30	0,88	6,17	5,86	6,72	7,50	6,89	7,19	7,97	8,38	6,45	6,65
P ₂ O ₅	0,08	0,08	0,08	0,06	0,03	0,04	0,12	0,07	0,08	0,07	0,11	0,09	0,21	0,25	0,09	0,14
п.п.п.	0,30	0,05	0,05	0,05	0,32	0,05	0,24	0,39	0,35	0,45	0,65	1,32	0,38	0,24	1,73	0,73
CO ₂	н. обн	0,26	0,06	0,50	0,06	0,07	0,08	0,10	0,06	0,11	0,07	0,23	0,22	0,15	0,20	0,24
Сумма	100,26	100,35	99,81	100,39	100,56	100,39	99,80	99,60	99,49	99,76	100,02	100,39	100,21	100,25	99,88	99,85
K ₂ O/Na ₂ O	290	283	293	92	130	88	88	84	84	94	86	90	80	93	92	74
ГМ	0,05	0,04	0,05	0,03	0,03	0,02	0,10	0,11	0,12	0,15	0,14	0,21	0,18	0,16	0,21	0,14
ТМ	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04
ЖМ	0,46	0,31	0,25	1,18	0,90	0,64	0,13	0,18	0,09	0,12	0,19	0,33	0,21	0,10	0,43	0,20
ФМ	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,06	0,03	0,02	0,08	0,03

Примечание. Т.н. – место отбора проб; н. обн. – оксиды не обнаружены; ¹ – песчаники; ² – алевропесчаники; Петрохимические модули [Юдович, Кетрис, 2000]: ГМ (гидролизатный) = $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} / \text{SiO}_2$; ТМ (титановый) = $\text{TiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$; ЖМ (железный) = $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO}) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)$; ФМ (фемический) = $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO}) / \text{SiO}_2$.

Note. Т.н. – sampling location; н. обн. – no oxides detected; ¹ – sandstones; ² – silt sandstones; Petrochemical modules [Yudovich, Ketris, 2000]: ГМ (hydrolyzatic) = $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} / \text{SiO}_2$; ТМ (titanic) = $\text{TiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$; ЖМ (ferreous) = $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO}) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)$; ФМ (femic) = $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO}) / \text{SiO}_2$.

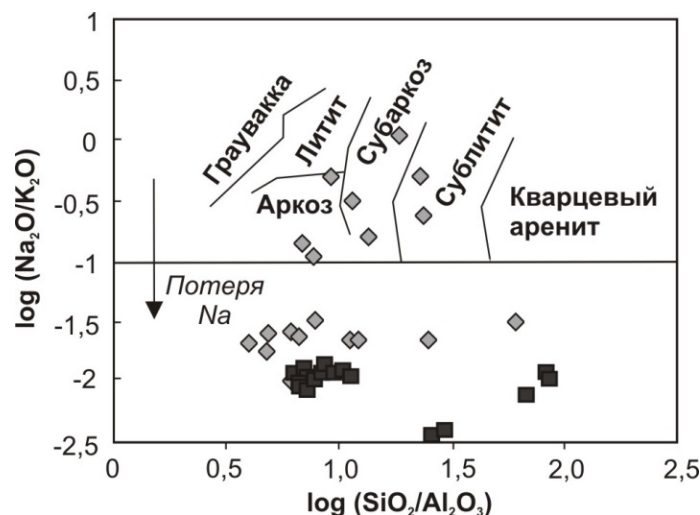


Рис. 6. Классификационная диаграмма $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) - \log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ для песчаников [Pettijohn et al., 1972]
Условные обозначения см. на рис. 5

Fig. 6. The classification diagram $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) - \log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ for sandstones [Pettijohn et al., 1972]
Legend see fig. 5

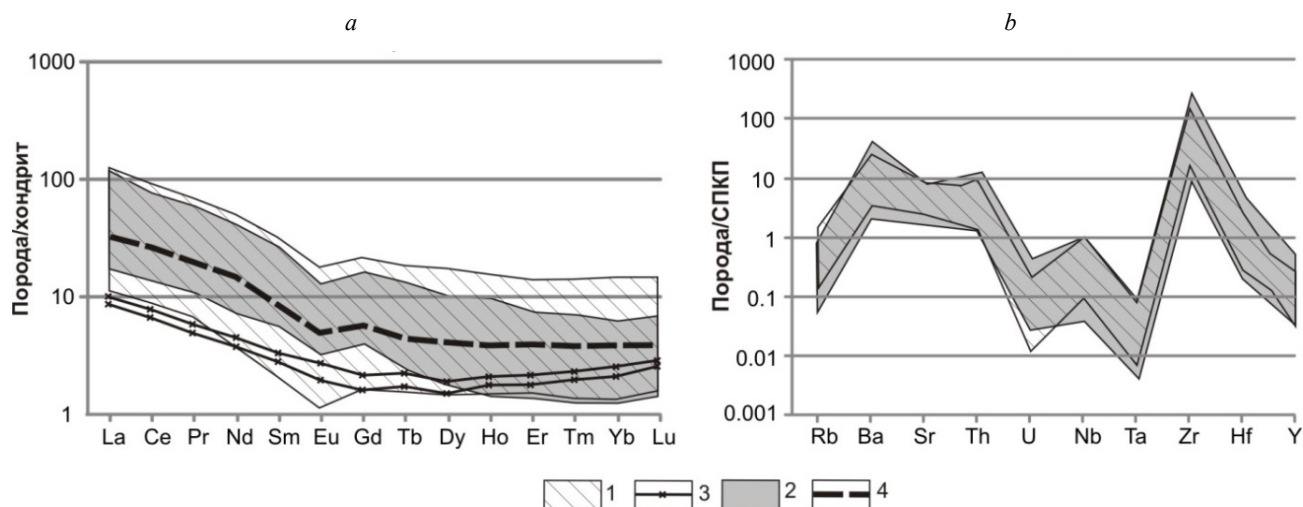


Рис. 7. Спектры распределения РЗЭ, нормированные по хондриту [Boynnton, 1984] (a); содержания ряда элементов-примесей, нормированные на СПКП [Condie, 1993] (b) для песчаников и алевропесчаников шангулежской и тагульской свит карагасской серии

1 – аркозовые песчаники и алевропесчаники шангулежской свиты; 2 – аркозовые песчаники и алевропесчаники тагульской свиты; 3 – образцы аркозовых песчаников шангулежской свиты № 1133 и 1134; 4 – спектр распределения РЗЭ среднего протерозойского кратонного песчаника К. Конди (СПКП) [Condie, 1993]

Fig. 7. REE distribution spectra normalized by chondrite [Boynnton, 1984] (a); the contents of a number of impurity elements normalized to CPKP [Condie, 1993] (b) for sandstones and siltstones of the Shangulezh and Tagul suites of the Karagas group.

1 – arkoses sandstones and siltstones of the Shangulezh suite; 2 – arkoses sandstones and siltstones of the Tagul suite; 3 – samples of arkoses sandstones of the Shangulezh suite No. 1133 and 1134; 4 – distribution spectrum of REE of the middle Proterozoic cratonic sandstone K. Kondi (SPKP) [Condie, 1993]

Таблица 3

Содержания редких и рассеянных элементов в терригенных породах карагасской серии

Table 3

Rare earth element (ppm) concentrations for clastic rocks of the Karagas group

Элемент, отношение	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Шангулежская свита (Shangulezh suite)															
	Олигомиктовые (полевошпат-кварцевые) песчаники										Мезомиктовые песчаники (субаркозы)					Аркозы
	Т.н.1		Т.н.2			Т.н.3	Т.н.4	Т.н.5		Т.н.6	Т.н.1		Т.н.6			Т.н. 3
	1115	1116	1118	1119	1120	1121	1126	1133	1134	1138	1114	1117	1139	1140	1141	1122
Rb, г/т	60,98	70,58	90,55	30,07	46,69	35,36	139,72	86,50	91,74	52,72	89,97	60,23	227,34	209,03	127,43	68,12
Ba	212,24	209,43	376,69	133,28	186,33	91,66	388,60	403,52	402,57	243,47	264,76	224,69	595,69	629,35	534,95	216,04
Sr	39,20	45,15	54,74	37,69	37,76	27,70	50,24	50,21	45,97	41,20	51,63	48,50	76,21	75,32	80,84	45,24
Y	9,39	9,80	10,39	2,74	17,64	12,03	8,69	4,36	3,66	5,74	12,46	7,58	9,67	11,62	20,60	15,69
Zr	199,97	225,26	354,94	94,19	162,48	65,09	163,64	218,01	211,27	46,61	271,12	236,72	119,58	123,18	131,52	63,41
Hf	4,86	5,57	8,85	2,37	4,04	1,67	4,25	5,48	5,26	1,14	6,68	5,83	2,97	3,02	3,41	1,67
Nb	4,92	6,22	4,56	1,30	1,91	1,12	9,96	3,15	3,12	1,07	9,24	4,34	4,10	4,56	5,01	1,23
La	15,24	16,85	11,06	8,21	8,55	12,74	36,01	3,33	2,90	8,58	26,84	5,61	37,94	21,33	31,43	12,20
Ce	32,09	36,27	20,83	15,87	16,00	22,41	64,20	6,85	5,84	16,58	57,22	11,82	63,02	39,53	64,27	21,38
Pr	3,58	3,87	2,56	1,98	1,95	2,45	6,52	0,73	0,62	1,83	6,11	1,30	6,13	4,39	7,16	2,52
Nd	13,27	14,81	9,11	6,64	6,35	8,00	23,38	2,84	2,41	5,72	23,29	4,51	21,66	15,62	25,54	8,64
Sm	2,78	3,24	1,96	1,34	1,40	1,41	3,75	0,68	0,58	1,23	4,15	1,14	3,56	2,81	5,33	1,79
Eu	0,52	0,54	0,44	0,23	0,38	0,25	0,65	0,22	0,15	0,23	0,81	0,27	0,54	0,60	0,96	0,45
Gd	2,30	2,41	1,72	1,05	1,91	1,57	2,68	0,60	0,46	1,15	3,12	1,24	2,51	2,36	4,47	2,16
Tb	0,29	0,31	0,26	0,12	0,38	0,26	0,30	0,11	0,08	0,14	0,37	0,18	0,30	0,31	0,64	0,38
Dy	1,72	1,77	1,78	0,54	2,67	1,77	1,53	0,66	0,52	0,82	2,10	1,08	1,62	1,90	3,49	2,50
Ho	0,33	0,36	0,38	0,10	0,58	0,39	0,32	0,15	0,13	0,19	0,42	0,22	0,32	0,39	0,69	0,51
Er	0,91	1,01	1,05	0,28	1,51	1,04	0,87	0,49	0,41	0,54	1,27	0,63	0,93	1,07	1,67	1,38
Tm	0,14	0,15	0,16	0,04	0,21	0,14	0,12	0,08	0,06	0,07	0,21	0,10	0,15	0,17	0,22	0,19
Yb	0,89	1,00	1,06	0,25	1,24	0,86	0,81	0,56	0,47	0,45	1,32	0,64	1,01	1,16	1,23	0,97
Lu	0,15	0,16	0,18	0,05	0,17	0,12	0,13	0,10	0,09	0,07	0,23	0,12	0,18	0,19	0,21	0,15
Th	5,76	6,87	4,34	1,99	2,36	2,00	10,46	3,63	3,41	1,56	9,19	3,78	6,83	6,73	7,93	1,84
U	1,52	1,78	0,84	0,60	0,64	0,25	1,73	1,03	0,62	0,15	2,21	1,15	1,34	1,61	2,12	0,63
Ni	16,00	13,00	20,00	11,00	13,00	7,90	67,00	16,00	13,00	13,00	26,00	13,00	39,00	22,00	13,00	15,00
Co	3,60	3,60	5,40	5,40	3,90	1,90	27,00	2,30	2,50	3,10	6,60	3,80	2,30	2,40	6,70	2,40
Sc	6,10	6,40	2,00	1,90	2,50	1,90	7,70	1,90	1,90	2,90	6,10	6,40	2,00	3,90	4,20	1,90
(La/Yb) _n	11,5	11,4	7,0	22,1	4,6	10,0	30,0	4,0	4,2	12,8	13,7	5,9	25,3	12,3	17,2	8,5
Eu/Eu*	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,5	0,6	1,0	0,9	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7
ΣREE	74,2	82,8	52,5	36,7	43,3	53,4	141,3	17,4	14,7	37,6	127,5	28,9	139,9	91,8	147,3	55,2

Окончание табл. 3

End of Table 3

Элемент, отношение	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	СПКП
	Тагульская свита (Tagul suite)															
	Олигомиктовые (полевошпат-кварцевые) песчаники								Аркозовые алевропесчаники							
	Т.н.8								Т.н.9							
	1286	1286/1	1286/2	1286/3	1286/4	1286/5	z1326	z1327	z1328	z1329	z1330	z1331	z1333	z1334	z1335	
Rb, г/т	34,26	33,79	34,4	10,77	15,04	10,96	117,37	109,72	116,98	134,4	123,12	127,84	125,14	113,45	116,68	30
Ba	131,6	122,14	135	46,14	56,03	55,8	734,22	829,07	709,14	998,7	675,01	921	757,29	809,24	777,61	190
Sr	22,81	22,39	23,48	13,61	9,42	15,99	56,05	49	42,96	54,04	58,43	54,07	53,92	45	50,08	27
Y	3,16	3,27	3,15	3,55	3,14	3,61	18,71	14,88	26,97	12,75	13	21,85	21,49	14,65	24,59	10,3
Zr	56,6	42,76	49,91	27,55	69,78	28,86	191,25	231,08	329,1	148,91	152,15	477,95	299,96	366,83	366,1	89
Hf	1,47	1,16	1,37	0,76	1,72	0,79	4,89	5,75	7,97	3,87	4,06	11,72	7,35	8,91	9,2	2,5
Nb	3,33	2,64	2,93	0,47	0,77	0,44	5,88	5,52	7,41	5,49	6,26	7,46	7,46	4,37	7,6	3,7
La	9,35	11,18	9,19	4,04	4,05	3,55	12,32	15,66	18,9	19,83	16,83	38,94	30,07	26,63	27,3	10,1
Ce	28,99	33,82	28,51	8,49	7,88	8,23	24,68	31,81	38,32	38,91	32,42	74,79	62,38	59,39	52,35	21,6
Pr	2,31	2,77	2,28	0,92	0,91	0,86	2,74	3,84	4,57	4,14	3,63	8,37	7,21	6,95	6	—
Nd	7,47	9,23	7,33	2,82	2,83	2,43	10,26	14,25	17,03	13,4	13,09	29,17	25,83	25,91	21	9

Sm	1,34	1,4	1,26	0,58	0,57	0,45	2,82	3,2	4,71	2,44	3,43	5,98	5,1	5,39	4,57	1,75
Eu	0,24	0,26	0,24	0,1	0,11	0,09	0,76	0,8	0,97	0,45	0,74	1,11	1,06	1,02	0,87	0,36
Gd	0,98	1,08	0,96	0,51	0,52	0,44	3,07	2,68	4,61	2,5	2,95	5,08	4,83	4,4	4,13	1,52
Tb	0,14	0,15	0,14	0,08	0,08	0,08	0,49	0,38	0,76	0,36	0,4	0,6	0,6	0,51	0,59	0,23
Dy	0,72	0,76	0,76	0,55	0,5	0,52	2,84	2,24	4,44	2,13	2,33	3,39	3,45	2,64	3,75	–
Ho	0,13	0,14	0,13	0,12	0,11	0,12	0,58	0,46	0,88	0,42	0,44	0,69	0,69	0,49	0,77	–
Er	0,35	0,33	0,34	0,35	0,34	0,33	1,58	1,29	2,24	1,09	1,16	1,88	1,8	1,29	2,03	–
Tm	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,25	0,2	0,32	0,17	0,17	0,3	0,26	0,2	0,3	–
Yb	0,33	0,31	0,34	0,31	0,35	0,31	1,41	1,26	1,95	1,07	1,11	1,91	1,53	1,34	1,93	0,84
Lu	0,06	0,05	0,07	0,05	0,06	0,05	0,22	0,19	0,29	0,15	0,16	0,3	0,24	0,21	0,28	0,13
Th	1,61	1,46	1,6	0,89	1,02	1,42	4,18	6,87	6,75	5,32	5,57	11,74	9,69	8,84	10,88	4,2
U	0,34	0,32	0,33	0,25	0,33	0,29	1,45	3,62	4,25	1,81	3,35	2,35	3,48	2,37	2,61	1,2
Ni	9,7	7,5	6,2	15	16	6	11	11	9	11	8,6	24	14	9,7	25	11
Co	3,3	5,3	8,3	14	12	29	3	2,3	2,3	2,5	2,6	5,2	4,6	2,8	4,6	2,8
Sc	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	2,5	3,6	4,7	3,5	4,8	4,6	4,8	2,5	5,9	2,4
(La/Yb) _n	19	24,4	18	8,7	7,9	7,7	5,9	8,4	6,5	12,5	10,2	13,8	13,2	13,4	9,6	7,3
Eu/Eu*	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,68
ΣREE	52,5	61,5	51,6	19	18,4	17,5	64	78,3	100	87,1	78,9	172,5	145,1	136,4	125,9	–

Примечание. Нормирование по хондриту [Boynnton, 1984]; $Eu/Eu^* = (Eu_n)/((Sm)_n \times (Gd)_n)^{1/2}$; $\Sigma REE = \Sigma (La-Lu)$; * – средний состав СПКП – химический состав среднего протерозойского кратонного песчаника [Condie, 1993]; прочерк – нет данных.

Note. Rationing accordting to chondritis [Boynnton, 1984]; $Eu/Eu^* = (Eu_n)/((Sm)_n \times (Gd)_n)^{1/2}$; $\Sigma REE = \Sigma (La-Lu)$; * – the average composition of SPKP is the chemical composition of the middle Proterozoic cratonic sandstone [Condie, 1993]; dash – no data.

Для всех пород характерны фракционированные спектры распределения РЗЭ, нормированные по хондриту [Boynnton, 1984]: $(La/Yb)_n = 4,0-30,0$. Среднее значение $(La/Yb)_n = 12,5$ немного превышает $(La/Yb)_n = 7,3$ в СПКП. Спектры распределения РЗЭ песчаников и алевропесчаников шангулежской и тагульской свит перекрываются и схожи со спектром РЗЭ для СПКП (см. рис. 7, а). Для всех пород характерно наличие отрицательной европиевой аномалии ($Eu/Eu^* = 0,5-0,8$). Исключение составили два образца песчаника шангулежской свиты (обр. 1133 и 1134), значение Eu/Eu^* для них составляет 0,9 и 1,3 соответственно (табл. 3, рис. 7, а).

Проанализированные образцы песчаников и алевропесчаников шангулежской и тагульской свит карагасской серии обнаруживают существенно повышенные относительно СПКП содержания Ba, Sr и Zr. Концентрации Hf и Th близки к указанному эталону. Уровни концентраций Rb, U, Nb, Ta и Y понижены в сравнении с СПКП (табл. 3, рис. 7, б).

Обсуждение результатов

Петрографические особенности песчаников и алевропесчаников шангулежской и тагульской свит карагасской серии обнаруживают характерные признаки эпигенетической проработки, а именно повсеместно в породах отмечается регенерация кварца и полевых шпатов, гидрослюдизация цементирующего вещества, серицитизация плагиоклазов и пелитизация калиевых полевых шпатов (см. табл. 1), являющиеся характерными минеральными индикаторами позднего, глубинного катагенеза [Япаскерт, 1994]. Петрохимические характеристики подтверждают наличие

процессов эпигенетической проработки, а именно повышенные значения железного модуля ЖМ относительно титанового ТМ и фемического ФМ модулей, рассчитанных для песчаников и алевропесчаников шангулежской и тагульской свит, указывают на присутствие аутигенных минералов в этих породах [Юдович, Кетрис, 2000]. Кроме того, большинство изученных образцов обнаруживают резко повышенные содержания K_2O относительно весьма низких значений Na_2O (см. табл. 2, рис. 8).

В совокупности эти характеристики дают основание допускать, что отложения шангулежской и тагульской свит карагасской серии были подвержены процессам эпигенетических преобразований, в ходе которых произошло перераспределение оксидов калия и натрия, причем эти процессы протекали неравномерно. В частности, породы, относимые к одной и той же группе по петрографическим характеристикам (например, олигомиктовые песчаники или аркозовые алевропесчаники), на одних участках опробования обнаружали отличные от пород, отобранных на других участках, содержания K_2O и Na_2O и, соответственно, отношения этих элементов (табл. 2, рис. 8). Таким образом, есть основание полагать, что концентрации мобильных петрогенных и редких элементов в изученных породах не являются первичными. Такие особенности изученных терригенных образований, накладывают определенные ограничения на применение в данном исследовании большинства дискриминационных диаграмм, позволяющих реконструировать состав пород источника сноса, интенсивность химического преобразования пород в области источника, геодинамические обстановки образования песчаных пород и т.д. [Bhatia, 1983; Тейлор, МакЛенан, 1988 и др.].

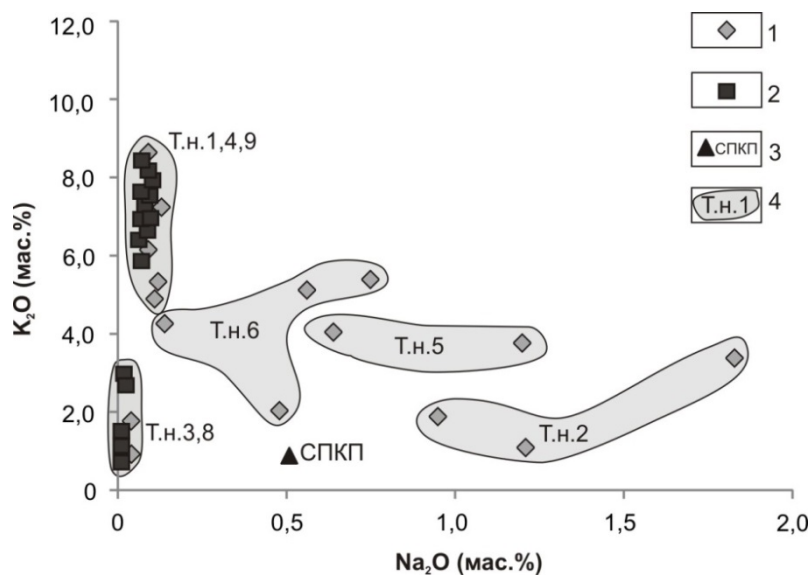


Рис. 8. Диаграмма $K_2O - Na_2O$ для аркозовых песчаников и алевропесчаников шангулежской и тагульской свит

1 – песчаники и алевропесчаники шангулежской свиты; 2 – песчаники и алевропесчаники тагульской свиты; 3 – точка состава среднего протерозойского песчаника К. Конди [Condie, 1993]; 4 – номера мест отбора проб (см. табл. 1)

Fig. 8. $K_2O - Na_2O$ diagram for arkose sandstones and siltstones of the Shangulezh and Tagul suites

1 – sandstones and siltstones of the Shangulezh suite; 2 – sandstones and siltstones of the Tagul suite; 3 – compositional point of the middle Proterozoic sandstone K. Condy [Condie, 1993]; 4 – numbers of sampling (see Table 1).

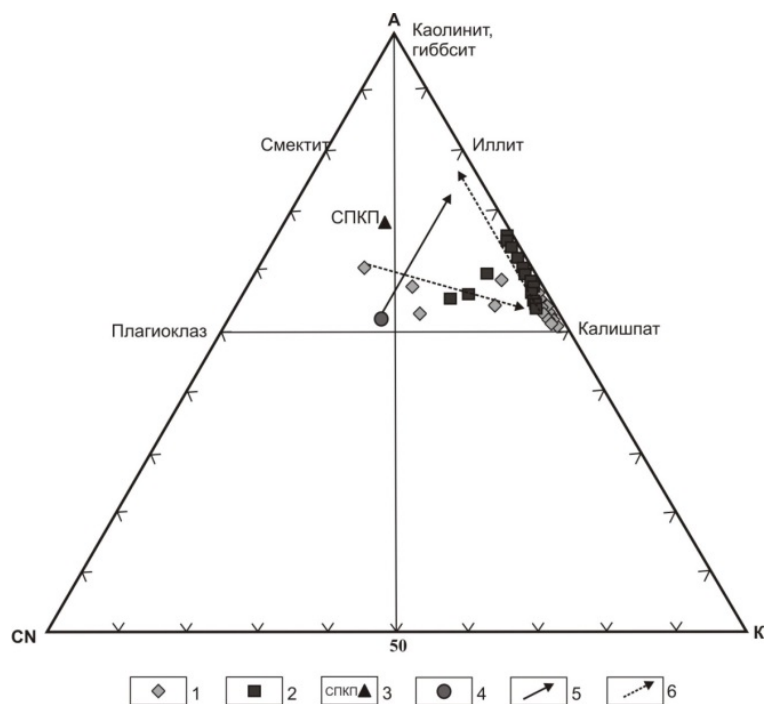


Рис. 9. Треугольная диаграмма A-CN-K ($Al_2O_3 - (CaO^* + Na_2O) - K_2O$) [Nesbitt, Young, 1989] для терригенных пород шангулежской и тагульской свит карагасской серии

1 – аркозовые песчаники и алевропесчаники шангулежской свиты; 2 – аркозовые песчаники и алевропесчаники тагульской свиты; 3 – фигуративная точка среднего протерозойского песчаника К. Конди [Condie, 1993]; 4-5 – точка состава и тренд выветривания для гранитов [Nesbitt, Young, 1989]; 6 – тренды выветривания для исследуемых пород

Fig. 9. Triangular diagram A-CN-K ($Al_2O_3 - (CaO^* + Na_2O) - K_2O$) [Nesbitt, Young, 1989] for terrigenous rocks of the Shangulezh and Tagul suites of the Karagas group

1 – arkoses sandstones and siltstones of the Shangulezh suite; 2 – arkoses sandstones and siltstones of the Tagul suite; 3 – a figurative point of the middle Proterozoic sandstone K. Condy [Condie, 1993]; 4-5 – composition point and weathering trend for granites [Nesbitt, Young, 1989]; 6 – weathering trends for the studied rocks

Характеристика процессов выветривания. Для определения степени химического выветривания пород в области источника сноса обычно используют индекс CIA [Nesbitt, Young, 1982], который рассчитывается с помощью формулы (молекулярные массы): $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)]$, где CaO^* учитывается как доля CaO без учета кальция, входящего в состав карбоната. Графическое изображение степени химического преобразования терригенных пород приводится с использованием диаграммы $A - CN - K(Al_2O_3 - (CaO^* + Na_2O) - K_2O)$ [Nesbitt, Young, 1989], которая иллюстрирует направленность химического преобразования пород в области источника, а также позволяет оценить применимость индекса CIA для оценки степени химического выветривания [McLennan et al., 1993].

На диаграмме $A - CN - K$ (см. рис. 9) фигуративные точки терригенных пород шангулежской и тагульской свит карагасской серии располагаются ниже точки состава СПКП [Condie, 1993], отклоняются от линии тренда выветривания гранита [Интерпретация..., 2001], смещаются в сторону полюса «K» (точка состава калиевого полевого шпата) и образуют два тренда. Первый тренд прослеживается от линии выветривания гранита к точке состава калиевого полевого шпата. Этот тренд образуют фигуративные точки, для которых характерны наименьшие среди проанализированных образцов значения K_2O/Na_2O (см. табл. 2). Направление этого тренда свидетельствует об увеличении концентраций K_2O в процессе эпигенетических преобразований [Япаскурт, 1994; Fedo et al., 1995; McLennan, 2001; Varga and Szakmany, 2004; Varga et al., 2007; Юдович, Кетрис, 2008]. Данный вывод подтверждается петрографическими и литохимическими данными. Так, наиболее отличительными петрографическими характеристиками образцов, образующих тренд, являются присутствие в этих породах аутигенного калиевого полевого шпата, а также обрастание обломков кварца и калиевого полевого шпата глинисто-гидро-людитым агрегатом (см. табл. 1). Литохимической особенностью этих образцов, являются повышенные содержания K_2O и весьма низкие значения Na_2O по сравнению с СПКП [Condie, 1993] и, соответственно, значения K_2O/Na_2O , варьирующиеся от 1 до 9 (табл. 1, рис. 8).

Второй тренд на диаграмме $A-CN-K$ (рис. 9) образуют фигуративные точки образцов, имеющих чрезвычайно высокие значения K_2O/Na_2O , которые варьируются в широком диапазоне от 30 до 293 (табл. 2, рис. 8). Этот тренд располагается параллельно стороне треугольника $A-K$ и прослеживается от точки состава калиевого шпата к точке состава иллита (рис. 9). Подобное положение этих фигуративных точек указывает на процесс разложения полевых шпатов, приводящий к формированию иллита в эпигенетически преобразованных породах [Япас-

курт, 1994; Fedo et al., 1995; Юдович, Кетрис, 2008]. Петрографические и литохимические особенности образцов, образующих данный тренд, подтверждают этот вывод. То есть для них характерна пелитизация обломочных зерен калиевых полевых шпатов и замещение глинистого цемента глинисто-гидро-людитым агрегатом (табл. 1).

Источники сноса. При реконструкции состава пород в области источника в первую очередь особое внимание уделяется изучению обломочных компонентов, содержащихся в терригенных отложениях. Песчаники и алевропесчаники шангулежской и тагульской свит обнаруживают кварц-полево-шпатовый состав, обилие обломков гранитоидов, кварцитов и кислых эффузивов. Набор аксессуарных минералов в проанализированных терригенных отложениях (циркон, турмалин, апатит, рутил) типичен для пород кислого состава. Совокупность этих петрографических характеристик свидетельствует о преобладании кислых магматических пород (преимущественно гранитоидов) в области источников сноса.

Не менее информативными для определения состава пород в области источника являются редкие и рассеянные элементы, которые за счет своей устойчивости к растворению в воде практически в первозданных концентрациях перемещаются в бассейн седиментации [Интерпретация..., 2001; Маслов, 2005]. Все исследуемые образцы песчаников и алевропесчаников шангулежской и тагульской свит карагасской серии обнаруживают крутой наклон спектров $P3Э$, нормированных по хондриту [Boynnton, 1984], и обогащение легкими лантаноидами относительно тяжелых $(La/Yb)_n = 4,0-30,0$. Для большинства исследованных образцов фиксируется отрицательная европиевая аномалия ($Eu/Eu^* = 0,5-0,8$), что свидетельствует о преобладании кислых магматических в области источника сноса исследуемых терригенных отложений (см. рис. 7 а, табл. 3) [Тейлор, МакЛеннан, 1988]. Анализ распределения таких индикаторных элементов, как La , Sc , Th и Zr , а также высокие значения отношений этих элементов (Th/Sc , Zr/Sc , Th/Co , La/Sc) (табл. 3, рис. 10 а, б), подтверждают вывод о преобладании кислых магматических пород в области эрозии [McLennan et al., 1993; Cullers, 2002].

Преобладание неокатанных и полуокатанных обломков во всех исследованных образцах песчаников и алевропесчаников шангулежской и тагульской свит, а также плохая или средняя степень сортировки обломочного материала свидетельствуют о близости пород источника к бассейну седиментации. Положение большинства фигуративных точек изученных пород на диаграмме $F - Q - L$ (полевые шпаты – кварц – обломки пород) (рис. 11) [Dickinson et al., 1983] позволяет рассматривать породы внутренних частей кратонов и рециклированных орогенов в качестве основных поставщиков обломочного материала в бассейн седиментации.

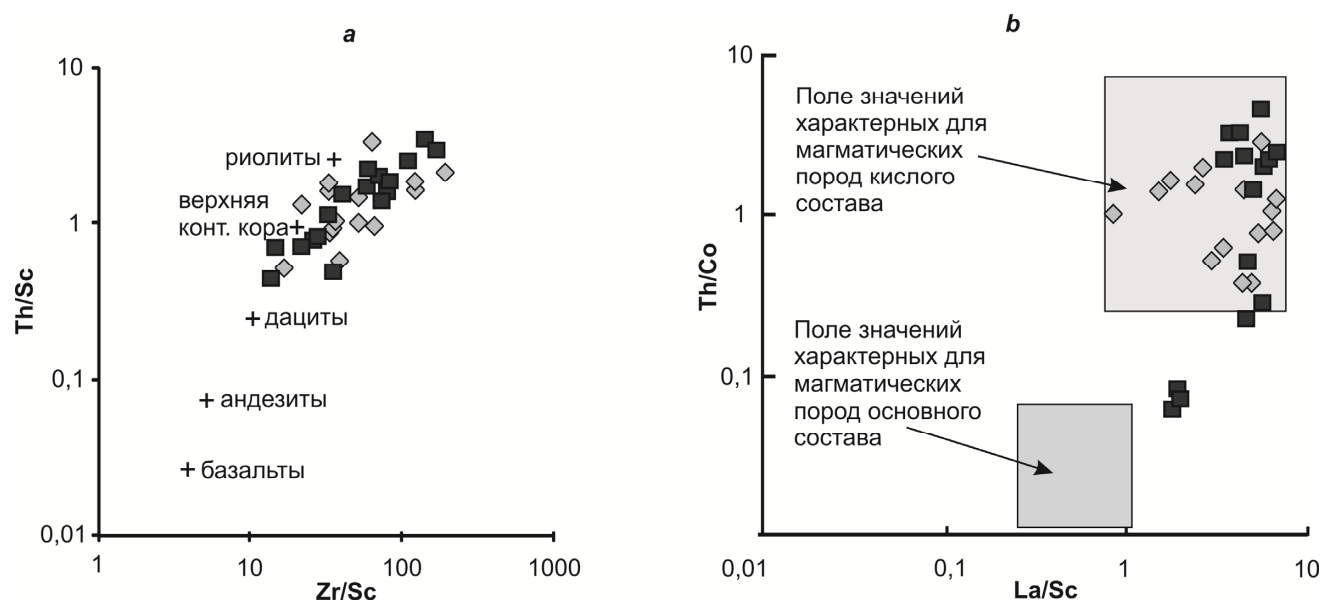


Рис. 10. Положение фигуративных точек составов терригенных пород шангулежской и тагульской свит карагасской серии на диаграммах Th/Sc – Zr/Sc (a) [Cullers, 2002] и La/Sc – Th/Co (b) [Тэйлор, МакЛеннан, 1988]

Условные обозначения см. на рис. 5

Fig. 10. The position of the figurative points of the compositions of terrigenous rocks of the Shangulezh and Tagul suite of the Karagas group on the diagrams Th/Sc – Zr/Sc (a) [Cullers, 2002] and La/Sc – Th/Co (b) [Taylor, McLennan, 1988]

Conventions see Fig. 5

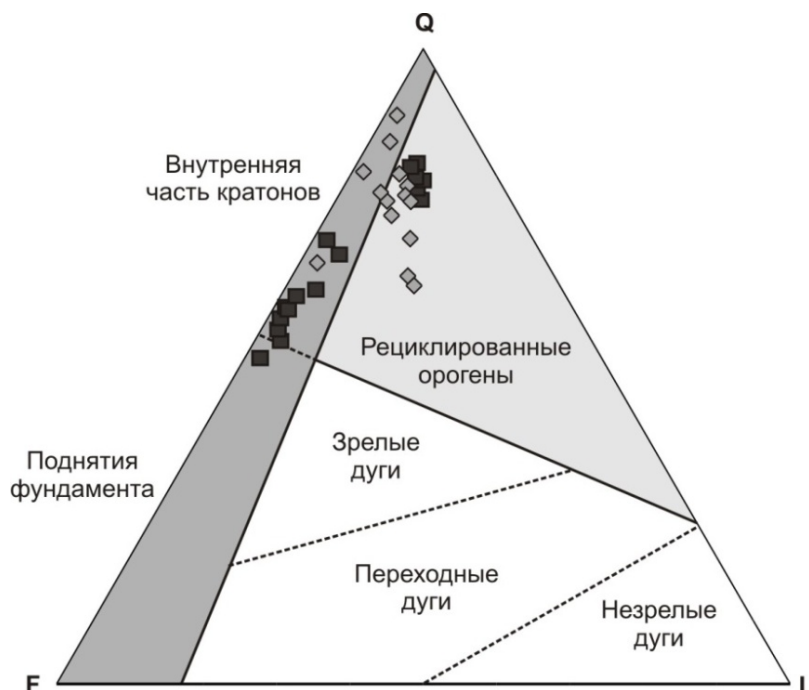


Рис. 11. Треугольная диаграмма F–Q–L (полевые шпаты – кварц – обломки пород) [Dickinson et al., 1983] для терригенных пород шангулежской и тагульской свит карагасской серии

Условные обозначения см. на рис. 5

Fig. 11. Triangular diagram F–Q–L (feldspars – quartz – rock fragments) [Dickinson et al., 1983] for terrigenous rocks of the Shangulezh and Tagul suites of the Karagas group

Conventions see Fig. 5

Таким образом, петрографические и литогеохимические характеристики терригенных пород шангулежской и тагульской свит карагасской серии позволяют предположить, что изученные породы образовались на обширной континентальной окраине Сибирского кратона в основном за счет разрушения докембрийских пород фундамента, при этом одними из основных источников обломочного материала являлись кислые магматические породы. Выявленное в ходе проведенных исследований сходство петрографических и геохимических характеристик пород шангулежской и тагульской свит дает основание предположить, что накопление осадочных толщ, относимых к этим двум свитам, происходило в сходном тектоническом режиме, при поступлении в бассейны седиментации обломочных пород из одной питающей провинции.

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Изученные породы шангулежской и тагульской свит карагасской серии являются осадками первого цикла седиментации и обнаруживают петрографические и петрохимические признаки эпиге-

нетических преобразований на стадии позднего, глубинного катагенеза.

2. Обнаруженные сходства петрографических и литогеохимических характеристик изученных песчаников и алевропесчаников шангулежской и тагульской свит свидетельствует о том, что седиментация этих пород происходила в схожем тектоническом режиме, при поступлении обломочного материала из одной питающей провинции.

3. Обилие обломков гранитоидов, кварцитов и кремней в кластогенной составляющей изученных пород в совокупности с характером распределения редких и рассеянных элементов позволило установить, что исследованные терригенные породы шангулежской и тагульской свит были образованы в основном за счет разрушения кислых магматических пород. Учитывая результаты геохронологических исследований детритовых цирконов, полученных [Gladkochub et al., 2019], можно предположить, что одними из основных источников сноса выступали гранитоиды саянского комплекса, широко распространенные в Бирюсинском Присянье.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ, проект № 19-05-00266.

ЛИТЕРАТУРА

- Брагин С.С. Некоторые проблемы стратиграфии карагасской серии позднего рифея Присянья // Поздний докембрий и ранний палеозой Сибири. Стратиграфия и палеонтология. Новосибирск : ИГиГ СО РАН СССР, 1986. С. 32–39.
- Галимова Т.Ф., Пашкова А.Г., Поваринцева С.А., Перфильев В.В., Намолова М.М., Андрющенко С.В., Денисенко Е.П., Пермяков С.А., Миронюк Е.П., Тимашков А.Н., Плеханов А.О. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Ангара-Енисейская. Лист N-47 – Нижнеудинск. Объяснительная записка. СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 652 с. + 14 вкл.
- Дольник Т.А., Воронцова Г.А. Новые данные о возрасте отложений карагасской серии Присянья // ДАН СССР. 1972. Т. 204, № 2. С. 426–429.
- Донская Т.В., Гладkochуб Д.П., Мазукабзов А.М., Вингейт М.Т.Д. Раннепротерозойские постколлизийные гранитоиды Бирюсинского блока Сибирского кратона // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 7. С. 1028–1043.
- Интерпретация геохимических данных : учеб. пособие / Е.В. Складчиков, Д.П. Гладkochуб, Т.В. Донская, А.В. Иванов, Е.Ф. Летникова, А.Г. Миронов, И.Г. Бараш, В.А. Буланов, А.И. Сизых ; под ред. Е.В. Складчикова. М. : Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с.
- Левицкий В.И., Мельников А.И., Резницкий Л.З., Бибикина Е.В., Кирилова Т.И., Козаков И.К., Макаров В.А., Плоткина Ю.В. Посткинематические раннепротерозойские гранитоиды юго-западной части Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2002. Т. 43, № 8. С. 717–732.
- Летникова Е.Ф., Прошенкин А.И. Источники сноса для неопротерозойских терригенных отложений Бирюсинского Присянья: петрографические, геохимические и изотопные свидетельства // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : материалы совещания. Вып. 10 : в 2 т. Иркутск : Институт земной коры СО РАН, 2012. Т. 1. С. 160–161.
- Летникова Е.Ф., Кузнецов А.Б., Вишневская И.А., Вещева С.В., Прошенкин А.И., Джен Х. Вендская пассивная континентальная окраина юга Сибирской платформы: геохимические, изотопные (Sr, Sm-Nd) свидетельства, данные U-Pb датирования LA-ICP-MS детритовых цирконов // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 10. С. 1507–1529.
- Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретация полученных данных : учеб. пособие. Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2005. 289 с.
- Метелкин Д.В., Благовидов В.В., Казанский А.Ю. История формирования карагасской серии Бирюсинского Присянья: синтез палеомагнитных и литолого-фациальных данных // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 8. С. 1114–1133.
- Ревенко А.Г. Физические и химические методы исследования горных пород и минералов в Аналитическом центре ИЗК СО РАН // Геодинамика и Тектонофизика. 2014. Т. 5 (1). С. 101–114.
- Решения всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири. Новосибирск, 1983. Ч. 1. 214 с.
- Советов Ю.К., Кречетов Д.В., Соловецкая Л.В. Предвендский седиментационный цикл (сиквенс) Присянья: условия осадконакопления и литостратиграфическая корреляция // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : материалы совещания. Иркутск : ИЗК СО РАН, 2012. Вып. 10, т. 2. С. 84–86.

- Советов Ю.К., Меновщикова О.Н., Казак А.К., Соловецкая Л.В.** Структурные параметры и происхождение базальных конгломератов карагасской серии криогения Присяяня // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : материалы совещания. Иркутск : ИЗК СО РАН, 2015. Вып. 13. С. 224–226.
- Тэйлор С.Р., Мак-Леннан С.М.** Континентальная кора: ее состав и эволюция : пер. с англ. М. : Мир, 1988. 384 с.
- Туркина О.М., Бибилова Е.В., Ножкин А.Д.** Этапы и геодинамические обстановки раннепротерозойского гранитообразования на юго-западной окраине Сибирского кратона // ДАН. 2003. Т. 388. № 6. С. 779–783.
- Туркина О.М., Ножкин А.Д., Баянова Т.Б.** Источники и условия образования раннепротерозойских гранитоидов юго-западной окраины Сибирского кратона // Петрология. 2006. Т. 14, № 3. С. 284–306.
- Хоментовский В.В., Шенфиль В.Ю., Якшин М.С., Бутаков Е.П.** Опорные разрезы отложений докембрия и нижнего кембрия Сибирской платформы. М. : Наука, 1972. 356 с.
- Шванов В.Н.** Петрография осадочных пород (компонентный состав, систематика и описание минеральных видов). Л. : Недра, 1987. 269 с.
- Шенфиль В.Ю.** Поздний докембрий Сибирской платформы. Новосибирск : Наука, 1991. 185 с.
- Эволюция южной части Сибирского кратона (Интеграционные проекты СО РАН) / [А.М. Мазукабзов и др.] ; науч. ред. Е.В. Скляр. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2006. Вып. 11. 367 с.**
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П.** Основы литохимии. СПб. : Наука, 2000. 497 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П.** Минеральные индикаторы литогенеза. Сыктывкар : Геопринт, 2008. 564 с.
- Япаскурт О.В.** Стадиальный анализ литогенеза. М. : Изд-во МГУ, 1994. 142 с.
- Bhatia M.R.** Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // J. Geol. 1983. V. 91, № 6. P. 611–627.
- Boynnton W.V.** Cosmochemistry of the rare earth elements; meteorite studies. In: Rare earth element geochemistry / ed. by P. Henderson. Amsterdam : Elsevier Sci. Publ. Co., 1984. P. 63–114.
- Condie K.C.** Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales // Chemical geology. 1993. V. 104. P. 1–37.
- Cullers R.L.** Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // Chemical Geology. 2002. V. 191 (4). P. 305–327. DOI: 10.1016/S0009-2541(02)00133-X
- Dickinson W.R., Beard L.S., Brackenridge G.R., Erjavec J.L., Ferguson R.C., Inman K.F., Knepp R.A., Lindberg F.A., Ryberg P.T.** Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting // Geological Society of America Bulletin. 1983. V. 94. P. 222–235.
- Fedo C.M., Young G.M., Nesbitt H.W.** Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for weathering conditions and provenance // Geology. 1995. V. 23 (10). P. 291–294.
- Gladkochub D.P., Wingate M.T.D., Pisarevsky S.A., Donskaya T.V., Mazukabzov A.M., Ponomarchuk V.A., Stanevich A.M.** Mafic intrusions in southwestern Siberia and implications for a Neoproterozoic connection with Laurentia // Precambrian Research. 2006. № 147. P. 260–278.
- Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Stanevich A.M., Pisarevsky S.A., Zhang S., Motova Z.L., Mazukabzov A.M., Li H.** U-Pb detrital zircon geochronology and provenance of Neoproterozoic sedimentary rocks in southern Siberia: New insights into breakup of Rodinia and opening of Paleo-Asian Ocean // Gondwana Research. 2019. № 65. P. 1–16.
- McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N.** Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics // Geological Society of America. Special Paper. 1993. № 248. P. 21–40.
- McLennan S.M.** Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2001. V. 2. Doi: 10.1029/2000GC000109
- Nesbitt H.W., Young G.M.** Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 715–717.
- Nesbitt H.W., Young G.M.** Formation and diagenesis of weathering profiles // J. Geol. 1989. V. 97. P. 129–147.
- Panteeva S.V., Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Markova V.V., Sandimirova G.P.** Determination of 24 trace elements in felsic rocks by inductively coupled plasma mass spectrometry after lithium metaborate fusion // Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. 2003. V. 58, № 2. P. 341–350.
- Rojas-Agramonte Y., Kröner A., Demoux A., Xia X., Wang W., Donskaya T., Liu D., Sun M.** Detrital and xenocrystic zircon ages from Neoproterozoic to Palaeozoic arc terranes of Mongolia: significance for the origin of crustal fragments in the Central Asian Orogenic Belt // Gondwana Research. 2011. V. 19 (3). P. 751–763. Doi: 10.1016/j.gr.2010.10.00
- Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R.** Sand and Sandstones. New York: Springer, 1972. 158 p.
- Varga A.R., Szakmány Gy.** Geochemistry and provenance of the Upper Carboniferous sandstones from borehole Diosvizlo-3 (Tesen Sandstone formation, SW Hungary) // Acta Mineralogica-Petrographica, Szeged. 2004. V. 45, № 2. P. 7–14.
- Varga A.R., Szakmány Gy., Árgyelán T., Józsa S.** Complex examination of the Upper Paleozoic siliciclastic rocks from southern Transdanubia, SW Hungary – Mineralogical, petrographic, and geochemical study // Geological Society of America. Special Paper. 2007. V. 420. P. 1–20.

Авторы:

Мотова Зинаида Леонидовна, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия.

E-mail: motova@crust.irk.ru

Донская Татьяна Владимировна, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия.

E-mail: tanlen@crust.irk.ru

Гладкочуб Дмитрий Петрович, доктор геолого-минералогических наук, член-корр. РАН, директор, Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия.

E-mail: gladkochub@mail.ru

Мазукабзов Анатолий Муталибович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия.
E-mail: mazuk@crust.irk.ru

Geosphere Research, 2020, 2, 44–63. DOI: 10.17223/25421379/15/4

Z.L. Motova, T.V. Donskaya, D.P. Gladkochub, A.M. Mazukabzov

Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia

THE COMPOSITION AND CONDITIONS OF THE ORIGIN OF LATE PRECAMBRIAN TERRIGENOUS ROCKS OF THE KARAGASS GROUP (BIRYUSA SAYAN REGION)

We present the results of petrographic and geochemical studies of the Late Precambrian terrigenous rocks of the Shangulezh and Tagul suites of the Karagas group of the Biryusa Sayan Region (South-West of the Siberian Craton). The results of reconstruction of the sources of clastic material and the degree of their chemical conversion are presented. The studied terrigenous deposits of the Shangulezh and Tagul suites of the Karagas group are represented by arkoses sandstones and siltstones, and are characterized by similar characteristics. For the majority of the studied rocks, mineralogical signs of epigenetic transformations at the stage of late catagenesis are recorded, expressed by fouling of potassium feldspar fragments by freshly formed autigenic potassium feldspar, regeneration of quartz clastic grains, and also by fouling of quartz fragments and potassium feldspar clay-micaceous aggregate (illite-hydrite). A characteristic petrochemical feature of most of the studied samples is sharply increased K_2O concentrations relative to very low Na_2O contents. The presence of fragments of granitoids, quartzite's, flints in the clastogenic component of the studied sandstones and siltstones indicates the basement rocks of the Siberian craton as the main feeding province for sedimentary strata of the Shangulezh and Tagul suites of the Karagas group. The set of accessory minerals in the heavy fraction of most of the studied samples, as well as the distribution pattern of rare and trace elements that are not mobile during epigenetic transformations, indicate the predominance of acidic rocks in the region in the source area, and a distinct europium minimum in the REE spectra of the studied terrigenous rocks indicates the prevalence of granitoids in source of demolition. Taking into account the geological structure of the study area, it is assumed that one of the main rocks in the source area for these sediments could be granitoids of the Sayan complex, which are widespread in the Cissayan marginal ledge of the Siberian craton basement. Similar petrographic and petro- and geochemical characteristics of the studied terrigenous rocks indicate that they accumulated in the same tectonic regime, in a single sedimentation basin, when clastic material came from the same feeding province.

Keywords: Late Precambrian, clastic rocks, geochemistry, petrography, epigenesis, Siberian craton.

References

- Bragin S.S. *Nekotorye problemy stratigrafii karagasskoj serii pozdnego rifeja Prisayan'ya* [Some problems of the stratigraphy of the Karagas group of the Late Riphean of the Sayan Region] // *Pozdnyj dokembrij i rannij paleozoj Sibiri. Stratigrafiya i paleontologiya*. 1986. pp. 32–39. In Russian
- Galimova T.F., Pashkova A.G., Povarintseva S.A., Perfil'ev V.V., Namolova M.M., Andryushchenko S.V., Denisenko E.P., Permyakov S.A. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Angaro-Enisejskaya. List N-47 – Nizhneudinsk. Ob'yasnitel'naya zapiska* [The State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 1000000 (Series 3). Angara-Yenisei Series. Sheet N-47 – Nizhneudinsk]. St. Petersburg : Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2012. 652 p. In Russian
- Dolnik T.A., Vorontsova G.A. *Novyye dannyye o vozraste otlozhenij karagasskoj serii Prisayan'ya* [New data on the age of sediments of the Karagas group of the Sayan Region] // *DAN SSSR*. 1972. V. 204 (2). pp. 426–429. In Russian
- Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., Wingate M.T.D. Early Proterozoic postcollisional granitoids of the Biryusa block of the Siberian craton // *Russian Geology and Geophysics*. 2014. V. 55 (7). pp. 812–823.
- Skyarov E.V. (Ed.). *Interpretatsiya geokhimicheskix dannyx: Uchebnoe posobie* [Interpretation of Geochemical Data]. Internet Engineering, Moscow, 2001. 288 p. In Russian
- Levitskii V. I., Mel'nikov A. I., Reznitskii L. Z., Bibikova E. V., Kirnozova T. I., Kozakov I. K., Makarov V. A., and Plotkina Yu. V. Early proterozoic postcollisional granitoids in Southwestern Siberian Craton // *Russian Geology and Geophysics*. 2002. V.8. pp. 717–731.
- Letnikova E.F., Proshenkin A.I. *Istochniki snosa dlya neoproterozojskix terrigennyx otlozhenij Biryusinskogo Prisayan'ya: petrograficheskie, geokhimicheskie i izotopnyye svidetel'stva* [The sources for the Neoproterozoic terrigenous sediments of the Biryusa Sayan Region: petrographic, geochemical, and isotopic evidence] // *Geodinamicheskaya e'voluciya litosfery Central'no-Aziatskogo podvuzhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu): Materialy soveshchaniya*. Vy'p. 10. V 2-x tomax. T. 1. Irkutsk: Institut Zemnoj kory SO RAN, 2012. pp. 160–161. In Russian
- Letnikova E.F., Kuznetsov A.B., Vishnevskaya I.A., Veshcheva S.V., Proshenkin A.I., Geng H. The Vendian passive continental margin in the Southern Siberian Craton: geochemical and isotopic (Sr, Sm–Nd) evidence and U–Pb dating of detrital zircons by the LA-ICP-MS method // *Russian Geology and Geophysics*. 2013. V.10. pp. 1507–1529.
- Maslov A.V. *Osadochnyye porody: metody izucheniya i interpretatsiya poluchennykh dannyx* [Sedimentary rocks: research methods and interpretation of the data]. Uchebnoe posobie. Ekaterinburg: Izd-vo UGGU, 2005. 289 p. In Russian
- Metelkin D.V., Blagovidov V.V. and Kazansky A.Yu. The history of the Karagas Supergroup evolution in the Birusa Region: synthesis of paleomagnetic and sedimentological data // *Russian Geology and Geophysics*. 2010. V.8. pp. 868–884.
- Revenko A.G. Physical and chemical methods of researching rocks and minerals in the Analytical Centre of the Institute of the Earth's crust, SB RAS. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2014. V. 5 (1), pp. 101–114.

Resheniyavsesoyuznogo stratigraficheskogo soveshhaniya po dokembriyu, paleozooyu i chetvertichnoj sisteme Srednej Sibiri [Decision of the All-Union Stratigraphic Conference on Precambrian, Paleozoic and Quaternary System of Central Siberia], Part 1, Novosibirsk, 1983. 214 p. In Russian

Sovetov Yu.K., Krechetov D.V., Soloveckaya L.V. *Predvendskij sedimentacionnyj cikl (sikvens) Prisayan'ya: usloviya osadkonekopeniya i litostratigraficheskaya korrelyaciya* [Pre-Vendian Sedimentation Cycle (Sequence) of the Cissayan: sedimentation conditions and lithostratigraphic correlation] // *Geodinamicheskaya e'voluciya litosfery Central'no-Aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu): Materialy soveshhaniya*. Vy'p. 10. T. 2. Irkutsk, IZK SO RAN, 2012. pp. 84–86. In Russian

Sovetov Yu.K., Menovshchikova O.N., Kazak A.K., Solovetskaya L.V. *Strukturny'e parametry i proisozhdenie bazal'ny'x konglomeratov karagasskoj serii kriogeniya Prisayan'ya* [Structural parameters and the origin of the basal conglomerates of the Karagas cryogenic series of the Sayan region] // *Geodinamicheskaya e'voluciya litosfery Central'no-Aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu): Materialy soveshhaniya*. Vy'p. 13. Irkutsk, IZK SO RAN, 2015. pp. 224–226. In Russian

Turkina O.M., Bibikova E.V., Nozhkin A.D. Stages and geodynamic settings of Early Proterozoic granite formation on the Southwestern Margin of the Siberian Craton // *Doklady Earth Sciences*. 2003. V. 389 (2). pp. 159–163.

Turkina O.M., Nozhkin A.D., Bayanova T.B. Sources and formation conditions of Early Proterozoic granitoids from the Southwestern Margin of the Siberian Craton // *Petrology*. 2006. V. 14 (3). pp. 262–283.

Taylor S.R., McLennan S.M. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, London, 1985. 312 p.

Homentovskij V.V., SHenfil' V.YU., YAkshin M.S., Butakov E.P. *Opornye razrezy otlozhenij dokembriya i nizhnego kembriya Sibirskoj platformy* [Reference sections of Precambrian and Lower Cambrian sediments of the Siberian Platform]. Moscow: Nauka, 1972. 356 p. In Russian

Shenfil' V.YU. *Pozdnij dokembrij Sibirskoj platformy* [Late Precambrian of the Siberian Platform]. Novosibirsk: Nauka, 1991. 185 p. In Russian

Shvanov V.N. *Petrografiya osadochnykh porod (komponentnyj sostav, sistematika i opisanie mineral'nykh vidov)* [Petrography of sedimentary rocks (component composition, systematics and description of mineral species)]. Leningrad: Nedra, 1987. 269 p. In Russian

Sklyarov E.V. (Ed.) *E'voluciya yuzhnoj chasti Sibirskogo kratona (Integracionny'e proekty SO RAN; Vy'p. 11)* [Precambrian Evolution of Southern Part of the Siberian Craton]; Ros.Akad. Nauk, Sib. Otd-nie In-t zemnoj kory'. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2006. 367 p. In Russian

Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Osnovy litoximii* [Fundamentals of Lithochemistry]. St. Petersburg: Nauka, 2000. 497 p. In Russian

Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Mineral'ny'e indikator'y litogeneza* [Mineral Indicators of Lithogenesis]. Geoprint: Syktyvkar, 2008. 564 p. In Russian

Yapaskurt O.V. *Stadial'nyj analiz litogeneza* [Stage Analysis of Lithogenesis]. Moscow: Izd-vo MGU, 1994. 142 p. In Russian

Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // *J.Geol.*. 1983. V. 91. № 6. pp. 611–627.

Boynnton W.V. Cosmochemistry of the rare earth elements; meteorite studies. In: *Rare earth element geochemistry*. Henderson, P. (Editors) // Elsevier Sci. 1984. Publ. Co., Amsterdam. pp. 63–114.

Condie K. C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales // *Chemical geology*. 1993. V. 104. pp. 1–37.

Cullers R.L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // *Chemical Geology*. 2002. V. 191 (4). pp. 305–327. Doi: 10.1016/S0009-2541(02)00133-X

Dickinson W.R., Beard L.S., Brackenridge G.R., Erjavec J.L., Ferguson R.C., Inman K.F., Knepp R.A., Lindberg F.A., and Ryberg P.T. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting // *Geological Society of America Bulletin*. 1983. V. 94. pp. 222–235.

Fedo C.M., Young G.M., Nesbitt H.W. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for weathering conditions and provenance // *Geology*. 1995. V. 23 (10). pp. 291–294.

Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Stanevich A.M., Pisarevsky S.A., Zhang S., Motova Z.L., Mazukabzov A.M., Li H. U-Pb detrital zircon geochronology and provenance of Neoproterozoic sedimentary rocks in southern Siberia: New insights into breakup of Rodinia and opening of Paleo-Asian Ocean // *Gondwana Research*. 2019. № 65. pp. 1–16.

Gladkochub D.P., Wingate M.T.D., Pisarevsky S.A., Donskaya T.V., Mazukabzov A.M., Ponomarchuk V.A., Stanevich A.M. Mafic intrusions in southwestern Siberia and implications for a Neoproterozoic connection with Laurentia // *Precambrian Research*. 2006. № 147. pp. 260–278.

McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics // *Geological Society of American. Special Paper*. 1993. № 248. pp. 21–40.

McLennan S.M. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2001. V. 2. Doi:10.1029/2000GC000109

Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*. 1982. V. 299. pp. 715–717.

Nesbitt H.W., Young G.M. Formation and diagenesis of weathering profiles // *J. Geol.* 1989. V. 97. pp. 129–147.

Panteeva S.V., Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Markova V.V., Sandimirova G.P. Determination of 24 trace elements in felsic rocks by inductively coupled plasma mass spectrometry after lithium metaborate fusion // *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. 2003. V. 58. № 2. pp. 341–350.

Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R. *Sand and Sand-stones*. New York: Springer, 1972. 158 p.

Rojas-Agramonte Y., Kröner A., Demoux A., Xia X., Wang W., Donskaya T., Liu D., Sun M. Detrital and xenocrystic zircon ages from Neoproterozoic to Palaeozoic arc terranes of Mongolia: significance for the origin of crustal fragments in the Central Asian Orogenic Belt // *Gondwana Research*. 2011. V. 19 (3). pp. 751–763. Doi: 10.1016/j.gr.2010.10.00

Varga A.R., Szakmány Gy. Geochemistry and provenance of the Upper Carboniferous sandstones from borehole Diosvizlo-3 (Téseny Sandstone formation, SW Hungary) // *Acta Mineralogica-Petrographica, Szeged*. 2004. V. 45. № 2. pp. 7–14.

Varga A.R., Szakmány Gy., Árgyelán T., Józsa S. Complex examination of the Upper Paleozoic siliciclastic rocks from southern Transdanubia, SW Hungary—Mineralogical, petrographic, and geochemical study // *Geological Society of America. Special Paper*. 2007. V. 420. pp. 1–20.

Authors:

Motova Zinaida L., Cand. Sci.(Geol.-Miner), Researcher, Institute of the Earth's Crust Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia.

E-mail: motova@crust.irk.ru

Donskaya Tatiana V., Dr.Sci.(Geol.-Miner), Lead Researcher, Institute of the Earth's Crust Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia.

E-mail: tanlen@crust.irk.ru

Gladkochub Dmitry P., Dr.Sci.(Geol.-Miner), Corresponding Member of RAS, Professor of RAS, Director, Institute of the Earth's Crust Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia.

E-mail: dima@crust.irk.ru

Mazukabzov Anatily M., Dr.Sci.(Geol.-Miner), Chief Researcher, Institute of the Earth's Crust Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia.

E-mail: mazuk@crust.irk.ru

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 504.1(571.55)

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ, РОССИЯ)



Б.Н. Абрамов, О.В. Еремин, Р.А. Филенко, Т.Г. Цыренов

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия

Проведен анализ распределения химических элементов в природно-техногенных комплексах рудных месторождений Восточного Забайкалья, включающих их концентрации в рудных ассоциациях, а также в техноземах хвостохранилищ. Выявлено, что наибольшую экологическую опасность для природной среды представляют хвостохранилища полиметаллических и оловополиметаллических месторождений.

Ключевые слова: типы месторождений, хвостохранилища, техноземы, токсичные элементы, экологическая опасность, Восточное Забайкалье.

Введение

Влияние исторических горнорудных территорий на окружающую среду является актуальной темой современных междисциплинарных исследований [Dold 2014; Абдрахманов, Ахметов, 2016; Винокуров и др., 2016; Rzymiski et al., 2017; Hani et al., 2018; Jelenová et al., 2018; Daniell et al., 2019; Elghali et al., 2019; Khoeurn et al 2019; Lu et al., 2019; Montes-Avila et al., 2019; Saljnikov et al., 2019; Ahn et al., 2020; Shahhosseini et al., 2020; Gutiérrez et al., 2020 и др.].

Забайкальский край относится к числу старейших горнодобывающих регионов России. Рудные месторождения начали отрабатываться с 1879 г. небольшими рудниками [Юргенсон, 1999]. На территории Забайкальского края известны многочисленные рудопрооявления и месторождения золота, молибдена, олова, редкометалльных и полиметаллических месторождений (рис. 1, табл. 1).

Природно-техногенный комплекс рудных месторождений включает в себя природные и техногенные (созданные человеком) составляющие окружающей среды. В качестве техногенных объектов в настоящей работе рассматриваются территории, изменённые в результате деятельности горнообогатительных комбинатов (ГОК) на отработанных и эксплуатирующихся месторождениях.

За трехсотлетний период функционирования горнорудных предприятий общая площадь земель, занятых под техногенные образования, составляет около 4 000 га, из них 1 285,1 га составляют хвостохранилища [Харитонов и др. 2002]. Кадастром техногенных скоплений на территории Восточного За-

байкалья учтено 88 объектов техногенных образований, созданных 13 бывшими и 33 существующими предприятиями по добыче и переработке минерального сырья [Михайлютина, 2007]. При хранении отходов горнорудного производства претерпевают физико-химические изменения, сопровождающиеся формированием новообразованных соединений, значительная часть которых является токсичными.

Изучением влияния хвостохранилищ рудных месторождений на экологическое состояние окружающей природной среды Восточного Забайкалья занимались многие исследователи [Юргенсон, 1999; Харитонов, 2002; Мязин и др., 2006; Михайленко, 2006; Михайлютина, 2007; Птицын, 2014; Еремин и др., 2014; Еремин, Абрамов, 2016; Абрамов, 2018; Абрамов, Цыренов, 2019; Абрамов и др. 2019; Эпова и др., 2020].

Задачи и методы исследований

Основной задачей исследования являются установление особенностей распределения токсичных химических элементов в природно-техногенных комплексах различных типов рудных месторождений Восточного Забайкалья, расчет их потенциальной экологической опасности. Для решения этой задачи использованы данные по содержаниям элементов в рудных телах и хвостохранилищах извлекательных фабрик. Сведения по концентрациям химических элементов в рудах и в техноземах хвостохранилищ получены при проведении исследований по базовым проектам Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН с 2000 по 2018 г.

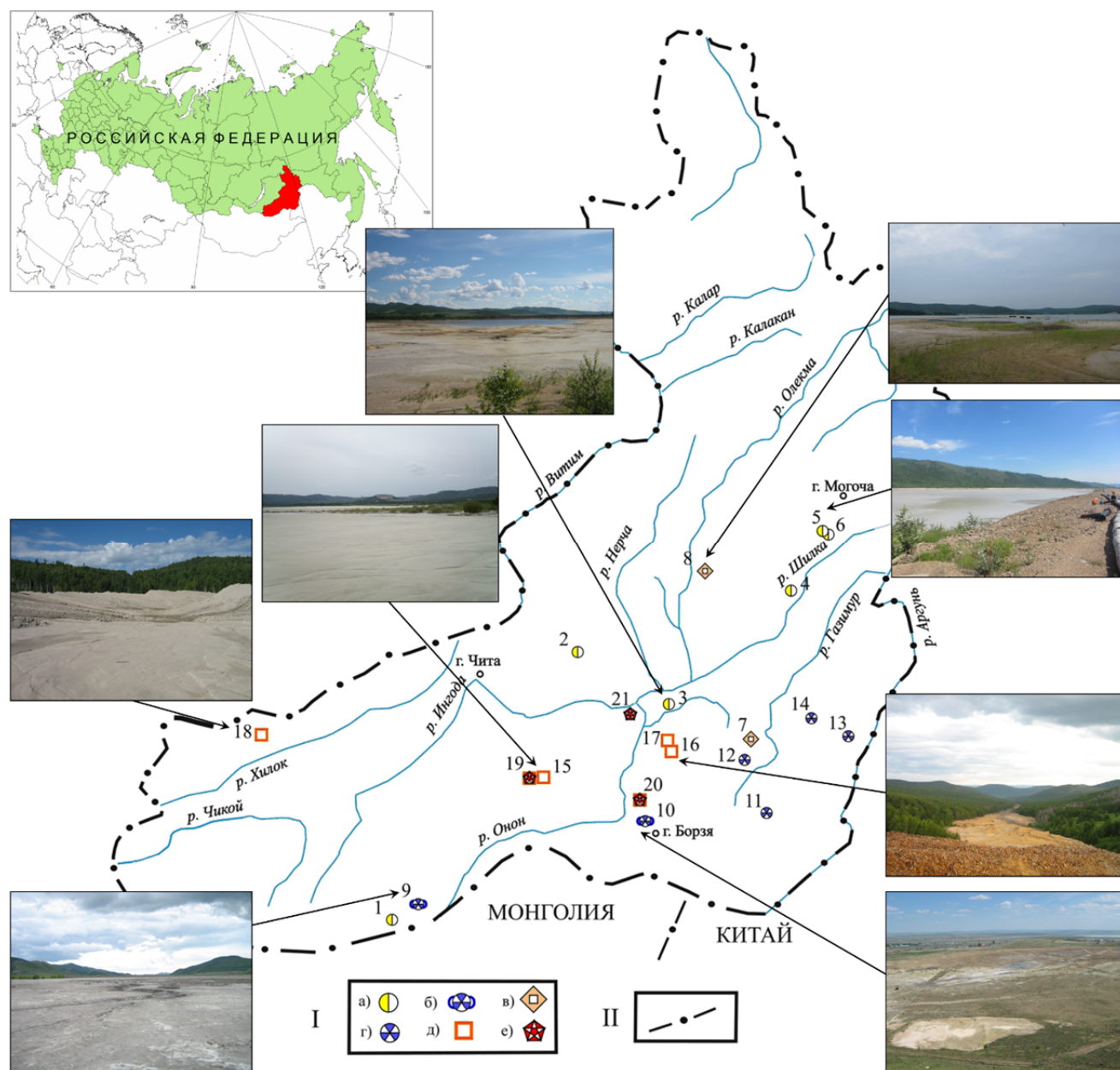


Рис. 1. Схема размещения хвостохранилищ некоторых рудных месторождений Восточного Забайкалья

I – хвостохранилища рудных месторождений. а) золота: 1 – Любавинского, 2 – Дарасунского, 3 – Бaleyского, 4 – Карийского, 5 – Александровского, 6 – Ключевского; б) молибденовых: 7 – Шахтаминского; 8 – Жирекенского; в) олово-полиметаллических: 9 – Хапчерангинского; 10 – Шерловогорского; г) полиметаллических: 11 – Кличкинского; 12 – Акатуевского; 13 – Благодатского; 14 – Ново-Широкинского; д) вольфрамовых: 15 – Спокойнинского; 16 – Антоновгородского; 17 – Букукинского; 18 – Бом-Горхонского; е) редкометалльных: 19 – Орловского; 20 – Мало-Кулидинского; 21 – Завитинского. II – государственные и административные границы

Fig. 1. Scheme of location of tailing dumps of some ore deposits in Eastern Transbaikalia

I – Tailings dumps of ore deposits. a) gold: 1 – Lubavinsky, 2 – Darasunsky, 3 – Baleysky, 4 – Kariysky, 5 – Aleksandrovsky, 6 – Klyuchevsky; b) molybdenum: 7 – Shakhtamsky; 8 – Zhirekensky; c) tin – polymetallic: 9 – Khapcheranginsky; 10 – Sherlyovogorsky; 11 – Klitschkinsky; 12 – Akatuevsky; 13 – Blagodatsky; 14 – Novo-Shirokinsky; d) tungsten: 15 – Spokoyninsky; 16 – Antonovorsky; 17 – Bukukukinsky; 18 – Bom-Gorkhonsky; f) rare-metal: 19 – Orlovsky; 20 – Malo-Kulidinsky; 21 – Zavitsky. II – state and administrative borders

Таблица 1

Хвостохранилища рудных месторождений Восточного Забайкалья [Юргенсон, 1999; данные территориального геологического фонда по Забайкальскому краю (г. Чита)]

Table 1

Tailings dumps of ore deposits of the Eastern Transbaikalia [Yurgenson, 1999; data of the territorial geological fund on the Transbaikalia region (Chita)]

Месторождение, главное полезное ископаемое	Вид объекта	Площадь, га	Объем объекта тыс. м ³ тыс. т.	Среднее содержания элементов
Ключевское Au	Хвостохранилище отходов флотации	68	4 860 11 180	Au – 0,77 г/т Ag – 0,9 г/т
Давендинское Au	Хвостохранилище хвостов цианирования	30	650 1 500	Au – 0,6 г/т Ag – 2–3 г/т
Александровское Au	Хвостохранилище отходов флотации	21	1 340 3 485	Au – 0,5 г/т Mo – 0,04%
Любавинское Au	Хвостохранилище	16	190 285	Au – 1,79 г/т
Балейское Au	Хвостохранилище ЗИФ-1	56,2	5 350 10 436	Au – 1,2 г/т
Тасеевское Au	Хвостохранилище ЗИФ-2	47	13 240 23 834	Au – 0,65 г/т Ag – 0,37 г/т
Карийское Au	Хвостохранилище	3,6	143 400	Au – 0,35 г/т
Дарасунское Au	Хвостохранилище	80	1 745 4 710,2	Au – 0,36 г/т Ag – 1,18 г/т
Дарасунское Au	Отвалы кеков цианирования	1,5	40 100	Au – 7,00 г/т Ag – 9,3 г/т
Жирекенское Mo	Хвостохранилище отходов флотации	70	5 135 13 352	Mo – 0,028% Ag – 0,5 г/т
Кличкинское Pb-Zn	Хвостохранилище	56	1 645 4 392	Zn – 0,493%, Pb – 0,12%
Акатуевское Pb-Zn	Хвостохранилище	15	500 1 374	Zn – 0,628%, Pb – 0,279%
Благодатское Pb-Zn	Хвостохранилище	37	747 2 017,4	Zn – 1,188%, Pb – 0,595%
Хапчерангинское Sn-Pb-Zn	Хвостохранилище хвостов обогащения	4	2 340 6 200	Sn – 0,09% Zn – 0,2–1% Pb – 0,1–0,2%
Шерловгорское Sn-Pb-Zn	Хвостохранилище хвостов обогащения	80	6 648 17 617,3	Sn – 0,068%, Zn – 0,52%, Pb – 0,26%
Антоновгорское W	Хвостохранилище хвостов гравитации	0,3	12 26,4	WO ₃ – 0,121%
Белухинское W	Хвостохранилище	0,3	7,5 16,5	WO ₃ – 0,136%
Букуинское W	Хвостохранилище	3,6	252 544,5	WO ₃ – 0,128%
Бом-Горхонское W	Хвостохранилище	3	117 313,5	WO ₃ – 0,4%
Орловское Ta-Nb	Хвостохранилище № 2	100	5 115	WO ₃ – 0,041%
Спокойнинское W			8 180	Be – 0,024%
Мало-Кулиндинское Ta-Nb	Хвостохранилище	–	147 250	Ta – 0,012% Nb – 0,009%
Завититнское Ta-Nb			6 000 7 560	Li ₂ O – 0,24% BeO – 0,02%
Завититнское Ta-Nb	Хвостохранилище № 2	15	3 377 4 255	Li ₂ O – 0,24% BeO – 0,02%
Завититнское Ta-Nb			142 167	BeO – 0,2%
Орловское Ta-Nb	Хвостохранилище № 1	30	1 847	WO ₃ – 0,208%
Спокойнинское W			3 174	Be – 0,024%

Кроме того, использованы опубликованные данные и сведения территориального геологического

фонда по Забайкальскому краю (г. Чита). Для определения элементного состава в пробах использован

рентгенфлуоресцентный метод исследования в аналитических лабораториях Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ), ICP-MS ЗАО «SGS Vostok Limited» (г. Чита).

Распределение токсичных химических элементов в природно-техногенных комплексах рудных месторождений Восточного Забайкалья

К природным комплексам рудных месторождений нами отнесены продуктивные рудные ассоциа-

ции, к техногенным комплексам – техноземы хвостохранилищ рудных месторождений. Рассмотрим распределение химических элементов первого, второго и третьего классов токсической опасности [СанПиН № 2.1.7.1287-03] в продуктивных рудных ассоциациях и в техноземах рудных месторождений Восточного Забайкалья. Содержание элементов в рудах возьмем за 100%, относительно этих данных рассчитаем концентрации элементов в хвостохранилищах. Кроме этого, рассчитаем коэффициент концентрации элементов в хвостохранилищах (табл. 2).

Таблица 2
Средние содержания элементов в рудах и в техноземах хвостохранилищ месторождений Восточного Забайкалья, г/т

Table 2
Average element concentrations in ores and technozems of the tailings deposit dumps in Eastern Transbaikalia, g/t

Элемент	As	Pb	Zn	Cd	Cu	Sn	Mo	Sb	Ba	Sr
Кларк ***	1,7	16	83	0,13	47	2,5	1,1	0,5	650	340
КТ *	I				II				III	
Тл **	10	10	5	15	5	5	5	10	15	15
<i>l</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Золоторудные месторождения										
<i>Балейское.</i> Золотоносные рудные зоны (n = 68)										
x	1284	10	50	–	62	–	2	326	–	–
s	969	6	39	–	28	–	1,2	545	–	–
Отвалы золото-извлекательной фабрики № 2 (n = 18) ГЭр = 9 107										
x/КК	939/552	17/1,1	34/0,4	–	47/1	–	2/1,8	178/356	–	–
s	358	12	23	–	28	–	2	103	–	–
(%*)	73	170	68	–	76	–	100	54,6	–	–
<i>Любавинское.</i> Золотоносные кварцевые жилы (n = 10)										
x	9831	110	141	0,6	39	7	8	27	214	104
s	10702	129	51	–	–	4	–	20	150	138
Отвалы золото-извлекательной фабрики (n = 2) ГЭр = 10 988										
x/КК	1860/1094	21/1,3	65/0,8	–	23/0,5	5/2	4/3,6	–	–	–
s	2107	8	8	–	3	2	3	–	–	–
(%*)	18,9	19	46	–	58,9	71,4	50	–	–	–
<i>Карийское.</i> Золотоносные кварцевые жилы (n = 18)										
x	8709	339	93	–	648	31	49	83	485	320
s	28754	435	97	–	511	28	44	89	578	184
Отвалы золото-извлекательной фабрики (n = 7) ГЭр = 2 983										
x/КК	237/139	135/8,4	47/1	–	146/3,1	30/12	15/13,6	68/136	–	–
s	91	66	20	–	66	7	4	77	–	–
(%*)	0,95	61	50,5	–	22,5	96,7	30,6	81,9	–	–
<i>Ключевское.</i> Золотоносные кварцевые жилы (n = 7)										
x	924	22	59	0,7	230	7	26	52	200	417
s	767	21	16	–	187	3	23	48	352	253
Отвалы золото-извлекательной фабрики (n = 7) ГЭр = 2 590										
x/КК	286/168,2	26/1,6	45/0,5	–	107/2,3	3/1,2	7/6,4	42/84	–	–
s	59	4	9	–	30	1	2	3	–	–
(%*)	30,9	118,2	76,3	–	46,5	42,9	26,9	100	–	–
<i>Илинское.</i> Брекчии сульфидизированные (n = 8)										
x	1 711	23	43	–	–	6	7	42	381	160
s	1 272	7	15	–	–	7	2	84	151	56
<i>l</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Отвалы золото-извлекательной фабрики (n = 3) ГЭр = 5 734										
x/КК	946/556,5	18/1,1	30/0,4	–	13/0,3	5/2	1/0,9	7/14	–	–
s	267	4	5	–	9	1	1	1	–	–
(%*)	55,3	78,3	69,8	–	–	83,4	14,3	16,7	–	–
<i>Александровское.</i> Золотоносные кварцевые жилы (n = 36)										
x	679	514	188	6	10 867	7	812	75	624	324
s	1 756	1 181	529	6	56 812	6	3 456	113	723	475

Хвостохранилище (n = 7) ГЭр = 2 380										
x/КК	34/20	44/2,7	57/0,7	7/53,8	88/1,9	30/12	131/119	32/64	768/1,2	457/1,3
s	18	35	27	0	107	0	300	6	180	229
(%*)	5	8,6	30,3	116,7	0,8	427	16,1	42,7	123	141
Полиметаллические месторождения										
Акатувское. Свинцово-цинковые руды (n = 13)										
x	30 575	62 889	122 265	1 007	798	10	6	–	–	–
s	46 747	72 289	136 047	829	558	14	3	–	–	–
Хвостохранилище (n = 26) ГЭр = 61 803										
x/КК	8 759/5 152	3 491/218	9 311/112	56/430	241/5,1	6,9/2,8	3,3/3,0	51/101	148/0,2	586/1,7
s	4 770,4	1 881,0	6 552,3	34,7	143,7	5,2	2,0	27,3	84,5	231,1
(%*)	28,6	5,5	7,6	5,6	30,2	69	55	–	–	–
Благodatское. Свинцово-цинковые руды (n = 10)										
x	296 825	206 403	232 968	291	1 223	356	9,7	1226	11,9	28,1
s	911 568	271 411	350 243	404	1 884	612	8,1	1 187,9	9,9	23,8
Хвостохранилище (n = 27) ГЭр = 74 441										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x/КК	9 078/5 340	7 419/464	17 008/205	76/583	174/3,7	85/34	1,1/1	322/643	108/0,2	114/0,3
s	5 046	2 739	8706	37	66	37	0,4	108	68	67
(%*)	3,1	3,6	7,3	26,1	14,2	23,9	11,4	26,3	909,1	405,6
Ново-Широкинское. Свинцово-цинковые руды (n = 12)										
x	1 330	239 720	89 941	144	39 661	11	19	2159	355	53
s	1 480	168 213	97 489	172	58 882	12	14	3297	490	82
Хвостохранилище (n = 9) ГЭр = 5607										
x/КК	398/234	1 045/65	1 193/14	4,8/37	107/2,3	2,3/0,9	2,3/2,1	96/192	929/1,4	529/1,6
s	376	500	583	1,5	41	1,6	0,5	8,5	106	94
(%*)	29,9	0,4	1,3	3,3	0,3	20,9	12,1	4,4	262	998
Оловополиметаллические месторождения										
Шерловогорское. Оловополиметаллические руды (n = 15)										
x	33 864	28 759	81 342	1 653	15 073	3 271	–	787	88	58
s	38 986	31 241	80 988	2 271	31 896	5 686	–	659	96	75
Хвостохранилище (n = 9) ГЭр = 7 956										
x/КК	498/293	1 562/98	1 703/20,5	14/108	187/4	595/238	–	55/110	345/0,5	130/0,4
s	245	1513	1206	14	77	459	–	20	33	69
(%*)	1,5	5,4	2,1	0,8	1,2	18,2	–	7	392	118,9
Ханчерангинское. Оловополиметаллические руды (n = 11)										
x	6 046	20 869	164 303	1 541	6 167	20 454	14	222	33	363
s	16 607	26 659	136 994	760	3 630	40 165	5	336	44	468
Хвостохранилище (n = 17) ГЭр = 4724										
x/КК	389/229	1215/76	3 211/39	5/38,5	145/3,1	418/167	–	10/20	551/0,8	175/0,5
s	235	1 283	3 346	5	133	321	–	5	56	29
(%*)	6,4	5,8	1,9	0,3	2,4	2	–	4,5	1 669	48,2
Молибденовые месторождения										
Шахтаминское. Кварц-молибденитовые руды (n = 9)										
x	1 230	8 496	3 060	51	7 033	5	25 722	3 142	20	55
s	8 143	16 821	3623	74	8 143	4	16 016	8 429	12	48
Хвостохранилище (n = 7) ГЭр = 6979										
x/КК	114/67	2209/138	1243/15	3/23	737/16	9/3,6	679/617	65/130	719/1,1	208/0,6
s	109	3406	556	1	744	5	466	55	257	99
(%*)	9,3	26,0	40,6	5,9	10,5	180	2,6	2,1	3595	378
Давендинское. Кварц-молибденитовые руды (n = 7)										
x	13	97	10	1	11	11	11 237	10	92	14
s	20	222	6	–	11	10	2 486	8	171	10
Хвостохранилище (n = 5) [Юргенсон] ГЭр = 927										
x/КК	79/46,5	39/2,4	19/0,2	–	96/2	2/0,8	35/32	13/26	108/0,2	–
s	66	81	44	–	43	1	100	5	106	–
(%*)	607	40,2	190	–	873	18,2	0,31	130	117	–
Жирекенское. Кварц-молибденитовые руды (n = 9)										
x	24	129	55	3	97	12	29 377	83	217	95
s	12	160	36	2	122	9	18 603	143	186	95
Хвостохранилище (n = 11) ГЭр = 2007										
x/КК	37/21,7	64/4	83/1	7/53,8	500/4,1	30/12	181/166	–	643/0,9	326/0,9
s	13	41	44	0	227	0	177	–	33	31
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
(%*)	154	49,6	151	233	515	250	0,6	–	296	343

Вольфрамовые месторождения										
<i>Антоновогорское. Руды (n = 14)</i>										
x	1 811	221	7 369	230	–	96	17	4	17	16
s	2 080	245	8 543	99	–	175	22	2	18	9
<i>Букукинское. Руды (n = 14)</i>										
x	1 901	8 439	16 118	291	–	487	318	102	71	284
s	2 167	11 968	14 876	546	–	1 025	779	204	74	378
<i>Бом-Горхонское. Руды (n=5)</i>										
x	626	626	19347	167	612	30	141	–	42	24
s	624	755	31546	188	480	12	199	–	45	27
<i>Хвостохранилище (n = 3) ГЭр = 2 984</i>										
x/КК	78/45,9	86/5,4	900/10,8	16/123	270/5,7	109/44	68/62	–	524/0,8	24/0,07
s	16	30	558	13	0	42	61	–	58	26
(%*)	12,5	13,7	4,6	9,6	44,1	363	48,2	–	1 278	100
Редкометалльные месторождения										
<i>Орловское танталовое</i>										
<i>Хвостохранилище (n = 15) ГЭр = 362</i>										
x/КК	25/14,7	41/2,6	128/1,5	0,4/3,1	8/0,2	39/15,6	3/2,7	2/4	44/0,06	31/0,09
s	12	24	79	0,2	0	13	2	3	27	17
<i>Завитинское. Литиевые руды (n = 11)</i>										
x	12	22	91	0,2	5	68	–	0,3	23	34
s	10	30	85	0,1	2	56	–	0,1	30	25
<i>Хвостохранилище (n = 11) ГЭр = 24842</i>										
x/КК	292/172	29/1,8	69/0,8	0,2/1,53	14/0,3	31/12,4	2/1,8	901/1 802	166/332	98/0,3
s	426	12	34	0,1	12	10	2	1 621	166	54
(%*)	2433	132	75,8	100	280	45,6	–	300 333	722	288
<i>Мало-Кулиндинское. Литиевые руды (n = 3)</i>										
x	12	–	–	0,4	5	–	–	–	67	–
s	3	–	–	0,3	2	–	–	–	107	–
<i>Хвостохранилище (n = 11) ГЭр = 388</i>										
x/КК	33/19,4	24/1,5	88/1,1	0,5/3,8	11/0,2	47/18,8	1/0,9	0,3/0,6	142/0,2	179/0,5
s	4	2	14	0	2	10	0,3	0,1	34	27
(%*)	275	–	–	125	220	–	–	–	212	–

Примечание. x – среднее арифметическое, s – стандартное отклонение, n – число анализов. «–» – нет данных, КТ* – коэффициент токсичности [СанПиН № 2.1.7.1287-03], Тл** – литотоксичность [Голева и др., 2001], КК – коэффициент концентрации, КК = x/кларк. (%*) – процентные содержания элементов в техноземах хвостохранилищ (за 100% принято содержание элементов в рудах), * – [Войткевич и др., 1977], ГЭр – «потенциальная токсичность» (см. формулу (1)).

Note. x – arithmetic mean, s – standard deviation, n – number of analyses. «–» – no data, CT* – toxicity factor [SanPiN No 2.1.7.1287-03], Tl** – lithotoxicity [Goleva et al., 2001], KK – concentration coefficient, KK = x/clark. (%*) – percentage of elements content in technozems of tailing dumps (100% of elements content in ores is accepted), * – [Voitkevich et al., 1977], GEr – «potential toxicity» (see formula (1)).

Выявлено, что в золоторудных месторождениях концентрации элементов в техноземах хвостохранилищ относительно процентных содержаний в рудах имеют существенные различия. Так, в Балейском золоторудном месторождении содержание As в техноземах составляет 73% от содержания As в руде, содержание Pb – 170%, Zn – 68%, Mo – 100%, Sb – 54,6%. При этом коэффициенты концентрации (КК) составляют соответственно: Pb – 552; Pb – 1,1; Zn – 0,4; Mo – 1,8; Sb – 356. Характерно, что в золоторудных месторождениях концентрации токсичных элементов первого и второго классов в большинстве своем составляют 30–70% от их содержаний в рудах. Наибольшими КК в техноземах характеризуются As, составляя в хвостохранилище Любавинского месторождения 1094, Балейского – 552. Остальные токсичные элементы по содержаниям близки к кларкам.

Распределение химических элементов в техноземах хвостохранилищ полиметаллических, оловополиметаллических месторождений по сравнению с техноземами золоторудных месторождений имеют существенные отличия. Так, в сравнении с рудами, концентрации элементов в техноземах полиметаллических, оловополиметаллических месторождений в большинстве своем составляют менее 10% от содержания их в рудах. КК в значительной части элементов достигают значений более 100 (табл. 2). В техноземах золоторудных месторождений содержания элементов в основном составляют 20–70% от содержаний их в рудах. В молибденовых месторождениях значения КК элементов в техноземах близки к таковым в золоторудных месторождениях. Выявлено, что в техноземах Жирекенского и Давендинского месторождений отмечается значительное превышение содержаний As, Zn, Cu, Cd в сравнении с рудами. Это можно объяс-

нить особенностями минерального состава кварц-молибденитовых руд, наличием в рудных зонах вкрапленной арсенопиритовой, медной и полиметаллической минерализации, вовлекаемой в технологический процесс обогащения руд.

Содержание элементов в техноземах Бом-Горхонского вольфрамового месторождения в преобладающей части элементов составляют около 10% от содержания в рудах. Исключением является Sn, содержание которого – 363% в сравнении с концентрацией в руде. В Завитинском и Мало-Кулиндинском литиевых месторождениях содержания As, Pb, Cd, Cu и Sb в техноземах превышают их концентрации в рудах, в Орловском танталовом месторождении наблюдается обратная зависимость. КК преобладающей части элементов варьируют и составляют несколько кларков. КК в техноземах в значительной части элементов варьируют от долей процента до 18%. Исключение составляет содержание Sb на Завитинском месторождении, КК равен 1802.

Характерной особенностью природно-техногенных образований рудных месторождений является преобладание Ba и Sr в техноземах относительно их концентраций в рудах. Это объясняется накоплением минералов носителей Ba и Sr в хвостохранилище в процессе обогащения исходной руды.

Оценка токсичности хвостохранилищ рудных месторождений Восточного Забайкалья

В Забайкальском крае ГОК многих месторождений являются градообразующими. Здоровье населения горнорудных поселков в значительной степени зависит от техногенного загрязнения окружающей среды [Витковский и др., 2018; Эпова и др., 2020]. Последствия воздействия токсичности связано с возникновением болезней органов пищеварения, дыхания, эндокринной системы, злокачественных образований, врожденных патологий и других заболеваний. Среди техногенных образований объекты повышенной опасности представляют хвостохранилища ГОК.

Техноземы хвостохранилищ состоят преимущественно из нерудных минералов (полевой шпат, кварц и др.), в небольшом количестве встречаются сульфиды. Минеральный состав техноземов хвостохранилищ напрямую связан с минеральным составом рудных ассоциаций сульфидных месторождений. В рудах рассматриваемых месторождений главные рудные минералы, в состав которых входят токсичные элементы, представлены: пиритом (FeS_2), арсенопиритом (FeAsS), халькопиритом (CuFeS_2), сфалеритом (ZnS), галенитом (PbS), молибденитом (MoS_2), антимонитом (Sb_2S_3), касситеритом (SnO_2), блеклыми рудами (теннантит Cu_3AsS_3 , тетраэдрит Cu_3SbS_3). Кадмий входит в виде изоморфной приме-

си в минералы цинка. Барий и стронций входят в состав породообразующих минералов. В их составе они концентрируются в слюдах. Вследствие этого концентрации бария и стронция в техноземах хвостохранилищ, главным образом, превышают их содержания в рудах. При изучении хвостохранилищ особое внимание уделяют минералогическому анализу с выделением гипергенных стадий минералообразования. Выделяют следующие стадии их трансформации в зоне окисления: сульфиды – сульфаты – карбонаты (окислы). Минералы сульфатной стадии обладают повышенной растворимостью и представляют наибольшую опасность для окружающей среды. Модельные эксперименты по сернокислотному выщелачиванию золотосодержащих руд Любавинского и Ключевского золоторудных месторождений показали высокую подвижность таких элементов, как As, Ca, Fe, Cu, Pb, Zn [Эпова и др., 2019].

Хвостохранилища изучаемых месторождений отличаются составом пород и руд, разным временем их образования. Степень гипергенных преобразований техноземов хвостохранилищ зависит от количества и состава сульфидов. Хвостохранилища с повышенными содержаниями сульфидов характеризуются более высокой кислотностью водных растворов, являющихся главными факторами выщелачивания и миграции токсикантов. Большое значение имеет также временной интервал их существования. Процесс перехода сульфидных минералов в окисленные формы может протекать до сотен лет.

Для оценки «потенциальной токсичности рудных месторождений» (ГЭр) использовалась формула, предложенная в работе [Голева и др., 2001]:

$$\text{ГЭр} = \sum_{i=1,n} \text{Тл}(i) * \text{В}(i), \quad (1)$$

где Тл(i) – коэффициент литотоксичности элемента i (табл. 2); $\text{В}(i) = \text{X}(i)/\text{Q}(i)$, где X(i) – концентрации и Q(i) – кларк земной коры по Виноградову [Войткевич и др., 1977] элемента i, n – количество рассматриваемых элементов.

Расчетные данные указывают на то, что наибольшей токсичностью характеризуются хвостохранилища полиметаллических и оловополиметаллических месторождений (табл. 2). Среди них наибольшей потенциальной опасностью обладают техноземы Благодатского полиметаллического месторождения ГЭр = 74 441, наименьшей – техноземы Ново-Широкинского полиметаллического месторождения ГЭр = 5 607. Среди техноземов золоторудных месторождений наибольшую экологическую опасность представляют техноземы Любавинского месторождения ГЭр = 10 988, наименьшую – техноземы Александровского месторождения ГЭр = 2 380. Среди молибденовых месторождений наибольшей токсичностью характеризуются хвостохранилища Шахтинского месторождения ГЭр = 6 979, наименьшей – хвостохранилища Давендинского ме-

сторождения $ГЭр = 927$. Среди рассматриваемых месторождений наименьшую экологическую опасность представляют хвостохранилища редкометалльных и вольфрамовых месторождений. Так, токсичность техноземов Орловского месторождения составляет $ГЭр = 362$, Мало-Кулиндинского месторождения – $ГЭр = 388$ (табл. 2).

Обсуждение результатов исследований

Проведенный анализ проб хвостохранилищ показал наличие в них высоких содержаний токсичных элементов, превышающих кларки. Среди токсичных элементов наиболее высокими содержаниями характеризуются As. В техноземах Благодатского полиметаллического месторождения концентрации As составляют 9 078 г/т, Акатуевского полиметаллического месторождения – 8 759 г/т, Любавинского золоторудного месторождения – 1860 г/т. Высокие содержания токсикантов, в ряде случаев составляющих более 1 000 г/т, соответствуют уровню рудных концентраций. Установлено, что содержания токсичных элементов в хвостохранилищах золоторудных и молибденовых месторождений в большинстве своем составляют 20–70% от содержаний их в рудах, в полиметаллических и оловополиметаллических месторождениях – 0–10%, в редкометалльных месторождениях превышают 100%. Эти отличия объясняются минеральным составом руд различных типов месторождений, технологиями обогащения в ГОКах. Так, в свинцово-цинковых месторождениях Pb и Zn извлекаются при обогащении, этим объясняются незначительные их содержания в техноземах, в сравнении с их концентрациями в рудах.

Расчет токсичности техноземов различных месторождений показал, что среди рудных месторождений

Восточного Забайкалья наибольшей экологической опасностью характеризуются хвостохранилища Благодатского ($ГЭр = 74441$) и Акатуевского ($ГЭр = 61803$) полиметаллических месторождений. Значения содержаний токсичных элементов в хвостохранилищах редкометалльных месторождений близки к фоновым и не являются экологически опасными.

Отметим, что величина $ГЭр$ «потенциальной токсичности» не учитывает количества опасных элементов (в общих объемах и массах материала хвостохранилищ) и скорости их рассеивания. С течением времени величины $ГЭр$ могут меняться из-за выноса из хвостохранилищ в среде кислотных природных растворов в первую очередь высокоподвижных элементов, таких как цинк, кадмий и медь, или концентрирования металлоидов переменной валентности (As, Sb) в восстановительных условиях.

Заключение

В процессе исследований проведен сравнительный анализ распределения токсичных элементов в природно-техногенных комплексах рудных месторождений Восточного Забайкалья.

Выявлено, что наибольшую экологическую опасность для природной среды представляют полиметаллические и оловополиметаллические месторождения. Установлено, что концентрации токсичных элементов в хвостохранилищах золоторудных и молибденовых месторождений относительно их содержаний в рудах в основном составляют 20–70%, полиметаллических месторождений – 0–10%, в редкометалльных месторождениях превышает 100%. Эти отличия объясняются особенностями минерального состава руд и технологиями их обогащения.

ЛИТЕРАТУРА

- Абдрахманов Р.Ф., Ахметов Р.М. Гидрогеохимия горнорудных районов // Геохимия. 2016. № 9. С. 829–840. DOI: 10.7868/S0016752516080021
- Абрамов Б.Н. Концентрации тяжелых металлов в техногенных ландшафтах Акатуевского полиметаллического месторождения (Восточное Забайкалье) // Вестник Воронежского государственного университета. География. Геоэкология. 2018. № 4. С. 67–71.
- Абрамов Б.Н., Цыренов Т.Г. Оценка экологической опасности на окружающую среду хвостохранилищ некоторых сульфидных месторождений Восточного Забайкалья // Успехи современного естествознания. 2019. № 5. С. 35–41. DOI: 10.18411/1681-7494-2019-5-35-41
- Абрамов Б.Н., Эпова Е.С., Манзырев Д.В. Геоэкологические проблемы отработки рудных месторождений золота в Восточном Забайкалье // География и природные ресурсы. 2019. № 2. С. 103–111. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-2(103-111)
- Винокуров С.Ф., Гурбанов А.Г., Богатиков О.А., Карамурзов Б.С., Газеев В.М., Лексин А.Б., Шевченко А.В., Долов С.М., Дударов З.И. Содержания, сезонные колебания и формы миграции макро- и микроэлементов в поверхностных водах в районе деятельности Тырныаузского вольфрамово-молибденового комбината (ТВМК) и прилегающих территорий (Кабардино-Балкарская Республика) и меры по восстановлению экологической среды // Доклады Академии наук. 2016. Т. 467, № 4. С. 436–467. DOI: 10.7868/S0869565216100224
- Витковский Ю.А., Михайлова Л.А., Бондаревич Е.А., Солодухина М.А., Эпова Е.С., Еремин О.В., Алексеева О.Г., Бурлака Н.М., Лапа С.Э., Барановская Н.В., Агеева Е.В. Влияние антропогенных геохимических факторов среды обитания на элементный статус детей п. Хапчеранга (Восточное Забайкалье) // Забайкальский медицинский вестник. 2018. № 2. С. 14–23.
- Войткевич Г.В., Мирошников А.Е., Поваренных А.С., Прохоров В.Г. Краткий справочник по геохимии. М.: Недра, 1977. 184 с.

Голева Р.В., Иванов В.В., Куприянова И.И., Маринов Б.Н., Новикова М.И., Шпанов Е.П., Шурига Т.Н. Экологическая оценка потенциальной токсичности рудных месторождений (методические рекомендации). М. : РИЦВИМС, 2001. 53 с.

Еремин О.В., Абрамов Б.Н. Распределение лантаноидов и иттрия в породах и карьерных водах Шерловгорского олово-полиметаллического месторождения (Восточное Забайкалье) // *Вода: химия и экология*. 2016. № 1 (91). С. 18–23.

Еремин О.В., Эпова Е.С., Юргенсон Г.А., Смирнова О.К. Прогноз геоэкологических последствий разработки месторождения вольфрама Бом-Горхон (Забайкалье) // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2014. Т. 22, № 2. С. 125–131.

Михайленко В.Н. Проблема техногенных отходов горного производства в России // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2006. № 2. С. 121–123.

Михайлютина С.И. Комплексная эколого-геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами компонентов природной среды горнорудных поселений Восточного Забайкалья : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2007. 21 с.

Мязин В.П., Михайлютина С.И. Комплексная оценка техногенного загрязнения почв и продуктов питания тяжелыми металлами при размещении хвостохранилищ в Восточном Забайкалье // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2006. № 9. С. 164–170.

Птицын А.Б. Проблемы освоения техногенных месторождений Забайкалья // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*. 2014. № S3-2. С. 128–130.

СанПиН № 2.1.7.1287-03 «Санитарно-Эпидемиологические требования к качеству почвы». URL: <http://docs.cntd.ru/document/901859456> (дата обращения: 26.02.2020).

Харитонов Ю.Ф., Васильев Д.А. и др. Эколого-экономическая оценка горнопромышленного комплекса Читинской области // *Ресурсы Забайкалья. Спец. вып.* Чита, 2002. С. 42–47.

Эпова Е.С., Солодухина М.А., Еремин О.В., Михайлова Л.А., Алексеева О.Г., Бурлака Н.М., Лапа С.Э. Мониторинг содержания мышьяка, свинца, кадмия, цинка и меди в компонентах окружающей среды населенного пункта Шерловая Гора (Восточное Забайкалье) // *Гигиена и санитария*. 2020. № 99(2). С. 210–216.

Эпова Е.С., Юргенсон Г.А., Еремин О.В. Экспериментальное моделирование процессов выщелачивания руд месторождения Любовь (Забайкалье) // *Доклады академии наук*. 2019. Т. 486, № 4. С. 469–474. DOI: 10.31857/S0869-56524864469-474

Юргенсон Г.А. Геологические исследования и горнопромышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300-летию основания Приказа рудокопных дел. Новосибирск : Наука, 1999. 574 с.

Ahn Y., Yun H., Pandi K., Park S., Ji M., Choi J. Heavy metal speciation with prediction model for heavy metal mobility and risk assessment in mine-affected soils // *Environmental science and pollution research international*. 2020. V. 27(3). P. 3213–3223. DOI: 10.1007/s11356-019-06922-0

Daniell A., Malo D.S., Van Deventer P.W. Monitoring the pollution effects from a gold tailing storage facility on adjacent land through Landscape Function Analysis // *Environmental earth sciences*. 2019. V. 78 (3, 82). 14 p. DOI: 10.1007/s12665-019-8095-5

Dold B. Evolution of Acid Mine Drainage Formation in Sulphidic Mine Tailings // *Minerals*. 2014. V. 4 (3). P. 621–641. DOI: 10.3390/min4030621

Elghali A., Benzaazoua M., Bussière B., Kennedy C., Parwani R., Graham S. The role of hardpan formation on the reactivity of sulfidic mine tailings: A case study at Joutel mine (Québec) // *Science of the Total Environment*. 2019. V. 654. P. 118–128. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.066

Gutiérrez M., Qiu X., Collette Z. J., Lurvey Z. T. Metal Content of Stream Sediments as a Tool to Assess Remediation in an Area Recovering from Historic Mining Contamination // *Minerals*. 2020. V. 10 (247). 12 p. DOI:10.3390/min10030247

Hani A.Q., Begday I.V., Katorgin I.Y., Shkarlet K.Y., Kharin K.V., Bluzhina A.S., Likhovid A.A. Assessment of Metals Pollution from Tailing Sites in the North Caucasus Region, Russia // *Mine Water and the Environment*. 2018. V 37 (4). P. 815–824. DOI: 10.1007/s10230-018-0545-x

Jelenová H., Majzlan J., Amoako F.J., Drahota P. Geochemical and mineralogical characterization of the arsenic-, iron-, and sulfur-rich mining waste dumps near Kaňk, Czech Republic // *Applied Geochemistry*. 2018. V. 97. P. 247–255. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.08.029

Khoern K., Sasaki A., Tomiyama S., Igarashi T. Distribution of Zinc, Copper, and Iron in the Tailings Dam of an Abandoned Mine in Shimokawa, Hokkaido, Japan // *Mine water and the environment*. 2019. V. 38 (1). P. 119–129. DOI: 10.1007/s10230-018-0566-5

Lu J., Lu H., Lei K., Wang W., Guan Y. Trace metal element pollution of soil and water resources caused by small-scale metallic ore mining activities: a case study from a sphalerite mine in North China // *Environmental science and pollution research*. 2019. V. 26 (24). P. 24630–24644. DOI: 10.1007/s11356-019-05703-z

Montes-Avila I., Espinosa-Serrano E., Castro-Larragoitia J., Lázaro I., Cardona A. Chemical mobility of inorganic elements in stream sediments of a semiarid zone impacted by ancient mine residues // *Applied Geochemistry*. 2019. V. 100. P. 8–21. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.11.002

Rzyski P., Klimaszek P., Marszelewski W., Borowiak D., Mleczeek M., Nowiński K., Pius B., Niedzielski P., Poniedziałek B. The chemistry and toxicity of discharge waters from copper mine tailing impoundment in the valley of the Apuseni Mountains in Romania // *Environmental science and pollution research*. 2017. V. 24 (26). P. 21445–21458. DOI: 10.1007/s11356-017-9782-y

Saljnikov E., Mrvic V., Čakmak D., Jaramaz D., Perović V., Antić -Mladenović S., Pavlović P. Pollution indices and sources appointment of heavy metal pollution of agricultural soils near the thermal power plant // *Environmental geochemistry and health*. 2019. V. 41 (5). P. 2265–2279. DOI: 10.1007/s10653-019-00281-y

Shahhosseini M., Ardejani F.D., Amini M., Ebrahimi L. The spatial assessment of acid mine drainage potential within a low-grade ore dump: the role of preferential flow paths // *Environmental earth sciences*. 2020. V. 79 (3,28). 25 p. DOI: 10.1007/s12665-019-8782-2

Авторы:

Абрамов Баир Намжилович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: b-abramov@mail.ru

Еремин Олег Вячеславович, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, лаборатория геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: yeroleg@yandex.ru

Филенко Роман Андреевич, научный сотрудник, лаборатория геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: filrom@yandex.ru

Цыренов Тимур Гармажапович, аспирант 2-го года обучения, младший научный сотрудник, лаборатория геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: master.of.pistols@mail.ru

Geosphere Research, 2020, 2, 64–75. DOI: 10.17223/25421379/15/5

B.N. Abramov, O.V. Eremin, R.A. Filenko, T.G. Tsyrenov

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

ASSESSMENT OF POTENTIAL ENVIRONMENTAL HAZARDS OF NATURAL AND MAN-MADE COMPLEXES OF ORE DEPOSITS (EASTERN TRANSBAIKALIA, RUSSIA)

The analysis of chemical elements distribution in the main components of natural and technological complexes of ore deposits of Eastern Transbaikalia, including their concentrations in productive ore associations and tailing dumps technozems, was performed.

As technogenic objects in the current research the territories changed as a result of mining and processing plants activity at the worked out and operating deposits are considered. Potential toxicity of tailing dumps technozems of different types of deposits was calculated. The actual material was obtained during the research on the basic projects of the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of SB RAS from 2000 to 2018. In addition, published data and materials from the territorial geological funds (Chita) were used. X-ray fluorescent method was used to determine concentrations of chemical elements in the analytical laboratories of the Geological Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Ulan-Ude), ICP-MS CJSC "SGS Vostok Limited" (Chita). Among toxic elements of the first grade, increased arsenic concentrations pose a serious hazard. Thus, As concentrations in technozems of Blagodatsky polymetallic deposit are 9078 ppm, Akatuevsky polymetallic deposit – 8 759 ppm, Lubavinsky gold deposit – 1 860 ppm. Comparative analysis of concentrations of toxic elements in technozems of tailing dumps with respect to their content in ores in different types of deposits has significant differences. Concentrations of toxic elements in the tailings dumps of gold and molybdenum deposits with respect to their content in the ores are mainly 20-70%, polymetallic locations 0-10%, in rare metal deposits exceeds 100%. These differences are explained by the peculiarities of the mineral composition of ores and technologies of ore processing in mining and processing plants. It has been revealed that polymetallic and tin polymetallic deposits pose the greatest ecological hazard to the natural environment. So, calculation of toxicity of technozems has shown, that among ore deposits of Eastern Transbaikalia, the most ecological danger is characterized by tailing dumps of Blagodatsky (G_{Er} = 74441) and Akatuevsky (G_{Er} = 61803) polymetallic deposits. Among the reviewed deposits, the least environmental hazard is represented by rare metal and tungsten tailings dumps. Thus, toxicity of technozems of Orlovsky deposit is (G_{Er} = 362), Malo-Kulinsky deposit (G_{Er} = 388).

Keywords: types of deposits, tailings, technozems, toxic elements, environmental hazard, Eastern Transbaikalia.

References

- Abdrakhmanov R.F., Akhmetov R.M. Hydrogeochemistry at mining districts // *Geochemistry International*. 2016. V. 54. № 9. pp. 795–806. DOI: 10.1134/S0016702916080024
- Abramov B.N. *Kontsentratsii tyazhelykh metallov v tekhnogennykh landshaftakh Akatuevskogo polimetallichesкого mestorozhdeniya (Vostochnoe Zabaykal'e)* [The concentrations of heavy metals in the Akatuevskoye polymetallic deposit technogenic landscapes (Eastern Transbaikalia)] // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta: Geografiya. Geoekologiya*. 2018. № 4. pp. 67–71. In Russian.
- Abramov B.N., Tsyrenov T.G. *Otsenka ekologicheskoy opasnosti na okruzhayushchuyu sredu khvostokhranilishch nekotorykh sulfidnykh mestorozhdeniy Vostochnogo Zabaykal'ya* [Environmental hazard assessment on the environment of tailings of some sulfide deposits of Eastern Transbaikalia] // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2019. № 5. pp. 35–41. DOI: 10.18411/1681-7494-2019-5-35-41. In Russian.
- Abramov B.N., Epova E.S., Manzyrev D.V. Geoecological problems of mining gold ore deposits in Eastern Transbaikalia // *Geography and natural resources*. 2019. № 2. pp. 110–113. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-2(103-111). In Russian.
- Vinokurov S.F., Gurbanov A.G., Bogatkov O.A., Karamurzov B.S., Gazeev V.M., Leksin A.B., Shevchenko A.V., Dolov S.M., Dudarov Z.I. Contents, seasonal variations, and forms of migration of major and minor elements in surface waters in the area of the Tyryauz tungsten–molybdenum combine (TTMC) and adjacent areas (Kabardino-Balkarian Republic, Russian Federation) and actions for recovery of the ecological environment // *Doklady earth sciences*. 2016. V. 467. № 4. pp. 436–467. DOI: 10.1134/S1028334X16040073
- Vitkovskiy Yu.A., Mikhaylova L.A., Bondarevich E.A., Solodukhina M.A., Epova E.S., Eremin O.V., Alekseeva O.G., Burlaka N.M., Lapa S.E., Baranovskaya N.V., Ageeva E.V. *Vliyaniye antropogennykh geokhimicheskikh faktorov sredi obitaniya na elementnyy status detey p. Khapcheranga (Vostochnoe Zabaykal'e)* [Hygienic characteristics of geochemical status influence on elemental status of child population of Sherlovaya Gora village (Eastern Transbaikalia)] // *Zabaykal'skiy meditsinskiy vestnik*. 2018. №2. pp 14–23. In Russian.
- Voytkovich G.V., Miroshnikov A.E., Povarennykh A.S., Prokhorov V.G. *Kratkiy spravochnik po geokhimii* [Geochemistry Quick Guide]. Moscow: «Nedra», 1977. 184 p. In Russian.
- Goleva R.V., Ivanov V.V., Kupriyanova I.I., Marinov B.N., Novikova M.I., Shpanov E.P., Shuriga T.N. *Ekologicheskaya otsenka potentsial'noy toksichnosti rudnykh mestorozhdeniy (metodicheskie rekomendatsii)* [Environmental assessment of potential toxicity of ore deposits (methodological recommendations)]. Moscow: «RITSVIMS», 2001. 53 p. In Russian.
- Eremin O.V., Abramov B.N. *Raspreделение lantanoidov i ittriya v porodakh i kar'ernykh vodakh Sherlovogorskogo olovo-polimetallichesкого mestorozhdeniya (Vostochnoe Zabaykal'e)* [The distribution of lanthanides and yttrium in the rocks and quarry

waters of Sherlovogorskoe tin-polymetallic deposit (Eastern Transbaikalia)] // Voda: khimiya i ekologiya. 2016. № 1(91). pp. 18–23. In Russian.

Eremin O.V., Epova E.S., Yurgenson G.A., Smirnova O.K. Prognosis of Geoecological Consequences of Development of Deposits of the Bom-Gorkhon Tungsten Deposit (Transbaikalia) // Chemistry for sustainable development. 2014. V. 22. № 2. pp. 123–129. In Russian.

Mikhailenko V.N. Problema tekhnogennykh otkhodov gornogo proizvodstva v Rossii // [The problem of technogenic wastes of mining production in Russia] // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2006. № 2. pp. 121–126. In Russian.

Mikhailutina S.I. Kompleksnaya ekologo-geokhimicheskaya otsenka zagryazneniya tyazhelymi metallami komponentov pri-rodnoy sredy gornorudnykh poseleniy Vostochnogo Zabaykal'ya: avtoreferat dissertatsii [Complex ecological and geochemical assessment of heavy metal pollution of environmental components of mining settlements in Eastern Transbaikalia: dissertation abstract]. Irkutsk, 2007. 21 p. In Russian.

Myazin V.P., Mikhailutina S.I. Kompleksnaya otsenka tekhnogennoy zagryazneniya pochv i produktov pitaniya tyazhelymi metallami pri razmeshchenii khvostokhranilishch v Vostochnom Zabaykal'e [Complex assessment of technogenic pollution of soils and foodstuffs with heavy metals at the location of tailing dumps in Eastern Transbaikalia] // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2006. № 9. pp. 164–170. In Russian.

Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve dalee - normativy, razrabotannyye v sootvetstviy s Federal'nym zakonom ot 30.03.1999 N 52-FZ "O sanitarno-epidemiologicheskoy blagopoluchii naseleniya" (Sobranie zakonodatel'stva Rossiyskoy Federatsii). [Maximum Permissible Concentrations (MPC) of chemical substances in soil are further standards developed in accordance with the Federal Law of 30.03.1999 N 52-FZ "On Sanitary and Epidemiological Well-being of Population" (Collection of Legislation of the Russian Federation)]. URL: <http://www.dioxin.ru/doc/gn2.1.7.2041-06.htm> (date of address: 05.03.2020). In Russian.

Ptitsyn A. B. Problemy osvoeniya tekhnogennykh mestorozhdeniy Zabaykal'ya [Problems of technogenic deposits development in Transbaikalia] // Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri. 2014. № S3-2. pp. 128–130. In Russian.

SanPiN № 2.1.7.1287-03 «Sanitarno-Epidemiologicheskie trebovaniya k kachestvu pochvy» [SanPiN No. 2.1.7.1287-03 "Sanitary and epidemiological requirements for soil quality"]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901859456> (date of address: 26.02.2020). In Russian.

Kharitonov Yu.F., Vasiliev D.A. et al. Ekologo-ekonomicheskaya otsenka gornopromyshlennogo kompleksa Chitinskoy oblasti [Ecological and economic assessment of the mining complex of Chita region] // Resursy Zabaykal'ya. Spets.vyp. 2002. pp. 42–47. In Russian.

Epova E. S., Solodukhina M. A., Eremin O. V., Mikhailova L. A., Alekseeva O. G., Burlaka N. M., Lapa S. E. Monitoring sodержaniya mysh'yaka, svintsya, kadmiya, tsinka i medi v komponentakh okruzhayushchey sredy naselennogo punkta Sherlovaya Gora (Vostochnoe Zabaykal'e) [Monitoring of arsenic, lead, cadmium, zinc and copper content in environmental components of Sherlovaya Gora settlement (Eastern Transbaikalia)] // Gigiena i sanitariya. 2020. № 99(2). pp. 210–216. In Russian.

Epova E.S., Yurgenson G.A., Eremin O.V. Experimental simulation of processes of ore leaching from Lyubov deposit (Transbaikalian region) // Doklady earth sciences. 2019. V. 486. № 2. pp. 647–650. DOI: 10.1134/S10283334X19060023

Yurgenson G. A. Geologicheskie issledovaniya i gorno-promyshlennyy kompleks Zabaykal'ya: Istoriya, sovremennoe sostoyanie, problemy, perspektivy razvitiya. K 300-letiyu osnovaniya Priказа rudokopnykh del [Geological researches and mining industrial complex of Transbaikalia: History, current state, problems, prospects of development. To the 300th anniversary of the foundation of the Order of Mining]. Novosibirsk: «Nauka», 1999. 574 p. In Russian.

Ahn Y., Yun H., Pandi K., Park S., Ji M., Choi J. Heavy metal speciation with prediction model for heavy metal mobility and risk assessment in mine-affected soils // Environmental science and pollution research international. 2020. V. 27(3). pp. 3213–3223. DOI: 10.1007/s11356-019-06922-0

Daniell A., Malo D.S., Van Deventer P.W. Monitoring the pollution effects from a gold tailing storage facility on adjacent land through Landscape Function Analysis // Environmental earth sciences. 2019. V. 78(3, 82). 14 p. DOI: 10.1007/s12665-019-8095-5.

Dold B. Evolution of Acid Mine Drainage Formation in Sulphidic Mine Tailings // Minerals. 2014. V. 4(3). pp. 621–641. DOI: 10.3390/min4030621

Elghali A., Benzaazoua M., Bussière B., Kennedy C., Parwani R., Graham S. The role of hardpan formation on the reactivity of sulfidic mine tailings: A case study at Joutel mine (Québec) // Science of the Total Environment. 2019. V. 654. pp. 118–128. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.066

Gutiérrez M., Qiu X., Collette Z. J., Lurvey Z. T. Metal Content of Stream Sediments as a Tool to Assess Remediation in an Area Recovering from Historic Mining Contamination // Minerals. 2020. V. 10(247). 12 p. DOI:10.3390/min10030247

Hani A.Q., Begday I.V., Katorgin I.Y., Shkarlet K.Y., Kharin K.V., Bluzhina A.S., Likhovid A.A. Assessment of Metals Pollution from Tailing Sites in the North Caucasus Region, Russia // Mine Water and the Environment. 2018. V. 37(4). pp. 815–824. DOI: 10.1007/s10230-018-0545-x

Jelenová H., Majzlan J., Amoako F.J., Drahota P. Geochemical and mineralogical characterization of the arsenic-, iron-, and sulfur-rich mining waste dumps near Kaňk, Czech Republic // Applied Geochemistry. 2018. V. 97. pp. 247–255. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.08.029

Khoern K., Sasaki A., Tomiyama S., Igarashi T. Distribution of Zinc, Copper, and Iron in the Tailings Dam of an Abandoned Mine in Shimokawa, Hokkaido, Japan // Mine water and the environment. 2019. V. 38 (1). pp. 119–129. DOI: 10.1007/s10230-018-0566-5

Lu J., Lu H., Lei K., Wang W., Guan Y. Trace metal element pollution of soil and water resources caused by small-scale metallic ore mining activities: a case study from a sphalerite mine in North China // Environmental science and pollution research. 2019. V. 26(24). pp. 24630–24644. DOI: 10.1007/s11356-019-05703-z

Montes-Avila I., Espinosa-Serrano E., Castro-Larragoitia J., Lázaro I., Cardona A. Chemical mobility of inorganic elements in stream sediments of a semiarid zone impacted by ancient mine residues // Applied Geochemistry. 2019. V. 100. pp. 8–21. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.11.002

Rzymiski P., Klimaszyk P., Marszelewski W., Borowiak D., Mleczek M., Nowiński K., Pius B., Niedzielski P., Poniedziałek B. The chemistry and toxicity of discharge waters from copper mine tailing impoundment in the valley of the Apuseni Mountains in Romania // Environmental science and pollution research. 2017. V. 24(26). pp. 21445–21458. DOI: 10.1007/s11356-017-9782-y

Saljnikov E., Mrvic V., Čakmak D., Jaramaz D., Perović V., Antić-Mladenović S., Pavlović P. Pollution indices and sources appointment of heavy metal pollution of agricultural soils near the thermal power plant // *Environmental geochemistry and health*. 2019. V. 41 (5). pp. 2265–2279. DOI: 10.1007/s10653-019-00281-y

Shahhosseini M., Ardejani F.D., Amini M., Ebrahimi L. The spatial assessment of acid mine drainage potential within a low-grade ore dump: the role of preferential flow paths // *Environmental earth sciences*. 2020. V. 79 (3, 28). 25 p. DOI: 10.1007/s12665-019-8782-2

Authors:

Abramov Bair N., Dr Sci. (Geol.-Miner), Leading Researcher, Laboratory of Geochemistry and Oreogenesis, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Chita, Russia.

E-mail: b-abramov@mail.ru

Eremin Oleg V., Cand. Sci. (Geol.-Miner), Researcher, Laboratory of Geochemistry and Oreogenesis, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Chita, Russia.

E-mail: yeroleg@yandex.ru

Filenko Roman A., Researcher, Laboratory of Geochemistry and Oreogenesis, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Chita, Russia.

E-mail: filrom@yandex.ru

Tsyrenov Timur G., postgraduate student 2-year, Junior Researcher, Laboratory of Geochemistry and Oreogenesis, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. Chita, Russia.

E-mail: master.of.pistols@mail.ru

УДК 551.468.3+504.064

РТУТЬ В ДОННЫХ ОСАДКАХ АКВАТОРИИ И В УСТЬЯХ РЕК: КАЛИНИНГРАДСКИЙ ЗАЛИВ

Н.А. Богданов¹, Б.В. Ермолаев², О.В. Басс³, А.Н. Паранина⁴

¹ Институт географии РАН, Москва, Россия

² Геологический институт РАН, Москва, Россия

³ Институт природопользования, территориального развития и градостроительства им. И. Канта, Калининград, Россия

⁴ Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия



Исследовано распределение Hg в донных наносах устьев рек, на открытой акватории российского сектора Вислинской лагуны – в Калининградском заливе, и в изолированном от него островами одноименном морском канале. Установлено: от весны к осени активизация штормов и сгонно-нагонных явлений в лагуне, усиление промывного режима русел обеспечивают в устьях рек существенное снижение, а в динамически ослабленных условиях канала – увеличение количества Hg, которое за прошедшие 20 лет возросло с 0,023 до 0,082 мг/кг. Однако безопасный уровень содержания Hg (0,3 мг/кг) за период 2000–2019 гг. в обследованных водных объектах еще не превышен максимальными концентрациями металла (до 0,261 мг/кг).

Ключевые слова: ртуть, методы определения, изменчивость содержания, донные осадки, Калининградский залив.

Введение

Важность контроля в биосфере такого опасного токсиканта, как *ртуть* трудно переоценить. Особенно актуален мониторинг в динамически неоднородных зонах открытой акватории внутренних, пограничных с другими странами, ресурсозначимых водоемов и в устьях впадающих рек. Донные отложения как депонирующая среда являются важным индикатором долговременного экологического состояния водного объекта. Примером служит Калининградский залив или российский сектор Вислинской лагуны, отчлененной от Балтийского моря одноименной пересыпью (Балтийская коса – в России).

Государственная сеть контроля качества поверхностных вод суши в Калининградской области охватывает всего лишь 13 пунктов (18 створов). Гидрохимический мониторинг акватории залива отсутствует с 1989 г. Ежемесячные рейдовые полуночные наблюдения проводились литовским отделением Госкомгидромет СССР в эстуарии Калининградского залива и в бухте Приморской на 15 фиксированных станциях контроля. Качество состояния донных отложений не оценивалось. В последние десятилетия оценки загрязнения российского сектора лагуны носят фрагментарный характер (по продолжительности, периодичности измерений и площади обследования). Они проводятся с разными целями различными организациями (2000–2015 гг.: АтлантНИРО, ГеоГидроБалт (Калининград), Эколого-аналитический центр (Москва), ЦЭИ-ЭНЕРГО (Санкт-Петербург) и др.). Результаты оценок не передаются в Мировой центр океанографических данных (г. Обнинск) и малодоступны для широкого круга исследователей [Богданов, Басс, Воронцов, 2019].

Изменчивость концентраций ЗВ в донных наносах водоема исследована слабо [Экологические..., 1999, 2002; Богданов, Воронцов, Морозова, 2004; Об экологической..., 2018; Богданов, 2018; Янин, 2018; Bogdanov, 2018 и др.].

Цель работы – диагностика тенденций, опасности накопления и оценка достоверности методов определения *ртути* в донных осадках динамически разнородных участков акватории и в аллювии устьев рек, впадающих в Калининградский залив (рис. 1).

Мелководный (глубины до 5,5 м) Калининградский залив включает акватории: на СВ – эстуарная часть с палеоруслом и дельтой р. Преголя, Калининградским морским каналом (КМК, отделен от северных берегов залива искусственными намывными островами); на С – бухта Приморская; центральная и южная части – собственно лагуна (от г. Балтийск до Польши). Прибрежное пологоволнистое дно сложено лагунными средне- и мелкозернистыми кварцполевошпатовыми песками с незначительной примесью тяжелых минералов (монацит, циркон, апатит); с глубин 2–3 м дно переходит в плоскую поверхность, по оси которой прослеживается прорезь старого фарватера. С ростом глубины донные осадки замещаются заиленными (до 15–35%) обводненными (до 62%) алевритоглинистыми осадками темно-серого и черного цвета творожистой консистенции с включениями обломков и створок раковин моллюсков и с характерным запахом H_2S (восстановительные гидрохимические условия). Исследованы донные наносы: слой 0–0,1 м; мелко- и тонкозернистые пески, примеси гравия, алеврита, пелита; темноцветные илы с запахом H_2S ; устья основных рек (Мамоновка, Прохладная, Преголя, Гравевка, Нельма, Приморская); участки КМК (станции

№ 7, 8), а также в Приморской (напротив станции № 6) г. Светлый). Время обследований – летние периоды и эстуария залива (сектор между пос. Ушаково и 2000, 2001, 2015 и 2019 гг. (рис. 1, таблица).



Рис. 1. Станции отбора проб донных наносов: устья рек и КМК

Fig. 1. Sediment sampling stations: river mouths and KSC

Таблица

Условия седиментации, многолетняя и сезонная изменчивость и методы определения Hg в донных осадках устьев рек Прохладной, Граевки и в КМК

Table

Sedimentation conditions, long-term and seasonal variability, and methods for determining Hg in bottom sediments of the mouths of the rivers Prokhladnaya, Graevka, and KSC

Объект		Отбор проб		Hg, мг/кг	Метод	Состав наносов	Динамические условия седиментации (рис. 2)
		№ станции	год.месяц				
р. Прохладная		2	2000.06	0,016	ААС	Пески мелко- и тонкозернистые	Открытая акватория залива: входящий угол мола у пос. Ушаково, значительные сгонно-нагонные явления
			2001.06	0,010			
КМК, субширот- ный участок: по- селки Ижевское – Взморье	р. Граевка	4	2000.06	0,011 0,023	ААС	Пески мелкозерни- стые, примеси средне- и тонкозер- нистых частиц	Незначительные сгонно- нагонные явления; дина- мически ослабленная зона циркуляций в бухтах; пароходная волна, взму- чивание донных наносов турбулентциями от работы винтов плавсредств; пре- имущественный перенос вещества, энергии и ЗВ к востоку – в сторону устья р. Преголи
	пос. Ижевское: ниже устья р. Граевка, судовой ход, причалы	7	2000.08	0,077 0,136	ААС	Пески мелко- и тон- козернистые, приме- си черных творожи- стых илисто- глинистых осадков с запахом H ₂ S	
			2001.06	0,133			
	пос. Взморье: вдоль берега, причалы, су- довой ход	8	2000.08	0,023 0,096			
				0,008– 0,136			
				0,015– 0,216			
			2015.11 (6 проб)				
Фон			2000.06 2019.06	0,023– 0,082	Участки рек Деймы и Преголи, удаленные от крупных промышленных объектов и селитьбы		
Целевой безопасный уровень концентрации				0,3	Рекомендации и ориентировочные оценки эколого- гигиенической опасности для человека и экосистем: гол- ландские списки ЗВ, региональный норматив [Нормы..., 1996; СП 11-102-97..., 1997; Бессонов, Янин, 2005; Bakk et al., 2010; Bogdanov, 2018]		
Минимально опасная концентрация с токсикологиче- скими рисками (срочная ремедиация)				10			

Примечание. ААС – атомно-абсорбционная спектрометрия.

Note. AAC – atomic absorption spectrometry.

Методы

Пробы донных осадков отбирались с борта маломерных плавсредств песчано-галечным стругом, грунтовой трубкой, грейферным дночерпателем (объем 5 л) согласно требованиям ПНД Ф 12.1:2.2:2.2.3:3.2-03 Методические рекомендации по отбору проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод. Москва 2014. Поскольку толщина донных отложений в заливе не превышает 0,5 м, точечные пробы отбирались в одном слое. Пробы массой не менее 500 см³ помещали в пластиковую емкость с пробкой. Далее пробы хранились в холодильнике. На стационарной базе пробы сушились при комнатной температуре в затемненных условиях. После перемешивания образцы ситовались через сито 1 мм. Готовая навеска пробы массой 100 г паковалась в пластиковые пакеты с замком. Пробоподготовка и определения *Hg* выполнены аккредитованными лабораториями по метрологически аттестованным, но разным по точности методикам: а) высокочувствительная непламенная атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС) с применением техники «холодного пара» (2019 г., прибор «Юлия-5К» с пределом обнаружения (ПО) 0,005 мг/г); б) использование модифицированной схемы эффекта Зеемана и спектрометров «ИМГРЭ-900» (2000–2001 гг.), «РА-915+» (2015 г.). ПО = 0,001–0,005 мг/кг (2015 г.).

Официально утвержденные гигиенические или рыбохозяйственные нормативы содержания ЗВ в донных отложениях поверхностных водных объектов в пределах населенных мест в России отсутствуют. Ориентировочная диагностика эколого-гигиенической опасности накопления *Hg* осуществлена сравнением результатов определений с *фоновым* содержанием и *пороговыми уровнями* опасных концентраций: отечественный региональный и норвежский нормативы, голландские списки ЗВ (таблица) [Нормы..., 1996; СП 11-102-97..., 1997; Богданов, Воронцов, Морозова, 2004; Бессонов, Янин, 2005; Волох, Янин, 2005; Богданов, 2018; Bak et al., 2010; Bogdanov, 2018].

Результаты и обсуждение

Опасность накопления. Ртуть и ее соединения постоянно присутствуют в окружающей среде и в живых организмах [Лыжина и др., 2012; Kaim, Schwederski, 1994]. Они представляют собой высокотоксичные кумулятивные яды (токсиканты), поражающие жизненно важные органы и системы человека (кровенворная, ферментативная, нервная, почки) [Янин, 2005; Noelle, Selin, Elsie, 2010]. Метилированная форма ртути хорошо растворима в жирах и легко проникает сквозь биологические мем-

браны, плаценту, отрицательно воздействует на эмбрион и плод [Clarkson, Magos, 2006]. Поступившая в организм из окружающей среды ртуть накапливается преимущественно в крови, печени, почках, головном мозге и очень медленно выводится из организма. Острое отравление соединениями ртути приводит к летальному исходу уже через 5–6 дней. Недельная безопасная доза поступления общей ртути составляет 5 мкг на килограмм массы человеческого тела (метилртуть – 3,3 мкг/кг); токсическое действие возникает при поступлении 0,4 мг/сут (нормы установлены ФАО и ВОЗ). Основное воздействие связано с парами ртути и поступлением с продуктами питания, питьевой водой [Янин, 2005]. Так, вода и донные наносы, загрязненные ртутью и поглощаемые аквафлорой, бентосом и рыбами, по трофическим цепям попадают в организм человека, угрожая жизни и здоровью людей [Горбунов, Ляпунов, Ермолаев, 2019].

Источники *Hg*: разного рода твердые, жидкие, газообразные отходы; разливы на грунт и в водные объекты *Hg*-содержащих веществ на объектах промышленности, транспорта, сельского хозяйства, селитбы; выбросы установок по сжиганию топлива; трансграничные переносы ЗВ и др. Вторичная контаминация связана со взмучиванием и перераспределением загрязненных донных наносов плавсредствами [Экологические..., 1999, 2002; Богданов, Воронцов, Морозова, 2004; Бессонов, Янин, 2005; Богданов, 2018; Об экологической..., 2018; Bogdanov, 2018].

Условия и факторы накопления-рассеяния *Hg*. К основным из них, помимо наличия и особенностей функционирования источников, относятся гидрометеорологические и литодинамические условия: ветровой режим, сгонно-нагонные явления, прибрежная динамика вод и наносов, сорбционная способность донных осадков и взвесей; сезонные колебания водности рек и др. (рис. 2, таблица).

Обстановка для самоочищения рассматриваемых объектов становится благоприятной в осенне-зимний период, когда водность рек увеличивается, а прибрежная гидро- и литодинамика усиливается. Максимальные отметки уровня воды в заливе приходятся на сентябрь–февраль (>80% случаев; до +180 см 3–4.12.1999 г. при 3 и ЮЗ ветрах и –136 см 20.10.1989 г., В и СВ ветры). Энергетический потенциал морфо- и литодинамических процессов у берегов и в устьях рек на открытой акватории лагуны на несколько порядков выше, чем в КМК. На субширотном участке морского канала характерно формирование динамически застойных зон слабых циркуляций вод, наносов и накопления ЗВ (устье р. Граевка, бухты у поселков Ижевское, Взморье).

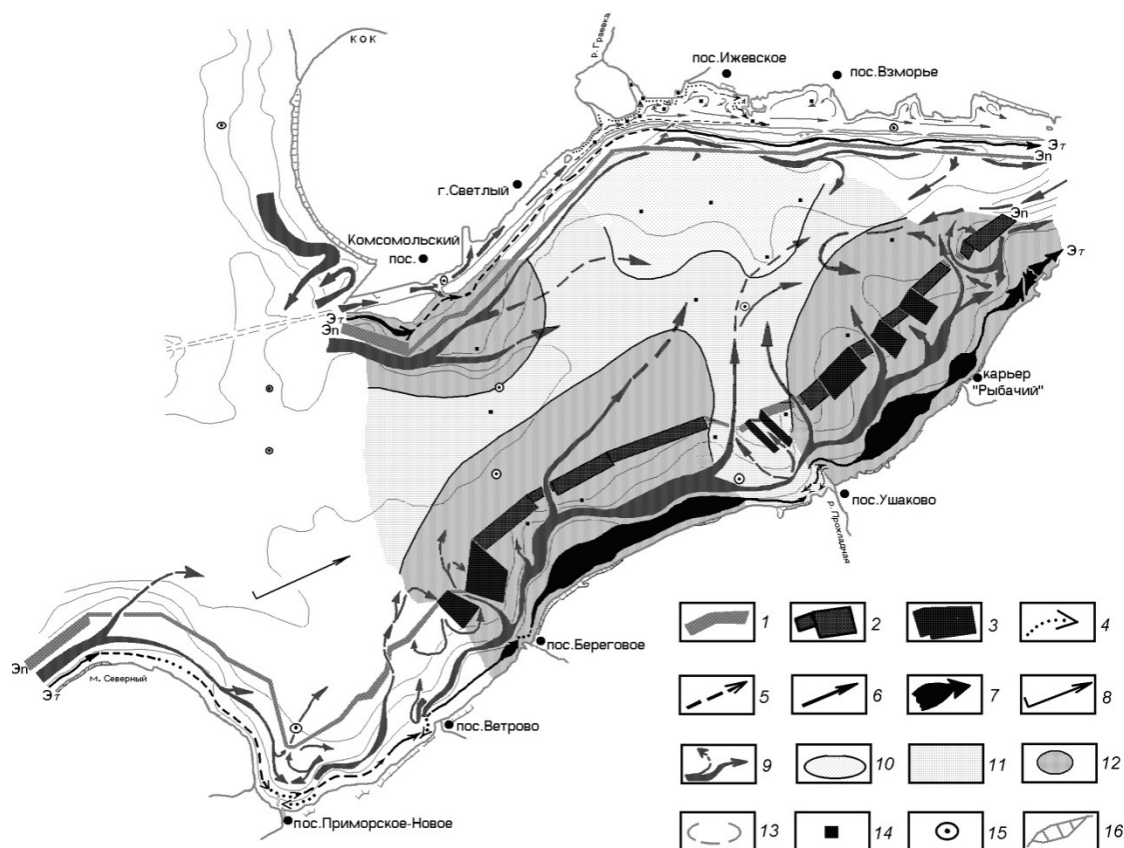


Рис. 2. Гидро- и литодинамика эстуария Калининградского залива [Богданов, Воронцов, Морозова, 2004]

Потоки волновой энергии, Т/с: 1, 2 и 3 – поперечные к берегу, $\Sigma_n = 1-500$, 501–1000 и 1001–1496 соответственно; 4, 5, 6 и 7 – вдольбереговые, $\Sigma\tau = 0,01-1,1$; 1,2–10; 11–50 и 51–104 соответственно; 8 – результирующая ветра направлением 242° повторяемостью 62% за период отбора проб соответствовала среднемуголетним параметрам (метеостанция «Калининград»); 9 – преобладающий перенос воды, взвесей и ЗВ; 10, 11 и 12 – взвешенные вещества, мг/л: 12–50, 51–100 и 101–231 соответственно; 13 – рельеф дна; 14–15 – точки отбора проб; 16 – уступы размыва берега

Fig. 2. Hydro- and lithodynamics of the estuary of the Kaliningrad Gulf [Bogdanov, Vorontsov, Morozova, 2004]

Wave energy fluxes, T/s: 1, 2 and 3 – transverse to the shore, $\Sigma_n = 1-500$, 501–1000 and 1001–1496 respectively; 4, 5, 6 and 7 – along-shore, $\Sigma\tau = 0,01-1,1$; 1,2–10; 11–50 and 51–104 respectively; 8 – the resulting wind direction of 242° with a repeatability of 62% for the sampling period corresponded to long-term average parameters (Kaliningrad weather station); 9 – the predominant transfer of water, suspensions and pollutants; 10, 11 and 12 – suspended solids, mg / l: 12–50, 51–100 and 101–231 respectively; 13 – bottom topography, 14–15 – sampling points; 16 – edges of erosion of the shore

Аналогичные особенности динамики характерны и для прилегающей к КМК северной части открытой акватории эстуария залива (рис. 2) [Богданов, Воронцов, Морозова, 2004; Экологические..., 1999; 2002].

Именно сезонным особенностям прибрежной динамики принимающего водоема, колебаниям водности и промывного режима русел впадающих водотоков принадлежит контролирующая роль в изменчивости концентраций ЗВ и Hg в донных наносах [Богданов, Басс, Воронцов, 2019].

Нормирование накопления ртути. В отечественном региональном нормативе [Нормы..., 1996; СП 11-102-97..., 1997] и в голландском списке ЗВ [Бессонов, Янин, 2005] уровни опасности практически совпадают, соответственно: $<0,3$ мг/кг – целевой уровень, не загрязненные донные отложения; 10 и

11,1 мг/кг – уровень вмешательства или опасное загрязнение. В норвежской системе нормирования – более жесткий подход к ранжированию уровней загрязнения: $<0,15$ мг/кг – фон; 0,15–0,63 мг/кг – удовлетворительный; 0,63–0,86 мг/кг – умеренный; 0,86–2 мг/кг – опасный («плохо», в исходной транскрипции) и $>1,6$ мг/кг – очень опасный («очень плохо») [Bakk et al., 2010].

Изменчивость содержания, тенденции и опасность накопления. В условиях осенне-зимней активизации сгонно-нагонных и волноприбойных явлений в устьях рек, впадающих в открытую акваторию лагуны, аллювий очищается от ЗВ. В нашем случае – от Hg.

В донных осадках бухт субширотного участка КМК превышение опасных уровней концентрации

Hg не зафиксировано (метод измерений – ААС) ни в 2000–2001 гг., ни в 2015 г., а в районе порта г. Светлый летом 2019 г. концентрации ртути снизились до 0,009 мг/кг против 0,140 мг/кг летом 2000 г. Наиболее вероятными причинами тому могут быть условия активного режима судоходства, периодические ремонтные дночерпания на фарватере по поддержанию рабочих глубин судового хода морского канала.

За период 2000–2019 гг. (методы определения – одинаковые: ААС) нами все же отмечены увеличения содержания, мг/кг: фон – в 3,6 раза (аллювий р. Дейма: с 0,023 до 0,082); в северном динамически застойном секторе эстуария залива – до 1,7 раза (с 0,090 до 0,155); по южной, динамически активной прибрежной зоне его акватории – до 1,4 (с 0,050 до 0,070). Незначительные накопления, сравнимые с ошибками определений (на величины 0,001–0,004 мг/кг), – по оси главного фарватера эстуария (зона противотечения со стороны устья р. Преголи).

Содержание Hg, определяемое методом ААС («холодного пара») с использованием ртутных анализаторов, было сравнимо между собой за разные годы в точках контроля, что свидетельствует об адекватности методов определения. Максимальных концентраций за рассматриваемый период контроля в рамках *удовлетворительных* условий *слабого загрязнения* достигло содержание ртути в осадках динамически застойных зон КМК, эстуария и в бухте Приморской (0,261, 0,155 и 0,252 мг/кг соответственно).

Экологическая обстановка по Hg в донных отложениях региона остается достаточно благополучной. Целевой уровень 0,3 мг/кг пока не превышен. Опасения вызывает возрастание за прошедшие 20 лет

концентраций ртути как на *фоне*, так и в *эстуарии* залива.

Заключение

В отношении изменчивости содержания Hg в аллювии устьев рек бассейна Вислинской лагуны можно выделить основные причины: открытость / изолированность принимающей акватории; сезонность гидрометеорологических, волно-энергетических и сгонно-нагонных явлений; водность и промывной режим русел рек. Осенне-зимняя активизация этих природных факторов обуславливает самоочищение аллювия в устьях рек открытых берегов лагуны.

Динамически ослабленные условия на участках акватории при значительном скоплении источников ЗВ способствуют современному накоплению Hg. Однако количество ее в донных наносах за период 2000–2019 гг. было ниже опасных пороговых уровней концентрации. Лишь в отдельных местах за последние 20 лет накопление ртути в донных осадках достигло *слабого уровня загрязнения*, но в пределах *целевого порога* – 0,3 мг/кг. Экологическая опасность на данном этапе накопления металла пока отсутствует.

Окончательное выяснение причин такого рода изменчивости и достоверности количества *ртути* в донных осадках требует проведения дополнительных исследований функционирования источников и условий накопления *ртути* с применением высокочувствительных методов анализа.

Работа выполнена по теме ГЗ № 0148-2019-0005, № АААА-А19-119021990091-4.

ЛИТЕРАТУРА

- Бессонов В.В., Янин Е.П. Способы оценки и ремедиации загрязненных ртутью городских почв // Ртуть. Проблемы геохимии, экологии, аналитики. М. : ИМГРЭ, 2005. С. 160–180.
- Богданов Н.А. Международный форум Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды: ключевые направления и основные итоги – 2017 // Астраханский вестник экологического образования. 2018. № 1 (43). С. 107–123.
- Богданов Н.А., Басс О.В., Воронцов А.В. Гидро- и литодинамический контроль химического загрязнения внутренних водоемов: Калининградский залив // Астраханский вестник экологического образования. 2019. № 1 (49). С. 14–39.
- Богданов Н.А., Воронцов А.А., Морозова Л.Н. Тенденции химического загрязнения и динамика Калининградского залива // Водные ресурсы. 2004. № 5 (31). С. 576–590.
- Волох А.А., Янин Е.П. Выявление техногенных аномалий ртути в реках с использованием термического атомно-абсорбционного анализа // Ртуть. Проблемы геохимии, экологии, аналитики. М. : ИМГРЭ, 2005. С. 126–133.
- Горбунов А.В., Ляпунов С.М., Ермолаев Б.В. Распределение ртути в природных и урбанизированных средах Карелии (DOI: 10.33396 / 1728-0869) // Экология человека. 2019. № 4. С. 10–17.
- Лыжина А.В., Бузинов Р.В., Унгурану Т.Н., Гудков А.Б. Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области // Экология человека. 2012. № 12. С. 3–9.
- Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга. Региональный норматив // Разработан ОАО «Ленморниипроект» по заказу Управления по охране окружающей среды мэрии Санкт-Петербурга. Введен в действие 22 июля 1996 г.
- Об экологической обстановке в Калининградской области в 2017 году: Государственный доклад. Калининград : Министерство природных ресурсов и экологии Калининград. обл., 2018. 201 с.
- ПНД Ф 12.1:2.2:2.2.3:2-03. Методические рекомендации по отбору проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод. М., 2014.

- СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. М. : ПНИИИС Госстроя России, 1997. 66 с.
- Экологические проблемы Калининградской области и Юго-Восточной Балтики. Калининград : КГУ, 1999. 104 с.
- Экологические проблемы Калининградской области и Балтийского региона. Калининград : КГУ, 2002. 230 с.
- Янин Е.П. Ртуть в России: ресурсы, производство, потребление // Ртуть. Проблемы геохимии, экологии, аналитики : сб. науч. трудов. М. : ИМГРЭ, 2005. С. 5–34.
- Янин Е.П. Техногенные речные илы (условия формирования, вещественный состав, геохимические особенности). М. : НП АРСО, 2018. 415 с.
- Bakk T., Kallqvist T., Ruus A., Hylland K., Breedveld G. Development of sediment quality criteria in Norway // J. Soils Sediments. 2010. V. 10 (2). P. 172–178. DOI: 10.1007/s11368-009-0173-v
- Bogdanov N.A. Heavy metals in soils as indicator of sanitary state of territories: monitoring of the south of Astrakhan region // J. of Health and Environ. Research. 2018. V. 4 (4). P. 119–129. DOI: 10.11648/j.jher.20180404.11.
- Clarkson T.W., Magos L. The toxicology of mercury and its chemical compounds // Crit. Rev. Toxicol. 2006. V. 36. P. 609–620.
- Kaim W., Schwederski B. Bioinorganic Chemistry: Inorganic Elements in the Chemistry of Life. Chichester : John Wile and Sons, 1994, 401 p.
- Selin N.E., Sunderland E.M., Knightes C.D., Mason R.P. Sources of Mercury Exposure for U. S. Seafood Consumers: Implications for Policy // Environ Health Perspect. 2010. Jan. V. 118 (1). P. 137–143.

Авторы:

Богданов Николай Александрович, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория геоморфологии, Институт Географии РАН, Москва, Россия.

E-mail: nabog@inbox.ru

Ермолаев Борис Владимирович, научный сотрудник, лаборатория химико-аналитических исследований, Геологический институт РАН, Москва, Россия.

E-mail: ermolaev-bv@mail.ru

Басс Олег Васильевич, кандидат географических наук, доцент, Институт природопользования, территориального развития и градостроительства им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: o.bass@mail.ru

Паранина Алина Николаевна, кандидат географических наук, доцент, кафедра физической географии и природопользования, факультет географии, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: galina_paranina@mail.ru

Geosphere Research, 2020, 2, 76–82. DOI: 10.17223/25421379/15/6

N.A. Bogdanov¹, B.V. Ermolaev², O.V. Bass³, A.N. Paranina⁴

¹ *Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

² *Geological Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

³ *Institute of Nature Management, Territorial Development and Urban Planning. I. Kant, Kaliningrad, Russia*

⁴ *Herzen State Pedagogical University, Saint-Petersburg, Russia*

MERCURY IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE SHIP CHANNEL AND RIVER MOUTHS: THE VISTULA LAGOON

The control of mercury in the biosphere is of lasting importance, as it is a toxicant of the first hazard class. Bottom sediments, as a depositing medium, are an important indicator of the long-term ecological state of a water body. In Russia, the hygienic standards for the content of pollutants in bottom sediments of surface water bodies within populated areas have not been approved. To diagnose Hg accumulation, we used comparisons of our results with the background content and threshold levels of hazardous concentrations. These are the domestic regional and Norwegian standards, the Dutch lists of pollutants.

The distribution of mercury in bottom silt-pelitic and fine and fine-grained sands of dynamically heterogeneous zones of the Kaliningrad Gulf, in the Kaliningrad Sea Canal (KSC) is related to the open water area and in river mouths that flow into this Russian sector of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea, was investigated. Peculiarities of accumulation - mercury scattering are traced for the period 2000–2019. Hg determinations were carried out by accredited laboratories using metrologically certified, but different in accuracy methods: 1) highly sensitive flameless atomic absorption spectrometry (AAS) using the “cold steam” technique (Julia-5K instrument with a detection limit of 0.005 mg/g), 2) using a modified scheme of the Zeeman effect and mercury spectrometers (detection limits Hg = 0.001–0.005 mg/kg).

It has been established: from spring to autumn, the activation of storms and surges in the lagoon, the strengthening of the leaching regime of the channels provide a significant decrease in river mouths, and in the dynamically weakened conditions of the Kaliningrad Sea Canal, an increase in the amount of mercury. The use of the IVA method has led to significant overestimation of the mercury content. In bays of the navigable sea channel, in dynamically problematic areas of the estuary of the gulf and the Primorskaya Bay, and also against the background (alluvium of the Daima River) over a 20-year period, metal accumulated in bottom sediments (up to 0.155–0.261 mg/kg; determination method - AAS). Against the background, the concentration increased by 3.6 times (from 0.023 to 0.082 mg/kg). In the dynamically weakened and active zones of the estuary – 1.7 and 1.4 times, respectively (from 0.90 to 0.155 mg/kg and from 0.050 to 0.070 mg/kg, respectively). The process ensured a transition from predominantly background accumulation of mercury (<0.15 mg/kg) to satisfactory conditions of a weak level of their pollution with the toxicant of bottom sediments. However, the safe target level of Hg = 0.3 mg/kg is still not exceeded and the current environmental and epidemiological situation regarding the mercury content in the component of surface water bodies that deposit pollutants in the region can be considered successful.

Comparison of the results of mercury determinations by different methods indicates the inadmissibility of using low-sensitivity analysis methods for this purpose (inversion voltammetry). The indisputable priority in analytics belongs to the high-precision method of atomic absorption spectrometry using the technique of “cold vapor” and mercury spectrometers.

Keywords: mercury, variability, alluvium, bottom sediments, Vistula lagoon.

References

- Bessonov V.V., Yanin E.P. *Sposoby otsenki i remeditatsii zagraznennykh rtsut'yu gorodskikh pochv* [Mercury. Methods for assessment and remediation of mercury-contaminated urban soils] // *Rtut'*. Problemy geohimii i ekologii, analitiki. Moscow: «IMGRE», 2005. pp. 160–180. In Russian
- Bogdanov N.A. *Mezhdunarodnyy Forum Nauchnogo soveta Rossiyskoy Federatsii po ekologii cheloveka i gigiyene okruzhayushchey sredy: klyuchevyye napravleniya i osnovnyye itogi – 2017*. [International Forum of the Scientific Council of the Russian Federation on human ecology and environmental hygiene: key areas and main results] // *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2018a. № 1(43). pp. 107–123. In Russian
- Bogdanov N.A., Bass O.V. *Izmenchivost' soderzhaniya rtuti v donnykh otlozheniyakh ust'yev rek basseyna Vislinskoy laguny i v Kaliningradskom morskoy kanale* [Variability of mercury content in bottom sediments of the mouths of the rivers of the basin of the Vistula lagoon and Kaliningrad sea channel] // *Geografiya: razvitiyenuki obrazovaniya*. T. 2 / by Ed. S.I. Bogdanov, D.A. Subetto, A.N. Paranina. St. Petersburg: «RSPU of name A.I. Herzen publishing house», 2019. pp. 43–49. In Russian
- Bogdanov N.A., Bass O.V., Vorontsov A.A. *Gidro- i litodinamicheskii kontrol' khimicheskogo zagryazneniya vnutrennikh vodoyemov: Kaliningradskiy zaliv* [Hydro- and lithodynamic control of chemical pollution of inland waters: Kaliningrad Bay] // *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2019. № 1(49) pp. 14–39. In Russian
- Bogdanov N.A., Vorontsov A.A., Morozova L.N. *Tendentsii khimicheskogo zagryazneniya dinamika i Kaliningradskogo zaliva* [Trends of chemical pollution and the dynamics of the Vistula Lagoon] // *Vodnyy resursy*. 2004. № 5(31). pp. 576–590. In Russian
- Volokh A.A., Yanin E.P. 2005. Detection of man-made anomalies of mercury in rivers using thermal atomic absorption analysis // *Rtut'*. Problemy geohimii, ekologii, analitiki. Moscow: «IMGRE», 2005. pp. 126–133. In Russian
- Gorbunov A.V., Lyapunov S.M., Ermolaev B.V. *Raspredeleniye rtuti v prirodnykh i urbanizirovannykh sredakh Karelii. Severo-Zapad Rossii* [Distribution of Mercury in Natural and Urban Environments of Karelia, Northwest Russia]. *Ekologiyacheloveka*. 2019. № 4. pp. 10–17. In Russian
- Lyzhina A.V., Buzinov R.V., Unguryanu T.N., Gudkov A.B. *Khimicheskoye zagryazneniye produktov pitaniya i ego vliyaniye na zdorov'ye naseleniya Arkhangel'skoy oblasti* [Chemical contamination of food and its impact on the health of the population of the Arkhangelsk region] // *Ekologiya cheloveka*. 2012. № 12. pp. 3–9. In Russian
- Normy i kriterii otsenki zagryaznenosti donnykh otlozheniy v vodnykh ob'yektakh Sankt-Peterburga. Regional'nyy normative* [Norms and criteria for assessing the pollution of bottom sediments in water bodies of St. Petersburg. Regional standard] // Developed by «Lenmorniproekt» OJSC by order of the Department of Environmental Protection of St. Petersburg City Hall. Effective July 22, 1996. In Russian
- Ob ekologicheskoy obstanovke v Kaliningradskoy oblasti v 2017 godu: Gosudarstvennyy doklad* [On the environmental situation in the Kaliningrad region in 2017: State Report]. Kaliningrad: «Ministry of Natural Resources and Ecology of the Kaliningrad Region», 2018. 201 p. In Russian
- SP 11-102-97. Inzhenerno-ekologicheskoye izyskaniya dlya stroitel'stva* [SP 11-102-97. Engineering and environmental surveys for construction]. Moscow: «PNIIS Gosstroy of Russia», 1997. 66 p. In Russian
- Ekologicheskoye problem Kaliningradskoy oblasti Yugo-Vostochnoy Baltiki* [Environmental problems of the Kaliningrad region and the South-Eastern Baltic]. Kaliningrad: «KSU publishing house». 1999. 230 p. In Russian
- Ekologicheskoye problemy Kaliningradskoy oblasti Baltiyskogo regiona* [Environmental problems of the Kaliningrad region and the Baltic region]. Kaliningrad: «KSU publishing house», 2002. 104 p. In Russian
- Yanin E.P. *Rtut' v Rossii: resursy, proizvodstvo, potrebleniye* [Mercury in Russia: Resources, Production, Consumption] // *Rtut'*. Problemy geohimii, ekologii, analitiki. Moscow: «IMGRE», 2005. pp. 5–34.
- Yanin E.P. *Tekhnogennyye rechnye ily (usloviya formirovaniya, veshchestvennyy sostav, geokhimicheskie osobennosti)* [Technogenic river silts (formation conditions, material composition, geochemical features), Moscow. NP ARSO, 2018. 415p. In Russian
- Bakk, T., Kallqvist, T., Ruus, A., Hylland, K., Breedveld, G. Development of sediment quality criteria in Norway. *J Soils Sediments*. 2010. V. 10(2). pp. 172–178. DOI: 10.1007/s11368-009-0173-v
- Bogdanov N.A. Heavy metals in soils as indicator of sanitary state of territories: monitoring of the south of Astrakhan region // *J. of Health and Environ. Research*. 2018b. № 4(4). pp. 119–129. DOI: 10.11648/j.jher.20180404.11
- Clarkson T. W., Magos L. The toxicology of mercury and its chemical compounds // *Crit. Rev. Toxicol.* 2006. V. 36. pp. 609–620.
- Kaim W., Schwederski B. *Bioinorganic Chemistry: Inorganic Elements in the Chemistry of Life*. Chichester: John Wiley and Sons, 1994, 401 p.
- Noelle E. Selin, Elsie M. Sunderland, Christopher D. Knightes, Robert P. Mason. Sources of Mercury Exposure for U. S. Seafood Consumers: Implications for Policy // *Environ Health Perspect.* 2010. Jan. V. 118 (1). pp. 137–143.
- PND f 12.1.2:2.2:2.3:3.2-03 (Guidelines for sampling soil, soil, sediment, silt, and sewage sludge. Moscow, 2014).

Author's:

Bogdanov Nikolay A., Dr. Sci. (Geography), Leading Researcher, Laboratory of Geomorphology, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

E-mail: nabog@inbox.ru

Ermolaev Boris V., Researcher, Laboratory of Chemical and Analytical Research, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

E-mail: ermolaev-bv@mail.ru

Bass Oleg V., Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Institute of Nature Management, Territorial Development and Urban Planning. I. Kant, Kaliningrad, Russia.

E-mail: o.bass@mail.ru

Paranina Alina N., Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography and Environmental Management, Faculty of Geography, Herzen State Pedagogical University, Saint-Petersburg, Russia.

E-mail: galina_paranina@mail.ru

УДК 502.52(571.55)

ВЛИЯНИЕ РОССЫПНОЙ ЗОЛОТОДОБЫЧИ НА ПРИРОДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ РЕЧНЫХ ДОЛИН БАСЕЙНА р. АМУР (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ, РОССИЯ)



Л.В. Замана¹, И.Л. Вахнина^{1,2}

¹ Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия

² Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

В результате анализа космоснимков и натурных исследований нарушенных золотодобычей речных долин выделено два типа техногенных ландшафтов: ленточный траншейно-отвальный при разработке россыпей драгами и котлованно-отвальный при промывке гидромониторами. Приведены данные по загрязнению воды одной из наиболее нарушенных горной промышленностью рек. Предложены основные направления исследований по оценке влияния разработки россыпей на природные комплексы речных долин и восстановлению растительности.

Ключевые слова: россыпная золотодобыча, речные долины, техногенный ландшафт, загрязнение воды, Восточное Забайкалье.

Введение

Золотоносные россыпи речных долин разрабатываются в Восточном Забайкалье со второй половины XIX столетия и в настоящее время вносят значительный вклад в добычу золота в Забайкальском крае. Более половины добытого в регионе золота приходится на россыпное. Территория края относится к бассейнам рек Амур, Енисей (оз. Байкал) и Лена, а также к Удза-Торейской области внутреннего стока. Основные прииски сосредоточены в верхне-амурском бассейне, в суббассейнах рек Шилка и Аргунь, слияние которых дает начало собственно Амуру. Первый речной бассейн почти полностью и левобережная часть второго по административному делению относятся к Забайкальскому краю (Восточное Забайкалье). Некоторые аспекты последствий россыпной золотодобычи на этой территории рассмотрены в данном сообщении.

Оценка экологических последствий добычи россыпного золота в бассейне р. Амур, включая территории России, Китая и Монголии, на уровне суббассейнов основных притоков дана в работе [Egidarev, Simonov, 2015]. По этим данным, в бассейне р. Шилка разработками затронуто 137 водотоков на площади 345 км², что составляет 10,9% общей площади водных объектов. Суммарно нарушено 975 км, или 2,4% всей длины водотоков. На российской части бассейна р. Аргунь нарушено 11% площади водных объектов и 3,3% длины речной сети. Число и длина рек с нарушенными долинами не указаны. Судя по схеме, приведенной в упомянутой статье, в общие расчеты вошли также участки добычи россыпного олова в бассейне р. Онон (Ангатуйская, Надеждинская и другие россыпи). По другим данным, суммарная протяженность нарушенных в результате золотодобычи ландшафтов в бассейнах Аргу-

ни и Шилки составляет 1076 км, или 1,55% суммарной длины речной сети [Школьный, Чалов, Ефимов, 2017].

Выполненные в различных регионах исследования показали, что в результате разработки россыпей происходит полная трансформация геоморфологического строения речных долин, образуются техногенные формы рельефа, формируются новые русла, активизируются русловые процессы, уничтожается наземная и водная растительность, существенно изменяется и обедняется водная биота, загрязняется водная среда и т.д. [Махинов, Махинова, 2006; Worash, Tamiru, 2006; Коннов, 2008; Nelson, Church, 2012; Thorslund et al., 2012; Аношкин, 2017; Цыбекмитова, 2017]. Воздействие россыпной золотодобычи на природную среду не ограничивается непосредственно площадью разработок, а распространяется вниз по водотокам вследствие транспортировки водными потоками донных (влекомых) наносов, мелкодисперсных взвесей и растворенных веществ, включая токсичные тяжелые металлы [Чалов и др., 2015; Chalov, 2014]. На рассматриваемой территории такие исследования практически не проводились, несмотря на значительные масштабы россыпной золотодобычи.

Цель работы – показать влияние россыпной золотодобычи на природные комплексы речных долин бассейна р. Амур в границах Восточного Забайкалья.

Материал и методы исследования

В данном сообщении представлены количественные характеристики долин конкретных водотоков, нарушенных в результате добычи россыпного золота, измеренные по космоснимкам из Google Earth, показаны основные формы техногенных ландшафтов. Кроме использования материалов дистанционного зондирования выполнены также натурные

наблюдения и гидрогеохимическое опробование по нескольким водотокам в различных частях территории (реки Дарасун, Дунда-Хонгорун, Кара, Нижняя и Средняя Борзя и др.). По р. Средняя Борзя, впадающей в пограничную с Китаем р. Аргунь, в качестве примера загрязнения приведены некоторые гидрохимические характеристики.

Результаты и их обсуждение

В бассейне р. Шилка разработка россыпей в той или иной степени охватила всю водосборную площадь, особенно по левобережным притокам в низовье реки. Здесь добыча золота происходила по большинству притоков Шилки первого и второго порядков. Особо выделяется р. Черный Урюм, по долине которой, не считая притоков, общая протяженность переработанных россыпей достигает 58 км, а ширина дражных отработок – 1 км. На космоснимках по этой и другим долинам отчетливо видны как прямоугольники дражных полигонов размерами от $0,11 \times 0,22$ до $0,25 \times 0,56$ км², так и отдельные проходы драг. Длина наиболее крупного техногенного озера достигает 1,3 км при ширине до 0,55 км.

По некоторым другим левобережным притокам Шилки трансформированные золотодобычей участки долин имеют следующую протяженность, км: р. Кара – 26, р. Кудеча с правым притоком – 22, р. Давенда – 15,3, р. Горбица – 13,6, р. Хи́ла – 13. Золотодобыча велась, кроме того, как по притокам упомянутых рек, так и по другим рекам. Переработанные отрезки, особенно по притокам, местами превышают половину общей длины речных долин.

В бассейне р. Аргунь вследствие разработки золотоносных россыпей нарушенность речных долин основных притоков Аргуни, определенная по космоснимкам, составляет, км: Средней Борзи – 60, Газимура – 36, Нижней Борзи – 20, Урова – 20, Урюмка – 16 [Замана, Абакумова, 2014].

Россыпь по р. Средняя Борзя разрабатывается с конца XIX в. Основным способ промывки россыпей в недавнем прошлом – дражный, в настоящее время – гидромониторами, в среднем течении реки также работает драга. Здесь образовался один из наиболее протяженных в Восточном Забайкалье долинных техногенных ландшафтов. Длина отработанных участков по основной долине достигает 45 км, ширина дражных полигонов – от 0,3 до 0,8 км. На отдельных участках россыпь повторно отрабатывалась гидромониторным способом, участки последних лет рекультивированы на техническом этапе – выполнена планировка отвалов. Зарастание на недавних отработках (до 10–15 лет) идет преимущественно рудеральной растительностью, слабое, с низким проективным покрытием. Котлованы заполнены водой, наиболее крупный техногенный водоем вытянут на 1,2 км при ширине до 0,53 км.

В соседнем бассейне р. Нижняя Борзя россыпь разрабатывалась гидромониторным способом. Из общей протяженности разработок около половины приходится на основную долину, ширина обводненных котлованов здесь составляет 0,7–0,8 км, их длина варьирует от 1,3 до 1,8 км. Природный террасовый комплекс долины в приустьевой части на отдельных участках преобразован в единую техногенную террасу с выровненной поверхностью и однородным (без покровных супесей) литологическим разрезом сравнительно промытых галечников.

Техногенный рельеф, образующийся при россыпной золотодобыче, отличаясь в деталях размерами, сочетанием и набором мезо- и микроформ в разных долинах, в целом сходен. В зависимости от способа разработки россыпей выделяются два типа техногенных ландшафтов: ленточный траншейно-отвальный ландшафт (рис. 1), формирующийся в результате работы драг, и котлованно-отвальный (рис. 2) при промывке гидравлическим способом.



a



b

Рис. 1. Ленточный траншейно-отвальный ландшафт отработанных дражных полигонов, долина р. Средняя Борзя: *a* – космоснимок, *b* – наземная фотография

Fig. 1. Band trench-dump landscape of spent by drags polygons, Srednyaya Borzaya river valley: *a* – space image, *b* – ground photography



Рис. 2. Котлованно-отвалный ландшафт участков гидромониторной отработки россыпи, долина р. Нижняя Борзя: *a* – космоснимок, *b* – наземная фотография

Fig. 2. Pitted-dump landscape of plots of hydromonitor mining of the placer, Nizhnyaya Borzaya river valley: *a* – space image, *b* – ground photography

Техногенные ландшафты разработки россыпей, несмотря на их небольшую долю в водосборных бассейнах, играют, тем не менее, значительную роль в формировании и, особенно, в регулировании речного стока. Влияние природных ландшафтных условий на формирование стока, особенно ландшафтных единиц макроуровня (провинция, зона), показано в статье [Антипов, Гагаринова, Фёдоров, 2007], преимущественно на уровне ландшафта оценено в публикации [Гагаринова, 2012]. Для районов россыпной золотодобычи такая оценка содержится в работе [Ельчанинов, Коннов, Михайлов, 2013].

Е.А. Ельчанов и соавт. [2013] привели расчеты по р. Багдарин, расположенной в соседнем с рассматриваемой территорией бассейне Витима–Лены, по которой россыпи разрабатывались дражным способом. Среднегодовой и минимальный 30-суточный сток реки, по их расчетам, уменьшается соответственно на 21,5 и 60%, тогда как максимальный сток увеличивается на 25%. К сожалению, причины таких изменений авторы не объяснили. По-видимому, происходят они в основном за счет регулирующей роли техногенных водоемов. Для степной зоны с малыми модулями речного стока определенное значение для малых рек может иметь испарение с водной поверхности, которое в субаридных и аридных условиях более чем в два раза превышает количество атмосферных осадков.

Отработка россыпей приводит к смене литогенной основы ландшафта и растительных сообществ, особенно начальных сукцессий. При дражной промывке мелкодисперсные частицы выносятся, лито-

логический разрез отвалов усредняется по механическому составу. Так, на дражных отвалах в долине р. Унда, сложенных промытым песчано-гравийно-галечным материалом, за 30-летний период сформировались древесно-кустарниковые сообщества почти без травяной растительности с преобладанием чозения толочкнянolistной (*Chosenia arbutifolia* (Pall.) A. Skvorts.), в естественных условиях представленной единичными экземплярами. При промывке песков промприборами происходит пространственная дифференциация техногенных грунтов по составу – в отвалах складываются крупнообломочные разности, в отстойниках накапливаются песчано-глинистые фракции. Соответственно, различны формирующиеся на этих грунтах растительные группировки.

Со временем происходит зарастание отвалов, тем не менее, крупные отвалы прослеживаются на космоснимках достаточно надежно. Растительность здесь обычно разреженная, состоящая из древесных пород или кустарников. Склоны отвалов, как правило, менее покрыты растительностью и имеют более заметные следы водной эрозии в форме промоин и мелких оврагов, особенно характерных для отвалов с мелкообломочным составом складированных грунтов, более подверженных размыву.

Водная эрозия наиболее сильно проявлена при формировании новых русел, нередко с делением водотока на несколько рукавов (многорукавность), как это видно на рис. 3, *a*. Из инженерно-геологических процессов в долине р. Дунда-Хонгорун в Любавинском рудном поле [Замана, Вахнина, 2010] отмечено

образование оползня в одном из высохших отстойников (рис. 3, *b*).

Водная эрозия формирующихся русел и особенно сброс технологических вод от извлечения золота из песков приводят к загрязнению речной сети. Основным загрязняющим компонентом при россыпной золотодобыче являются взвешенные вещества. В результате взаимодействия речной воды со взвесями и влекомыми наносами значительно возрастают концентрации растворенных в воде компонентов, включая тяжелые металлы. Для примера мы приводим данные опробования р. Средняя Борзя, выпол-

ненного в меженный период в июле 2013 г. Места отбора водных проб указаны на рис. 4. Влияние разработки россыпи на гидрохимические показатели реки наиболее выражены в высоком содержании взвешенных веществ (до 278 мг/л), железа (до 6,5 мг/л) и общей минерализации воды (табл.). Вода характеризуется повышенным содержанием сульфатного иона, что указывает на окисление сульфидных минералов, содержащихся в обломочном материале аллювиальных отложений. Из металлов повышенные концентрации, кроме железа, имели (в мкг/л) Cr (до 28,3), Cu (24,3), Co (40,7), Ni (48,7).



a



b

Рис. 3. Многорукавное русло р. Дунда-Хонгорун (*a*) и оползневые деформации отложений отстойника в ее долине (*b*)

Fig. 3. Multi-branch Dunda-Hongorun river (*a*) and landslide deformations of sedimentation tanks in its valley (*b*)

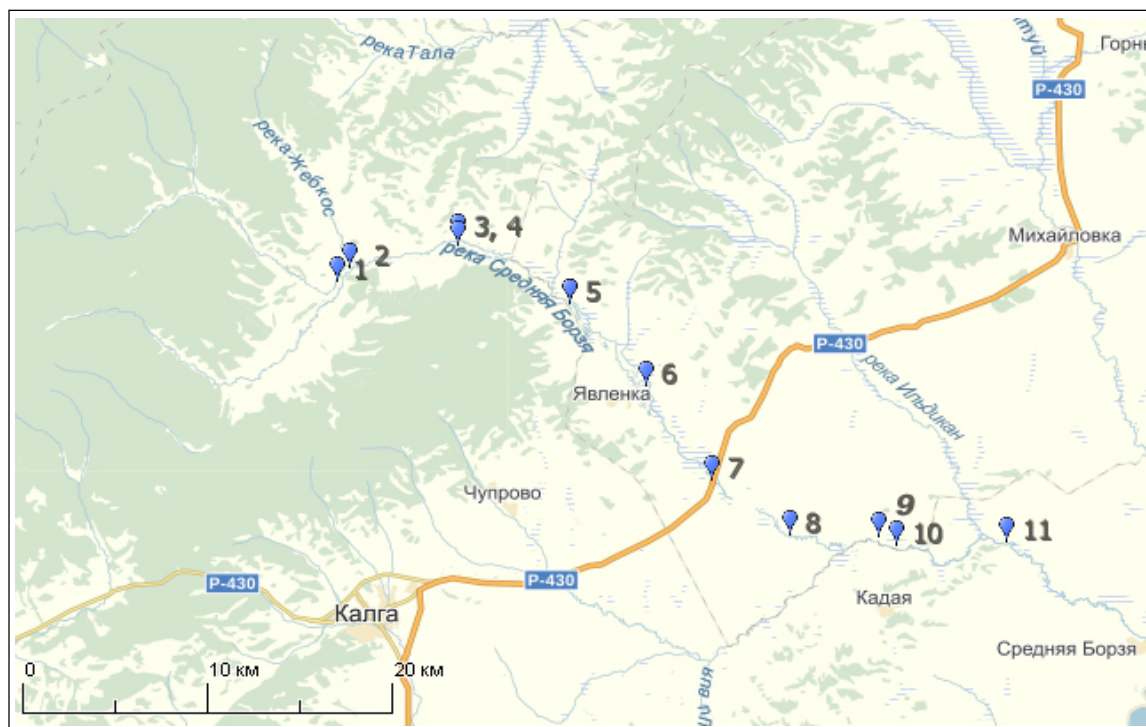


Рис. 4. Схема отбора водных проб в бассейне р. Средняя Борзя

Fig. 4. Water sampling scheme in the Srednyaya Borzaya river basin

Таблица

Некоторые физико-химические характеристики воды р. Средняя Борзя и других пунктов опробования в ее долине

Table

Some physical-chemical characteristics of the Srednyaya Borzya River water and other sampling points in its valley

Номер пробы	Место отбора	Взвешенные вещества, мг/л	pH	Eh, mV	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Fe, мг/л	TDS, мг/л
1	р. Кутомара, на устье	<16	6,90	302	7,6	0,191	66,7
2	р. Средняя Борзя, на выходе из отстойника	167	7,30	290	42,8	2,955	170
3	р. Средняя Борзя	35	7,23	295	19,8	0,272	109
4	Озеро в дражном полигоне	16	7,83	274	75,2	0,084	284
5	р. Средняя Борзя	16	7,35	288	41,2	0,403	160
6	Озеро в карьере по центру долины	16	8,16	259	58,7	0,051	272
7	р. Средняя Борзя	278	7,50	270	33,5	6,529	163
8	р. Средняя Борзя в 6 км ниже	263	7,56	281	27,2	5,712	148
9	р. Средняя Борзя	190	7,53	274	38,4	3,972	196
11	р. Средняя Борзя в 1,5 км ниже устья р. Ильдикан	146	7,55	265	45,9	3,200	216

Закключение

В рассмотренных бассейнах рек Шилка и Аргунь речная сеть в той или иной степени подвержена изменениям в результате золотодобычи. В долинах отдельных их притоков протяженность переработанных участков достигает 58–60 км. Виды формирующихся техногенных форм рельефа и ландшафтов напрямую зависят от способа разработки россыпей. Наиболее отчетливо различаются два типа техногенных ландшафтов россыпной добычи золота – ленточный траншейно-отвальный при разработке россыпей драгами и котлованно-отвальный ландшафт, характеризующийся более крупными формами рельефа и дифференцированными по механическому составу грунтами, при гидромониторной отработке. В том и другом случае на нарушенных территориях затрудняется восстановление растительности, особенно на склонах отвалов, подверженных водной и ветровой эрозии. В результате водной эрозии и сброса технологических вод многократно усиливается вынос взвешенных веществ, растут концентрации металлов, загрязняющие вещества распространяются по водотокам далеко за пределы золоторазработок.

Несмотря на то, что разработка золотоносных россыпей в Восточном Забайкалье насчитывает бо-

лее чем полуторавековой период и оказывает значительную нагрузку на природные комплексы речных долин территории, процессы, последствия и масштабы этого воздействия до сих пор изучены слабо. К наиболее важным направлениям исследований участков разработок золотоносных россыпей авторы относят:

- изучение геоморфологии и влияния техногенных ландшафтов на формирование и регулирование водного стока;
- оценку техногенного массопереноса и роли в нем активизации водно-эрозионных процессов;
- оценку загрязнения водной среды и его влияния на водную биоту, в особенности на ихтиофауну;
- изучение естественного восстановления растительности на нарушенных землях, включая рекультивированные;
- разработку методов биологической рекультивации земель с подбором районированных оптимальных видов растений и их сообществ.

Натурные исследования и гидрогеохимическое опробование проведены по проектам бюджетных исследований ИПРЭК СО РАН, анализ космоснимков осуществлен при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-14-00028).

ЛИТЕРАТУРА

- Аношкин А.В. Динамика антропогенных форм рельефа в районах разработок россыпных месторождений (Амуро-Сутарский золотоносный район) // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2017. № 4. С. 13–20.
- Антипов А.Н., Гагаринова О.В., Фёдоров В.Н. Ландшафтная гидрология: теория, методы, реализация // География и природные ресурсы. 2007. № 3. С. 56–66.
- Гагаринова О.В. Ландшафтно-гидрологические закономерности формирования стока в бассейне озера Байкал // География и природные ресурсы. 2012. № 3. С. 55–60.
- Ельчанинов Е.А., Коннов В.И., Михайлов Р.А. Изменение стока малых рек Восточного Забайкалья при добыче россыпного золота // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 4. С. 116–122.

Замана Л.В., Абакумова В.И. Влияние россыпной золотодобычи на долинные ландшафты и речной сток левобережных притоков р. Аргунь // Гео- и экосистемы трансграничных речных бассейнов на востоке России: проблемы и перспективы устойчивого развития : материалы Всерос. науч. семинара / отв. ред. М.И. Эпов. Новосибирск : Ин-т нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 2014. С. 169–172.

Замана Л.В., Вахнина И.Л. Техногенные ландшафты и гидрогеохимия Любавинского рудного поля (Восточное Забайкалье) // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование : материалы III Всерос. симп. с междунар. участием и IX Всерос. чтений пам. акад. А.Е. Ферсмана. Чита, 2010. С. 11–16.

Коннов В.И. Исследование основных факторов, влияющих на качество воды малых рек при добыче золота открытым способом в Читинской области // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2008. № 2. С. 130–134.

Махинов А.Н., Махинова А.Ф. Преобразование антропогенного рельефа в районах разработок россыпных месторождений (север Хабаровского края) // Геоморфология. 2006. № 2. С. 43–49.

Цыбекмитова Г.Ц. Воздействие добычи россыпного золота на гидрохимическое состояние поверхностных вод // Водные ресурсы и водопользование : сб. тр. Чита, 2017. С. 92–97.

Чалов С.Р., Школьный Д.И., Промахова Е.В., Леман В.Н., Романченко А.О. Формирование стока наносов в районах разработок россыпных месторождений // География и природные ресурсы. 2015. № 2. С. 22–30.

Школьный Д.И., Чалов С.Р., Ефимов В.А. Инвентаризация россыпных разработок благородных металлов в бассейнах рек Дальнего Востока РФ: географическое распространение и воздействие на русловые системы // Современные проблемы географии и геологии: к 100-летию открытия естественного отделения в Томском государственном университете : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Томск, 2017. С. 410–414.

Chalov S. G. Effects of placer mining on suspended sediment budget: case study of north of Russia's Kamchatka Peninsula // Hydrological Sciences Journal. 2014. V. 59 (5). P. 1–14.

Egidarev E.G., Simonov E.A. Assessment of the environmental effect of placer gold mining in the Amur river basin // Water Resources. 2015. V. 42 (7). P. 897–908.

Nelson A.D., Church M. Placer mining along the Fraser River, British Columbia: The geomorphic impact // Geological Society of America Bulletin. 2012. V. 124 (7-8). P. 1212–1228.

Thorslund J., Jarsjö J., Belozeroва E.V., Chalov S.R. Assessment of the gold mining impact on riverine heavy metal transport in a sparsely monitored region: the upper Lake Baikal Basin case // Journal of Environmental Monitoring. 2012. V. 14. P. 2780–2792. DOI: 10.1039/C2EM30643C.

Worash G., Tamiru A. Metal contamination of the environment by placer and primary gold mining in the Adola region of southern Ethiopia // Environmental Geology. 2006. V. 50 (3). P. 339–352.

Авторы:

Замана Леонид Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геоэкологии и гидрогеохимии, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: l.v.zamana@mail.ru

Вахнина Ирина Леонидовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории географии и регионального природопользования, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, научный сотрудник Сибирской дендрохронологической лаборатории, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.

E-mail: vahnina_il@mail.ru

Geosphere Research, 2020, 2, 83–89. DOI: 10.17223/25421379/15/7

L.V. Zamana¹, I.L. Vakhnina^{1,2}

¹ Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch RAS, Russia

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

THE INFLUENCE OF ALLUVIAL GOLD MINING ON THE NATURAL COMPLEXES OF RIVER VALLEYS OF AMUR RIVER BASIN (EASTERN TRANSBAIKALIA, RUSSIA)

The article presents the qualitative and quantitative characteristics of violations of natural complexes of river valleys resulting from placer gold mining in the Shilka and Argun rivers basins, from the confluence of which the Amur River itself begins, obtained by analyzing satellite images and field studies. In the placer mining areas, which has been going on in Eastern Transbaikalia since the second half of the 19th century, the geomorphological structure of river valleys is completely transformed, new stream channels are formed, channel processes are activated, anthropogenic relief forms are formed, land and water vegetation is removed, aquatic biota is substantially changed and depleted, contaminated water environment. Two main types of technogenic landscapes are distinguished: a tape trench-dump landscape during dredging of placers and a practically disordered pitted-dump landscape when washing gold-bearing sands with water monitors. Spent dredged polygons in the Shilka river basin reach a size of $0.25 \times 0.56 \text{ km}^2$, and the length of the largest man-made lake is 1.3 km with a width of up to 0.55 km. In the Argun basin, the length of flooded pits is up to 1.3–1.8 km, and their width is up to 670–800 m. The length of individual sections of disturbed valleys in both basins reaches 58–60 km. The impact of alluvial gold mining on the natural environment extends downstream of the watercourses beyond the development area due to the transport of bottomset beds, finely dispersed suspended solids and dissolved substances by water flows. On example of river Srednyaya Borzya, whose valley is most disturbed by the exploitation of placers in the Argun river basin, including modern mining by both methods, shows the main components of water pollution. The most significant of them are suspended solids and iron, the content of which in water reached 278 and 6.5 mg / L respectively. Elevated concentrations also had (in $\mu\text{g} / \text{L}$) Cr (up to 28.3), Cu (24.3), Co (40.7), Ni (48.7).

The reclamation of disturbed lands has been carried out in recent decades, mainly after the development of placers by hydromonitors, but is limited to the technical stage - the leveling of dumps. Vegetation is poorly restored, especially on the slopes of dumps devoid of soil cover and susceptible to water and wind erosion, and is represented by a limited number of mainly tree-shrub species. Due to the poor

knowledge of the impact of placer gold mining on the environment in the region, the main directions of further research are proposed. They include the study of the influence of anthropogenic landscapes on the formation and regulation of water flow, assessment of pollution of the aquatic environment and its impact on the aquatic biota, primarily on the ichthyofauna, development of methods for the biological restoration of disturbed lands.

Keywords: *alluvial gold mining, river valleys, anthropogenic landscape, water pollution, Eastern Transbaikalia.*

References

- Anoshkin A.V. *Dinamika antropogennyh form rel'efa v rajonah razrabotok rossypanyh mestorozhdenij (Amuro-Sutarskij zolotonosnyj rajon)* [Dynamics of anthropogenic landforms in the areas of placer mining (Amuro-Sutarsky gold-bearing region)] // *Geoecology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology*. 2017. No. 4. pp. 13–20. In Russian.
- Antipov A.N., Gagarinova O.V., Fyodorov V.N. *Landshaftnaya gidrologiya: teoriya, metody, realizaciya* [Landscape hydrology: theory, methods, implementation] // *Geography and natural resources*. 2007. No. 3. pp. 56–66. In Russian.
- Gagarinova O.V. Landscape-hydrological regularities of runoff formation within the lake Baikal watershed basin // *Geography and Natural Resources*. 2012. V. 33. No. 3. pp. 218–222.
- Elchaninov E.A., Konnov V.I., Mikhailov R.A. *Izmenenie stoka mal'nyh rek Vostochnogo Zabajkal'ya pri dobyche rossypanogo zolota* [Changes in the flow of small rivers in Eastern Transbaikalia during the extraction of alluvial gold] // *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2013. No. 4. pp. 116–122. In Russian.
- Zamana L.V., Abakumova V.I. *Vliyaniye rossypanoj zolotodobychi na dolinnye landshafty i rechnoj stok levoberezhnyh pritokov r. Argun'* [The influence of alluvial gold mining on the valley landscapes and river runoff of the left-bank tributaries of the river Argun'] // In the book: *Geo-and Ecosystems of Transboundary River Basins in the East of Russia: Problems and Prospects for Sustainable Development, Materials of the All-Russian Scientific Seminar*. Executive Editor: M.I. Epov. Novosibirsk, 2014. pp. 169–172. In Russian.
- Zamana L.V., Vakhnina I.L. *Technogenic landscapes and hydrogeochemistry of the Lubavinsky ore field (Eastern Transbaikalia)* [Technogenic landscapes and hydrogeochemistry of the Lubavinsky ore field (Eastern Transbaikalia)] // In the collection: *Mineralogy and geochemistry of the landscape of mining territories. Modern Mineral Formation. Materials of the III All-Russian Symposium with International Participation and the IX All-Russian Readings in Memory of Academician A.E. Fersman*. Chita, 2010. pp. 11–16. In Russian.
- Konnov V.I. *Issledovanie osnovnyh faktorov, vliyayushchih na kachestvo vody mal'nyh rek pri dobyche zolota otkrytym sposobom v CHitinskoj oblasti* [Investigation of the main factors affecting the water quality of small rivers in open pit gold mining in the Chita region] // *Geoecology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology*. 2008. No. 2. pp. 130–134. In Russian.
- Makhinov A.N., Makhinova A.F. *Preobrazovanie antropogennogo rel'efa v rajonah razrabotok rossypanyh mestorozhdenij (sever Habarovskogo kraja)* [Transformation of anthropogenic relief in the areas of placer mining (north of the Khabarovsk Territory)] // *Geomorphology*. 2006. No. 2. pp. 43–49. In Russian.
- Tsybekmitova G. Ts. *Vozdejstvie dobychi rossypanogo zolota na gidrohimicheskoe sostoyaniye poverhnostnyh vod* [Impact of extraction of placer gold on a hydrochemical state surface water] // In the collection: *Water resources and water use, collection of works*. Chita. 2017. pp. 92–97. In Russian.
- Chalov S.R., Shkol'nyi D.I., Promakhova E.V., Romanchenko A.O., Leman V.N. Formation of the sediment yield in areas of mining of placer deposits // *Geography and Natural Resources*. 2015. V. 36 (2). pp. 124–131.
- Shkolny D.I., Chalov S.R., Efimov V.A. *Inventarizaciya rossypanyh razrabotok blagorodnyh metallov v bassejnah rek Dal'nego Vostoka RF: geograficheskoe rasprostraneniye i vozdejstvie na ruslovye sistemy* [Inventory of placer mining of precious metals in river basins of the Russian Far East: geographical distribution and impact on channel systems] // In the collection: *Current problems of geography and geology on the occasion of the 100th anniversary of the opening of the natural branch at Tomsk State University: proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation*. Tomsk, 2017. pp. 410–414. In Russian.
- Chalov S. G. Effects of placer mining on suspended sediment budget: case study of north of Russia's Kamchatka Peninsula // *Hydrological Sciences Journal*. 2014. V. 59(5). pp. 1–14.
- Egidarev E.G., Simonov E.A. Assessment of the environmental effect of placer gold mining in the Amur river basin // *Water Resources*. 2015. V. 42 (7). pp. 897–908.
- Nelson A. D., Church M. Placer mining along the Fraser River, British Columbia: The geomorphic impact // *Geological Society of America Bulletin*. 2012. V. 124 (7-8). pp. 1212–1228.
- Thorslund J., Jarsjo J., Belozeroval E.V., Chalov S.R. Assessment of the gold mining impact on riverine heavy metal transport in a sparsely monitored region: the upper Lake Baikal Basin case // *Journal of Environmental Monitoring*. 2012. V. 14. pp. 2780–2792. DOI: 10.1039/C2EM30643C.
- Worash G., Tamiru A. Metal contamination of the environment by placer and primary gold mining in the Adola region of southern Ethiopia // *Environmental Geology*. 2006. V. 50 (3). pp. 339–352.

Author's:

Zamana Leonid V., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher, Laboratory of Geoecology and Hydrogeochemistry, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia.

E-mail: l.v.zamana@mail.ru

Vakhnina Irina L., Cand. Sci. (Biol.), Researcher, Laboratory of Geography and Regional Environmental Management, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Researcher, Siberian Dendrochronological Laboratory, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

E-mail: vahnina_il@mail.ru

ГЕОМОРФОЛОГИЯ

УДК 551.4:571.6

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ОЙНА-ХАРАЛЬСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ТУВА)

С.А. Чупикова¹, С.Г. Прудников¹, И.К. Андронаке²

¹ Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия

² Бухарестский университет, Бухарест, Румыния



Представлены результаты морфометрического и фрактального анализа речных бассейнов Ойна-Харальского рудного узла с использованием инструментария геоинформационных систем. Получены морфометрические и фрактальные модели рек. Анализ индекса равновесия для бассейнов рек Харал и Оо-Хем указывает на то, что все реки не находятся в равновесии, имеют относительную степень недоразвития, кроме р. Чайынды, которая переразвита ($I_n = 1,4$). Это состояние дисбаланса подтверждается фрактальным анализом, где бассейны рек 4-го порядка имеют потоки порядка 4 с фрактальной размерностью выше потоков 3-го порядка.

Ключевые слова: морфометрические характеристики, модель дренажа, водосборный бассейн, порядок рек, Тува.

Введение

Разработка месторождений и добыча полезных ископаемых проводятся при активной антропогенной нагрузке на окружающую среду. В местах добычи идет воздействие на рельеф, бассейновая организация которого во многом определяет процессы переноса и накопления вещества, в том числе поступающего от хозяйственной деятельности. Интенсивное эрозионное расчленение и высокая динамика рельефообразующих процессов наряду с интенсивной антропогенной нагрузкой определяют формирование эколого-геоморфологического состояния территории. Изучение структуры речных бассейнов позволяет выявлять основные закономерности распределения потоков вещества в пространстве и времени на разных иерархических уровнях. Полученные знания используются в целях морфоструктурного анализа, восстановления истории развития рельефа. Для более детального анализа речных бассейнов в настоящее время применяются возможности геоинформационных систем (ГИС) и методы фрактальной геометрии [Фрактальный..., 2013].

Объектом исследования являются речные бассейны Ойна-Харальского рудного узла, в котором с начала XX в. ведется добыча россыпного золота. В районе известны крупные россыпные месторождения золота рек Оо-Хем, Ойнаа, Демиржи, Харал и их притоков (рис. 1). Россыпи в основном отработаны, относятся к долинным, террасовым и техногенным типам россыпей. В структурном отношении Ойна-Харальский рудный узел охватывает Харальский выступ байкалит, сложенный позднепротеро-

зойскими терригенными и вулканогенно-осадочными отложениями харальской и охемской свит, прорванными субвулканическими и жерловыми образованиями позднепротерозойского харальского комплекса и субвулканическими интрузиями диабазов, диабазовых порфириров, гранит-порфириров кембрийского и девонского возрастов. Золотое оруденение локализовано в кварцевых жилах, сульфидизированных метасоматических кварцитах и кварц-полевошпатовых метасоматитах, в толще графитистых сланцев и относится к золото-кварцевой, золото-кварцовой, золото-сульфидно-кварцевой и золото-сульфидно-углеродистой формациям [Рудные..., 1981].

Фрактальный анализ является относительно новым подходом для исследования водосборных бассейнов. Термин «фрактал» образован от лат. fractus («прерывать, создавать нерегулярные дробления»). Под фрактальностью понимают свойство природы повторяться в разных масштабах пространства и времени, она помогает лучше понять природу объекта. «Фрактальное множество» – это математическое понятие, а «естественный фрактал» – это природный феномен, который может быть представлен фрактальным множеством. В работе [Мандельброт, 2002] впервые была высказана идея исследования разветвленных (речные, эрозионные сети, береговые линии), а также площадных (острова, озера, горные области) географических объектов методами фрактального анализа. В качестве примеров проведены математические вычисления показателей фрактальной размерности этих объектов. Фрактальный анализ позволяет выявлять количественные связи меж-

ду переменными, характеризующими природную систему, и проводить сравнительный анализ пространственно-временной организации таких систем, независимо от природы их происхождения [Мандельброт, 2002]. Фрактальная размерность – это мера сложности, степень, с которой фрактал заполняет пространство, определяя неравномерность и фрагментацию геометрической структуры природного объекта. Обычно его фактическое значение выше, чем топологическое измерение. Фрактальный анализ использовался в географических исследованиях, связанных с обезлесением и развитием лесов в Румынии [Andronache et al., 2016; Andronache et al., 2019; Diaconu et al., 2019].

Установлено [Аюнова и др., 2018], что показатели фрактальной размерности, определенной для речной и разломных сетей морфоструктурных блоков Саяно-Тувинского нагорья, выделяют зоны высокой сейсмической активности территории максимумами значений. В недавнем исследовании [Diaconu et al., 2017] была предложена модель для анализа сложности водосбора с использованием фрактального анализа. Применение современных технологий и фрактальной геометрии для построения моделей речных систем может служить (инструментом) средством решения задачи их детального и всестороннего изучения и моделирования различных процессов, происходящих на реках.

Цель статьи – морфометрический и фрактальный анализ речной сети Ойна-Харальского рудного узла на основе классификации Хортон–Стралера для выявления качественных и количественных изменений водосборного бассейна.

Объект и методы исследования

Основными водными артериями района исследования являются реки Харал и Оо-Хем, левые притоки р. Большой Енисей (Бий-Хем). В структурах современного рельефа бассейны рек находятся в переходной зоне от высокогорных хребтов Шорлыковские Белки и Ондут-Тайга, входящих в систему хр. Академика Обручева, к Тоджинской котловине. Рельеф в бассейнах рек Харал и Оо-Хем среднегорный слаборасчлененный, с пологими склонами, от абсолютных отметок 1 800–2 000 м на юге он постепенно выполаживается до 900–1 100 м в низовьях рек на севере. Все реки района относятся к типично горным, молодой стадии развития, характеризуются бурными водотоками, значительными уклонами долин, резким колебанием дебита. Все питаются за счет таяния мерзлоты и атмосферных осадков.

Река Оо-Хем образуется от слияния рек Ойнаа и Шеннелиг. Общая протяженность р. Оо-Хем и ее правой составляющей – р. Ойнаа около 70 км, базисом эрозии является устье с отметкой 951,4 м. Река

Ойнаа берет начало из межгорной котловины, прилегающей к северному борту хр. Академика Обручева, и на протяжении около 20 км течет в северо-западном направлении. Форма долины ящикообразная. Ширина днища 150–180 м, в суженных частях – 80–100 м. Ниже устья р. Шеннелиг, где начинается собственно р. Оо-Хем, на протяжении около 15 км река протекает в меридиональном направлении, которое затем сменяется на северо-восточное. Долина р. Оо-Хем ящикообразная и характеризуется простым симметричным строением. Она глубоко врезана в коренные породы: превышение водоразделов над поймой составляет 500–600 м. В поперечном разрезе долины выделяются сравнительно крутые склоны гравитационно-делювиального сноса и плоское дно, как правило, занятое поймой. Надпойменные террасы не характерны. Пойма постепенно расширяется вниз по течению. Если в верхней части ширина поймы не превышает 150–200 м, то в среднем течении она расширяется до 900–1 200 м и достигает 3 000 м в нижнем течении. Основные притоки – реки Кара-Адыр, Ак-Хем, Демиржи, Биче Демиржи.

Река Харал начинается от слияния рек Кара-Хем и Чайынды. Общая длина р. Харал с ее левой составляющей р. Кара-Хем достигает 90 км, базисом эрозии является устье с отметкой 1 000 м. Основная составляющая – р. Кара-Хем – берет свое начало в высокогорной гольцовой области, на северных склонах хр. Академика Обручева, являющегося водоразделом между Бий-Хемом и Каа-Хемом. В среднем течении в р. Харал впадают реки Шорлуг, Тылба, Хадын и крупные ручьи Эк, Сумасшедший, Хина, Конопка, Ивановский, Степановский, Сафьяновский. В общей схеме речной сети района система р. Харал занимает особое положение. Долина р. Харал состоит из трех разнородных участков: верхнего (долины рек Кара-Хем, Сай-Кежиг и Чайынды), представляющего собой днище древнего Верхнехаральского приледникового озера и еще недавно (до верхнеплейстоценового оледенения) входившего в систему реки Серлиг-Хем; нижнего (меридионального), наиболее древнего, являющегося продолжением долины р. Шорлыг; и соединяющего их среднего, представляющего собой юное ущелье, возникшее в результате речного перехвата – похищения одним из правых притоков Харала верховий р. Серлиг-Хем. Для Харальского ущелья длиной 10 км характерен V-образный профиль с глубиной вреза, достигающей 150–200 м, резко выраженными бровками и скалистыми склонами, которые падают под углом 50–70° к узкому днищу, целиком занятому водоток. В верхней части находится несколько порогов-водопадов, следующих один за другим высотой 2–5 м каждый. Описанный выше перехват обязан перестройке долинной сети, произошедшей в верхне-

плейстоценовое время в связи с таянием ледникового покрова Азасского ледника [Гросвальд, 1965]. Образование Харальского ущелья, которое можно считать долиной прорыва, связано с эрозией, производимой сбрасываемыми водами древнего ледникового озера, существовавшего в пределах Серлигхемской впадины. Таким образом, бассейн р. Харал фактически включает в себя две долинные сети – р. Палео-Кара-Хем и р. Палео-Шорлыг. Вершиной р. Харал до образования Харальского ущелья являлась современная р. Шорлыг.

По характеру рисунка речной сети речная система р. Оо-Хем относится к древовидному типу. Речная система р. Харал комбинированного типа: в верхней части (Кара-Хем, Чайынды) – древовидного типа, в нижней части (ниже Харальского ущелья) – перистого типа, что также подтверждает ее принадлежность к изначально разным речным системам.

Методология исследования основывается на морфометрическом анализе речных бассейнов (Хортон-анализе). Программное обеспечение ГИС использовалось для оцифровки и статистических расчетов интересующих параметров. Анализ проводился по картам (в формате *.shp), оцифрованным в масштабе 1 : 100 000. Исследуемые морфометрические характеристики, такие как число, порядки потоков, их длина, были напрямую рассчитаны в программном обеспечении. Показатель фрактальной размерности вычислен с использованием программного обеспечения «Фрактальная размерность речной сети» [Калуш, Логинов, Чупикова, 2006], разработанного с участием авторов. Статистическая обработка данных проведена в программе Microsoft Office Excel. Классификация речного бассейна по порядкам выполнялась с использованием системы Хортон–Стралера [Хортон, 1948; Ржаницын, 1960]. Данная система построения иерархии водотоков позволяет провести фрактальный анализ, дает возможность статистически обработать полученные данные по порядкам рек и выполнить сравнительный анализ. В работе была использована новая морфометрическая модель: фрактальная дренажная модель [Diaconu et al., 2017], прошедшая апробацию на водоразделе Жижилы (Румыния), Харал (Россия, Тува) [Чупикова, Андронаке, 2019].

Морфометрическая модель представляет морфометрические процедуры для получения количественной информации об изучаемых процессах или явлениях. Система классификации Хортон–Стралера и вытекающие из нее морфометрические связи были проверены для бассейнов р. Харал и р. Оо-Хем. В системе Хортон–Стралера первый порядок присваивается элементарным водотокам, которые имеют способность организовать сток и не получают других притоков, в то время как все количество воды отводится одним главным потоком, который имеет самый высокий порядок. Для создания мор-

фометрической модели дренажа необходимо: количество участков реки, N ; сумма длин отрезков реки, L (км); средняя длина реки отрезки, l (км). Эти параметры составляют строки значений, расположенных в виде геометрических прогрессий. Измерения исследуемых параметров, таких как число, длина, средняя длина (сумма длина/число) речных водотоков – по классификации Хортон–Стралера, и вычисления показателей бифуркации, плотности дренажа речных водотоков проводились с применением инструментария геоинформационных систем. В работе мы в основном придерживались методики, изложенной в статье [Diaconu et al., 2017].

Вначале определяется количество речных водотоков, затем количество речных водотоков каждого порядка и соотношение слияния R_C :

$$R_C = \frac{\left[\left(\frac{N_{m1}}{N_{m2}}\right) + \left(\frac{N_{m2}}{N_{m3}}\right) + \left(\frac{N_{m3}}{N_{m4}}\right)\right] \times [(N_{m1} + N_{m2}) + (N_{m2} + N_{m3})(N_{m3} + N_{m4})]}{(N_{m1} + N_{m2}) + (N_{m2} + N_{m3})(N_{m3} + N_{m4})} \quad (1)$$

$$N_{Ci} = \frac{N_{m3}}{R_C^{i-3}}, \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (2)$$

Суммируя длины сегментов водотоков различных порядков в пределах водосборного бассейна, получаем серию суммированных длин по отношению к порядку. Рассчитав отношение этой прогрессии как средневзвешенное значение парциальных соотношений, последний обозначаем как R_L :

$$R_L = \frac{\left[\left(\frac{L_{m1}}{L_{m2}}\right) + \left(\frac{L_{m2}}{L_{m3}}\right) + \left(\frac{L_{m3}}{L_{m4}}\right)\right] \times [(L_{m1} + L_{m2}) + (L_{m2} + L_{m3})(L_{m3} + L_{m4})]}{(L_{m1} + L_{m2}) + (L_{m2} + L_{m3})(L_{m3} + L_{m4})} \quad (3)$$

$$L_{Ci} = \frac{L_{m3}}{R_L^{i-3}}, \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (4)$$

С учетом законов порядков водотоков и суммированных длин водотоков последовательных порядков в данном дренаже (речной системе), можно вывести закон средней длины. Соотношения последовательных значений, определяющих две серии, образуют новый геометрический ряд. Средние длины отрезков водотока последовательно более высоких порядков в бассейне имеют тенденцию приближаться к возрастающему геометрическому ряду, в котором первым членом 1 является средняя длина сегментов первого порядка [Хортон, 1948; Strahler, 1952]. Отношение R_L последовательных средних длин можно снова установить, рассчитав средневзвешенное значение парциальных соотношений или их среднее арифметическое или установив наклон линии, проведенной через измеренные точки.

$$R_L = \frac{\left[\left(\frac{L_{m1}}{L_{m2}}\right) + \left(\frac{L_{m2}}{L_{m3}}\right) + \left(\frac{L_{m3}}{L_{m4}}\right)\right] \times [(L_{m1} + L_{m2}) + (L_{m2} + L_{m3})(L_{m3} + L_{m4})]}{(L_{m1} + L_{m2}) + (L_{m2} + L_{m3})(L_{m3} + L_{m4})} \quad (5)$$

$$l_{Ci} = \frac{l_{m3}}{R_L^{i-3}}, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (6)$$

где m – это измеренные с применением инструментария геоинформационных систем значения; вычисленные значения рассчитываются с использованием коэффициента, полученного посредством взвешенного арифметического среднего; R_C – коэффициент речных водотоков; R_L – отношение длины отрезка реки; R_L – отношение средней длины речных водото-

ков; N_i – количество речных водотоков с 1-го по 4-й порядок; L_i – сумма длин речных водотоков i -го порядка; I_i – сумма средней длины речных водотоков i -го порядка: $i = 1, 2, 3, 4$.

Закон суммируемых длин убывающий, а закон средних длин – увеличивающейся геометрической прогрессии, поэтому отношение R_L последовательных суммированных длин всегда должно быть меньше, чем R_C . Если R_L были бы равны R_C , тогда rl был бы равен единице, а средние длины сформировали бы постоянный ряд, что невозможно в реальности. Аналогично, если бы R_L было больше, чем R_C , их отношение было бы ниже единицы, а закон средних длин – убывающая прогрессия. Соотношение суммарных длин не может быть меньше или равно единице, так как в этом случае закон суммированных длин больше не будет убывающей прогрессией, следовательно $1 < R_L < R_C$ [Milton, 1966].

Морфометрический анализ дренажа помогает установить текущую стадию равновесия или дисбаланс бассейна, а также будущие тенденции развития [Gresu, Palmentola, 2003] и рассчитывается с использованием уравнения

$$I_n = N_{n-1}/R_C, \quad (7)$$

где I_n – индекс равновесия водосбора, N_{n-1} – представляет значение предпоследнего члена в каждой прогрессии, R_C – коэффициент соотношения слияния водотоков реки [Gresu, Palmentola, 2003]. Когда $I_n = 1$, водосборный бассейн находится в равновесии; при $I_n < 1$ бассейн находится в дисбалансе, недостаточно развит; если $I_n > 1$, то бассейн все еще находится в дисбалансе, но чрезмерно развит.

В качестве нового подхода в работе [Diaconu et al., 2017] предлагается фрактальная модель дренажа с учетом порядков рек. Для расчета фрактальных показателей речной сети использовался модифицированный клеточный метод, на основе которого создана программа «Фрактальная размерность речной сети» [Калуш, Логинов, Чупикова, 2006]. Особенностью программы является возможность работы с данными ГИС. Применение геоинформационных технологий обеспечивает эффективность анализа фрактального показателя речной сети в географической системе координат. Полученные файлы, с координатами кривых, преобразовывались в текстовый формат с расширением *.txt и импортировались в программу «Фрактальная размерность речной сети». На основе фрактальных измерений нами предлагается новая морфометрическая модель – модель фрактального дренажа, которая базируется на следующих уравнениях:

$$R_{FD} = \frac{\left(\frac{DB_{m1}}{DB_{m2}}\right) + \left(\frac{DB_{m2}}{DB_{m3}}\right) + \left(\frac{DB_{m3}}{DB_{m4}}\right) \times [(DB_{m1}+DB_{m2}) + (DB_{m2}+DB_{m3}) + (DB_{m3}+DB_{m4})]}{(DB_{m1}+DB_{m2}) + (DB_{m2}+DB_{m3}) + (DB_{m3}+DB_{m4})} \quad (8)$$

$$FD_{ci} = \frac{DB_{ms}}{R_{FD}^{i-s}}, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (9)$$

где m – измеренные (реальные) значения; s – вычисленные (с использованием соотношений, полученных взвешенным среднеарифметическим); R_{FD} – отношения фрактальных размеров сегментов реки (речных потоков); FD_i – фрактальная размерность участков реки i^{th} -го порядка (речных потоков).

Результаты и обсуждение

В принятом масштабе исследования порядок главных рек Харал и Оо-Хем, составляющих Ойна-Харальский рудный узел, рассчитанный по системе Хортон–Стралера, – пятый. Для структурного анализа с использованием модели дренажа использовались показатели рек 4-го порядка. В бассейне реки Харал выделено 4 подбассейна 4-го порядка – это реки Шорлуг, Кара-Хем, Чайынды и Сай-Кежиг. В бассейне реки Оо-Хем пять рек 4-го порядка – Ойнаа, Демержи, Кара-Адыр, Ак-Хем, Шеннелиг (рис. 1).

В результате работы были получены расчетные значения измеренных параметров: числа (количества) водотоков, их длины, средней длины по порядкам рек. Результаты полученных измерений и вычислений сведены в табл. 1, 2.

Как видно из табл. 1, распределение речных отрезков N_i для каждого исследуемого бассейна осуществляется на основе нисходящей геометрической прогрессии с определенным соотношением (коэффициентом) R_C .

Так, на водосборе р. Шорлуг (44 потока рек 1-го порядка, 7 потоков рек 2-го, 3 реки 3-го, 1 отрезок 4-го порядка) с отношением $R_C \sim 5,47$. Для бассейна р. Кара-Хем (65 притоков 1-го порядка, 13 притоков 2-го, 4 притока 3-го и 1 река 4-го порядка) коэффициент R_C равен 4,65. Для бассейна р. Чайынды аналогичные параметры составили 30 притоков 1-го порядка, 22 участка 2-го, 4 притока 3-го и 1 – 4-го порядка, значение R_C равно 2,84. На водосборе р. Сай-Кежиг число притоков по порядкам имеет такие же значения, как и для бассейна р. Шорлуг. Определенные значения коэффициента R_C для интересующих водосборов позволили рассчитать нормальное значение стандартной геометрической прогрессии. В условиях стандартной геометрической прогрессии число водотоков рек 1-го и 2-го порядка для исследуемых бассейнов должно быть больше, 3-го – совпадать с имеющимся, а 4-го порядка – быть меньше. Так, например, для водосбора рек Шорлуг и Сай-Кежиг значение индекса равновесия водосбора (I_n) составляет 0,55. На водосборе реки Кара-Хем (I_n) индекс равен 0,84, а для р. Чайынды – 1,41.

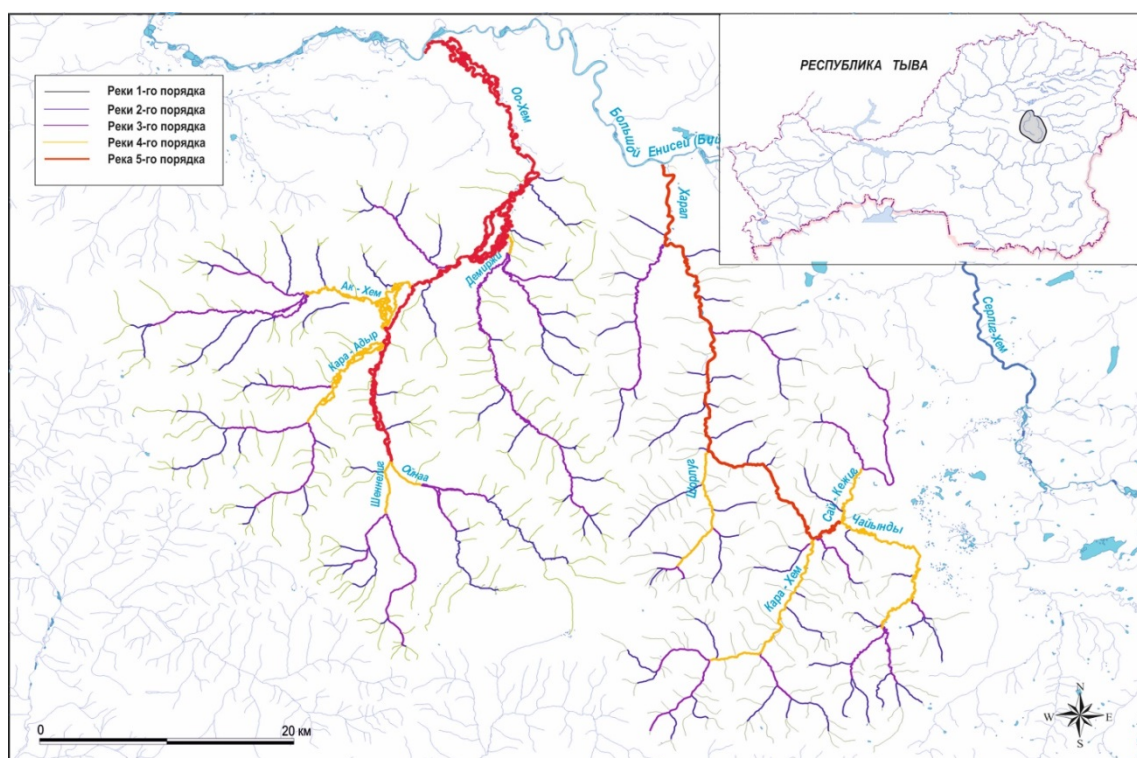


Рис. 1. Объект исследования, порядок рек по классификации Хортон–Стралера

Fig. 1. Object of study, the order of the rivers according to the classification of Horton–Strahler

Таблица 1

Параметры водотоков рек 4-го порядка бассейн р. Харал

Table 1

Parameters of river stream 4 order river basin Charal

Параметр		Порядок рек (<i>i</i>)				Коэффициент <i>R</i>
		1	2	3	4	
р. Шорлуг						
Кол-во водотоков реки (<i>N_i</i>)	Измерено	44	7	3	1	<i>R_c</i> 5,47
	Вычислено	89,9	16,4	3,00	0,55	<i>I_n</i> 0,55
Суммарная длина водотоков, км (<i>L_i</i>)	Измерено	70,0	23,7	6,8	7,2	<i>R_L</i> 2,87
	Вычислено	55,9	19,4	6,8	2,4	
Средняя суммарная длина водотоков, км (<i>l_i</i>)	Измерено	1,56	2,94	2,27	7,16	<i>R_I</i> 0,63
	Вычислено	0,91	1,44	2,27	3,59	
р. Кара-Хем						
Кол-во водотоков рек (<i>N_i</i>)	Измерено	65	13	4	1	<i>R_c</i> 4,65
	Вычислено	86,6	18,6	4,00	0,86	<i>I_n</i> 0,86
Суммарная длина водотоков, км (<i>L_i</i>)	Измерено	126,05	34,3	17,90	17,20	<i>R_L</i> 2,93
	Вычислено	152,7	53,3	17,90	6,1	
Средняя суммарная длина водотоков, км (<i>l_i</i>)	Измерено	1,91	2,29	5,99	17,32	<i>R_I</i> 0,38
	Вычислено	1,023	2,48	5,99	14,49	
р. Чайынды						
Кол-во водотоков реки (<i>N_i</i>)	Измерено	30	11	4	1	<i>R_c</i> 2,84
	Вычислено	32,2	11,4	4,00	1,41	<i>I_n</i> 1,40
Суммарная длина водотоков, км (<i>L_i</i>)	Измерено	62,11	16,2	17,6	21,9	<i>R_L</i> 2,39
	Вычислено	100,7	42,1	17,6	7,4	
Средняя суммарная длина водотоков, км (<i>l_i</i>)	Измерено	1,7	1,5	4,4	21,96	<i>R_I</i> 0,63
	Вычислено	0,42	1,35	4,4	14,3	
р. Сай-Кежиг						
Кол-во водотоков реки (<i>N_i</i>)	Измерено	44	7	3	1	<i>R_c</i> 5,47
	Вычислено	89,9	16,4	3,0	0,55	<i>I_n</i> 0,55
Суммарная длина водотоков, км (<i>L_i</i>)	Измерено	70,0	23,7	6,8	7,2	<i>R_L</i> 2,87
	Вычислено	55,9	19,4	6,8	2,4	
Средняя суммарная длина водотоков, км (<i>l_i</i>)	Измерено	1,56	2,94	2,27	7,16	<i>R_I</i> 0,63
	Вычислено	0,91	1,44	2,27	3,59	

Проведенный анализ для бассейна р. Харал указывает, что все реки, входящие в него, не находятся в равновесии, у них есть относительная степень недоразвития, кроме р. Чайынды, которая переразвита ($I_n = 1,4$). Причиной является то, что современная речная сеть Харала находится в молодой стадии развития, в районе Харальского ущелья продолжается активная глубинная и боковая эрозия, продольный профиль не выработан. Это связано с перестройкой речной сети и перехватом рек, произошедшим в верхнеплейстоценовое время в связи с таянием ледникового покрова Азасского ледника и катастрофическим спуском Верхнехаральского приледникового озера в долину Палео-Шорлуга [Гросвальд, 1965]. Образование Харальского ущелья, которое можно считать долиной прорыва, связано с эрозией, производимой сбрасываемыми водами древнего приледникового озера, существовавшего в пределах Серлигхемской впадины. Современный рисунок гидрографической сети рек в целом отражает изменение активности водно-эрозионных процессов, обусловленное соотношением энергии потоков и сопротивляемости пород, слагающих бассейн [Рудные..., 1981].

Река Чайынды до перехвата рек относилась к более древней и развитой речной системе Палео-Кара-Хема. В связи с чем подтверждаются предположения о общей унаследованности «памяти» в характере и свойствах гидрографической сети [Фрактальный..., 2013].

Основываясь на трех параметрах (см. табл. 1): количестве потоков рек разных порядков, суммарной длины потоков рек и средней суммарной протяженности потоков рек с учетом логарифмической шкалы в программе Microsoft Excel 2007 для каждого бассейна 4-го порядка, была разработана морфометрическая модель дренажа. На рис. 2 изображена морфометрическая модель, полученная для реки Кара-Хем, относящейся к бассейну р. Харал.

Степень баланса водосборов отображается графически пересечением линии суммированных длин с линией суммарной средней длины (см. рис. 2). Для рек Шорлуг, Чайынды и Кара-Хем точка пересечения этих линий соответствует значению абсцисс 3,9–4,0, что составляет более 90% и может свидетельствовать о балансе водосбора. Распределение суммарной средней длины производится на основе возрастающей геометрической прогрессии с определенными отношениями. В условиях стандартной геометрической прогрессии средняя длина сегмента реки 3-го порядка совпадает с вычисленными значениями, а 4-го – несколько больше или меньше измеренной длины. Определение отношения позволило вычислить нормальное значение стандартной геометрической прогрессии для каждого параметра.

Используя программу «Фрактальная размерность речной сети», вычислены показатели фрактальной размерности с 1-го по 4-й порядок всех рек территории исследований. Так, на рис. 3 отражены результаты фрактального анализа р. Кара-Хем, принадлежащей бассейну р. Харал.

Фрактальный анализ притоков рек с 1-го по 4-й порядок отражает, как и в случае морфометрической модели водосбора, баланс гидрографического бассейна. Фрактальная размерность потоков рек 1-, 2- и 3-го порядков показывает естественное нисходящее направление фрактальной размерности с увеличением порядка речных потоков: чем выше порядок, тем меньше число потоков, а также неявно суммированную длину этих потоков. Фрактальная размерность долины Кара-Хем составляет 1,117, а фрактальная размерность речной сети р. Кара-Хем (включая все речные отрезки, без учета их порядка) – 1,275.

Это указывает на высокую степень сложности долины Кара-Хем, порожденную сложной историей развития гидросети Палео-Кара-Хема, начавшуюся с образования Верхнехаральского приледникового озера и, как следствие, повышения базиса эрозии р. Палео-Кара-Хем; затем следовал спуск озера с похищением гидросети рекой Харал и резким понижением базиса эрозии.

Аналогичные вычисления были проведены и для рек 4-го порядка, принадлежащих бассейну реки Оо-Хем (табл. 2).

Согласно данным табл. 2, только для водосборов рек Демержи и Ак-Хем с расчетными значениями речных водотоков 4-го порядка индекс равновесия водосбора (I_n) соответствует 0,76 (Демержи), 0,88 (Ак-Хем), коэффициенты соотношения слияния (R_C) ~ 3,95 и 3,41; подтверждается наличие относительного баланса на данных водосборах.

Из анализа бассейна р. Оо-Хем следует, что не все реки находятся в равновесии, они имеют большую или меньшую степень недоразвития. Причина заключается в том, что современная речная сеть р. Оо-Хем находится в молодой стадии развития, характерной для горных рек.

Изображение морфометрической модели на примере р. Демержи (бассейн) р. Оо-Хем приведено на рис. 4.

Фрактальный анализ притоков реки Демержи 1-, 2-, 3-го порядков выявляет естественную тенденцию к уменьшению фрактальной размерности, одновременно с увеличением порядка притоков реки (чем больше порядок, тем меньше количество притоков этого порядка и меньше их суммарная длина). Тем не менее русло реки 4-го порядка имеет показатель фрактальной размерности незначительно больший, чем аналогичный показатель притоков 3-го порядка, отражая баланс гидрографического бассейна р. Демержи (рис. 5).

Применение инструментария геоинформационных систем позволило более эффективно и быстро извлекать и проводить анализ пространственной информации, главным образом, для идентификации признаков и извлечения информации. Так, были проведены вычисления коэффициента бифуркации и густоты расчленения поверхности (плотность дренажа, табл. 3).

Коэффициент бифуркации, рассчитанный как отношение количества потоков данного порядка N_i к количеству потоков в следующем, более высоком порядке $(N_i + 1)$, и плотность $D = L/S$ дренажа, где D – плотность дренажа; L – длина гидрографической сети; S – поверхность) для рек 4-го порядка, относящихся к бассейну рек Харал и Оо-Хем, приведены в табл. 3.

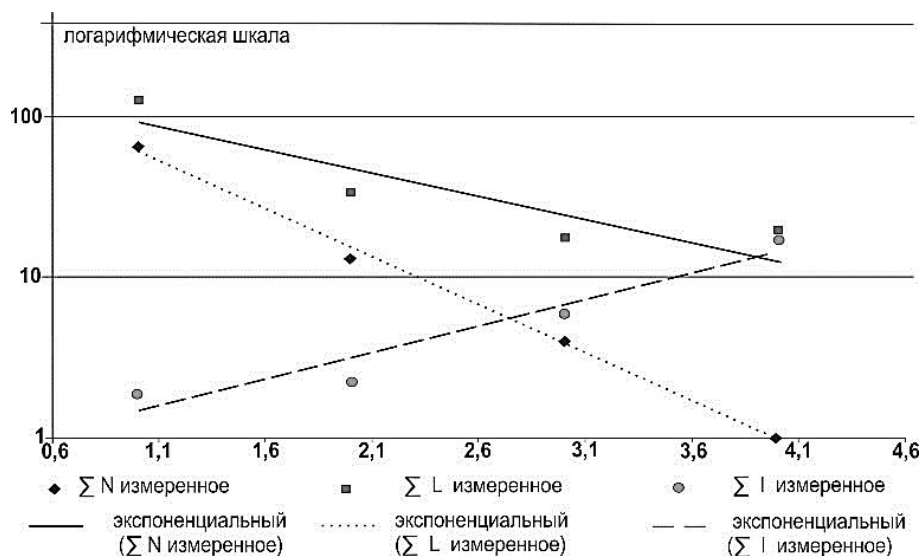


Рис. 2. Морфометрическая модель р. Кара-Хем

Fig. 2. Drainage model of Kara-Khem watershed

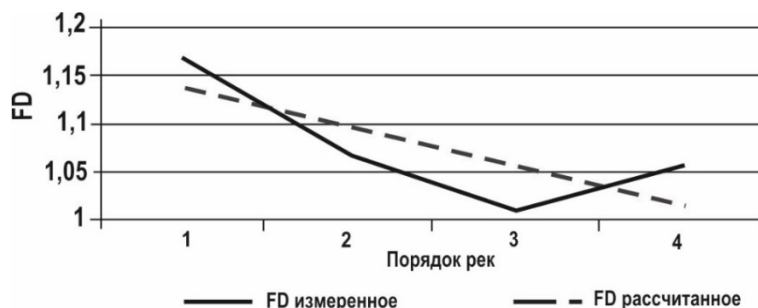


Рис. 3. Фрактальная модель дренажа р. Кара-Хем

Fig. 3. Fractal drainage model of Kara-Khem watershed

Таблица 2

Параметры водотоков рек 4-го порядка бассейна р. Оо-Хем

Table 2

Parameters of river stream 4 order river basin Oo-Chem

Параметр		Порядок рек (<i>i</i>)				Коэффициент (<i>R</i>)
		1	2	3	4	
р. Ойнаа						
Кол-во водотоков реки (<i>N_i</i>)	Измерено	27	4	2	1	<i>R_C</i> 5,68
	Вычислено	64,6	11,4	2,00	0,35	<i>I_n</i> 0,35
Суммарная длина водотоков, км (<i>L_i</i>)	Измерено	62,4	18,9	8,5	4,9	<i>R_L</i> 2,88
	Вычислено	70,88	24,55	8,5	2,94	
Средняя суммарная длина водотоков, км (<i>l_i</i>)	Измерено	2,23	2,78	4,22	4,9	<i>R_l</i> 0,8
	Вычислено	2,72	3,39	4,22	5,26	
р. Кара-Адыр						
Кол-во водотоков рек (<i>N_i</i>)	Измерено	56	8	3	1	<i>R_C</i> 6,19
	Вычислено	115,1	18,58	3,00	0,48	<i>I_n</i> 0,48

Параметр		Порядок рек (<i>i</i>)				Коэффициент (<i>R</i>)
		1	2	3	4	
Суммарная длина водотоков, км (<i>L_i</i>)	Измерено	106,9	23,9	22,9	11,04	<i>R_L</i> 3,33
	Вычислено	253,83	76,24	22,90	6,88	
Средняя суммарная длина водотоков, км (<i>l_i</i>)	Измерено	1,59	1,99	7,61	11,04	<i>R_I</i> 0,57
	Вычислено	2,49	4,35	7,61	13,28	
р. Шеннелиг						
Кол-во водотоков реки (<i>N_i</i>)	Измерено	28	7	2	1	<i>R_C</i> 3,77 <i>I_n</i> 0,53
	Вычислено	28,52	7,55	2,0	0,53	
Суммарная длина водотоков, км (<i>L_i</i>)	Измерено	46,62	14,6	19,7	4,68	<i>R_L</i> 2,69
	Вычислено	143,42	53,17	19,71	7,3	
Средняя суммарная длина водотоков, км (<i>l_i</i>)	Измерено	1,46	1,83	6,57	4,68	<i>R_I</i> 0,9
	Вычислено	5,37	5,94	6,57	4,68	
р. Демержи						
Кол-во водотоков реки (<i>N_i</i>)	Измерено	56	15	3	1	<i>R_C</i> 3,95 <i>I_n</i> 0,76
	Вычислено	46,74	11,84	3,0	0,76	
Суммарная длина водотоков, км (<i>L_i</i>)	Измерено	100,9	34,3	43,5	4,8	<i>R_L</i> 3,43
	Вычислено	512,4	149,3	43,5	12,67	
Средняя суммарная длина водотоков, км (<i>l_i</i>)	Измерено	1,8	1,8	8,7	4,8	<i>R_I</i> 1,09
	Вычислено	10,43	9,53	8,7	7,95	
р. Ак-Хем						
Кол-во водотоков реки (<i>N_i</i>)	Измерено	37	11	3	1	<i>R_C</i> 3,41 <i>I_n</i> 0,88
	Вычислено	34,8	10,22	3,0	0,88	
Суммарная длина водотоков, км (<i>L_i</i>)	Измерено	58,58	38,66	22,23	8,14	<i>R_L</i> 1,78
	Вычислено	70,71	39,65	22,23	12,46	
Средняя суммарная длина водотоков, км (<i>l_i</i>)	Измерено	1,36	3,22	11,11	8,14	<i>R_I</i> 0,84
	Вычислено	7,99	9,42	11,11	13,1	

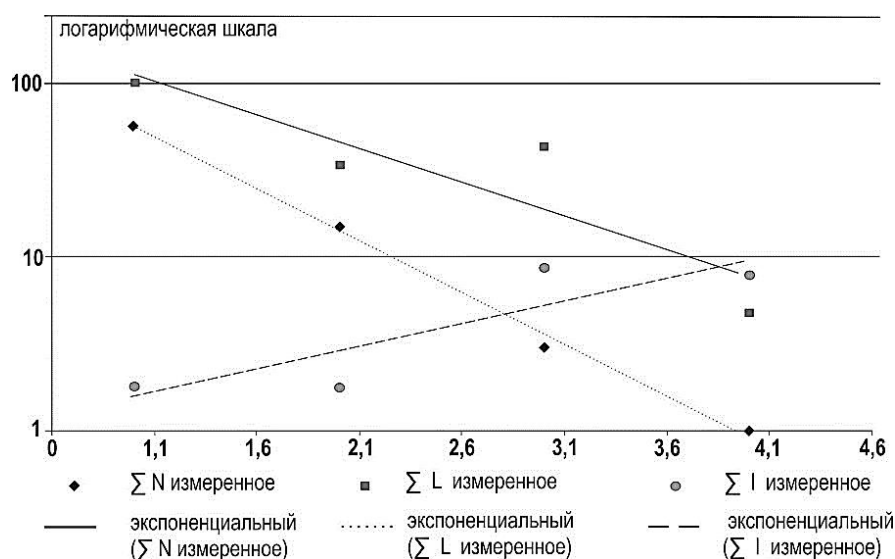


Рис. 4. Морфометрическая модель р. Демержи

Fig. 4. Drainage model of Demerzhi watershed

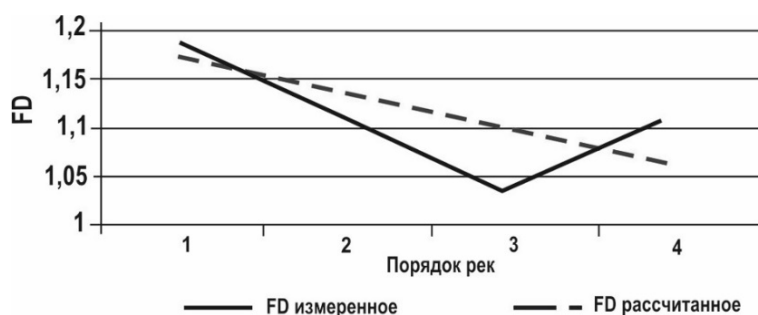


Рис. 5. Фрактальная модель дренажа р. Демержи

Fig. 5. Fractal drainage model of Demerzhi watershed

Таблица 3

Морфометрические характеристики

Table 3

Morphometric characteristics

Название реки	Средний коэффициент бифуркации (Rb)	Плотность дренажа (D), км/км ²
Бассейн Харала		
Шорлуг	3,87	0,99
Кара-Хем	4,1	0,83
Чайынды	3,16	0,72
Сай-Кежиг	3,87	1,17
Бассейн Оо-Хема		
Ойнаа	3,58	0,53
Кара-Адыр	4,22	0,75
Шеннелиг	3,17	0,75
Демержи	3,91	0,74
Ак-Хем	3,34	0,62

Согласно исследованиям А. Стралера [Strahler, 1957], коэффициент бифуркации показывает небольшой диапазон вариаций для разных регионов или для разных сред, за исключением тех случаев, когда доминирует мощный геологический контроль. Порядковая нерегулярность в Rb в основном обусловлена геологическими и литологическими особенностями водосборного бассейна. Чем ниже значение Rb , тем меньше структурных нарушений [Strahler, 1964]. Коэффициент бифуркации бассейнов рек исследуемой территории имеет наибольшее значение для потока 1-го и 2-го порядков, но уменьшается в потоке 3-го и 4-го порядков, поскольку на него не влияет какой-либо структурный контроль. Средний коэффициент бифуркации бассейнов рек изменяется от 3,16 до 4,22, что характерно для горных районов [Хортон, 1948].

Густота расчленения поверхности зависит как от климатических, так и от физических характеристик водосборного бассейна и непосредственно связана с величиной водного баланса. Возрастающая густота расчленения поверхности (плотность дренажа) сопровождается увеличением коэффициентов бифуркации. На рассматриваемой территории плотность дренажа варьируется от 0,53 до 1,17 км/км². Более низкую плотность дренажа имеют бассейны рек Ойнаа – 0,53 км/км² и Ак-Хем – 0,62 км/км², относящиеся к бассейну р. Оо-Хем. Для рек, составляющих бассейн Харала, плотность дренажа имеет более высокие значения (см. табл. 3). Высокая плотность дренажа для рек Сай-Кежиг – 1,17 км/км² и Кара-Хем – 0,99 км/км² бассейна р. Харал объясняется расположением их в пределах более влажной Серлигхемской котловины, в днище древнего Верхнехаральского приледникового озера, сложенного плохо проницаемыми озерными глинами, мощность которых, по данным бурения, превышает 10 м.

Заключение

Впервые представлен морфометрический и фрактальный анализ речных бассейнов р. Харал и р. Оо-

Хем Ойна-Харальского рудного узла на основе классификации Хортон–Стралера. В работе апробирована новая морфометрическая и фрактальная модель дренажа, позволяющая наблюдать качественные и количественные изменения в определении водосборного бассейна с учетом логарифмической шкалы числа, длины и средней длины речных водотоков разного порядка. Анализ индекса равновесия для бассейнов рек Харал и Оо-Хем указывает на то, что реки данного бассейна не находятся в равновесии, они имеют относительную степень недоразвития, кроме р. Чайынды, которая переразвита ($I_n = 1,4$). Это состояние дисбаланса подтверждается фрактальным анализом, свидетельствующим, что бассейны рек 4-го порядка имеют потоки порядка 4, с фрактальной размерностью выше потоков 3-го порядка.

Причина в том, что современная речная сеть р. Оо-Хем и р. Харал находится в молодой стадии развития, характерной для горных рек; здесь продолжается активная глубинная и боковая эрозия, продольные профили не выработаны. Это связано со сложной историей развития бассейнов, с многократным изменением базисов эрозии, вызванных оледенениями, с перестройкой речной сети и перехватом рек, произошедшим в верхнеплейстоценовое время в связи с таянием ледникового покрова. Река Чайынды до ее перехвата относилась к более древней и развитой речной системе Палео-Кара-Хема. Количественный анализ морфометрических параметров речных бассейнов может способствовать раскрытию климатических, геоморфологических, структурных и геологических особенностей территории. С теоретической точки зрения проведенные исследования вносят определенный вклад в развитие фрактальной методологии для дальнейшего накопления фактурного материала. В пределах Ойна-Харальского рудного узла апробация морфометрического и фрактального анализа речных бассейнов р. Харал и р. Оо-

Хем может служить для прогнозирования и выявления новых россыпных месторождений золота в элементах древней речной сети.

Работа выполнена по государственному заданию ТуВНКОПР СО РАН (проект № АААА-А17-117072710021-1), РФФИ (проект № 20-05-00605).

ЛИТЕРАТУРА

- Аюнова О.Д., Чупикова С.А., Прудников С.Г.** Фрактальный анализ разломно-блоковых морфоструктур Саяно-Тувинского нагорья // Процессы в геосредах. 2018. № 3 (16). С. 999–1003.
- Гросвальд М.Г.** Развитие рельефа Саяно-Тувинского нагорья. М. : Наука, 1965. 165 с.
- Калуш Ю.А., Логинов В.М., Чупикова С.А.** Фрактальная размерность речной сети. Программа для ЭВМ: Патент РФ № 2006611604; заявитель и правообладатель Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН. №2006610092; заяв. 10.01.2006; зарег. 12.05.2006.
- Мандельброт Б.** Фрактальная геометрия природы. М. : Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
- Ржаницын Н.А.** Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. М. : Гидрометеониздат, 1960. 238 с.
- Рудные формации Тувы** // Зайков В.В., Лебедев В.И., Тюлькин В.Г., Гречищева В.Н., Кужугет К.С. ; отв. ред. В.А. Кузнецов. Новосибирск : Наука. 1981. 202 с.
- Фрактальный анализ** в флювиальной геоморфологии / под ред. А.В. Иванова, А.В. Позднякова. М. : Университетская книга, 2013. 188 с.
- Хортон Р.Е.** Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. Гидрофизический подход к количественной морфологии / пер. с англ. М. ; Л. : Изд-во иностр. лит., 1948. 158 с.
- Чупикова С.А., Андронаке И.К.** Морфометрический и фрактальный анализ водосборного бассейна реки Харал // Природные ресурсы, среда и общество. 2019. № 2 (2). С. 54–60.
- Andronache I., Ahammer H., Jelinek H.F., Peptenatu D., Ciobotaru A.M., Draghici C.C., Pintili R.D., Simion A.G., Teodorescu C.** Fractal analysis for studying the evolution of forests // Chaos, Solitons & Fractals. 2016. № 91. P. 310–318.
- Andronache I., Marin M., Fischer R. et al.** Dynamics of Forest Fragmentation and Connectivity Using Particle and Fractal Analysis // Sci/ Rep. 2019. № 9. P. 12228. DOI: 10.1038/s41598-019-48277-z
- Greco F., Palmentola G.** Dynamic geomorphology. Bucharest : Technical Publishing House, 2003. 392 p.
- Diaconu D.C., Andronache I., Ciobotaru A.M., Ahammer H., Zelenakova M., Dinescu R., Podnyakov A., Chupikova S.A.** Fractal drainage model – a new approach to determinate the complexity of watershed // Acta montanistica slovacica. Technicka Univerzita v Kosciciach. 2017. V. 22, № 1. P. 12–21.
- Diaconu D.C., Andronache I., Pintili R.-Da., Breţcan P., Simion A.G., Drăghici C.C., Gruia K.A., Greco A., Marin M., Peptenatu D.** Using fractal fragmentation and compaction index in analysis of the deforestation process in Bucegi mountains group, Romania // Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2019. V. 14, № 2. P. 431–438. DOI: 10.26471/cjees/2019/014/092
- Milton L.E.** The Geomorphic Irrelevance of Some Drainage Net Laws // Australian Geographical Studies. 1966. V. 4. P. 89–95.
- Strahler A.N.** Hypsometric (Area-Altitude) analysis of erosional topography // Geological Society of America Bulletin. 1952. V. 63 (11). P. 1117–1142.
- Strahler A.N.** Quantitative analysis of watershed geomorphology // Transactions of the American Geophysical Union. 1957. V. 38. B. 6. P. 913–920.
- Strahler A.N.** Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In Chow, V.T. (ed.) Handbook of Applied Hydrology. New York : McGraw-Hill, 1964. P. 439–476.

Авторы:

Чупикова Светлана Алексеевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия.
E-mail: s_fom@inbox.ru

Прудников Сергей Григорьевич, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, ФГБУН Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия.
E-mail: prudnikov_s@inbox.ru

Андронаке Ион Кристевич, кандидат географических наук, научный сотрудник, Исследовательский центр по комплексному анализу и территориального управления, географический факультет, Бухарестский университет, Бухарест, Румыния.
E-mail: andronacheion@email.su

Geosphere Research, 2020, 2, 90–100. DOI: 10.17223/25421379/15/8

S.A. Chupikova¹, S.G. Prudnikov¹, I.K. Andronache²

¹ *Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS, Kyzyl, Russia*

² *University of Bucharest, Bucharest, Romania*

MORPHOMETRIC FEATURES OF THE STRUCTURE OF RIVER BASINS OINA-KHARAL ORE NODE (TUVA)

The article presents a morphometric and fractal analysis of the river basins of the Kharal river and the OO-Khem river of the Oina-Haral ore node based on the Horton-Straler classification using geographical information system (GIS) methods. The analysis was performed on maps digitized at a scale of 1: 100 000. The morphometric characteristics under study, such as the number, orders of watercourses, and their length, were directly calculated in the ArcGIS program. The fractal dimension indicator was calculated using the software "Fractal dimension of the river network". A morphometric and fractal model of the catchment area has been tested. Morphometric analysis is performed by measuring linear parameters and allows us to observe qualitative and quantitative changes in the definition of the catchment area, taking into account the logarithmic scale of the number, length and average length of river watercourses of different orders. The advantage of the fractal model is that it requires only the values of the fractal dimension of river streams of different orders. The obtained morphometric and fractal models of rivers Kara-Khem, Chayyndy, Ak-Khem and Demerzhi reflect their im-

plementation, and in the catchments of the rivers Shorlug, Sai-Kezhig, Oinaa, Kara-Adyr, Shennelig should be more river sections 2 and 3-th order. Analysis of the equilibrium index for the Kharal and Oo-Khem river basins indicates that the rivers of this basin are not in equilibrium, they have a relative degree of underdevelopment, except for the Chayynda river, which is over-developed ($ln = 1.4$). The state of the imbalance is confirmed by fractal analysis, which indicates that river basins of the 4th order have watercourses of order 4, with a fractal dimension higher than those of the 3rd order. The reason is that the modern river network of the Oo-Khem river and the Kharal river is at a young stage of development, characteristic of mountain rivers; active deep and lateral erosion continues here, the longitudinal profiles are not developed. This is due to the complex history of basin development, with multiple changes in the bases of erosion caused by glaciation, with the restructuring of the river network and interception of rivers that occurred in the upper Pleistocene period due to the melting of the ice cover. The bifurcation coefficient of the river basins of the study area has the highest value for the flow of the 1st and 2nd orders, but decreases in the flow of the 3rd and 4th orders, since it is not affected by any structural control. The quantitative analysis of morphometric parameters can help to reveal the climatic, geomorphological, structural and geological features of the territory. From a theoretical point of view, this research makes a certain contribution to the development of fractal methodology for further accumulation of texture material. Within the Oina-Kharalsky ore node, testing of morphometric and fractal analysis of the river basins of the Kharal river and the Oo-Khem river can be used to predict and identify new placer gold deposits in the elements of the ancient river network.

Keywords: morphometric characteristics, drainage model, drainage basin, river order, Tuva.

References

- Ayunova O.D., Chupikova S.A., Prudnikov S.G. *Fraktal'nyy analiz razlomno-blokovykh morfostruktur Sayano-Tuvinskogo nagor'ya* [Fractal analysis of fault-block morphostructures of the Sayano-Tuvian highlands] // Processes in geomedia. 2018. № 3 (16). pp. 999–1003. In Russian
- Grosval'd M.G. *Razvitiye rel'efa Sayano-Tuvinskogo nagor'ya* [The development of the relief of the Sayan-Tuva highlands]. Moscow: Nauka. 1965. 165 p. In Russian
- Kalush Yu.A., Loginov V.M., Chupikova S.A. *Fraktal'naya razmernost' rechnoy seti* [Fractal dimension of the river network]. Computer Program: RF Patent No. 2006611604; Applicant and copyright holder Tuva Institute for the Integrated Development of Natural Resources SB RAS. No. 20066610092; application 01/10/2006; registered. 05/12/2006. In Russian
- Mandelbrot B. *Fraktal'naya geometriya prirody* [Fractal geometry of nature]. Moscow: Institute for Computer Research. 2002. 656 p. in Russian
- Rzhanitsyn N.A. *Morfologicheskie i gidrologicheskie zakonomernosti stroeniya rechnoy seti* [Morphological and hydrological patterns of the structure of the river network]. Moscow: Gidrometeoizdat, 1960. 238 p. In Russian
- Rudnye formatsii Tuvy* [Tuva ore formations] // Zaikov V.V., Lebedev V.I., Tyul'kin V.G., Grechishcheva V.N., Kuzhuget K.S.; otv. red. akad. V.A. Kuznetsov. Novosibirsk: Nauka. 1981. 202 p. In Russian
- Fraktal'nyy analiz v flyuvial'noy geomorfologii* [Fractal analysis in fluvial geomorphology] // Edited by A.V. Ivanov, A.V. Pozdnyakov. Moscow: Publishers "University Book", 2013. 188 p. In Russian
- Horton R. E. *Eroziionnoe razvitiye rek i vodosbornykh bassejnov. Gidrofizicheskij podhod k kolichestvennoj morfologii* [Erosive development of rivers and watersheds. Hydrophysical approach to quantitative morphology] / Moscow-Leningrad: Izd-vo inostr. lit., 1948. p.158. In Russian
- Chupikova S.A., Andronake I.K. *Morfometricheskij i fraktal'nyy analiz vodosbornogo bassejna reki Kharal* [Morphometric and fractal analysis of the Kharal river drainage basin] // Prirodnye resursy, sreda i obshchestvo. 2019. № 2 (2). pp. 54–60. In Russian
- Andronache I., Ahammer H., Jelinek H.F., Peptenatu D., Ciobotaru A.M., Draghici C.C., Pintilii R.D., Simion A.G., Teodorescu C. Fractal analysis for studying the evolution of forests. *Chaos, Solitons & Fractals*. 91. 2016. pp. 310–318.
- Andronache, I., Marin, M., Fischer, R. et al. Dynamics of Forest Fragmentation and Connectivity Using Particle and Fractal Analysis. *Sci. Rep* 9, 12228 (2019). DOI: 10.1038/s41598-019-48277-z
- Grecu F., Palmentola G. *Dynamic geomorphology*. Technical Publishing House, Bucharest, 2003. 392 p.
- Diaconu D.C., Andronache I., Ciobotaru A.M., Ahammer H., Zelenakova M., Dinescu R., Podnyakov A., Chupikova S.A. Fractal drainage model – a new approach to determinate the complexity of watershed // *Acta montanistica slovacica*. Technicka Univerzita v Kosiciach. 2017. V. 22, № 1. pp. 12–21.
- Diaconu D.C., Andronache I., Pintilii R.-Da., Breţcan P., Simion A.G., Drăghici C.C., Gruia K.A., Grecu A., Marin M., Peptenatu D. Using fractal fragmentation and compaction index in analysis of the deforestation process in Bucegi mountains group, Romania. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 2019. 14 (2): pp. 431–438. DOI: 10.26471/cjees/2019/014/092
- Milton L.E. The Geomorphic Irrelevance of Some Drainage Net Laws, *Australian Geographical Studies* 1966. V.4. pp. 89–95.
- Strahler A.N.: *Hypsometric (Area-Altitude) analysis of erosional topography*, Geological Society of America Bulletin, 1952. 63 (11). pp. 1117–1142.
- Strahler A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology // *Transactions of the American Geophysical Union*. 1957. V. 38. B. 6. pp. 913–920.
- Strahler A.N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In Chow, V.T. (ed.) *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York, 1964. pp. 439–476.

Authors:

Chupikova Svetlana AL., Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher, Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources, SB of the RAS, Kyzyl, Russia.

E-mail: s_fom@inbox.ru

Prudnikov Seirgei Gr., Cand. Sci.(Geol.-Miner.), Head of laboratory, Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources, SB of the RAS, Kyzyl, Russia.

E-mail: prudnikov_s@inbox.ru

Andronache Ion, Cand. Sci. (Geogr.), Associate Researcher, Research Centre for Integrated Analysis and Territorial Management, University of Bucharest, Bucharest, Romania

E-mail: andronacheion@email.su

ПАМЯТНАЯ ДАТА

УДК 574 + 929

ТОВАРИЩУ ПЛЕХАНОВУ, АСТЕРОИДУ И ЧЕЛОВЕКУ

Н.В. Паршина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия



Посвящается памяти Г.Ф. Плеханова (1926–2019 гг.), участника Великой Отечественной войны, кавалера ордена Отечественной войны, обладателя многочисленных медалей и ряда почетных званий: почетный работник высшего образования, заслуженный деятель науки Российской Федерации и заслуженный профессор Томского государственного университета. В 2012 г. международная обсерватория в Бельгии присвоила астероиду 14499 имя PLEKHANOV. Директор НИИ биологии и биофизики (1979–1995 гг.), заведующий и профессор кафедры природопользования ГГФ ТГУ (1995–2019 гг.). Сфера научных интересов – радиобиология, экология, Тунгусский метеорит, телепатия. Автор более 140 научных трудов, включая пять монографий. Под его руководством выполнено более 35 работ по спецтематике. Автор концепции экологического нормирования по предельно допустимым отклонениям состояния живых систем от нормы.

Ключевые слова: биография, заслуженный профессор ТГУ, радиобиология, экология, Тунгусский метеорит, астероид PLEKHANOV.

Геннадий Фёдорович Плеханов родился 8 ноября 1926 года в г. Минусинске Красноярского края. Отца знал только по рассказам матери. Гобов Фёдор Михайлович (1889 г.р.) революцию принял, был в чине уполномоченного райисполкома с. Балахта, разъезжал по деревням с разными поручениями. Мама, как

грамотная, была к нему приставлена вроде писаря. Умер от туберкулеза в 1935 г. где-то на Дальнем Востоке. Мария Петровна Плеханова (1896 г.р.) была человеком образованным – окончила Киевский учительский институт. Воспитывала сына одна, фамилию дала свою. Читать Геннадий научился сам в 4 года.



Геннадий Плеханов, 2 года. 1929 г.
Семейный архив



С бабушкой и мамой. 1934 г. Семейный архив

«Помогал» маме разбирать по названиям газеты в избе-читальне. Мама показала где «Правда», где «Красноярский рабочий», «Известия». «Правда» была напечатана жирными буквами – «по печатному», а «Коммунистическое воспитание» – письменными. Так и стал читать.

В 1936 г. с мамой и бабушкой переехали в с. Ададым. Мама преподавала в школе биологию и химию, и им выделили комнату в учительском доме. После полета Чкалова через Северный полюс Гена стал мечтать об авиации. На основе набора «Юный химик» проводил различные опыты по химии, экспериментировал и с электричеством, которое вечерами появлялось в домах. Практическая деятельность всегда привлекала его больше, чем просто учеба.

В 6–7-м классе прочитал научно-фантастический роман Ю. Долгушина «Генератор чудес». Там описывалось, как изобретатель-радиотехник и профессор-медик разработали генератор, позволявший управлять физиологическими функциями и поведением организмов с помощью радиоволн. Книга произвела сильное впечатление, сместила ответ на вопрос «кем быть» с авиации в сторону управления в живой природе и на многие годы определила дальнейшую жизнь Геннадия.

К началу войны Геннадий закончил 7 классов Ададымской неполной средней школы. Мужчин в селе не осталось, в совхозе работали женщины и дети. Гену приставили к землемеру, за которым он аккуратно таскал теодолит со штативом. В армию был призван осенью 1943 г. В боевых действиях на Дальнем Востоке участвовал осенью 1945 г., всего три недели. После капитуляции Японии и конца Второй мировой войны «срочная служба» продолжалась еще пять лет. Таким образом, для сержанта Плеханова военная эпопея была только кратким эпизодом на фоне почти семилетней армейской службы. В послевоенный период занимался, в основном, ремонтом техники – электростанций, радио и телефонной аппаратуры. В 1947 г. сдал экзамены на аттестат зрелости в заочной средней школе Хабаровска.

Наконец, 1950 г. и демобилизация. Встал вопрос, чем заниматься дальше и куда оформлять проездные документы. Рассуждал примерно таким образом: «Человека наиболее детально изучают в мединституте, радиотехнику – в политехническом, а наукой занимаются в университете». Искал сибирский город, в котором три интересующих вуза располагались рядом. В справочнике для поступающих в вузы оказался лишь один такой город – Томск. Проспект Тимирязева, 1 – мединститут, Тимирязева, 3 – университет, Тимирязева, 9 – политехнический. Решение было однозначным. Приехал в Томск. Хотя в этом городе ни друзей, ни знакомых не было.

Форма армейская: гимнастерка, сапоги кирзовые, а на голове пилотка. Все как положено, только без

погон. Поступил в медицинский. Из фронтовиков в вузы шли немногие – лишь те, кто не мыслил для себя иного пути.

Учебе отдавался со страстью. Лекции внимательно конспектировал, задавал вопросы, записывал ответы, а потом, опять в читалке, снова и более детально читал учебник и кое-что дополнительно по теме лекции. На семинарах и практических занятиях также работал на полную катушку. Такой студент – мечта любого преподавателя во все времена. Был старостой курса, поэтому часто оказывался в деканате у И.В. Торопцева. Иннокентий Васильевич называл старост «маленькими деканами» и вел себя с ними, как с младшими коллегами.

В 1956 г. закончил медицинский. Работал сначала врачом-инженером бетатронной лаборатории ТМИ, потом ассистентом кафедры физики Томского мединститута. 1956–1961 гг. – врач-инженер бетатронной лаборатории ТМИ, 1961–1963 гг. – ассистент кафедры физики, 1963–1965 гг. – младший научный сотрудник Института цитологии и генетики СО АН (г. Новосибирск). В январе 1963 г. проводилась первая всесоюзная конференция по бионике. Узнал о ней случайно, но подготовил доклад на тему «О восприятии информации живыми организмами», в котором говорил о восприятии человеком радиоволн. Огромный интерес у Геннадия Фёдоровича вызывали вопросы, связанные с телепатией.

В 1959 г. все зачитывались книгой А. Казанцева «Гость из космоса». Автор достаточно убедительно доказывал, что Тунгусский метеорит – это Марсианский космический корабль, потерпевший катастрофу. Собралась группа энтузиастов, готовых отправиться в район падения Тунгусского метеорита и составивших прообраз Комплексной самостоятельной экспедиции (КСЭ). Цель работы – выяснение природы явления, известного как «падение ТМ». В КСЭ вошли люди разных специальностей: врач, геоботаник, радиофизик, математик, метеоролог, астроном, биолог, социолог. Среди них была и Люда Толстых, которая с 1966 года фигурирует в списках участников походов как Людмила Григорьевна Плеханова. Эти люди и исследования занимали Геннадия Фёдоровича на протяжении всей жизни. Его величали «Командор». В КСЭ Плеханов был признанным лидером, и не только научным. В 2008 г. он участвовал в торжествах по поводу столетия «падения Тунгусского метеорита».

У Геннадия Фёдоровича пятеро сыновей, двое старших – от первого брака. Большая семья работала продуктивно, как хороший завод. В их доме прекрасно уживались люди разных поколений и интересов, рождались дети и новые идеи, обсуждались планы предстоящих экспедиций. Было много народу, а хозяйка, Людмила Григорьевна, всегда знала, кому налить борща, кому чаю, а кому водочки...



После демобилизации
1950 г. Семейный архив



Ванавара. Празднование 100-летия падения Тунгусского метеорита.
С Георгием Гречко. 2008 г. Семейный архив

Знаний никогда не бывает много, поэтому в 1965 г. Геннадий закончил ТИРИЭТ (ныне ТУСУР) и получил диплом радиоинженера. Во времена бесплатного обучения два высших образования были большой редкостью. С 1965 г. работал в СФТИ в лаборатории бионики. А в 1967 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «О восприятии человеком неоощуемых сигналов». Работа эта до сих пор не потеряла актуальности. После защиты диссертации стал заведовать лабораторией с официальным названием «Изучение и моделирование нестандартных систем коммуникации в живой природе». В лаборатории развивались следующие направления исследований: экстрасенсорика, гелиобиология, электромагнитная биология, биология.

Период работы в качестве директора НИИ биологии и биофизики (НИИ ББ) Геннадий Фёдорович выделяет особо. Это время творческой зрелости, непосредственного контакта с большим количеством людей, разных как в профессиональном, так и в чисто человеческом плане. На это время выпали все тяготы перестроечного периода (сентябрь 1979 – май 1995 г.). Были трудности с финансированием. Одной из безусловных заслуг директора было то, что он привлек в институт хозяйственные средства. Геннадий Фёдорович вызывал доверие и умел договариваться с людьми. Сейчас уже можно сказать, что в этот период времени более половины всех работ финансировались министерством обороны и даже КГБ СССР. У биологического знания всегда есть задачи стратегического значения и свое законное место в ряду других наук.



С супругой Л.Г. Плехановой, Тунгуска. 1985 г.



С сыновьями. 1982 г.



Семья Плехановых, 1995 г. Семейный архив



Лаборатория электромагнитной биологии НИИББ, 1985 г.

Нижний ряд: Иванова Л.А., Семенова О., Еременко П.М., Плеханов Г.Ф., Бадина Н.В., Сущенко О.В.
 Средний ряд: Печоркин М.П., Полякова Л.А., Баскурян А.К., Гусева Е.В., Галкин А.Н., Тухватулин Р.Т.
 Верхний ряд: Евдокимов Е.В., Евдокимов А.В., Калюжин В.А., Васильева О.В., Карташев А.Г.,
 Захарченко А.В. Архив автора

Это были, пожалуй, лучшие времена для института: крупные комплексные темы, работы над которыми сплотили вокруг Геннадия Фёдоровича сотрудников, превратили коллектив института в монолит единомышленников. В восьмидесятых годах численность сотрудников института достигала 750 человек. В разных биологических направлениях успешно работали такие ученые, как Ю.А. Львов, Е.В. Евдокимов, Ю.А. Рябчук, А.Г. Карташев, В.А. Новак, В.М. Орлов, Р.Т. Тухватулин, В.Н. Стегний, В.Б. Купрессо-

ва, Р.М. Кауль, В.Н. Романенко, Г.А. Докшина, Т.И. Шустова, Н.А. Кривова, Ю.В. Бушов. «Плеханов обладал удивительным свойством обраться творческим коллективом – причем всерьез и надолго», – говорил его друг Н.В. Васильев.

Лето в институте – это период полевых работ. Геннадий Фёдорович был «играющим тренером»: за сезон на газике, с любимым водителем – Болтовским, объезжал полевые отряды, чтобы составить собственное представление о проводившихся рабо-

тах. Работали стационары: Ломачевка, Берикуль, Манатка, Овражное, Половинка. Здесь велись многолетние наблюдения, часто студенты проходили практику. Благодаря широчайшей эрудиции Плеханов мгновенно схватывал суть, мог оценить и поддержать разнообразные научные направления в своем институте. За годы директорства в НИИ ББ приобрел не только безусловное уважение, но и настоящую любовь сотрудников. Ему посвящали и стихи и песни. Сергеем Гуреевым написан замечательный цикл стихов про институт и его директора.

С поста директора Геннадий Фёдорович уходит добровольно в 1995 г., считая, что место это должен занимать человек более молодой. Его избирают заведующим кафедрой охраны природы (ныне – природопользования) геолого-географического факультета ТГУ. За более чем полувековую службу в его трудовой книжке только одна запись «принят» и две «переведен». Нет ни одной записи об увольнении...

Последнее публичное выступление Геннадия Фёдоровича состоялось 30 ноября 2018 г. на 50-летнем юбилее НИИ ББ. На ужине после заседания Геннадий Фёдорович всем желающим дарил свою книгу с автографом. Он внимательно следил за судьбой любимого института, до самого конца чувствовал ответственность за все, что с ним происходило. Переживал.

Из характеристики с места работы:

«В 1979 году стал директором НИИ биологии и биофизики при Томском госуниверситете, проработал на этой должности до 1995 г. В 1989 г. защитил докторскую диссертацию по специальности “Радиобиология”. С 1995 по 2002 г. заведовал кафедрой охраны природы Томского госуниверситета. С 1995 г. в НИИ ББ исполнял обязанности зав. отд. экологии, являясь главным научным сотрудником и продолжая деятельность профессора кафедры. В открытой печати опубликовано более 140 работ, включая 5 монографий, выполнено более 35 работ по спецтематике.

Осуществлял руководство рядом госбюджетных и договорных тем. Разработал и доложил на международных и российских научных конференциях концепцию экологического нормирования по предельно допустимым отклонениям состояния живых систем от нормы.

Разработано 6 оригинальных авторских курсов лекций для студентов: “Теоретические основы охраны природы”, “Учение об окружающей среде”, “Естествознание”, “Экология и безопасность жизнедеятельности” и др. Под его руководством защищено 18 кандидатских и 6 докторских диссертаций».

Геннадия Фёдоровичу довелось быть членом четырех диссертационных советов: по биологии, географии, геологии, физико-математическим и техническим наукам.

Пишет Наталья Савина, ученый секретарь диссертационного совета ГГФ:

«В 1995 году Г.Ф. вошел в состав диссертационного совета ГГФ, обеспечивая специальность “Геоэкология”.

Как известно, геоэкология – междисциплинарное научное направление, и вместе с ним в этот «блок» совета вошли доктора геолого-минералогических, физико-математических, химических, географических, биологических наук. Он же, сам олицетворяя междисциплинарность в единственном лице, имел глубочайшие знания во всех направлениях этой науки, что проявлялось при каждой защите.

Любая представленная диссертация вызвала у него живой интерес, множество вопросов. Пожурив за недостатки, всегда умел найти достоинства работы, выступая ярко и по существу.

Работать с ним в совете было одно удовольствие. Мне тоже доставалось от Геннадия Фёдоровича. Скудные процедуры, которые я так и не научилась “обходить”, он считал никчемными и делал замечания. Но сердился не очень и одарял своими монографиями. Последнюю, итог всей его жизни, перечитываю в который раз, поражаясь (восхищаясь) легкости изложения, глубине мысли, четкости деталей. А ведь Геннадия Фёдоровичу было уже 90, когда он ее писал!

Статус и состав совета менялся: сначала он был докторским, потом кандидатским, опять докторским. Одни члены совета уходили, в силу разных причин, другие пришли. Геннадий Фёдорович входил в “ядро” докторов наук, которые были с нами неизменно почти 25 лет, несмотря ни на что!»

Кроме всего, что считал важным и делал в этой жизни Геннадий Фёдорович, он еще успевал дружить с людьми многими и разными. Времени на общение не жалел, делал это качественно. Сколько помню его, он больше слушал, чем говорил. Очень жалел, что пережил своих любимых учеников: Женю Евдокимова, Валеру Орлова...

Радовался праздникам, всегда принимал участие в их организации. Когда ему исполнилось 89 лет, он собрал людей, с кем довелось работать в институте. Сказал, что не уверен, что там будет через год.

Но и на его юбилей мы тоже собрались широким кругом друзей. Приехали его сыновья. Был настоящим юбиляром. И, как всегда, командовал парадом.

Самым главным праздником для них с Людмилой Григорьевной был день Победы.

В 2019 г. Геннадий Фёдорович впервые был на митинге один, без супруги. Шел, невесело ступая тяжелыми ногами по кругу почета до полянки за БИНОм, с неизменной гречневой кашей, боевыми 100 граммами и плясками замечательных девчонок в военной форме...

Геннадий Фёдорович прожил долгую жизнь. Он никогда не прекращал учиться.



Лаборатория охраны природы. 9 мая 2005 г.
Верхний ряд: Базанов В.А., Хамматова Е.В., Паршина Н.В., Шемякина Т.В., Березин А.Е.
Нижний ряд: Гайдукенко З.В., Заде И.Н., Плеханов Г.В., Семенова Н.М. Архив автора



С А.П. Бычковым. 9 мая 1980-е гг.
Архив автора



С супругой Л.Г. Плехановой. 9 мая 2015 г.
Архив автора



Ноябрь 2016. Выступление Г.В. Майера
на торжественном заседании в честь 90-летнего
юбилея Г.Ф. Плеханова. Архив автора



Юбилей 90 лет. Ноябрь 2016 г.
С Ф.П. Тарасенко и Г.В. Майером.
Архив автора



Выступление на заседании, посвященном 50-летию НИИ ББ. 2018 г. Фото Н. Кувшинова



Презентация книги «Окна памяти». 30 ноября 2018 г. Фото Н. Кувшинова

В его детстве даже электричество, в виде лампочки над столом, было не в каждом доме. А в зрелом возрасте (уже после 80 лет!) он смог освоить персональный компьютер, и приспособил его для переписки с друзьями, работы над публикациями. Даже в интернете находил интересующую его информацию.

Рассказать про нашего героя лучше, чем это сделал он сам, невозможно. В 2015 г. Геннадий Фёдорович написал автобиографическую книгу «Окна памяти». Ольга Блинова – друг семьи Плехановых, прислала стихотворение в духе фольклора КСЭ. Она была среди тех, кто буквально заставил его написать о своей жизни. На протяжении нескольких лет он начинал и бросал работу над книгой: «А кому это надо?».

У Г.Ф. Плеханова два высших образования. По первому диплому он «врач-лечебник», по второму – «радиоинженер». Кандидатскую защищал по специальности «биофизика», докторскую по «радиобиологии». Научные интересы распространялись на разные области знаний – «биофизика», «радиобиология», «экология», «охрана природы», с 1960 г. занимался проблемой Тунгусского метеорита. В общем, «сплошной кавардак» – как охарактеризовал свои научные пристрастия сам Геннадий Фёдорович. Он был универсалом, и, без сомнения, именно эта широта интересов была залогом его жизненного успеха.

Среди его достижений есть такие, которыми он сам особенно дорожил и гордился. Это, прежде всего, боевая награда – медаль за победу над Японией, звание заслуженного профессора Томского государственного университета. И ещё! В 2012 г. международная обсерватория в Бельгии присвоила астероиду 14499 имя PLEKHANOV.

Уходил из жизни как солдат. В ясном уме и твердой памяти. С полным пониманием происходящего и того, что содержание жизни его истощается, и от него уже мало что зависит.

Стихи, посвященные Г.Ф. Плеханову:

Мемуар Командора

*Ох, батюшки. Какой, однако, слог!
И построенье фраз, логично-кратких.
Порой, включая даже диалог,
Но тоже так – достойно, по порядку
проходит мысль, препоны и пеньки
минуя здраво: детство. Зрелость. Юность –
поскольку не кончалась, вопреки...
Не в раз, не вдруг воспринимаешь юмор –
Но нет – он есть. Порою не поймешь,
Что это вот рассказано для ржання.
Таков уж стиль. Зато не видишь ложь:
Что ни абзац – то факта содержание.
Эмоций – нет. Есть линии судьбы,
Как фразы, обозначенные – кратко.
Моменты покоя и борьбы –
все сведено к достойному порядку.
О личном – ну ни радуги, ни зги.
...Вот почему у нас никто не гиб –
В тайге, болотах, вечных наших спорах:
Была над всем статУя Командора!*

15 ноября 2012 г., Ольга Блинова

Памяти Г.Ф. Плеханова

*В заботах о науке и природе
На очень долгом творческом пути.
Не зря, конечно, говорят в народе,
Что жизнь пройти – не поле перейти.
Тем более, когда с полей военных,
Идеями пустыми не пыля,
Сквозь нестыковки разных переменных,
Сквозь электромагнитные поля.
От южных гор до северной Тунгуски
На протяжении многих-многих лет.*

Какие нормативные нагрузки?
 Для вдохновения препятствий нет.
 Прорыв в науке, как прорвало дамбу,
 Когда научной мысли нет преград.
 Кому при жизни пишут дифирамбы,
 А кто-то служит делу без наград.
 С друзьями – на основе паритета,
 С печалью – незаметно, тет-а-тет.
 Из главных, основных приоритетов –
 Семья и томский университет.
 И помним мы, как помнят дети, внуки,
 Как комплексы рождались там и тут.
 Объединяя разные науки,
 Он пережил закрытый институт.

Для многих и наставник, и учитель,
 Боец, единомышленник, собрат.
 А что салюты? Вы опять молчите,
 Не замечая значимых утрат?
 На право «Жить» не выделяют гранты,
 Свою дорогу каждый сам прошел.
 Ушел почти последний из гигантов.
 Все, что сумел, он сделал. И ушел...
 Не про него сегодня ахи-охи.
 Ты просто помни, просто помолись.
 Уходят командоры той эпохи,
 А новые пока что не нашлись.
 Энергия его не утихала,
 И с легким сердцем встретил он покой.
 Такой – Геннадий Федорович Плеханов.
 Он был, есть и останется – такой.

8 июля 2019 г., Сергей Гуреев

Автор:

Паршина Наталья Владимировна, лаборатория охраны природы, Научно-исследовательский институт биологии и биофизики, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: nature@res.tsu.ru

Geosphere Research, 2020, 2, 101–108. DOI: 10.17223/25421379/15/9

N.V. Parshina

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

COMRADE PLEKHANOV, ASTEROID AND BIG MAN

G.F. Plekhanov lived 1926–2019, Doctor of Biological Sciences. He was Member of the Great Patriotic War, holder of the Order of the Patriotic War, numerous medals. He was holded of honorary titles: Honorary Worker of Higher Education, Honored Scientist of the Russian Federation, Honored Professor of TSU. In 2012, the international observatory in Belgium assigned the asteroid 14499 the name PLEKHANOV.

From 1979 to 1995 he was Director of the Research Institute of Biology and Biophysics and then – Head and professor of the Department of Nature Management, Faculty of Geology and Geography Tomsk State University (1995–2019).

His research interests are radiobiology, ecology, the Tunguska meteorite, telepathy. Published more than 140 scientific papers, including 5 monographs, completed more than 35 works on special topics. Plekhanov G.F. is the author of the concept of environmental regulation on the maximum permissible deviations of the state of living systems from the norm.

Keywords: *biography, honored professor of TSU, radiobiology, ecology, Tunguska meteorite, asteroid PLEKHANOV.*

Author:

Parshina Nataliya V., Laboratory for Nature Conservation, Research Institute of Biology and Biophysics, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: nature@res.tsu.ru

Научный журнал

ГЕОСФЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

GEOSPHERE RESEARCH

2020. № 2

Редакторы: Н.А. Афанасьева, 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 19.06.2020 г. Формат 60х84¹/₈.
Гарнитура Times. Печ. л. 13,7; усл. печ. л. 12,7.
Тираж 50 экз. Заказ № 4344. Цена свободная.

Дата выхода в свет 10.07.2020 г.

Журнал отпечатан на полиграфическом оборудовании
Издательского Дома 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