

3 (3) 2023

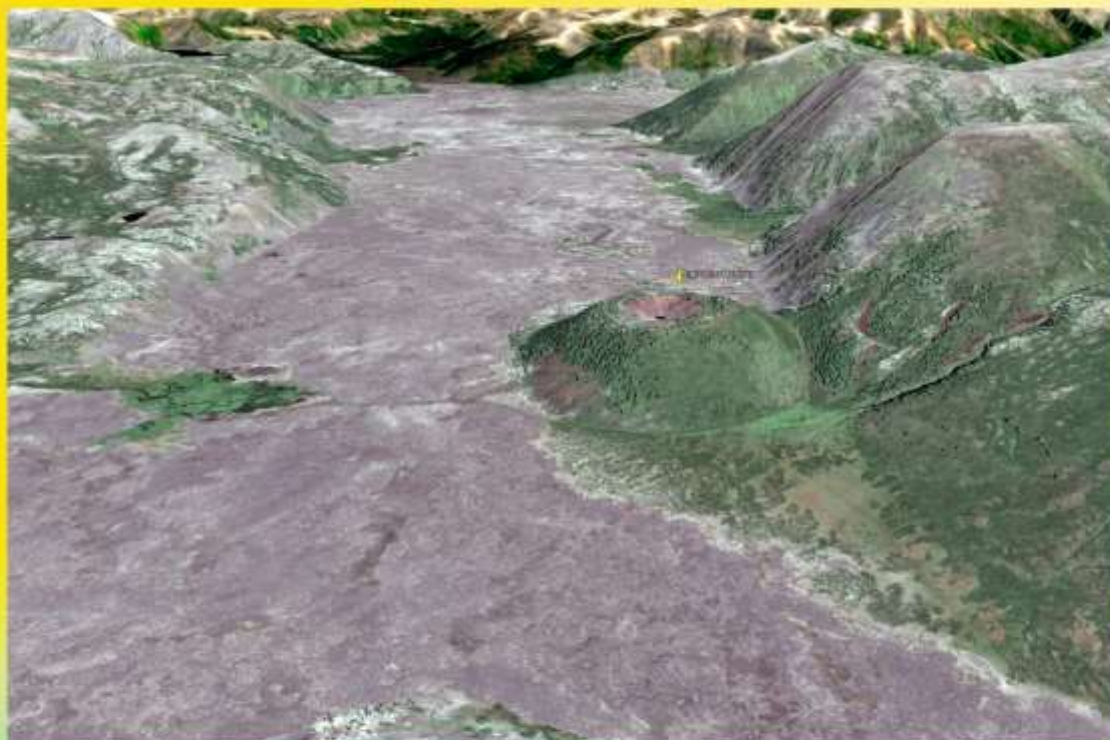
ISSN 2541-9641



ГЕОЛОГИЯ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Спецвыпуск

Исследователи и история геологических изысканий
в Восточной Сибири



ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Геология и
окружающая
среда

Том 3
№ 3
2023

Geology and
Environment

Преемник Вестника кафедры географии Восточно-Сибирской государственной академии образования

Год основания 2010 г.

Научный электронный журнал

Выходит четыре раза в год

Главный редактор: Примина С.П., канд. геол.-минерал. наук, доцент
Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

Заместители главного редактора: Рассказов С.В., доктор геол.-минерал. наук, профессор
Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия; Сасим С.А., канд. геол.-минерал.
наук, Иркутский государственный университет, доцент, Иркутск, Россия

Ответственный секретарь: Коваленко С.Н., канд. геол.-минерал. наук, Иркутский
государственный университет, Иркутск, Россия

Редакционная коллегия: Акулова В.В., – кандидат геол.-минерал. наук, Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия; Баженова О.И. – доктор геогр. наук, профессор, Институт географии СО РАН, Иркутск, Россия; Бат Б. – доктор философии, профессор, Национальный университет Монголии, Улан-Батор, Монголия; Борняков С.А. – канд. геол.-минерал. наук, Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия; Бычинский В.А. – кандидат геол.-минерал. наук, доцент, Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия; Горячев Н.А. – член-корр. РАН, доктор геол.-минерал. наук, профессор, Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, Магадан, Россия; Давыденко А.Ю. – доктор физ.-мат. наук, профессор, Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия; Дэмбэрэл С. – кандидат физ.-мат. наук, Институт астрономии и геофизики, Улан-Батор, Монголия; Исаев В.П. – доктор геол.-минерал. наук, профессор, Иркутский государственный университет, Иркутск; Кононов Е.Е. – кандидат геол.-минерал. наук, доцент, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия; Корольков А.Т. – доктор геол.-минерал. наук, доцент, Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия; Никишин А.М. – доктор геол.-минерал. наук, профессор, геологический факультет МГУ, Москва, Россия; Роговская Н.В. – кандидат геогр. наук, доцент, Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия; Саньков В.А. – кандидат геол.-минерал. наук, доцент, Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия; Сие Чжэньхуа – доктор наук, профессор, Институт вулканов и минеральных источников Академии наук провинции Хэйлуцзян, Удаляньчи, Китай; Тверитинова Т.Ю. – кандидат геол.-минерал. наук, МГУ; Чувашова И.С. – кандидат геол.-минерал. наук, Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия.

Адрес редакции:

664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1

Тел.: (3952)243278

Email: kaf-dinamgeol@mail.ru

Сайт: <http://geoenvir.ru>

Сетевое издание «Геология и окружающая среда»

PDF-номер журнала выходит четыре раза в год. Сроки приема статей в:

№ 1 до 1 марта, № 2 до 1 июня, № 3 до 1 сентября, № 4 до 1 декабря.

Сроки выхода номеров: № 1 – 31 марта, № 2 – 30 июня, № 3 – 30 сентября,
№ 4 – 31 декабря

Учредитель-издатель: ФГБОУВО «Иркутский государственный университет»

Гл. редактор: С.П. Примина

Регистрирующий орган: Федеральная служба по надзору в сфере

связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Регистрационный номер: ЭЛ № ФС 77-82002, от 24.09.2021

ISSN: 2541-9641

12+

В журнале Геология и окружающая среда публикуются материалы научно-образовательного направления, отражающие теоретические, методические и практические результаты научной деятельности молодых ученых, преподавателей, аспирантов, магистров и бакалавров. Кроме научных статей, в журнале помещаются рецензии и отзывы на монографии, учебники, материалы конференций, тематические обзоры и дается информация о событиях научной и учебной жизни по профилю издания

На первой странице обложки

Перспективный вид космоснимка, заимствованного из общедоступных ресурсов Интернета (Google Earth), не содержащих указаний на авторов этого материала и каких-либо ограничений для заимствования.

СОДЕРЖАНИЕ

От редколлегии журнала	5
<u>С.В. Рассказов, С.Н. Коваленко, С.В. Снопков</u> Исследователи и история геологических изысканий в Восточной Сибири: введение.....	7
<u>А.В. Хобта</u> Геологические исследования вдоль Кругобайкальской железной дороги, выполненные в конце XIX–начале XX вв.	12
<u>А.В. Хобта</u> Исследования геолога А.В. Львова на Кругобайкальской железной дороге	31
<u>С.В. Снопков, А.В. Хобта</u> История геологического изучения Ботогольского графитового месторождения.....	49
<u>С.Н. Коваленко, А.Д. Китов</u> Достойное современное продолжение исследований ледников Мунку-Сардык С.П. Перетолчиным, начатое им в начале XX века	77
<u>А.Т. Корольков, Д.К. Васенков</u> Предшественники и участники открытия Марковского месторождения нефти и газа	87
<u>А.Т. Корольков</u> Достижения геологов-выпускников 1973 года Иркутского государственного университета (встреча через 50 лет)	95
<u>С.В. Рассказов, И.С. Чувашова</u> Первоначальное обоснование и последующее восприятие гипотез о строении и развитии Байкальской системы впадин	105
<u>И.С. Чувашова, С.В. Рассказов</u> Прорыв в изучении и датировании новейшего вулканизма Байкальской рифтовой системы и его значение для понимания новейшей геодинамики Азии	149
ЮБИЛЕИ.....	198
<u>О.Т. Русенек</u> Виктор Давыдович Мац: геолог-байкаловед.....	198
Правила для авторов	205

© ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»

© Геология и окружающая среда, 2023, Т. 3, № 3

C O N T E N T S

From the editorial board of the journal	5
<u>S.V. Rasskazov, S.N. Kovalenko, S.V. Snopkov</u> Explorers and history of geological exploration in Eastern Siberia: introduction.....	7
<u>A.V. Khobta</u> Geological studies along the Circum-Baikal railroad made in the late XIX-early XX centuries.....	12
<u>A.V. Khobta</u> Studies of geologist A.V. Lvov on the Circum-Baikal railroad	31
<u>S.V. Snopkov, A.V. Khobta, I.A. Bogdanova</u> History of geological study of the Botogol graphite deposit	49
<u>S.N. Kovalenko, A.D. Kitov</u> A worthy modern continuation of the research of Munku-Sardyk glaciers by S.P. Peretolchin, started by him at the beginning of the XX century	77
<u>A.T. Korolkov, D.K. Vasenkov</u> Predecessors and participants in the discovery of the Markov oil and gas field	87
<u>A.T. Korolkov</u> Achievements of geologists-graduates of the Irkutsk state university in 1973 (meeting in 50 years).....	95
<u>S.V. Rasskazov, I.S. Chuvashova</u> Initial substantiation and subsequent reception of hypotheses on structure and development of the Baikal system of basins.....	105
<u>I.S. Chuvashova, S.V. Rasskazov</u> Breakthrough in Research and Dating of Latest Volcanism in the Baikal Rift System and its Significance for Understanding Latest Geodynamics of Asia	149
<u>ANNIVERSARIES</u>	198
<u>O.T. Rusenek</u> Victor Davidovich Matz: geologist-baikalogist.....	198
Rules for authors	205

© Irkutsk State University

© Geology and Environment, 2023, Vol. 3, No. 3

От редколлегии журнала

В современные университетские образовательные стандарты в качестве важнейшей составляющей учебного процесса включены научные исследования с участием студентов. Чтобы квалификационные бакалаврские и магистерские исследования содержали новые факты и гипотезы, проводится научно-исследовательская практика, организуются молодежные конференции. Работы, выполненные со студенческим азартом, часто представляют интерес для всей геологической науки, но, к сожалению, так и остаются в забвении. Бумажная версия квалификационной бакалаврской и магистерской работы хранится на выпускающей кафедре 5 лет после окончания вуза студентом. Рационально все же закреплять основные достижения и выводы до выхода на защиту квалификационной работы в публикациях, уровень которых должен служить критерием для оценки квалификационной работы рецензентом и аттестационной комиссией.

Публикации студенческих и аспирантских работ в материалах специальных молодежных конференций и школ в России имеют приниженный статус и фактически не решают проблемы подготовки квалификационных работ. Прорваться с самостоятельной публикацией в журнал студенту не реально. Необходимо инициировать и поддерживать взаимодействие между преподавателями и студентами для выявления среди них способных к науке, для развития и закрепления понятий и подходов в организации и проведении научных исследований. Не секрет, что наука в России постарела. На научных конференциях часто присутствуют только пожилые научные работники и преподаватели. Система образования, развитая в западных университетах, позволяет организовывать форумы, в которых участвуют преимущественно аспиранты и студенты бакалаврской, магистерской подготовки. Генеральная ассамблея Европейского союза геологических наук (EGU) ежегодно собирает в Вене около 10-11 тыс. докладов, большинство из которых произносится молодыми людьми, начинающими свой путь в науке.

Издание журнала Геология и окружающая среда – эффективная форма создания условия для повышения качества подготовки специалистов высшей школы. Основное требование для опубликования научной статьи в журнале – авторство или соавторство студента, аспиранта или молодого научного сотрудника. В журнале публикуются материалы научно-образовательного направления, отражающие теоретические, практические результаты и методические разработки молодых геологов и географов – научных сотрудников, преподавателей, аспирантов, студентов магистерской и бакалаврской подготовки. Наряду с исследовательскими статьями, вводится раздел «События».

Исследования геологии и окружающей среды рассматриваются в настоящее время как приоритетные. В университетах разных стран созданы факультеты, имеющие конкретную тематическую направленность на изучение геологии окружающей среды. Издаются международные журналы *Environmental Earth Sciences* (Университет Питсбурга, штат Пенсильвания, США) и *Geology, Geophysics and Environment* (AGH Научно-технический университет им. Станислава Сташица, Краков, Польша). Журнал Геология и окружающая среда (*Geology and Environment*) ориентирован, прежде всего, на освещение вопросов, касающихся этой тематики в Байкало-Монгольском регионе и в сопредельных районах Азии.

Геологический факультет Иркутского госуниверситета как базовый для издания журнала Геология и окружающая среда многие годы проводит учебные, производные и научно-исследовательские практики в южной части Сибирской платформы и в сопредельном Хамардабанском террейне, который был аккрецирован к краю платформы в раннем палеозое. Студентам демонстрируются разновозрастные комплексы осадочных, магматических и метаморфических пород от раннеархейского до позднекайнозойского возраста, породы Слюдянского метаморфического субтеррейна, содержащего множество уникальных минералов, карьеры и шахты месторождений угля и соли, молодые вулканы и минеральные источники. Непосредственно на обнажениях освещаются вопросы новейшей геодинамики и тектоники

Байкальской рифтовой системы, в которой ярко проявился процесс континентального рифтогенеза, частично в сочетании с орогенезом. Демонстрируются сейсмодислокации, оставшиеся после сильных землетрясений. Проводится серия маршрутов по выходам венд-кембрийских пород, служащих в качестве вмещающей среды для газоконденсатных месторождений Сибирской платформы. Организуются наблюдения выходов нефти и газа из позднекайнозойского осадочного заполнения Южно-Байкальской рифтовой впадины. Многогранный природный учебный полигон Прибайкалья создает все необходимые условия для наглядного преподавания геологических дисциплин в сочетании с развитием студенческих и аспирантских исследований геологии и окружающей среды.

В рамках решения задач опубликования материалов квалификационных исследований, связанных с изданием журнала Геология и окружающая среда, редколлегия приглашает к сотрудничеству профессоров и преподавателей из университетов Байкало-Монгольского региона и из других российских и зарубежных организаций. В качестве одного из учредителей журнала выступает Китайско-Российский исследовательский центр Удаляньчи–Байкал по новейшему вулканизму и окружающей среде (сайт: <http://www.crust.irk.ru/crc/>). Издание осуществляется на русском языке.

ТЕМАТИКА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ СТАТЕЙ

- Региональная геология
- Полезные ископаемые
- Минералогия, петрология
- Геология нефти и газа
- Литология
- Вулканизм, новейшая геодинамика
- Неотектоника, геоморфология
- Гидрогеология, инженерная геология
- Экологическая геофизика
- Геоэкология
- Физическая и экономическая география
- Мониторинг окружающей среды
- Безопасность жизнедеятельности
- Ученые-первопроходцы
- Научная, профессиональная, учебная и педагогическая практика
- Исторические обзоры
- Обзоры
- Экспедиции
- Конференции
- Юбилеи

История геологии Восточной Сибири

УДК 55+551.2 (571.53)

<https://doi.org/10.26516/2541-9641.2023.3.7>

Исследователи и история геологических изысканий в Восточной Сибири: введение

С.В. Рассказов^{1,2}, С.Н. Коваленко², С.В. Снопков^{2,3}

¹ *Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия*

² *Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

³ *Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия*

Аннотация. Специальный выпуск журнала посвящен исследователям и истории геологических изысканий в Восточной Сибири. В статьях выпуска подчеркивается начальный вклад в изучение геологии, географии и полезных ископаемых территории А.В. Львова и С.П. Перетолчина и В.М. Сеньюкова, Н.А. Флоренсова, В.П. Солоненко, В.Д. Маца и др., приводится информация о неизвестных страницах строительства Кругобайкальской железной дороги, изучения Ботокольского графитового месторождения, Марковского нефтегазоконденсатного месторождения, Байкальской системы впадин и пространственно связанного с ее образованием вулканизма. Дается обзор 50-летней трудовой деятельности геологов-выпускников ИГУ 1973 года.

Ключевые слова: *Восточная Сибирь, геологи, геологические исследования, геологическое образование, история.*

Explorers and history of geological exploration in Eastern Siberia: introduction

S.V. Rasskazov^{1,2}, S.N. Kovalenko², S.V. Snopkov^{2,3}

¹ *Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia*

² *Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

³ *Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

Abstract. A special issue of the journal is dedicated to researchers and the history of geological exploration in Eastern Siberia. The articles in the issue highlight the initial contributions to the study of geology, geography and mineral resources of the territory by A.V. Lvov, S.P. Peretolchin, and V.M. Senyukov, N.A. Florensov, V.P. Solonenko, V.D. Mats et al., provide information about the unknown pages of the construction of the Circum-Baikal Railway, studies of the Botogol graphite deposit, the Markov oil and gas condensate field, the Baikal system of basins, and volcanism spatially associated with its development. An overview is given of the 50-year career of geologists who graduated from ISU in 1973.

Keywords: *Eastern Siberia, geologists, geological research, geological education, history.*

Введение

Первые шаги в изучении геологии территории освещены в многотомной «Истории геологического исследования Сибири» В.А. Обручева (1931–1944) и в монографии Н.А.

Флоренсова (1960). Журнал «Геология и окружающая среда» уже публиковал работы об истории геологических исследований Восточной Сибири. В статье А.М. Рогачева и др. (2022) было дано видение авторов (современников масштабного геологического

изучения Восточного Саяна) того, как эта территория из бесперспективной стала крупной золоторудной провинцией. Вопреки утвердившемуся мнению об отсутствии признаков наличия золота, геологи искали и находили золоторудные месторождения. В статье С.В. Снопкова и др. (2022) приведена историческая справка открытия Ботогольского месторождения графита.

Настоящий специальный выпуск журнала целиком посвящен теме исследований и истории геологических изысканий.

От прошлого к настоящему

В двух начальных статьях охарактеризованы геологические исследования, выполненные в районе строительства Кругобайкальской железной дороги в конце XIX–начале XX вв. (Хобта, 2023а,б). Геологические работы проводились вдоль южного побережья оз. Байкал в течение нескольких полевых сезонов. В результате этих работ было рекомендовано строить участок железной дороги, обходящий южную оконечность Байкала по берегу озера Байкала - от истока Ангары до села Мысового. Однако при разработке скальных откосов от истока Ангары до Култука, строители столкнулись с обвалами горных пород гораздо более интенсивными, чем предполагали изыскатели. Обвалы продолжились и во время эксплуатации дороги. Эта ситуация потребовала проведения новых изысканий и поиска способов противодействия опасному явлению. Ведущая роль в этих работах принадлежала геологу А.В. Львову, который занимался изучением геологии берегов южного Байкала не только во время выполнения изыскательских работ Кругобайкальской железной дороги, но и в начале её эксплуатации. Он подробно изучал обнажения, образовавшиеся при строительстве железной дороги, и составил подробные рекомендации по защите железнодорожного полотна от горных обвалов. Львов детально изучал гидрологические и гидрогеологические особенности территории, в том числе определил источник притока воды в самый проблемный тоннель на железной дороге.

Статья об истории геологического изучения Ботогольского графитового месторож-

дения, открытом в первой половине XIX века, повествует об изучении его строения и генезиса, длившемся более века (Снопков и др., 2023). Спрос на уникальный по чистоте ботогольский графит в течении полутора столетий требовал постоянного прироста запасов и открытия новых рудных залежей. Первые разработчики месторождения в течении нескольких десятков лет искали графитовые тела путем проходки канав и шурфов на вершине Ботогольского гольца. И лишь в 1941-1943 гг. в результате исследований выдающихся ученых Н.А. Флоренсова, В.П. Солоненко, В.С. Соболева и др. было дано обоснование происхождения графита и расположения рудных залежей. Это открытие и скорректированная методика работ позволили выявить ряд новых крупных рудных тел, которые разрабатывались до конца XX века.

В статье об известном иркутском геологе, географе и климатологе Сергее Павловиче Перетолчине (1863–1914), подготовленной в связи с его 160-летием со дня рождения, приводятся сохранившиеся факты его пребывания на ледниках в районе г. Мунку-Сардык (Восточные Саяны) и устанавливается связь его работ с современными исследованиями (Коваленко, Китов, 2023). В статье о предшественниках и участниках открытия Марковского месторождения нефти и газа прослеживается история открытия первых месторождений нефти и газа на Сибирской платформе от первой залежи нефти на Чемиканской площади в бассейне р. Толбы (Саха-Якутия) до открытия первого Марковского нефтегазоконденсатного месторождения. Показана роль Василия Михайловича Сеньюкова в получении первой нефти на Сибирской платформе и в продвижении идеи опорного бурения в ее пределах. Несмотря на случайность открытия Марковского месторождения в 1962 году, разведочные работы в его пределах указали дальнейшее направление поисков (Корольков, Васенков, 2023).

О геологе-байкаловедо докторе геолого-минералогических наук, профессоре В.Д. Маце (Русинек, 2023) рассказывается о биографии и научном становлении известного ученого и педагога. Рассмотрена роль науч-

ных исследований В.Д. Маца в изучении формирования Байкальской рифтовой зоны и непосредственно озера Байкал. Его трудовая деятельность началась в 1949 году и более 60 лет, была связана с геологией Сибири, в основном с Байкальским регионом, где он стоял у истоков важнейшей для страны Государственной геологической съёмки территории СССР масштаба 1:200000. С разными геологическими заданиями он прошёл все пространства Приморского и Байкальского хребтов и примыкающие к ним предгорья, часть Аkitканского хребта, Олхинско-Голоустинское плато, склоны Баргузинского хребта, Святого Носа и предгорья Хамар-Дабана. Посетил с отдельными маршрутами Тункинские впадины. Проплыл на лодках вдоль всех берегов Байкала. Прошёл маршрутами по крупным рекам Присаянья. Обучая студентов-геологов навыкам полевой работы, ряд сезонов детально обследовал Приольхонье. Он без преувеличения стал героической личностью своего времени.

В статье о достижениях геологов-выпускников 1973 года Иркутского государственного университета подведены итоги, прозвучавшие во время встречи 50 лет спустя после окончания геологического факультета. Проводится мысль о том, что каждый новый выпуск геологического факультета несет новый опыт геологических работ. Обзор 50-летней трудовой деятельности показывает, как много сделали полезного для страны геологи-выпускники 1973 года. Об этом должны знать не только преподаватели и студенты Иркутского государственного университета, но и широкий круг читателей (Корольков, 2023).

В двух заключительных статья спецвыпуска раскрывается история первоначально обоснования и последующего восприятия гипотез о строении и развитии Байкальской системы впадин (Рассказов, Чувашова, 2023) и история прорыва в изучении и датировании новейшего вулканизма Байкальской рифтовой системы с выделением его значение для понимания новейшей геодинамики Азии (Чувашова, Рассказов, 2023). История развития представлений о строении и развитии Байкальской системы поднятий и впадин и ее важнейших структурных элементов

разделяется на этапы выдвижения: 1) начальных гипотез, появившихся до 1960-х гг., 2) основных гипотез, связанных с большим объемом работ, выполненных в связи с разработкой проблемы рифтогенеза на территории юга Восточной Сибири в 1960–1990-х гг., и 3) новейших гипотез, в основу которых легли факты, полученные благодаря использованию новых подходов, реализованных в геологических исследованиях 2000–2020-х гг. История изучения и датирования новейшего вулканизма Байкальской рифтовой системы (БРС) разделяется на этапы: 1) до 1950-х гг. (открытие молодых вулканов), 2) 1950–1960-х гг. (первичное определение возраста кайнозойских вулканогенно-осадочных толщ по палеонтологическим данным), 3) 1970–1980-х гг. (определение последовательности образования вулканических толщ в развитии рельефа и получение первых радиоизотопных данных о возрасте вулканических пород), 4) 1980–2005-х гг. (накопление геохронометрических и геохимических данных по вулканическим территориям Азии) и 5) 2005–2023 гг. (синтез геохронометрических и геохимических данных). Результатом прорыва в изучении и датировании новейшего вулканизма БРС явилось обоснование обстановки развития мантийных расплавных аномалий в Японско-Байкальском геодинамическом коридоре и в его перекрытии областью Индо-Азиатской конвергенции. Прорыв в датировании вулканических пород, оформившийся к 2012 г., на территории Центральной Монголии был в основном подтвержден результатами массового $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ датирования в 2018 г.

Заключение

Первые шаги в изучении геологии территории освещены в многотомной «Истории геологического исследования Сибири» В.А. Обручева (1931–1944) и в монографии Н.А. Флоренсова (1960). Цикл статей об исследователях и геологических изысканиях Восточной Сибири охватывает историю становления геологии более чем вековой продолжительности, от открытий месторождений до наших дней.

Благодарности

В Иркутском государственном университете читается дисциплина «История и методология геологических наук», которая формирует у будущего геолога геологическое мировоззрение (Рассказов и др., 2022). В спецвыпуске журнала представлены примеры текущего состояния геологии через анализ исторического наследия, которые составят содержание этого курса.

Литература

Коваленко С.Н., Китов А.Д. Достойное современное продолжение исследований ледников Мунку-Сардык С.П. Перетолчиным, начатое им в начале XX века // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 3. С. 77–86.

Корольков А.Т. Достижения геологов-выпускников 1973 года Иркутского государственного университета (встреча через 50 лет) // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 3. С. 95–104.

Корольков А.Т., Васенков Д.К. Предшественники и участники открытия Марковского месторождения нефти и газа // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 3. С. 87–94.

Обручев В.А. История геологического исследования Сибири в 5 томах. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1931–1944.

Рассказов С.В., Примина С.П., Чувашова И.С. История и методология геологических наук в Иркутском Госуниверситете: развитие гипотез о кайнозойском рифтогенезе, вулканизме и землетрясениях в Байкало-Монгольском регионе // Геология и окружающая среда. 2022. Т. 2, № 2. С. 139–157. DOI 10.26516/2541-9641.2022.2.139

Рассказов С.В., Чувашова И.С. Первоначальное обоснование и последующее восприятие гипотез о строении и развитии Байкальской системы впадин // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 3. С. 105–148.

Рогачев А.М., Скопинцев В.Г., Рогачева Т.Н., Рогачев М.А. История изученности золотоносности бурятской части Алтае-Саянской металлогенической провинции // Геология и окружающая среда. 2022. Т. 2, № 1. С. 141–160. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2022.4.141>

Русинек О.Т. Виктор Давыдович Мац: геолог-байкаловед // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 3. С. 198–204.

Снопков С.В., Хобта А.В., Богданова И.А. История геологического изучения Ботокольского графитового месторождения // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 3. С. 49–76.

Снопков С.В., Хобта А.В., Богданова И.А. История открытия Ботокольского графитового месторождения. Мифы и факты // Геология и окружающая среда. 2022. Т. 2, № 1. С. 154–165. DOI 10.26516/2541-9641.2022.1.154

Флоренсов Н.А. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. М.–Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. 258 с.

Хобта А.В. Геологические исследования вдоль Кругобайкальской железной дороги, выполненные в конце XIX–начале XX вв. // Геология и окружающая среда. 2023а. Т. 3, № 3. С. 12–30.

Хобта А.В. Исследования геолога А.В. Львова на Кругобайкальской железной дороге // Геология и окружающая среда. 2023б. Т. 3, № 3. С. 31–48.

Чувашова И.С., Рассказов С.В. Прорыв в изучении и датировании новейшего вулканизма Байкальской рифтовой системы и его значение для понимания новейшей геодинамики Азии // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 3. С. 149–197.

References

Chuvashova I.S., Rasskazov S.V. A breakthrough in the study and dating of recent volcanism of the Baikal rift system and its significance for understanding the latest geodynamics of Asia // *Geology and Environment*. 2023. Vol. 3, No. 3. P. 149–197.

Florensov N.A. Mesozoic and Cenozoic depressions of the Baikal region. M.–L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1960. 258 p.

Khobta A.V. Geological studies along the Circum-Baikal Railway, carried out at the end of the 19th and beginning of the 20th centuries. // *Geology and environment*. 2023a. Vol. 3, No. 3. P. 12–30.

Khobta A.V. Research by geologist A.V. Lvov on the Circum-Baikal Railway // *Geology and the Environment*. 2023b. Vol. 3, No. 3. P. 31–48.

Korolkov A.T. Achievements of geologists-graduates of 1973 of Irkutsk State University (meeting after 50 years) // *Geology and the Environment*. 2023. Vol. 3, No. 3. P. 95–104.

Korolkov A.T., Vasenkov D.K. Predecessors and participants in the discovery of the Markov oil and gas field // *Geology and the Environment*. 2023. Vol. 3, No. 3. P. 87–94.

Kovalenko S.N., Kitov A.D. A worthy modern continuation of the research of the Munku-Sardyk glaciers S.P. Peretolchin, which he began at the beginning of the 20th century // *Geology and the Environment*. 2023. Vol. 3, No. 3. P. 77–86.

Obruchev V.A. History of geological exploration of Siberia in 5 volumes. M.–L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1931–1944.

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. Initial justification and subsequent perception of hypotheses about the structure and development of the Baikal depression system // *Geology and Environment*. 2023. Vol. 3, No. 3. P. 105–148.

Rasskazov S.V., Primina S.P., Chuvashova I.S. History and methodology of geological sciences at Irkutsk State University: development of hypotheses about Cenozoic rifting, volcanism and earthquakes in the Baikal-Mongolian region // *Geology and Environment*. 2022. Vol. 2, No. 2. P. 139–157. DOI 10.26516/2541-9641.2022.2.139

Rogachev A.M., Skopintsev V.G., Rogacheva T.N., Rogachev M.A. History of the study of gold

Рассказов Сергей Васильевич,
доктор геолого-минералогических наук, профессор,

664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,
Иркутский государственный университет,
геологический факультет,
заведующий кафедрой динамической геологии,

664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128, Институт земной коры СО РАН,
заведующий лабораторией изотопии и геохронологии,

тел.: (3952) 51–16–59,
email: rassk@crust.irk.ru.

Rasskazov Sergei Vasilevich,
doctor of geological and mineralogical sciences, professor,

664003 Irkutsk, st. Lenina, 3,
Irkutsk State University, Faculty of Geology,
Head of Dynamic Geology Char,
664033 Irkutsk, st. Lermontova, 128, Institute of the Earth's Crust SB RAS,

Head of the Laboratory for Isotopic and Geochronological Studies,
tel.: (3952) 51–16–59,
email: rassk@crust.irk.ru.

Коваленко Сергей Николаевич,
кандидат геолого-минералогических наук,
664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

Иркутский государственный университет,
геологический факультет,
доцент кафедры динамической геологии,
тел.: (3952)20-16-39,

potential in the Buryat part of the Altai-Sayan metallogenic province // *Geology and the Environment*. 2022. Vol. 2, No. 1. P. 141–160. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2022.4.141>

Rusinek O.T. Victor Davidovich Matz: geologist-baikalologist // *Geology and Environment*. 2023. T. 3, No. 3. С. 198-204.

Snopkov S.V., Khobta A.V., Bogdanova I.A. History of geological study of the Botogol graphite deposit // *Geology and the Environment*. 2023. Vol. 3, No. 3. P. 49–76.

Snopkov S.V., Khobta A.V., Bogdanova I.A. History of the discovery of the Botogol graphite deposit. Myths and facts // *Geology and the environment*. 2022. Vol. 2, No. 1. P. 154–165. DOI 10.26516/2541-9641.2022.1.154

email: igpug@mail.ru.

Kovalenko Sergey Nikolaevich,
Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,

664003 Irkutsk, Lenin str., 3,
Irkutsk State University, Faculty of Geology,
Associate Professor of the Department of Dynamic Geology,
tel.: (3952)20-16-39,
email: igpug@mail.ru.

Снопков Сергей Викторович,
кандидат геолого-минералогических наук,
664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,
Иркутский государственный университет,
геологический факультет,

доцент,
664074, г. Иркутск, ул. Курчатова, 3,
Сибирская школа геонаук, Иркутский национальный исследовательский технический университет,

ведущий научный сотрудник,
email: snopkov_serg@mail.ru.

Snopkov Sergey Viktorovich,
Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,

664003 Irkutsk, Lenin str., 3,
Irkutsk State University, Faculty of Geology,
Associate Professor,
664074 Irkutsk, Kurchatov str., 3,
Siberian School of Geosciences, Irkutsk National Research Technical University,
Leading Researcher,
email: snopkov_serg@mail.ru.

Геологические исследования вдоль Кругобайкальской железной дороги, выполненные в конце XIX–начале XX вв.

А.В. Хобта

Подразделение по сохранению исторического наследия Восточно-Сибирского центра научно-технической информации и библиотек – структурного подразделения ВСЖД – филиала ОАО «РЖД», г. Иркутск, Россия

Аннотация. Изыскательские работы, строительство и эксплуатация железной дороги от Иркутска вдоль южного побережья озера Байкал сопровождались подробными геологическими исследованиями. На протяжении нескольких полевых сезонов во время изысканий были изучены все проектированные направления железной дороги. В результате было рекомендовано строить железную дорогу от истока Ангары до села Мысового по берегу Байкал. Но результаты оказались слишком оптимистическими. При разработке скальных откосов от истока Ангары до Култук начались интенсивные обвалы горных пород, которые продолжились и во время эксплуатации линии, что вызвало новые обследования всего участка. В районе села Мысового, выявленные древние оползни, вызвали дополнительное изучение геологического строения местности и проведение дренажных работ.

Ключевые слова: геологические исследования, Кругобайкальская железная дорога, Забайкальская железная дорога, изыскания, участок, вариант, тоннель.

Geological studies along the Circum-Baikal railroad made in the late XIX-early XX centuries

A.V. Khobta

Historical Heritage Preservation Division of the East Siberian Center for Scientific and Technical Information and Libraries, a structural subdivision of the East Siberian Railway - a branch of JSCo "Russian Railways", Irkutsk, Russia

Abstract. The survey work, construction and operation of the railroad from Irkutsk along the southern shore of Lake Baikal were accompanied by detailed geological studies. During several field seasons during the surveys all projected directions of the railroad were studied. As a result, it was recommended to build a railroad from the source of Angara to Mysovoye village along the shore of Lake Baikal. But the results turned out to be too optimistic. During the development of rocky slopes from the source of Angara to Kultuk, intensive rockfalls began, which continued during the operation of the line, which caused new surveys of the entire section. In the vicinity of Mysovoye village, the identified ancient landslides caused additional study of the geological structure of the area and drainage works.

Keywords: geological research, Circum-Baikal railroad, Transbaikal railroad, surveys, site, option, tunnel.

Введение

Со времени строительства первых магистральных железных дорог в России геологические исследования часто имели вариативный характер и не всегда приветствова-

лись техническими специалистами. До сооружения железных дорог в Сибири существовал определённый консерватизм у части инженеров путей сообщения, видевших свою работу в узко ремесленном смысле – в

практике изысканий и строительства железных дорог, и не осознававших значимость геологических исследований при производстве таких сложных строительных работ, как сооружение магистральных линий.

Сооружение Сибирской железной дороги во многом переломило такие убеждения. Ещё до начала строительных работ в 1889 г. в заседаниях императорского русского Технического общества (ИРТО) лучшие представители технической интеллигенции высказывались о том, что в железнодорожном деле в Сибири нельзя обойтись без горных инженеров, чтобы мимолетность геологических исследований, какая свойственна инженерам путей сообщения, не ушла в прошлое (Труды комиссии..., 1890).

Профессор Горного института и Института инженеров путей сообщения И.В. Мушкетов (рис. 1) говорил, что геологические исследования необходимы для самих изысканий. Вопрос этот поднимался много раз именно в ИРТО. И.В. Мушкетов считал, что не было необходимости доказывать полезность участия геолога в изысканиях.

Геологические или горно-геологические исследования, И.В. Мушкетов предлагал поставить при изысканиях таким образом: при изыскательской партии обязательно должен быть геолог или горный инженер, который вместе с этой партией должен был производить общегеологические изыскания вдоль линии железной дороги. В Сибири эти исследования были важны не только в практическом, но и в научном отношении (Железнодорожное дело, 1890). Второй род задач, которые должны были выполнять горные инженеры – это геологические исследования, заключавшиеся в специальном изучении отдельных вопросов, сопровождаемые разведками на более узкой площади (отыскание месторождений), третий род задач – сбор материалов для Геологического комитета. Эти рекомендации И.В. Мушкетова, были поддержаны участниками заседаний в ИРТО и Сибирская железная дорога, её Кругобайкальский участок, стали таким особым полигоном, где в большом объеме проводились геологические исследования местности.



Рис. 1. И.В. Мушкетов (1850–1902).

Fig. 1. I.V. Mushketov (1850-1902).

На изыскания Кругобайкальской железной дороги работа горных инженеров заняла несколько полевых сезонов, причём в каждые последующие полевые работы включалось дополнительное количество горных инженеров, образовывались дополнительные геологические партии. В результате чего на протяжении нескольких лет горными инженерами был выполнен огромный объём исследовательских работ, дано подробное описание местности и достаточно глубокое изучение её геологического строения.

Эти исследования, по их окончании и печатанию официальных отчётов, в советский период и до сего времени практически известны широкой общественности. С результатами работ горных инженеров были знакомы только геологи-практики и геологи-учёные. А авторы издания, посвящённого истории исследования озера Байкал – «Байкаловедение», где отведено место геологическому изучению озера, не посчитали нужным даже упомянуть на своих страницах о работе геологических партий на южном побережье Байкала и в долине Иркутка.

Геологическое изучение местности во время изыскательских работ

Первые изыскательские работы для строительства Кругобайкальской железной дороги провела экспедиция под руководством инженера путей сообщения О.П. Вяземского в 1889 г. (РГИА. Ф. 350. Оп. 13. Д. 138. Л. 1). Это были рекогносцировочные исследова-

ния и геологические исследования тогда не проводились.

Изучение горных пород начали в 1895 г. и продолжили в следующем году горные инженеры, входившие в состав экспедиции инженера путей сообщения Ф.Ф. Докса.

В 1895 г. геологические исследования проведены (РГИА. Ф. 350. Оп. 13. Д. 138. Л. 15–19):

– по берегу Байкала от устья Пономарёвки до Култука на протяжении 56 вёрст;

– по берегу бухты Половинной вверх по реке со съёмкой плана и промерами дна бухты на протяжении одной версты;

– у села Култук линия изучена на протяжении 3,44 версты;

– от Култука к Иркутску – на протяжении 28 вёрст.

В 1896 г. геологическими исследованиями охвачены новые участки:

– по правому берегу Иркутка с переходом у деревни Аникиной на левый берег и у станции Шаманка на правый берег и выше по трассированной линии до станции Мысовой на протяжении 291 версты;

– по правому берегу Иркутка между селами Введенским и Моты – 14 вёрст;

– от станции Иркутск Средне-Сибирской железной дороги на левом берегу Иркутка до деревни Максимовщины – 15.5 вёрст.

Всего геологические исследования выполнены на протяжении 408.94 вёрсты. Изысканий для выбора направления линии – 1 233.94 вёрсты. Их стоимость составляла 25 7483.37 руб.

В составе экспедиции Ф.Ф. Докса, в районе Зыркузунского хребта (хребет Быстринская Грива) горная партия под руководством В.Д. Рязанова с горными инженерами Антоновичем, Горбачёвым и Ефремовым выясняла сложение хребта, особенности пород, вероятность притока воды на уровне проектировавшегося тоннеля (Рязанов, 1898).

Геологические исследования на участке исток Ангары – Мысовая проводил горный инженер Л.А. Ячевский. Осматривались многочисленные береговые скалы. Наряду с геологическим описанием местности, много внимания уделялось речкам, впадающим в Байкал.



Рис. 2. Горный инженер Л.А. Ячевский (1858–1916).

Fig. 2. Mining engineer L.A. Yachevsky (1858–1916).

В его отчёте говорилось, что от Култука и до речки Утулик при строительстве железной дороги предстояли значительные земляные работы. Но если характер местности для строительства здесь благоприятный, то горные речки «наводили на размышление». В связи с этим Л.А. Ячевский приводил свои наблюдения о характере этих речек, стекающих со склонов Хамар-Дабана, о которых должны были знать проектировщики и строители железной дороги. Он писал, что, проезжая в 1884 г. по Кругобайкальскому тракту на многих речках были «солидно» поставленные мосты, к 1895 г. от большинства из них не осталось и следов: русла рек нашли новые пути. В Мишихе астрономический столб, поставленный в 1893 г. на безопасном месте, через два года находился в трёх шагах от обрыва. Наблюдая за речкой Слюдянкой, Л.А. Ячевский замечал, что в 1895 г. «на его глазах» река два раза меняла русло, подминая под себя часть гужевого тракта (Ячевский, 1898а).

Проводя исследования в Восточной Сибири и на Южном Байкале, Л.А. Ячевский обращал внимание на возможность откры-

тия месторождений полезных ископаемых. В 1895 г. он осматривал буроугольные месторождения по притокам Иркутта – речкам Кае и Олхе и отмечал, что характер этих месторождений такой же, как и в Черемхово (Ячевский 1898б).

Но наибольшее внимание было обращено на буроугольные залежи на юго-восточном берегу. Между станциями Переёмная и Малиновка Л.А. Ячевский нашёл плитки слоистого бурого угля, за Малиновкой он обнаружил породы с пластами каменного угля, которые простирались до станции Мишиха. Причём, эти пласты, как он определил, имели мощность до ста метров, а площадь распространения не менее пятидесяти квадратных километров. Л.А. Ячевский писал, что надо обратить внимание на Малиновское месторождение и рекомендовал провести более детальное его исследование. Тогда же у почтовой станции Малиновской из разведочных штолен было добыто 163 т угля и передано для испытания заведующему Байкальским пароходством (Материалы..., 1897). Чтобы определить практическую значимость разведывавшихся месторождений углей Л.А. Ячевский производил испытания. Кроме лабораторных, он испытывал угли в топках паровых котлов. Для этого пароходо-владелец А.Я. Немчинов предоставил в распоряжение байкальский пароход «Александр Невский». В 1884 г. проезжая село Мысовое Л.А. Ячевский нашёл в этом районе гальки магнитного железняка. Несколько позже, работая, в экспедиции, Л.А. Ячевский более подробно исследовал месторождение железа по речке Мысовой и посчитал, что оно «крайне заманчиво в практическом отношении». Все эти находки, конечно же, требовали более тщательного изучения, которое и проводилось, но значительно позже.

Что касается строительства Кругобайкальской железной дороги, то Л.А. Ячевский, писал, что направление по берегу Байкала представляло собой «непреодолимые трудности» и потребовало бы «грандиозных затрат» (Ячевский, 1898в).

Работая на Южном Байкале Л.А. Ячевский в 1896 г. на собственные средства открыл одну метеорологическую станцию на северном склоне Хамар-Дабана, названную

им «Верхняя Мишиха» и содержал её до 1898 г. В рамках экспедиции Л.А. Ячевский исследовал месторождение магнитного железняка в районе села Мысового, осмотрел долину реки Джиды и её притоки на предмет поиска золота, совершил экскурсию на голец Ботогол в Восточном Саяне, где располагались графитовые рудники Ж.П. Алибера (Ячевский, 1899а).

В 1899 г. Л.А. Ячевский принимал участие в геологических исследованиях по линии проектируемого тоннеля через Зыркузунский хребет (хребет Быстринская грива). До него там работал горный инженер В.Д. Рязанов. Затем они вместе вновь осмотрели местность. Л.А. Ячевский считал, что если придется строить тоннель, то обязательно должны быть проведены подробные геологические исследования. Предварительное изучение долины Иркутта показало, что проложить железную дорогу по этому направлению будет непросто. Во многих местах была обнаружена вечная мерзлота, труднопроходимые скальные обнажения, оползни и большое количество родников (Ячевский, 1899б).

Под руководством Л.А. Ячевского в 1897 г. студент 5-го курса Горного института В.Н. Вебер начал разведку Малиновского (Переёмнинского) месторождения угля на берегу Байкала. Работы велись вблизи устья речки Куркавочной и включали в себя проходку по пласту от выхода его на поверхность наклонным (РГИА. Ф. 58. Оп. 2. Д. 691. Л. 3).

Геологические исследования вдоль проектированного направления железной дороги продолжились зимой 1898–1899 г. и весной 1899 г. (РГИА. Ф. 364. Оп. 6. Д. 149. Л. 3). Как и ранее основное внимание уделялось Байкальскому береговому и Иркутскому направлениям. Геологические исследования проводили два горных инженера. Инженеры пришли к выводу, что приступить к строительству линии от Иркутска до Култука по Байкальскому береговому направлению можно будет «только после того, как будут получены точные данные для суждения о том, что прочность проектированной железной дороги, а также безопасность её эксплуатации, насколько это зависит от геологиче-

ского строения местности, достаточно обеспечены» (Геологические исследования..., 1904а). Поэтому большое значение придавалось подробному изучению геологического строения берега Байкала. При этом считалось, необходимо было увеличивать объёмы геологических исследований.

Затем начальник изысканий и строительства Кругобайкальской железной дороги Б.У. Савримович пригласил в партию к работавшим горным инженерам ещё семь. Это позволило образовать три геологические изыскательские партии.

Первая партия состояла из начальника Лашкина (с 1 марта 1900 г. Лашкин освобождён от должности и начальником 1-й назначен старший инженер 2-й партии В.К. Яковлев), старшего инженера Л.М. Белинко, младшего инженера А.Н. Баньщикова, техника Константинова. Партия проводила изыскания вдоль берега Байкала между сёлами Мысовое и Култук.

Вторую партию составили: начальник К.Н. Тульчинский, старший инженер В.К. Яковлев, младший инженер М.Д. Гурари. Партия была направлена на западный участок Кругобайкальской железной дороги, на участок мыс Баранчик (исток Ангары) – мыс Асламов (РГИА. Ф. 274. Оп. 1/2. Д. 107. Л. 42–43).

В третью партию вошли начальник Л.А. Шумилин, старший инженер В.А. Вознесенский, младший инженер С.И. Бобров, техники С.З. Лещинский и Г.И. Сыщиков. Местом работы партии был назначен тот же западный участок от мыса Асламов до села Култук (Геологические исследования..., 1904б). Кроме того, партия выполнила несколько маршрутов вглубь Олхинского плоскогорья.

Число рабочих в партии (для пробивки шурфов и тропы, бурения скважин, разработки пробных выемок) составляло от 20 до 50 человек в каждой в зависимости от потребности. В состав партии входили так же от двух до шести десятников.

В накануне начала работы геологических партий, в середине августа 1899 г., вышла «Инструкция горной партии при изысканиях Кругобайкальской железной дороги» (рис. 3), подготовленная профессором Горного института и Института инженеров путей со-

общения И.В. Мушкетовым (РГИА. Ф. 364. Оп. 6. Д. 149. Л. 65). До этого горные инженеры пользовались подобными документами, составленными для Амурской и Пермь–Котласской железных дорог. Касаясь содержания «Инструкции», можно сказать, что всё внимание обращалось на изучение особенностей геологического строения берегов Байкала и долины Иркутта. В частности, в «Инструкции» предписывалось горным партиям выяснить геологическое строение местности по направлениям всех вариантов. Строение это, кроме описания, должно быть выражено геологическими разрезами в масштабах, которые определялись сложностью строения. Исследования должны быть настолько детальными, чтобы могли дать ответы на целый ряд практических вопросов и включать в себя: а) определение откосов в выемках среди слоистых пород, б) глубины заложения устоев для мостов, в) устойчивости пород, служивших основанием железнодорожных насыпей, г) условия залегания и способов добычи естественного строительного камня, д) условия циркуляции подземных и надземных вод и е) глубины залегания вечной мерзлоты и зимнего промерзания почвы.



Рис. 3. Титульный лист инструкции горной партии. 1899 г.

Fig. 3. Title page of the mining party instructions. 1899.

Сами исследования, согласно «Инструкции», должны были общими, освещавшими состояние всего участка в геологическом, орографическом и гидрологическом отношениях. Эти исследования должны были проведены в самом начале работ, так как только после общего обзора возможно было выяснение наиболее важных пунктов, нуждавшихся в детальных исследованиях. Детальные исследования отдельных пунктов имели то или иное значение непосредственно для железной дороги. Общим исследованиям И.В. Мушкетов отводил времени не более месяца при длине варианта около 100 вёрст. Он обращал внимание на то, что не следовало ограничиваться только обнажениями, находившимися на самой линии варианта, или в ближайшем соседстве, но и включать в исследования «все овраги, балки и речные долины», особенно те, которые пересекали проектированную линию. Детальные исследования отдельных пунктов должны были сопровождаться подробными разведками при помощи шурфования и бурения. Изучение таких пунктов имело различные цели, в зависимости от которых изменялся характер или способ изучения. Так, они изучались с целью дополнения общего разреза, где он не мог быть составлен по естественным обнажениям, выявления условий излияния источников воды и определения их дебита в коренных породах, определения характера и размеров пльвунов или сыпучих слоёв, определение причин оползней и обвалов, определения запасов воды для станций и балласта для рельсового пути, изучения разрезов горных склонов, в которых проектировались тоннели, изучения глубины залегания вечной мерзлоты (РГИА. Ф. 326. Оп. 3. Д. 155. Л. 1–8).

Отчёты об общем исследовании, вместе с образцами горных пород необходимо было отправить в Санкт-Петербург не позже 1 января 1900 г. И только по рассмотрению отчётов, после точного определения состава горных пород в Санкт-Петербурге, предполагалось выяснить те наиболее важные пункты, которые должны подвергаться детальным исследованиям.

В конце «Инструкции» И.В. Мушкетов рекомендовал использовать литературу,

хранящуюся в библиотеке Восточно-Сибирского отдела императорского русского географического общества, а именно труды: И.Д. Черского, К. Риттера, П.И. Вагнера, С.Г. Войслова, П.А. Лачинова, Лаппарана, а также свои книги по геологии и петрографии.

1 сентября 1899 г. начальник Управления по сооружению железных дорог (Санкт-Петербург) пригласил И.В. Мушкетова в качестве руководителя геологических исследований за вознаграждение шесть тысяч рублей в год. Для проезда из Санкт-Петербурга в Иркутск и обратно ему выписали бесплатный билет (РГИА. Ф. 364. Оп. 6. Д. 149. Л. 73).

С апреля по июль 1900 г. продолжалось детальное изучение байкальских берегов. К.Н. Тульчинский сделал подробное описание геологического разреза (рис. 4). От станции Байкал до мыса Асламова встречались граниты и сиениты, переходившие в гранито- и сиенито-гнейсы; кристаллические известняки развиты мало и встречались только к востоку от речки Пономарёвки («Белая выемка») и между мысом Зобушка и станцией Байкал. По данным К.Н. Тульчинского архейские породы имели главным образом меридиональное или близкое к нему направление. Главные складки осложнены второстепенными с крутыми крыльями, а также сбросами, сдвигами и трещинами. Он определил зависимость углов откосов выемок от качества пород. В пологих склонах предложил делать пологие откосы, во избежание осыпей. В крутых склонах выветрелый слой незначительный, поэтому откосы допускал круче. Определены участки с наибольшим выветриванием горных пород. Таковыми оказались участки: от истока Ангара до Большого Баранчика, от мыса Толстого до мыса Берёзовый-2, от мыса Ивановский до речки Малая Пономарёвка, а также седловина мыса Половинного и все четыре Сенные бухты. К.Н. Тульчинский определил величину заложения откосов выемки и глубину заложения устоев мостов (не более четырех метров в коренных породах). Были определены места залегания строительного камня и песка: камня много, песок только на мысе Половинном, глины мало, балласта до-

статочно. Заключение по подземным водам свидетельствовало о том, что они не опасны, а наземные воды ограничены крутыми долинами. Близость Байкала, как считал К.Н. Тульчинский, с его замечательно чистой и мягкой водой благоприятно скажется на «питании» паровозов. Вечная мерзлота встречена только на одном участке между речками Большой и Малой Пономарёвками.

В заключение, К.Н. Тульчинский писал, что устойчивость полотна железной дороги обеспечена развитием крепких пород – гнейсов, выветривание которых идет медленно. Но трещиноватые породы представляют опасность для сводов тоннелей. В то же время этот участок не имел болотистой почвы, пльвунов, а линия проектировалась в крест простираения пластов, а это значит, уменьшалась вероятность скольжения пла-

стов по плоскостям наслоения при разработке горных пород. По расположению пород и их петрографическому составу не было непреодолимых условий для прокладки железной дороги. Единственная проблема, по мнению К.Н. Тульчинского, состояла в том, что строителей будут беспокоить камнепады.

Горной партией К.Н. Тульчинского обследовано более 260 обнажений, отобрано 430 образцов пород, пробито 343 шурфа глубиной до восьми метров, пробурены три скважины ручным бурением глубиной до десяти метров, сделано шесть пробных выемок, проложено около 15 км тропы. Всего горная партия переработала почти 22 тыс. куб. м грунта (Геологические исследования..., 1904в).

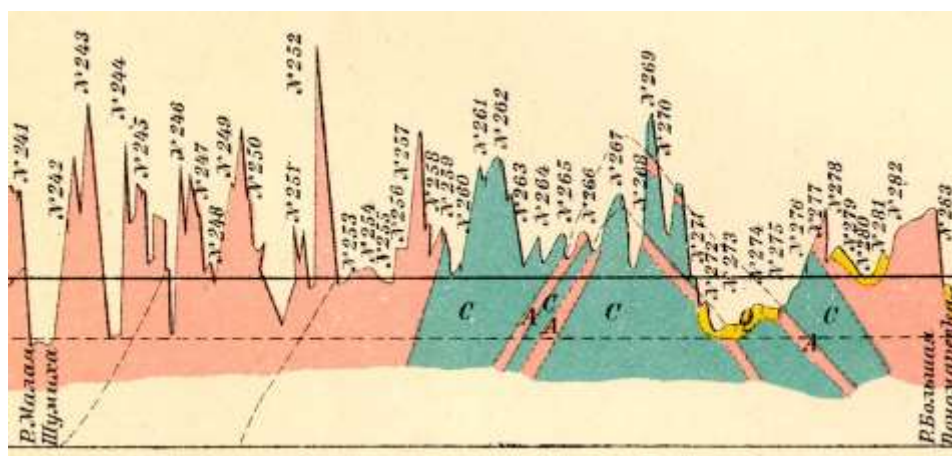


Рис. 4. Геологический разрез между 102-м и 107-м километрами, составленный горной партией К.Н. Тульчинского. 1900 г.

Fig. 4. Geological section between the 102nd and 107th kilometers, compiled by the mining party of K.N. Tulchinsky. 1900 g.

Более сложный в геологическом отношении участок от мыса Асламова до Култука отличался от первого участка огромным количеством скалистых обнажений и, как следствие, своей недоступностью. Во время исследований в 1900 г. участок разбили на три части: мыс Асламов–мыс Колокольный, где работал В.А. Вознесенский, участок от мыса Колокольного до мыса Крутая Губа изучал С.И. Бобров, далее до Шаманского мыса описание горных пород проводил Л.А. Шумилин. Всё лето 1900 г. инженеры изучали береговые утесы, прибрежные речки, сопровождалось это большим объёмом земля-

ных работ. Ещё весной по льду было решено изучить все неприступные обнажения.

Подробное описание от мыса Асламова до села Култук составил В.А. Вознесенский. По его наблюдениям в геологическом разрезе вдоль линии железной дороги представлены гнейсограниты, гранитогнейсы со всеми переходными ступенями, различные виды сланцев, очень редки на этом участке пироксеновые известняки. Он так же считал, что архейские породы имели простираение близкое к меридиональному, и осложнены складками второго порядка.



Рис. 5. Горный инженер В.А. Вознесенский (1863–1927).

Fig. 5. Mining engineer V.A. Voznesensky (1863–1927).

Что касается трещин, то они, по мнению В.А. Вознесенского, северо-восточного и восточного направления, то есть параллельно берегу озера; отмечались так же и меридиональные трещины, но он не придавал им особого значения. (Трещины сыграли свою роль во время обвалов пород в период строительства железной дороги). В геологическом отчёте, составленном В.А. Вознесенским, указано, что тоннели во многих местах прорезали прочные горные породы и обделки не требовали. Наибольшую опасность могли представлять обвалы скал, но так как они сильно трещиноваты, то не потребуются больших усилий для их расчистки. В заключении В.А. Вознесенский писал: «Большая устойчивость полотна основания железной дороги, почти полное отсутствие даже незначительных оползней и лёгкость их устранения, бедность грунтовыми водами, слабое влияние мерзлоты, близость обширного и глубокого озера с прозрачной, чистой и пресной водой, озера, обеспечивающего подвоз материалов и сообщение с участками, наконец, напластование пород более или менее поперечное простиранию железной

дороги, все это даёт основания считать береговое направление Кругобайкальской железной дороги вдоль озера Байкал не только технически выполнимым, но и весьма удобным для выполнения» (Геологические исследования..., 1910а).

Всего за два полевых сезона партия Л.А. Шумилина-В.А. Вознесенского осмотрела 600 обнажений, пробила 111 шурфов до шести метров глубиной, разработала 57 разрезов, пробурила ручным бурением шесть скважин. По окончании исследований была составлена геологическая карта участка и геологические разрезы.

Таким образом, за два полевых сезона (1899 и 1900 гг.) изыскательских работ для Кругобайкальской железной дороги на участке исток Ангары–село Култук изучено более 800 обнажений, пробито 454 шурфа глубиной от 0.5 до 4 сажень, общей длиной 575.78 сажень, буром С.Г. Войслова пробурено девять скважин общей глубиной 17.27 сажень (Предварительный проект..., б/г).

Считалось, что устойчивость полотна железной дороги на исследованном участке обеспечивалась развитием гнейсов, выветривание которых шло медленнее, чем выветривание других горных пород. Линия должна была пройти в крест простирания гнейсов и подчинённых им пород, вследствие чего уменьшалось скольжение пород по плоскостям наслоения. Единственная опасность, которая могла встретиться при эксплуатации пути, заключалась в возможности сползания и соскальзывания по крутым склонам отдельных камней, выветренных с поверхности коренных пород.

На участке село Култук–станция Мысовая в 1898–1900 гг. пробито 434 шурфа (наибольшая глубина 4.98 сажень) общей длиной 666.24 сажень, пробурено 195 скважин (наибольшая глубина скважины 11.35 сажень) общей длиной 1 001.4 сажень.

В июне 1900 г. на Байкал приехал И.В. Мушкетов. Тогда же для исследования долины Иркута и Зыркузунского хребта (хребта Быстринская грива) от станции Иннокентьевская (сейчас Иркутск-Сортировочный) до села Култук была организована специальная горная партия под ру-

ководством инженера третьей партии В.А. Вознесенского. В задачу партии облегчали выходы горных пород лаврентьевской (шарыжалгайской) свиты, той самой, что была распространена на участке исток Ангары–село Култук и уже подверглась изучению (Предварительный проект..., б/г). Горным инженером в этой партии работал А.В. Львов (будущий профессор Иркутского университета).

По Иркутскому направлению, на участке работы проведены в период с 6 июля по 15 августа 1900 г. И.В. Мушкетов отправился в маршруты вместе с горными партиями, как по Байкальскому береговому, так и по Иркутскому вариантам (Восточное обозрение, 1900). Во время экскурсий от профессора были получены ценные указания относительно понимания некоторых геологических процессов и был решён, в общих чертах, характер технико-геологических исследований.

При изучении долины Иркуты главное внимание уделялось залеганию горных пород. Это достигалось как с помощью пробивки шурфов и бурения скважин ручным буром, так и осмотром естественных обнажений. Шурфование произведено по берегу Иркуты, Иркутного и Култучного Ильчей и речки Култучной. Наиболее подробно изучен район Зыркузунского хребта. Горные инженеры обследовали различные подходы к предполагаемому тоннелю, а также долину Иркуты в Зыркузунской петле. Геологические исследования долины Иркуты показали, что проложить железную дорогу по этому направлению будет непросто. Во многих местах была обнаружена вечная мерзлота, труднопроходимые скальные обнажения, оползни и большое количество родников. Водораздел Иркут–Байкал подвергли детальным нивелировочным исследованиям. Ведь со времен И.Д. Черского (1879 г.) считалось, что его высота находится всего на шесть метров выше уровня Иркуты. В.А. Вознесенский первым обратил внимание на ошибку И.Д. Черского. Истинное значение высоты водораздела составляло около пятидесяти метров (это подтвердилось и повторной нивелировкой 1902 г.).

Инженеры рассматривали варианты левобережного и правобережного трассирования линии по Иркуту. Но режим реки не был изучен совершенно: имелись лишь отрывочные сведения об уровнях воды, которые свидетельствовали о значительном колебании уровня воды: быстрая прибыль во время паводков и дождей и мелководье в засушливое время года. Было ясно, что это своеобразная река и на укрепление железнодорожного полотна, при проектировании там линии следовало обратить особое внимание. Были обнаружены места с многолетней мерзлотой – опаснейшем явлении для железной дороги. О геологическом строении долины Иркуты тоже было недостаточно сведений, все это требовало весьма детального изучения этого района.

И.В. Мушкетов был доволен как проводили исследования горные партии. Поэтому и количественные, и качественные результаты исследований, и личное знакомство с районами изысканий позволили ему, в конечном итоге, определенно высказываться о наилучшем направлении будущей Кругобайкальской железной дороги.

Всего по Иркутскому варианту пробито 116 шурфов до трёх саженей глубины, общей длиной 148.89 саженей, пробурены 23 скважины до четырёх саженей глубиной и общей длиной 41.49 саженей, разработано 6 пробных выемок до 4.6 саженей глубиной, общей длиной 27.73 саженей. Кроме того, расчищено 12 ключей с целью определения водонапорного горизонта.

На участке станция Иннокентьевская – село Култук, прежде чем приступить к более подробному исследованию, проведено общее изучение геологического характера местности. По мнению В.А. Вознесенского, Иркутский вариант уступал Байкальскому направлению (Геологические исследования..., 1910б).

Горный инженер В.К. Яковлев, в рамках выполнения изыскательских работ назвал следующие месторождения бурого угля на юго-восточно берегу Байкала, представлявшие интерес для эксплуатации железной дороги: на речке Осиновке, Малиновское, Ивановское. Однако, по его мнению, достойно разработки было только Малинов-

ское месторождение (Геологические исследования..., 1904 г.). Поэтому уже в 1901 г. начальник службы тяги Забайкальской железной дороги С.И. Твардовский сообщал княгине Е.Х. Абамелик-Лазаревой, что ко времени укладки пути от Мысовой до Переёмной на станцию Мысовую поставлено 100 тысяч пудов (1.6 тыс. т) по 5 коп. за пуд. Служба тяги выделила два паровоза из Верхнеудинского депо для езды между Переёмной и Петровским Законом исключительно на угле Малиновского месторождения, и намеривалось вести точную статистику расхода угля для определения пригодности его в качестве топлива для паровозов (РГИА. Ф. 880. Оп. 3. Д. 1866. Л. 4).

Малиновское месторождение угля, осмотренное В.Н. Веберовым в конце XIX – начале XX вв. изучалось другими горными инженерами А.П. Тышко, А.Л. Доткевичем, А.И. Тиме по поручению Санкт-Петербургской конторы княгини Е.Х. Абамелик-Лазаревой. Но эти работы не входили в программу исследований, связанных с проектированием железной дороги. Однако в таких исследованиях в большей степени был заинтересован Геологический комитет России, Горный департамент Министерства земледелия и хозяйственный отдел Управления железных дорог Министерства путей сообщения в целях обеспечения топливом будущей железной дороги.

Борьба с оползнями

В 1899–1900 гг. во время исследований на участке между станциями Мысовая и Переёмная были отмечены древние оползни по косогорам Байкала. На них и сосредоточили своё внимание инженеры. Предлагалось применять дренаж и отвод грунтовых вод. И.В. Мушкетов в 1900 г. лично осмотрел первые 12 вёрст на запад от Мысовой и одобрил метод исследования оползней, предложенный горными инженерами. Тогда же было высказано предположение, что без дренирования 12-й версты на значительных глубинах едва ли возможно будет достигнуть полной остановки сползания полотна к Байкалу.

Выполнение геологического изучения местности и непосредственно дренажных

работ поручили В.А. Вознесенскому. Работы, начатые в 1901 г., в основном были закончены к 1 августа 1903 г.

Время и материальные средства, отведённые на геологические исследования (та же горная пария должна была произвести изыскания на протяжении всех 160 вёрст участка от Мысовой до Култука), не позволили в 1901 г. закончить эти работы с надлежащей полнотой, хотя бы на одном 120 пикете. Тем не менее, в пояснительной геологической записи начальника работ, представляющей извлечение из геологических отчётов горных партий и приложенной к окончательному проекту Кругобайкальской железной дороги, было отмечено, что оползни по названным косогорам «угрожали безопасности пути и требовали особенного внимания при проведении железной дороги». Там же было указано на то, что «для предохранения полотна от оседания и сползания необходимо устранить причины оползней» а «этой цели можно достигнуть, применяя дренаж и отвод грунтовых вод» или «путём провода подземных выработок – водоотводных штолен» (Сооружение..., 1907а).

Все эти указания лишены были, однако, той определенности, которая необходима в подобных случаях и не заключали в себе никаких сведений относительно глубины залегания и положения водонепроницаемых пород, так как к этому времени ещё были разработаны те данные, которые были собраны 3-й горной партией относительно геологического строения района оползней. Между тем спешность сооружения пути не позволяла выжидать детальных указаний по этому вопросу и принуждала вести постройку, не обращая внимания на дренажные работы, которые вследствие того занимали ничтожное место в ряду других строительных работ восточного участка Кругобайкальской железной дороги.

Весной 1902 г. была получена сводка прошлогодних геологических данных, но и она не отличалась должной полнотой, а потому и не могла послужить основанием для проектирования дренажных работ в местности, столь своеобразного геологического характера, как восточное побережье Байкала. В таком положении застали этот вопрос в

1901 г. Дожди 16–20 июля и произвели серьёзные разрушения уже построенного желез-

нодорожного полотна.



Рис. 6. Общий вид сползающих косоговоров между пик. 285–307, верста 29-30-я от станции Мысовая на запад. 1903 г.

Fig. 6. General view of sloping slopes between pic. 285–307, verst 29-30th from Cape station westward. 1903.

Дренажные работы горной партии предстояло выполнить в следующих пунктах, считая от станции Мысовой по направлению к Переёмной: на 5-й, 12-й, 29–31-й и 50–51-й верстах (рис. 6).

Сначала были произведены детальные геологические исследования районов оползней, а затем на основании полученных данных был составлен проект самых дренажных работ, к которым приступили на всех районах немедленно по окончании проектировки.

В виду прибрежного характера геологических образований данной местности, большого однообразия в их петрографическом составе, отсутствия между ними резко характерных пластов, в виду всех этих обстоятельств, получивших особое значение, вследствие сложности перемещений грунтов, происшедших при движении оползня, геологические исследования указанных районов заняли много времени, пока дали достаточные основания для выяснения, какие толщи находились в движении, где находились те горизонты, которые удерживали во-

ду от дальнейшего проникания её вглубь пород и, собирая её на своей поверхности, размягчались, становились скользкими и являлись теми наклонными плоскостями, по которым двигался оползень.

Для решения этой задачи потребовалось задать большое число буровых скважин и шурфов, детально изучить все выходы горных пород в естественных и полученных выемками искусственных обнажениях. На основании полученных, таким образом, данных составить многочисленные продольные и поперечные геологические разрезы районов оползней, проследить по ним каждый водоупорный горизонт и нанести последний на карты, в которых различные в отношении их водопропускной способности пласты были бы изображены в горизонталях.

Только после составления таких пластовых карт по каждому оползню появилось возможным спроектировать систему дренажных работ, которая, осушая или отводя воду от ближайших к пути частей оползня, превращала бы их в неподвижные участки

грунта, способными своим весом противостоять давлению на них дальше отстоящих от Байкала масс, стремившихся отделиться от материка под влиянием смачивания водой подстилающих их водоупорных толщ.

Все эти работы были окончены к половине июля 1902 г. и только с этого времени было начато сооружение дренажей на всех вышеуказанных пунктах, причём предварительно были составлены проекты дренажных сетей для каждого из оползней, где дренажные работы были начаты ранее.

Первоначально, вследствие недостатка буровых инструментов, указанные исследования оползней велись только на 29-й версте, а затем по мере получения вновь выписанных наборов буров для более глубокого бурения они распространялись на другие вёрсты.

К осени 1903 г. все работы по укреплению оползней были закончены, начисто отделаны и сданы в эксплуатацию Забайкальской железной дороги, кроме дренажей 5-й версты, где оставалось сомкнуть выше полотна дороги систему дренажных штолен и штреков, заложить их камнем и закончить некоторый поверхностный работы. Впоследствии недоделки 5-й версты были закончены, сеть дренажных работ сомкнута и заложена по типу бутовым камнем (Сооружение..., 19076).

Дренажные работы Восточного участка состояли из поверхностных и подземных работ. Первые имели целью собирать поверхностные воды, устраняя тем просачивание их в грунт и размягчение почвы, а равно размывы железнодорожных сооружений. К ним относилось сооружение отводных канав, лотков, планировка местности и т. п. К этому же роду работ относились и дренажные канавы, хотя они имели целью осушить пересекаемый ими сырые или водоносные грунты, а не только отвести поверхностные воды.

Подземные работы, являясь самой существенной частью работ по закреплению оползней, были конструированы таким образом, чтобы они перехватывали все грунтовые воды, которые смачивали подошву сползающих пород. К ним относились сооружение штолен, штреков и шахт. Иногда,

как на 12-й версте, подземные работы находились в тесной связи с поверхностными. Вызывалось это тем обстоятельством, что водоупорный горизонт, по которому велись подземные выработки настолько близко подходит к дневной поверхности, что оказывалось более выгодным, как с экономической стороны, так и с точки зрения ускорения хода работ, заменить штрек дренажной канавой, тем более, что дренажная канава, пересекая все лежащие выше дна её породы, собирала к себе воды всех этих пород, а не одного только избранного подземной выработкой водоносного горизонта.

Заключения и выводы горных инженеров и инженеров путей сообщения

Осенью 1900 г. под руководством И.В. Мушкетова началась обработка полевых геологических исследований. Наступал самый ответственный момент в истории изысканий обхода Байкала. Предстояло дать ответ, по какому из двух направлений пойдет будущая железная дорога. У горных инженеров и руководителя геологических исследований было одно мнение: Байкальское береговое направление.

По результатам геологических исследований заключение дал И.В. Мушкетов. Учёный считал важным обратить внимание на следующие обстоятельства:

1. На Байкальском направлении были развиты только прочные породы архейского возраста. Значит, склоны были устойчивыми. Лишь отдельные места (три-четыре места, длиной не более одного километра) могли вызывать опасения, но такие места легко было сделать безопасными. На Иркутском направлении даже древние, архейские породы Лаврентьевской формации (сейчас это архейские породы шарьжалгайской серии) имели опасные места, где выступали рыхлые породы, которые давали подвижные осыпи. Закрывать их было бы сложно, и они могли причинять беспокойство. Кроме того, в этом направлении линия проходила по слабым осадочным породам. Например, в пробных выемках песчаники юрского возраста показали свою возможность сползать. Здесь линия шла бы по крутому склону над

Иркутом, который своими водами способствовал движению грунта.

2. Архейские породы в обоих направлениях почти одинаковой прочности, но «динамические процессы в них абсолютно различные, как по отношению к размыванию, так и по отношению к выветриванию». Размывание пород байкальскими волнами шло там, где не было намывной полосы (пляжа) и берег круто обрывался, то есть подмывание берега приходилось на мысы, а их проектировали прорезать тоннелями, поэтому это было неопасно для железной дороги. Размывание шло медленно, так как берега расположены в крест простирания горных пород и размывались только во время ветров. На Иркуте размывание шло постоянно текущей водой. Меры предосторожности на больших участках могли быть дороже самой железной дороги. К тому же множество мелких водных источников делали берега Иркуты подвижными, возникали опасности обвалов и осыпей.

3. Хотя на Байкале намечалось большое количество тоннелей, но они все были очень короткими. На Иркуте предполагался один тоннель, а геологическое строение его ожидалось сложное: в нём предполагалось наличие размятых пород и прорыв воды по трещинам. Берега Байкала были свободны от мёрзлых пород, а в долине Иркуты они имели развитие.

«В заключение отмечу, – писал И.В. Мушкетов, – что хотя по первому впечатлению оба эти варианта кажутся невозможными для проведения железной дороги, но кто видел альпийские дороги, хотя бы от Вены до Виллаха, тот не может не согласиться, что Кругобайкальская железная дорога несравненно безопаснее, чем многие альпийские, проведенные по крутым склонам из рыхлых, осыпающихся пород» (Геологические исследования..., 1904д).

Заканчивая обзор работ, выполненных горными инженерами по предполагавшимся вариантам направления Кругобайкальской железной дороги, обратим внимание на ход обсуждения и утверждения направления железнодорожной линии. Это весьма длительный и многоэтапный период, основанный, в

том числе и на результатах геологических исследований.

Подробные геологические исследования, выполненные 1899–1900 г. на юго-западном побережье Байкала стали, по сути, той основой, на которую опирались в своих выводах инженеры, трассировавшие линию по нескольким направлениям и специалисты Министерства путей сообщения.

Сравнивая два варианта направления Кругобайкальской железной дороги (по Иркуту и по берегу Байкала) начальник изысканий Б.У. Савримович обоснованно считал, что *«не всегда дорога, наиболее дешевая в постройке, в то же время и наиболее выгодная»* (РГИА. Ф. 326. Оп. 3. Д. 64. Л. 161). Уже тогда было просчитано (и опять, вполне обоснованно), что строительные, технические и эксплуатационные расходы, а в результате и безопасность дороги по берегу Байкала будут гораздо выше предполагавшихся затрат вначале.

Доводы Б.У. Савримовича, изложенные им в пояснительной записке и основанные на геологических исследованиях горных партий, *«не оставляли сомнения в преимуществе Байкальского варианта перед Иркутным»* (Геологические исследования..., 1904е). Таким образом, Б.У. Савримович полностью ссылался на мнения горных инженеров и И.В. Мушкетова.

В Санкт-Петербурге технический отдел Управления по сооружению железных дорог, рассматривая представленные Б.У. Савримовичем, при сравнении в техническом отношении направления по берегу Иркуты и по берегу Байкала, пришел к следующему заключению: в смысле «прочности сооружения» (то есть, в смысле геологических условий) направление по берегу озера «далеко оставляет за собой направление по Иркуту». Ввиду удобного сообщения между отдельными пунктами Байкальского направления, последнее также более выгодно, а наличие большого по протяженности горного участка по долине Иркуты окончательно сводит на нет его преимущества. В отношении эксплуатации линия вдоль берега Байкала имеет равнинный характер, а по Иркуту – горный. В конце доклада технический отдел призна-

вал «вполне правильным» приведенное в пояснительной записке заключение Б.У. Савримовича, «что самым выгодным, во всех отношениях, направлением для постройки будущей Кругобайкальской железной дороги является направление по берегу озера» (РГИА. Ф. 326. Оп. 4. Д. 289. Л. 27 об., 29).

Рассмотрев рапорт Б.У. Савримовича с представленными результатами изысканий и проект западной части Кругобайкальской железной дороги по двум направлениям: станция Байкал–село Култук по берегу озера и станция Иннокентьевская – село Култук по реке Иркут через Зыркузунский хребет (Быстринская Грива), заслушав доклад инспектора Управления по сооружению железных дорог С. Мухлинского о выборе направления западной части Кругобайкальской железной дороги, а также доклад начальника технического отдела Е.С. Серебринского по вопросу об утверждении технических условий для Кругобайкальской железной дороги, постановлением Комитета Управления по сооружению железных дорог 14 апреля 1901 г. решено: 1. Отдать предпочтение направлению Кругобайкальской железной дороги вдоль берега Байкала от станции Байкал до села Култук. 2. Одобрить проект технических условий, переправить настоящее журнальное постановление со всеми предложениями на рассмотрение Инженерного совета Министерства путей сообщения (РГИА. Ф. 326. Оп. 4. Д. 289. Л. Л. 36).

Министр путей сообщения князь М.И. Хилков, в свою очередь, несмотря на незначительное увеличение стоимости железной дороги вдоль берега Байкала, по сравнению с Иркутским направлением, счёл необходимым остановиться на береговом направлении, «ввиду преимуществ этого направления в отношении геологическом и эксплуатационном по сравнению с другими предположенными вариантами». Об этом он сообщил в своём докладе Комитету Сибирской железной дороги 2 июня 1901 г. Министр заявлял, что строить Западный участок Кругобайкальской железной дороги по береговому направлению выгодно уже потому, что оно помимо различных техниче-

ских и финансовых преимуществ, представлялась, по заключению геологов, «более обеспеченным в отношении устойчивости и безопасности устройства полотна и сооружений» (РГИА. Ф. 268. Оп. 3. Д. 596. Л. 181). (Хотя первоначально М.И. Хилков в Комитете Сибирской железной дороги склонялся к Иркутскому направлению).

Уникальное строение горных пород западного берега Байкала, исследованное во время изысканий и строительства железной дороги, позволило учёным и в дальнейшем изучать сложнейшие процессы формирования земной коры.

Описание некоторых пород архейского времени, выполненное горными инженерами, хотя и было более подробное (после И.Д. Черского), с микроскопическими определениями), но для того периода времени они не давали общего представления обо всем архейском комплексе с точки зрения выяснения его генезиса в деталях. Исследования горных инженеров изыскательских партий носили сугубо прикладной характер, однако послужили первоначальной основой для дальнейшего изучения древнейших горных пород Байкала.

К.Н. Тульчинский и В.А. Вознесенский в береговой полосе от истока Ангары до Култука отмечали господство простирающихся архейских пород меридионального или близко к меридиональному. Складки осложнены сбросами, сдвигами, кливажем.

А вот геолог А.В. Львов, работавший позже указанных инженеров, первым дал описания излияний четвертичного возраста. Производя технико-геологическое описание тоннелей и опасных обвальных участков, А.В. Львов относил к четвертичному возрасту жилы базальта по трещинам сбросов, которые мы видим сейчас на поверхности. До него лишь В.А. Вознесенский упоминал о жилах габбро-норита, диабазы и диабазового порфира.

Исследования Б.З. Коленко

Все эти научные выводы инженеров и учёных в период строительства железной дороги вокруг Байкала делались для одной цели – безопасного движения поездов в необычных природных условиях. Явно выра-

женная практическая направленность геологических исследований имела большое значение не только для строительства железной дороги, но и для её эксплуатации. Подобные исследования продолжались на протяжении многих лет эксплуатации Кругобайкальского участка Транссиба. Вместе с тем изучение недр для строительства сложных инженерных сооружений (земляного полотна, тоннелей, мостов и др.) способствовало становлению новой научной дисциплины – инженерной геологии.

Подрез склонов от истока Ангары до села Култук спровоцировал катастрофическую активизацию геодинамических процессов. Эти процессы растянулись по времени и приняли вид катастрофы, продолжающейся до сегодняшнего времени. Такие процессы, легко спровоцированные, очень трудно остановить. Весь опыт эксплуатации Западного участка Кругобайкальской железной дороги говорит об этом. Срезка опасных склонов и уборка одиночных глыб продолжалась на протяжении многих лет, но интенсивное разрушение склонов продолжалось.

Сложившая ситуация на строительстве заставила Управление строительством обратиться за помощью к геологу А.В. Львову с просьбой разобраться в причинах обвалов. А.В. Львов, выполнив исследования, сделал выводы о влиянии на устойчивость откосов минералогического состава пород. Он, например, пришёл к важному заключению, что выработку откосов нельзя делать круче сбросовых и подсекающих трещин, а где таковые условия не позволяли этого делать, строить галереи и подпорные стенки. Результаты изысканий А.В. Львова оказали важное влияние на завершение строительства.

Вот только десятки галерей и тоннелей далеко не обеспечивали цельность железнодорожного полотна и безопасность движения полотна. Непрерывные обвалы во время эксплуатации первого пути требовали постоянного наблюдения за состоянием откосов, своевременной съёмки и расчистки пути. Управление дороги считало, что успешность этой работы в полной мере зависит от подробного изучения геологических особенностей обнажений. Поэтому в 1907 г.

Управление Забайкальской железной дороги пригласило на Байкал геолога Б.З. Коленко для продолжения знакомства с разрезами. Б.З. Коленко за два года работы написал несколько научных трудов по геологии древнейших толщ на западном участке Кругобайкальской железной дороги Коленко, 1918, 1923, 1926, 1929). В это время здесь производились работы по расширению выемок и срезке откосов, что давало новый материал для исследований.

«В 1909 г., – писал Б.З. Коленко, – Управлением Забайкальской железной дороги на меня было возложено поручение произвести между станциями Байкал и Култук детальные исследования коренных горных пород, искусственно обнажённых вдоль линии дороги срезкой откосов. Основной задачей этих исследований было изучение, так сказать, отрицательных в практическом отношении свойств этих пород, с целью выявить более глубокие процессы и причины их необычайной разрушимости и этим внести, может быть, новые полезные данные в разработку большого вопроса об укреплении откосов, вечно угрожающих своими обвалами, как целостности самого полотна дороги, так и безопасности железнодорожного по нём движения» (Коленко, 1918). Петрографический материал настолько заинтересовал Б.З. Коленко, что он решил основательно познакомиться с участком, отсюда возникла мысль взяться за полную научную разработку собранного материала, тем более, что до него породы данного района Прибайкалья подробно не были ни кем описаны.

Б.З. Коленко собрал материал для своих Петрографических эскизов «по кристаллическим изверженным и метаморфическим породам Прибайкалья», назвав его «Петрографические эскизы. Породы обнажений на Кругобайкальской железной дороге между станциями Байкал и Култук» (Варсановьева, 1947). Это очень интересный цикл работ, в которых затрагивается ряд общих теоретических вопросов, относящихся к геологическому строению района. Необычность его исследований заключалась в том, что, при детальном изучении разреза горных пород, он создал несколько научных трудов по геологии и петрографии архейской толщи. В

одной из своих работ Б.З. Коленко рассмотрел наиболее редкие породы – ультрабазиты, (названные им перидотитами) в междуречье Большой и Малой Крутой Губы, тоннеля № 32 (с иркутской стороны). Почти чёрная, местами с зеленоватым, местами с сероватым оттенком, массивная порода, сразу остановила внимание Б.З. Коленко, своими резко отличительными признаками от соседних пород. Его приятно удивил своеобразный минералогический состав этой породы. Не меньшее удивление вызвало и то, что с перидотитами (ультрабазитами) – магматической породой – сочетались гнейсы – метаморфические породы, генезис которых совершенно различен. Гнейсы перемежались с перидотитами, налегали на него, подстилали его и во всех случаях перидотитовая масса располагалась среди гнейсов, строго следуя их слоистости, подчиняясь всем изгибам, извилинам и складкам. Б.З. Коленко посвятил много внимания изучению минерального состава и микроструктуры перидотитов.

Другая работа Б.З. Коленко посвящена плагиоклаз-кальцитовому микропегматоиду. Его интересовал генезис пород и в этом отношении прибайкальская природа, по его словам, представляла для исследователя исключительную ценность. Явление, на которое обратил внимание Б.З. Коленко, состояло в прорастании плагиоклаза вростками кальцита. Он изучил не только это явление, но и дал полную картину и других главнейших процессов превращения породы, на контактах разных горных пород.

Ещё один «эскиз» Б.З. Коленко посвятил кордиеритовым гранулитам. Рассматриваемый железнодорожный участок находился (и находится сейчас) в непрерывной борьбе за своё существование с коалицией враждебных ей природных факторов. К ним относилась тектоника местности, перемежаемость осадочных и изверженных пород, интрузивных и эффузивных, нарушение их напластования, а также климатические условия, землетрясения. Все эти явления повышали энергию не только поверхностного, но и проникающего глубоко вовнутрь разрушения горных масс. Успешность борьбы с этими неблагоприятными явлениями состояла в прямой зависимости от их изучения, позна-

ния их разрушительной работы. Б.З. Коленко считал, что береговые откосы должны быть изучены не только с точки зрения состава и структуры горных пород, но и изучения «жизненных процессов, которые способны менять их природу, как механически, так и путём всевозможных физических и химических воздействий. Наряду с этим научная разработка петрографического материала должна была привести к результатам более широкого и общего значения, которая могла иметь и важное практическое значение. Б.З. Коленко придавал большое значение изучению минерального состава пород, но особое внимание он уделял их микроструктуре. С этой целью он обратил внимание на гранат-кордиеритовые породы (кордиеритовые гранулиты) и их микроструктуру, пытаясь понять сущность самих метаморфических процессов. В качестве объекта исследования был выбран участок между 117.5 и 121.5 вёрстами, который он назвал «Шарыжалгайским», так как он укладывался между мысом 4-й Шарыжалгайский и 1-й Шарыжалгайский. Изучение кордиеритовых гранулитов привели к убеждению Б.З. Коленко, что выделение гранатов в большинстве горных пород, а также смена слюдяных и роговообманковых гнейсов пироксеновыми состояли в прямой зависимости с присутствием известковых масс. Эти факторы привели к мысли провести исследования известковых пород, а именно мраморов.

Поэтому последняя статья Б.З. Коленко посвящена обнажению кристаллических известняков, в так называемой «Белой выемке» (105-й км Кругобайкальской железной дороги). На основании изучения петрографического и минералогического характера кристаллических известняков Б.З. Коленко вывел определённые черты процессов, путём которых первичные известковые массы превратились в кристаллические известняки.

В целом, во время изучения обнажений Кругобайкальской железной дороги Б.З. Коленко особенно поразили ярко выраженные следы напряжённых геодинамических процессов, которым подверглись архейские породы. Они представлены сложной складчатостью, раздробленностью пород, сдвигами, сбросами. Сложнейшие геодинамические

процессы Б.З. Коленко выявил и под микроскопом: искрошенность зёрен, волосяные трещины, изломы и перегибы минералов указывали на катакластическую структуру (Коленко, 1926).

Во время строительства второго пути Кругобайкальской железной дороги серьёзные исследования проводились по изучению размеров и действия волнобоя для проектирования укреплений железнодорожного полотна. Во время эксплуатации Кругобайкальского участка эти исследования продолжались в расширенном и углублённом виде.

Заключение

Стремление к познанию общих геологических процессов, происходящих на Байкале, но не вызванных практической деятельностью железной дороги обусловило в последующие годы появление на Кругобайкальском участке геологов нескольких поколений. В 1914–1915 гг. летом на участке от истока Ангары до Слюдянки проводил исследования Н.И. Свитальский. Его исследования охватывали изучение стратиграфии местности и петрографии анортозитовых пород и пироксеновых сланцев (Свитальский, 1916). Это были первые шаги в изучении стратиграфии архейских пород, сопровождавших весь западный участок Кругобайкальской железной дороги (станция Байкал – село Култук). К слову сказать, Н.И. Свитальский не разделял точку зрения В.А. Вознесенского и М.М. Тетяева о впадении Иркутта в озеро Байкал по долине современной речки Култучной.

Литература

- РГИА. Ф. 58. Оп. 2. Д. 691. Л. 3.
 РГИА. Ф. 268. Оп. 3. Д. 596. Л. 181.
 РГИА. Ф. 272. Оп. 2. Д. 748. Л. 15–19.
 РГИА. Ф. 274. Оп. 1/2. Д. 107. Л. 42–43, 62.
 РГИА. Ф. 326. Оп. 3. Д. 64. Л. 161.
 РГИА. Ф. 326. Оп. 3. Д. 155. Л. 1–8.
 РГИА. Ф. 326. Оп. 4. Д. 289. Л. 27 об., 219, 36.
 РГИА. Ф. 350. Оп. 13. Д. 138. Л. 1.

РГИА. Ф. 364. Оп. 6. Д. 149. Л. 3, 14, 65, 73.

РГИА. Ф. 880. Оп. 3. Д. 1866. Л. 4, 16.

Варсанюфьева В.А. К истории русской науки: Борис Захарович Коленко // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Новая серия. Т. 52. Отдел геологический. Т. 22 (4). М., 1947. С. 103–107.

Восточное обозрение. 1900. 22 июня. С. 3.

Геологические исследования вдоль линии Кругобайкальской железной дороги, произведенные под общим руководством профессора И.В. Мушкетова. СПб.: Тип. М. Стасюлевича, 1904. Вып. 1. С. V–VI, 3–6, 11, 38.

Геологические исследования вдоль линии Кругобайкальской железной дороги, произведенные под общим руководством профессора И.В. Мушкетова. СПб.: Тип. М. Стасюлевича, 1910. Вып. 2. С. 36–38, 50.

Коленко Б.З. Петрографические эскизы. Породы обнажений на Кругобайкальской железной дороге между станциями Байкал и Култук. I. Перidotиты Крутой Губы // Записки минералогического общества. Вторая серия. Ч. 51. Вып. 1. Пг., 1918. С. 234–288.

Коленко Б.З. Петрографические эскизы. Породы обнажений на Кругобайкальской железной дороге. II. Плагноклаз-кальцитовый микропегматоид // Вестник Московской горной академии. Т. 1. Вып. 2. М., 1923 г. С. 243–256.

Коленко Б.З. Петрографические эскизы. Породы обнажений на Кругобайкальской железной дороге. III. Кордиеритовые гранулиты и келифитовая структура. М., 1926. 128 с. // Труды института прикладной минералогии и металлургии. Вып. 24.

Коленко Б.З. Петрографические эскизы. Породы обнажений на Кругобайкальской железной дороге. IV. Кристаллические известняки. Кальцифиры Белой Выемки // Труды минералогии и петрографии. Вып. VIII. Ассоциация научно-исследовательских институтов при физико-математическом факультете I МГУ. М., 1929. 112 с.

Материалы Комитета Сибирской железной дороги. [СПб.], 1897. Т. 14. Л. 489.

О железной дороге через всю Сибирь. Стенографический отчет 2-го (последнего) заседания, 22 апреля 1889 г. третьей подкомиссии ИРТО // Железнодорожное дело. 1889. № 30. С. 343.

Предварительный проект Кругобайкальской железной дороги, составленный на основании изысканий, произведённых в 1899–1900 гг.: Геологическая пояснительная записка. Б/м, б/г. С. 4, 11, 12, 17.

Рязанов В.Д. Вероятное геологическое строение хребта Зыркузун в месте пересечения его туннелем, проектированным для Кругобайкальской железной дороги в 1895–1896 гг. // Горный журнал. 1898. Т. 1. № 2 (февраль-март). С. 188–195.

Свительский Н. Геологические исследования в Юго-Западном Прибайкалье // Известия Геологического комитета. Пг., 1916. Т. 35. № 4. С. 505–534.

Сооружение Кругобайкальской железной дороги: Сборник пояснительных записок, технических условий и расчётов сооружений (к альбому типовых и исполнительных чертежей). 1900–1905. СПб.: Знаменская тип. инж. Г.А. Бернштейна, 1907. Отд. 2. С. 6, 10–11.

Труды комиссии императорского русского технического общества по вопросу о железной дороге через всю Сибирь. 1889–1890 гг. СПб., 1890. 404 с.

Ячевский Л.А. Алиберовское месторождение графита на Ботогольском гольце // Геологические исследования и разведочные работы по линии Сибирской железной дороги. Вып. 11. СПб.: Типо-лит. Биркенфельда, 1899. Вып. 11. С. 19–48.

Ячевский Л.А. Геологические условия постройки Зыркузунского тоннеля // Геологические исследования и разведочные работы по линии Сибирской железной дороги. СПб.: Типо-лит. Биркенфельда, 1899. Вып. 11. С. 1–12.

Ячевский Л.А. Предварительный отчёт об исследованиях, проведённых в местности прилегающей к южной части Байкала // Геологические исследования и разведочные работы по линии Сибирской железной дороги. Вып. 7. СПб.: Типо-лит. Биркенфельда, 1898. С. 4, 20.

References

- RGIA. Ф. 58. Оп. 2. Д. 691. Л. 3.
 RGIA. Ф. 268. Оп. 3. Д. 596. Л. 181.
 RGIA. Ф. 272. Оп. 2. Д. 748. Л. 15-19.
 RGIA. Ф. 274. Оп. 1/2. Д. 107. Л. 42-43, 62.
 RGIA. Ф. 326. Оп. 3. Д. 64. Л. 161.
 RGIA. Ф. 326. Оп. 3. Д. 155. Л. 1-8.

RGIA. Ф. 326. Оп. 4. Д. 289. Л. 27 об., 219, 36.

RGIA. Ф. 350. Оп. 13. Д. 138. Л. 1.

RGIA. Ф. 364. Оп. 6. Д. 149. Л. 3, 14, 65, 73.

RGIA. Ф. 880. Оп. 3. Д. 1866. Л. 4, 16.

Varsanofieva V.A. To the history of Russian science: Boris Zakharovich Kolenko // Bulletin of the Moscow Society of Nature Researchers. New series. T. 52. Department of Geology. T. 22 (4). M., 1947. P. 103–107.

Oriental Review. 1900. June 22. P. 3.

Geological studies along the line of Circum-Baikal railroad, made under the general supervision of Prof. I.V. Mushketov. St. Petersburg: Tip. M. Stasyulevich, 1904. Vol. 1. P. V-VI, 3-6, 11, 38.

Geological investigations along the line of the Circum-Baikal railroad, made under the general supervision of Professor I.V. Mushketov. St. Petersburg: Tip. M. Stasyulevich, 1910. Vol. 2. P. 36-38, 50.

Kolenko B.Z. Petrographic sketches. Outcrop rocks on the Circum-Baikal railroad between Baikal and Kultuk stations. I. Peridotites of the Krutaya Guba // Notes of the Mineralogical Society. Second series. Ч. 51. Vyp. 1. Pg., 1918. P. 234–288.

Kolenko B.Z. Petrographic sketches. Rocks of outcrops on the Circum-Baikal railroad. II. Plagioclase-calcite micropegmatoid // Bulletin of the Moscow Mining Academy. T. 1. Vol. 2. M., 1923 P. 243–256.

Kolenko B.Z. Petrographic sketches. Rocks of outcrops on the Circum-Baikal railroad. III. Cordierite granulites and kelyphitic structure. M., 1926. 128 p. // Proceedings of the Institute of Applied Mineralogy and Metallurgy. Vyp. 24.

Kolenko B.Z. Petrographic sketches. Outcrop rocks on the Circum-Baikal railroad. IV. Crystalline limestones. Calciphires of Belaya Vyemka // Proceedings of Mineralogy and Petrography. Vyp. VIII. Association of Research Institutes at the Faculty of Physics and Mathematics I MSU. M., 1929. 112 p.

Materials of the Committee of the Siberian Railroad. [St. Petersburg], 1897. Т. 14. Л. 489.

On the railroad through the whole of Siberia. Verbatim report of the 2nd (last) meeting, April 22, 1889 of the third subcommission of the IRTO // Railway business. 1889. No. 30. P. 343.

Preliminary project of the Circum-Baikal railroad, based on the surveys carried out in 1899-1900:

Geological explanatory note. В/м, б/г. P. 4, 11, 12, 17.

Ryazanov V.D. Probable geological structure of the Zyrkuzun ridge in the place of its crossing by the tunnel designed for the Circum-Baikal railroad in 1895-1896 // Mining Journal. 1898. T. 1. No. 2 (February-March). P. 188-195.

Svitalsky N. Geological studies in the South-West Pribaikalye // Izvestiya Geologicheskogo Komiteta. Pg., 1916. T. 35. No. 4. P. 505-534.

Construction of the Circum-Baikal railroad: Collection of explanatory notes, specifications and calculations of structures (to the album of standard and executive drawings). 1900-1905. St. Petersburg: Znamenskaya typ. engineer G.A. Bernstein, 1907. Section 2. P. 6, 10-11.

Proceedings of the Commission of the Imperial Russian Technical Society on the question of a rail-

road across Siberia. 1889-1890. St. Petersburg, 1890. 404 p.

Yachevsky L.A. Aliberovskoe graphite deposit on Botogolskoe Goltse // Geological studies and exploration work along the line of the Siberian railroad. Vyp. 11. St. Petersburg: Tipo-lit. Birkenfeld, 1899. Vol. 11. P. 19-48.

Yachevskiy L.A. Geological conditions of the Zyrkuzunskiy tunnel construction // Geological studies and exploration works along the Siberian railroad line. St. Petersburg: Tipo-lit. Birkenfeld, 1899. Issue. 11. P. 1-12.

Yachevsky L.A. Preliminary report on the studies conducted in the area adjacent to the southern part of Lake Baikal // Geological studies and exploration work along the line of the Siberian railroad. Issue. 7. St. Petersburg: Tipo-lit. Birkenfeld, 1898. P. 4, 20.

Хобта Александр Викторович,

кандидат исторических наук,

664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, д. 7,

Восточно-Сибирская железная дорога – филиал ОАО «РЖД»,

начальник подразделения по сохранению исторического наследия ВСЦНТИБ,

email: dcnti_hobtaav@esrr.ru.

Khobta Alexander Viktorovich,

Candidate of Historical Sciences,

7, Karla Marksa St., Irkutsk, 664003,

East Siberian Railroad - branch of JSC "Russian Railways",

Head of the Historic Heritage Preservation Division of the VSCSTIB,

email: dcnti_hobtaav@esrr.ru.

Исследования геолога А.В. Львова на Кругобайкальской железной дороге

А.В. Хобта

Подразделение по сохранению исторического наследия Восточно-Сибирского центра научно-технической информации и библиотек – структурного подразделения ВСЖД – филиала ОАО «РЖД», г. Иркутск, Россия

Аннотация. В статье рассматривается деятельность геолога А.В. Львова во время выполнения изыскательских работ Кругобайкальской железной дороги и в начале эксплуатации Забайкальской железной дороги. Подробное обследование обнажений, образовавшихся при строительстве железной дороги, позволило опровергнуть предложенные ранее выводы горных инженеров и дать подробные рекомендации по защите железнодорожного полотна от горных обвалов, как во время строительства, так и в начале эксплуатации железной дороги. Наряду с геологическими исследованиями был выполнен работы по определению источников притока воды в самый проблемный тоннель на дороге.

Ключевые слова: Кругобайкальская железная дорога, Забайкальская железная дорога, Южное Прибайкалье, тоннель, Култук, исток Ангары, горные инженеры, геология.

Studies of geologist A.V. Lvov on the Circum-Baikal railroad

A.V. Khobta

Historical Heritage Preservation Division of the East Siberian Center for Scientific and Technical Information and Libraries, a structural subdivision of the East Siberian Railway - a branch of JSCo "Russian Railways", Irkutsk, Russia

Abstract. The article deals with the activities of geologist A.V. Lvov during the survey work of the Circum-Baikal railroad and at the beginning of operation of the Transbaikalian railroad. A detailed survey of the outcrops formed during the construction of the railroad made it possible to refute the previously proposed conclusions of mining engineers and to give detailed recommendations on the protection of the railroad bed from rockfalls, both during construction and at the beginning of the operation of the railroad. Along with geological studies, work was done to determine the sources of water inflow into the most problematic tunnel on the railroad.

Keywords: Circum-Baikal railroad, Transbaikalian railroad, Southern Pribaikalie, tunnel, Kultuk, Angara source, mining engineers, geology.

Введение

Среди исследователей и учёных Восточной Сибири имя А.В. Львова (рис. 1) вписано яркой страницей в отечественную геологическую науку. Геологические знания Александра Владимировича в первой половине XX столетия были весьма востребованы, в том числе и для

железнодорожной отрасли. А.В. Львова можно поставить в тот самый ряд выдающихся учёных, которые занимались в том числе проблемами безопасного движения на железных дорогах Сибири.

Имя А.В. Львова всегда привлекало внимание исследователей. Некоторые сведения о его деятельности отражены в различных публикациях (Горощенова и др.,

2004; Богачев, 2001; Сапранкова, 2000, Гурулев, 1996; Охотников и др., 1968). Подробное описание геологической работы изложено в неопубликованном материале Н.А. Львовой (Львова). Некоторые сведения о практическом вкладе А.В. Львова в геолого-техническое дело (в инженерную геологию) помещены в книгах, посвященных истории Кругобайкальской железной дороге.

Невероятно много в деле популяризации деятельности Александра Владимировича сделала его дочь – Нина Александровна Львова, достойная продолжательница дела отца. В частности, она подготовила к изданию вместе с коллегами биографическую книгу об отце, подарила фотографии и личные вещи А.В. Львова различным музеям. Теперь они хранятся в Иркутске, Култуке, Аршане. Кроме того, Н.А. Львова подготовила к выпуску книгу стихов А.В. Львова (Львов, 1999), а также составила полный перечень работ А.В. Львова, как изданных, так и рукописных, что особенно ценно, так как они дают полное представление о его неутомимой деятельности на благо Родины. В настоящей статье частично использованы рукописные материалы Н.А. Львовой.

Однако, на наш взгляд, полностью ещё не раскрыта его деятельность в изучении Южного Прибайкалья. Этому есть несколько причин. Во-первых, ввиду ограничения объёма издания, в биографическую книгу Н.А. Львовой, Н.И. и О.Н. Толстихиных, не вошло много ценного материала (об этом в своё время говорила Нина Александровна Львова автору этих строк). Во-вторых, некоторые работы А.В. Львова частично утрачены из семейного архива в советское время (это тоже со слов Нины Александровны). В-третьих, список трудов А.В. Львова обширен и, чтобы проанализировать все его работы, требуется немало времени. Следует также заметить, что Александр Владимирович много занимался инженерной геологией, а также гидрогеологией по заказу предприятий, поэтому, практически, весь материал, наработанный А.В. Львовым, «осел» в ведомственных архивах и, естественно, остается недоступен широкому

кругу исследователей. С этими материалами А.В. Львова незнакомы были даже его биографы.



Рис. 1. Профессор А.В. Львов (1871–1941).

Fig. 1. Prof. A.V. Lvov (1871–1941).

Автор хотел бы хотя бы частично восполнить выше названные пробелы и несколько подробнее остановиться на вкладе А.В. Львова в дело строительства Кругобайкальской железной дороги. Для этого в распоряжении автора имеются материалы, главным образом записки А.В. Львова, частично опубликованные и вновь выявленные, которые позволяют говорить о А.В. Львове как об учёном, внёсшим огромный вклад в российское железнодорожное и промышленное строительство и в российскую и мировую науку.

Впервые Львов попал в Сибирь не по собственной воле. В связи с покушением на Александра III в марте 1887 г. были арестованы организаторы акции во главе с А.И. Ульяновым (братом В.И. Ленина). По этому делу был арестован и А.В. Львов – у него хранился динамит для этого покушения (Ливеровский, 2005).

Находясь на поселении в селе Тунка, А.В. Львов провёл успешную работу в

борьбе с «кобылкой» (саранчой). Работа была настолько успешной, что, во-первых, об этом было напечатано в газете (Восточное обозрение, 1900), а, во-вторых, А.В. Львов в 1900 г. получил разрешение работать в горной партии А.В. Вознесенского по изысканию Иркутского варианта Кругобайкальской железной дороги. О его работе в этой партии практически ничего неизвестно. Можно предположить, что А.В. Львов только начинал познавать азы прибайкальской геологии. Но его стремление к научным исследованиям были настолько сильны, что это не осталось незамеченным. В начале XX столетия геологов в Восточной Сибири было не так много. И появление нового исследователя логично «встроилось» в геологические исследования ближайших к Байкалу территорий.

Этот период для геологии характерен тем, что начиналось зарождалась новое направление геологической науки – инженерная геология. И железнодорожное строительство стало одним из тех главных фундаментов, на котором впоследствии строилась инженерная геология. В этом отношении Кругобайкальская железная дорога, строившаяся в 1899–1905 гг. под руководством инженера путей сообщения Б.У. Савримовича, – это именно та дорога, на которой самым отчётливым образом проявились инженерно-геологические исследования. Здесь обстоятельно были изучены геологические особенности местности, её морфология, климатические условия и влияние этих факторов на строительство и эксплуатацию Кругобайкальской железной дороги.

Решение проблемы обвалов

В 1899–1900 гг. на западном участке Кругобайкальской железной дороги (исток Ангары–село Култук) работали две геологические партии. Одна, под руководством горного инженера К.Н. Тульчинского, проводила подробные исследования от истока Ангары до пади Асламовской (примерно половина общей длины западного участка), другая – под руководством горного инженера

В.А. Вознесенского изучала участок от пади Асламовской до Култука, которая затем исследовала иркутский вариант строительства КБЖД.

В декабре 1903 г. А.В. Львова вновь пригласили работать в Управление по строительству Кругобайкальской железной дороги в качестве геолога. И с этого времени он приносил большую практическую пользу Управлению по строительству, а затем и эксплуатационному Управлению Забайкальской железной дороги. В период деятельности Александра Владимировича на Кругобайкальской железной дороге в полной мере раскрылся его научный дар. Именно там были заложены те первые крупинки творческого подхода к геологическим исследованиям, которые он, как учёный, сохранил на протяжении своей творческой деятельности.

Первая зима прошла в изучении образцов пород, доставленных с Кругобайкальской железной дороги. В мае 1904 г. А.В. Львов, совместно с заместителем начальника строительства Кругобайкальской железной дороги инженером путей сообщения К.Н. Симбергом прошёл пешком западный участок Кругобайкальской железной дороги.

В записке по результатам исследований А.В. Львов дал петрографическое описание архейских пород, вскрытых в выемках и тоннелях. При этом он уделил внимание их минералогическому составу, структурно-текстурным особенностям, взаимоотношениям и чередованию разновидностей, условиям их залегания. А.В. Львов установил причины, вызвавшие вторичные преобразования, деформации, выветривание, механическую прочность и устойчивость пород. Он первым указал на наличие в архейском кристаллическом комплексе явно слоистых или первично-осадочных (нептунических) гнейсов и сланцев и массивных неслоистых, интрузивного облика (плутонических) – гранитов, аплитов, сиенитов. При этом А.В. Львов отмечал наличие между гнейсами и гранитами секущих отношений, а также и взаимопереходы янослоистых гнейсов в неслоистые гранитогнейсы и граниты, связывая это явление с динамометаморфизмом. Тем самым, А.В. Львов фактически описал по современным представлениям взаимоотноше-

ния, возникающие при гранитизации (чарнокитизации).

В составе пород им отмечено наличие кристаллических известняков, доломитовых известняков, часто обогащенных силикатами, и их стратиграфические взаимоотношения с различными разновидностями гнейсов. А.В. Львовым впервые была установлена сложность стратиграфической перемежаемости пород южного Прибайкалья, недостаточно изученная ещё и до настоящего времени. В особую группу А.В. Львов выделял сланцы: роговообманковые, слюдяные и тальк-хлоритовые, тяготеющие по условиям залегания к пластовым и секущим трещинным зонам. Эти образования он считал продуктами динамометаморфизма соответствующих гнейсов. Кроме архейской группы пород А.В. Львов описал более молодые, и даже новейшие магматические образования, преимущественно жильного типа. Им выделены: жильные граниты-порфиры кварцевые и полевошпатные, диорито-диабазы, мелафиры и базальты. При этом базальтоиды оценивались им, как самые молодые – послетретичные. А.В. Львов не разделял мнение И.В. Мушкетова о том, что базальтоиды являются апофизами лакколита Зыркузунского хребта. Он считал, что это самостоятельные внедрения по сбросовым трещинам, преимущественно северо-восточного простирания, с крутыми падениями на юг (особенно на участке с 5-й до 78-й версты). А.В. Львов ещё раз убедился в тектоническом происхождении озера Байкал.

В описании складчатых деформаций он отмечал разномасштабность складок, их соподчиненность и осложненность флексурными изгибами и срывами, приводящими к развитию сбросов и взбросов по простиранию с возникновением чешуеобразного залегания. Интересно, что здесь же он дал и объяснение складчатым разрывам, как следствию неоднородности реакции на напряжение пластичных и жестких пород, находящихся в стратиграфической перемежаемости. Это тем более интересно, что в те времена и много позже ещё отрицалось возникновение разрыва сплошности слоев в процессах складкообразования. В описании собственно разрывных (дизъюнктивных)

дислокаций отмечалось взаимодействие двух направлений – саянского (более древнего) и байкальского (более молодого). Сбросовые трещины Байкальского направления по А.В. Львову с крутым падением в сторону Байкала, являются определяющими в формировании впадины Байкала, создавая систему ступенчатых уступов и определяя устойчивость современных крутосклонных берегов.

А.В. Львов полагал, что и на восточном берегу действовал также механизм опускания по той же системе сбросовых трещин, установленных для западного побережья. Это положение прослеживается по уровням олигоценых отложений и тем самым определяется и возраст базальтовых жил. А.В. Львов пришёл к выводу, что «повидимому, опустилась вся юго-западная оконечность озера», то есть речь шла о дифференцированном характере развития впадины Байкала и его окружения.

При сопоставлении лично выявленных фактов А.В. Львов высказал предположение, что Байкал «сходен с озером Таньганькой в Велико-Африканской сбросовой впадине, происхождение его сравнительно недавнее и относится ко времени выхода диабаза по трещинам для северо-востока оконечности озера и базальта для юго-востока. Таким образом, эти трещины, вопреки мнению И.Д. Черского, имели решающее влияние на образование Байкала».

Важнейшим практическим выводом в результате анализа разрывных и складчатых дислокаций стало выявление четырёх основных систем трещиноватости и много сопутствующих каждой системе. Их классификация произведена с учётом развития во времени. Тем самым определено совершенно конкретно их влияние на устойчивость откосов пути, выявлены опасные участки, даны рекомендации их укрепления, а также укрепления тоннелей и выемок. А.В. Львов обратил внимание на то, что в отличие от большого усложняющего влияния систем трещиноватости, стратиграфические положения пород архейского комплекса в целом благоприятно для линии, так как их взаимоотношения пересекающиеся. Но, в то же время выделены участки, где «стратиграфи-

ческая неустойчивость» устанавливалась в связи с частой перемежаемостью пород различной сопротивляемости к выветриванию.

А.В. Львовым составлены таблицы устойчивости откосов по стратиграфическим элементам залегания и по сочетанию трещин

различного плана (систем трещиноватости). Развитие полиэдрической (оперяющей) трещиноватости определялась как высшая ступень разрушения пород, особенно в местах проявления интенсивной складчатости (рис. 2).



Рис. 2. Разработка выемки на утёсе Плоском, пик. 152-153, верста 57-я (131-й км), вход в тоннель № 26. 1903 г.

Fig. 2. Excavation of the excavation on Plosky cliff, peaks. 152-153, verst 57th (131st km), entrance to tunnel No. 26. 1903.

На Кругобайкальской железной дороге А.В. Львов попал в непростые условия, как с геологической, так и с морально-этической точки зрения. Шёл 1904 г. Строительство дороги вокруг Байкала достигло высшей степени напряжённости: осенью по железной дороге необходимо было открыть временное движение. И в это время на всём протяжении от Култука до истока Ангары начались обвалы горных пород. Заключение К.Н. Тульчинского и В.А. Вознесенского и их руководителя И.В. Мушкетова было вполне оптимистичным: обвалы не должны стать помехой для строительства и эксплуатации дороги. Однако, именно обвалы тогда, в 1904 г., останавливали работы. Конечно же, руководители строительства были в не-

которой растерянности: как строить дальше и как уберечься от обвалов? И геологу А.В. Львову необходимо было ответить на эти вопросы, дать практические рекомендации. А как ответить после такого авторитетного заключения профессора Горного института и Института инженеров путей сообщения?

А.В. Львов достойно вышел из сложившейся ситуации. Он был первым, кто усомнился в полноте геолого-технических исследований при изысканиях для Кругобайкальской железной дороги по берегу Байкала, но обратил внимание на некоторые ошибки в заключении горных инженеров он очень аккуратно. Без всякой иронии. В своём резюме А.В. Львов особо подчеркивал,

что детальное изучение закономерностей и причин трещиноватости не входило в задачу геологических изысканий предшествовавшего периода, что сам береговой склон в значительной степени был покрыт обвалами и осыпями, и это вызвало проблемы при первоначальных изысканиях. В этих словах проявилась его полемическая корректность, прошедшая в дальнейшем через всю его научную деятельность.

Весной 1904 г. ситуация с береговым склоном стала иная. А.В. Львов имел возможность подробно осмотреть все тоннельные выработки, многие новые искусственные обнажения и выемки, позволявшие проследить некоторые геологические закономерности (Львов, 1907а). Большим подспорьем в работе был осмотр больших обвалов горных пород и маленьких вывалов, произошедших в тоннелях. Всего этого не могли видеть инженеры-изыскатели. Поэтому результаты исследований А.В. Львова в значительной степени отличались от результатов, «добытых» горными партиями при изысканиях. При изучении горных пород А.В. Львов много внимания уделял их минералогическому и химическому составу, трещиноватости, взаиморасположению, чередованию разновидностей пород, условиям их залегания. Для инженеров-строителей важно было знать причины крупных обвалов, поэтому А.В. Львов искал прямые доказательства влияния тектонических и геологических процессов на механическую прочность горных пород, их устойчивость в обнажениях.

Было высказано мнение, что горные инженеры, проводившие изыскания, не придали значение трещиноватости кристаллических горных пород, хотя и подробно её описали, что они не заострили внимание на многообразии этой самой трещиноватости, на её генетические особенности. «... *Горные породы при разработке*, – писал А.В. Львов, – *оказались далеко не столь устойчивыми и прочными, как это предполагалось геологической запиской изыскателей*». Кроме того, изыскатели совершенно не придавали значения происхождению Байкала, тесно связанного с господствующими трещинами, на что обратил внимание А.В. Львов. Он писал: «*геологической запиской игнорировался во-*

прос о происхождении Байкала, как оказалось тесно связанного с господствующими трещинами» (Львов, 1907б). На это, правда, значительно позже, обращал внимание и академик В.А. Обручев (поддерживая А.В. Львова), заметив, что изыскатели не «*считались с гипотезой сбросового генезиса впадины Байкала и вероятным влиянием этого генезиса на устойчивость береговых откосов*». И, наконец, изыскатели, что называется, и словом не обмолвились о землетрясениях, часто повторяющихся в Прибайкалье и вливших на распространение трещиноватости пород, на что обратил внимание А.В. Львов.

Итак, весной 1904 г. Львов, по поручению Б.У. Савримовича, совместно с его заместителем инженером путей сообщения К.Н. Симбергом провёл исследование строившегося участка от истока Ангары до села Култук. Кроме тщательного осмотра всех мест, где произошли обвалы и вывалы пород, Львов выполнил макроскопическое и микроскопическое исследование около тысячи образцов горных пород, представляющие все сочетания пород на 84-километровом участке. Он внимательно изучал строение пород, определял углы простирания и падения пластов по отношению к оси линии железной дороги. Он изучал важнейшие трещины в связи с изменениями формы и структурным преобразованием горных пород, влияние трещин на степень устойчивости откосов, на быстроту выветривания пород.

Горные породы при разработке оказались не столь устойчивыми, как предполагали при изысканиях. В качестве доказательства А.В. Львов приводил следующий пример. Во многих высоких откосах породы, состоявшие из одного монолита – гранитогнейса, которые во время первой командировки в начале лета 1904 г. считались прочными и надёжными за отсутствием каких-либо трещин, при осмотре в конце лета показались почти вертикальные. Тонкие трещины новейшей деформации образовались в нижней части откоса. «*Произошли эти трещины, вероятно, потому*, – заключал А.В. Львов, – *что раздробленные дислокацией породы, к тому же подработанные динамитными*

взрывами, не выдержали нагрузки вышележащих масс».

А.В. Львов также сделал вывод о влиянии на устойчивость откосов минералогического состава пород, описывает складчатые и разрывные нарушения и проводит ещё множество различных наблюдений. Он, например, пришёл к важному заключению, что выработку откосов нельзя делать круче сбросовых и подсекающих трещин, а где таковые условия не позволяют делать этого, необходимо строить галереи и подпорные стенки.

Геологический аспект строения пород западного участка А.В. Львову удалось раскрыть более глубоко, чем его предшествен-

никам – инженерам-изыскателям. Он опроверг некоторые прошлые геологические гипотезы и высказал ряд совершенно новых соображений. И на основании подробного описания пород сделал конкретные выводы о влиянии геологических процессов на устойчивость подрезанных откосов.

Разрывы пород, так называемого байкальского направления (с крутым падением в сторону Байкала), создали систему ступенчатых уступов, которые хорошо наблюдались на склонах вдоль железной дороги и которые формировали Байкальскую впадину. Эти разрывы давали подвижность пород (рис. 3).

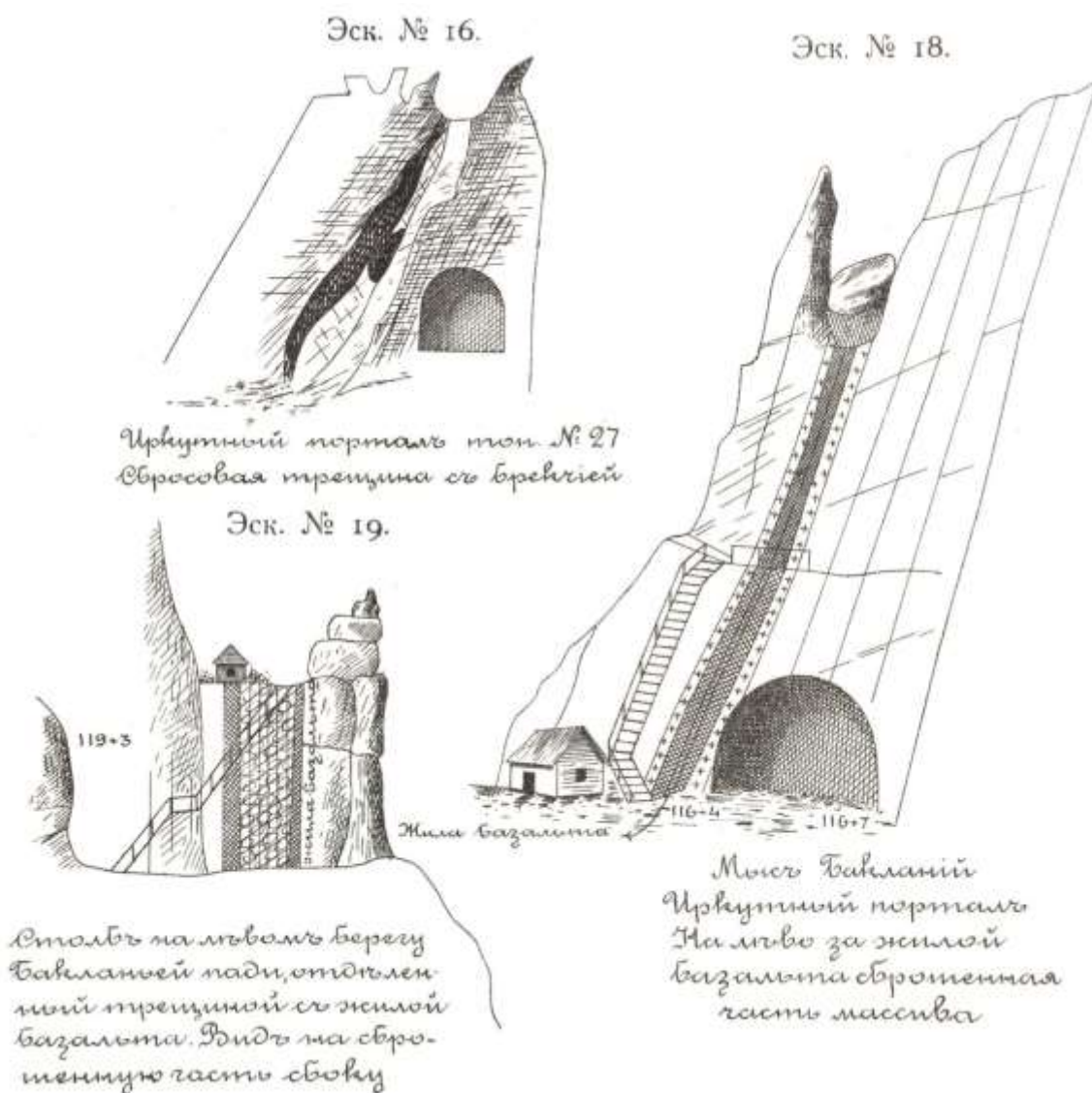


Рис. 3. Строение горных массивов у тоннелей № 24 (нижние рисунки) и у тоннеля № 27. Рисунок А.В. Львова.

Fig. 3. Structure of rock massifs at tunnels No. 24 (lower figures) and at tunnel No. 27. Drawing by A.V. Lvov.

Много внимания А.В. Львов уделил разрывным нарушениям горных пород, сопровождавших перемещение разорванных внутренними силами Земли отдельных гигантских блоков, относительно друг друга.

В целом, А.В. Львов сделал ряд достаточно конкретных выводов относительно устойчивости откосов. Он говорил, что по стратиграфическим условиям – по простиранию и падению пластов условия для железнодорожной линии более благоприятные, чем по минералогическому составу горных пород. Причиной постоянных обвалов, по заключению А.В. Львова, явилось искусственное обнажение пластов по плоскости напластования, наличие определённых пород, разрывные нарушения, разбившие породы на большие и маленькие куски и блоки, а физическое и химическое выветривание только усугубляло геологическое строение пластов.

Заключение И.В. Мушкетова, об устойчивости склонов, заканчивавшееся фразой *«байкальский вариант будет безопаснее многих альпийских дорог»*, исследованиями А.В. Львова было поставлено под сомнение и доказана неприемлемость таких аналогий при возведении сложных сооружений без глубокого и тщательного геологического анализа.

Но главный вывод А.В. Львова заключался в том, что *«откосы ещё не скоро придут в равновесие и поэтому потребуют постоянного наблюдения, кроме того, высокие крутые откосы не должны быть допускаемы круче сбросовых и подсекающих трещин в каждом отдельном случае, а где таковые имеются, необходимо устроить галереи или подпорные стенки... по той же причине нельзя тоннели оставить без каменной обделки»*. Этот вывод актуален и в настоящее время. Вывод был подкреплён вполне конкретным показом мест, где именно необходимо было поставить дополнительные искусственные сооружения.

Таких мест, согласно выводам А.В. Львова, было намечено более двадцати. Кроме того, на нескольких участках, к примеру, на 116-м и 131-м км, железная дорога была перенесена на новое место.

Касаясь вопроса о влиянии геологического строения на безопасность железнодорожного пути, А.В. Львов писал, что в первое время эксплуатации необходимо вести тщательные наблюдения. Во-первых, потому, что склоны ещё не «уравновесились», а во-вторых, скалы, лежащие выше выработок, разрушенные выветриванием, всегда могут дать обвалы даже при незначительных землетрясениях (Львов, 1907в).

Таким образом, работа А.В. Львова в 1904 г. привела к тому, что железная дорога была ограждена во многих местах от наиболее вероятных обвалов, то есть его работа имела важное практическое значение. Правда, это вызвало увеличение проектной стоимости планировавшихся для строительства искусственных сооружений почти в девять раз, по сравнению с намеченными к строительству защитными сооружениями (до исследований А.В. Львова). Но другого выхода тогда просто не было.

Как уже говорилось, во время строительства первого пути, в 1904 г. на основании исследований А.В. Львова, в наиболее опасных пунктах, где были наиболее значительные обвалы, были построены каменные галереи, удлинены порталы тоннелей, а в менее опасных местах построены подпорные стенки или путь отодвинут в сторону Байкала. Тогда А.В. Львов писал, что откосы требовали постоянного наблюдения специалиста-геолога. За восемь месяцев первого года эксплуатации Кругобайкальской железной дороги (с сентября 1904 г. по апрель 1905 г.) произошло 60 обвалов. В среднем по 7.5 обвалов в месяц. Движение останавливалось в среднем на 9 часов 46 минут в месяц. У К.Н. Симберга, достраивавшего в тот период дорогу (после смерти Б.У. Савримовича), как у руководителя строительства, было своё мнение на сей счёт. *«Эти цифры не должны удивлять людей, знакомых с заграничными альпийскими дорогами»*, – успокаивал К.Н. Симберг (РГИА. Ф. 326. Оп. 3. Д. 64. Л. 193). О том, что надо было ожидать обвалы, говорил и министр путей сообщения М.И. Хилков в своем докладе Николаю II (РГИА. Ф. 446. Оп. 31. Д. 11. Л. 4).

А.В. Львов считал, что основной ошибкой предшественников была переоценка прочно-

сти кристаллических пород, вследствие недооценки роли их трещиноватости, роли изучения многообразно проявленной дизъюнктивной тектоники, зон трещиноватости их инерции. Причём эта недооценка возникла от непонимания зависимости основных систем трещиноватости от тектонических условий формирования озера Байкал.

Работы А.В. Львова оказали огромное влияние на завершение строительства Кругобайкальской железной дороги. Его геологические записки в полном объёме вошли в «Сборник пояснительных записок» Кругобайкальской железной дороги, изданных Министерством путей сообщения. В записках приводятся имевшиеся на то время данные о землетрясениях, и сделан вывод, что по частоте и силе проявления землетрясения могут быть чрезвычайно опасными для железнодорожной линии. А.В. Львов рекомендовал установить по линии Кругобайкальской железной дороги на станциях Перёмной и Шарыжалгай сейсмографы. Записки А.В. Львова были иллюстрированы зарисовками, картой сейсмичности, а фактический материал дополнен табличными данными (Сооружение Кругобайкальской железной дороги..., 1907а).

Для борьбы с обвалами был намечен ряд мер. Но, к сожалению, выявленные А.В. Львовым вместе К.Н. Симбергом необходимые мероприятия по защите полотна, не были полностью осуществлены.

Благодаря строительству железной дороги на участке раскрылся характер горных пород с многочисленными трещинами, сдвигами и сбросами. А.В. Львов взял на себя смелость дополнить исследования горных партий, проводивших исследования. Результаты привели его к диаметрально противоположным выводам, изложенным в заключительной записке профессора И.В. Мушкетова (РГИА. Ф. 350. Оп. 13. Д. 57. Л. 2).

Закончить рассказ о вкладе А.В. Львова в дело сооружения Кругобайкальской железной дороги хочется словами его дочери Н.А. Львовой. Она писала: «Для самого А.В. Львова работа на Кругобайкальской дороге была большой инженерной школой, школой приложения конкретных геологических знаний к практике инженерных соору-

жений. Здесь формировалась высокая ответственность за свои материалы и выводы, создавался стиль тщательности наблюдений в поле и углубленное обобщение материалов в камеральный период, накапливался опыт ведения горных работ и строительства железнодорожных сооружений в условиях широкого общения со значительным кругом специалистов».

Повторный осмотр линии

С сентября 1904 г. началась временная эксплуатация Кругобайкальской железной дороги. Очевидно, Кругобайкальский участок не давал покоя А.В. Львову. В октябре 1905 г. Кругобайкальская железная дорога вошла в состав Забайкальской дороги. В августе 1907 г., то есть через три года после того, как он провел исследования, с разрешения начальника дороги Ф.И. Кнорринга, А.В. Львов вновь осмотрел обвалоопасный Кругобайкальский участок. Он решил сопоставить увиденное с прежними его выводами, посмотреть, в каком состоянии находились опасные участки. Это были не исследования, а поверхностный осмотр. А.В. Львова крайне интересовало состояние горных склонов и, как бывшего геолога на строительстве этой дороги, и, в виду некоторых теоретических предсказаний, изложенных им в пояснительной записке (Сооружение Кругобайкальской железной дороги..., 1907б) о неустойчивости откосов и сооружений почти на всем протяжении этих участков. Если считаться с геологическим характером и общими условиями залегания горных пород этой местности, в связи с образованием Байкальской впадины, приуроченной к выходам многочисленных базальтовых жил по глубоким трещинам, разбившим байкальские породы в северо-восточном направлении, параллельно юго-западной части берега Байкала. А.В. Львову было любопытно проверить эти положения «Пояснительной записки» и потому, что они резко расходились с данными профессора И.В. Мушкетова, который высказал предположение, что на Байкальском варианте развиты исключительно только прочные архейские породы на всем протяжении от станции Байкал до станции Култук, в них только не-

которые отдельные слои могли бы внушать опасение, но они занимали ничтожные протяжения, составлявшие (в трёх-четырёх пунктах) не более одной версты, такие места легко было закрепить и сделать их вполне безопасными (Геологические исследования..., 1904).

А.В. Львов отмечал, что, заключения профессора оказались ошибочными, главным образом потому, что И.В. Мушкетов «был введен в заблуждение заведующими измерительными партиями, не пожелавшими считаться с вопросом о происхождении озера Байкал, особенно со временем образования его юго-западной части» (РГИА. Ф. 350. Оп. 13. Д. 57. Л. 2).

В результате осмотра на имя Ф.И. Кнорринга была составлена докладная записка, в которой рекомендовалось в опасных местах провести мероприятия по защите полотна. На основании всех описанных фактов А.В. Львов говорил, что откосы, как он и предвидел, далеко ещё «не успокоились», так как за 2.5 года эксплуатации в общей сложности было не менее 20 тыс. куб. м обвалов. А 1907 г. А.В. Львова беспокоило состояние тоннеля № 9. Дело в том, что култукский портал тоннеля имел трещину шириной до четырёх сантиметров, наблюдались в нём и более мелкие трещины. Они произошли от большого обвала с большой высоты на свод тоннеля, случившегося летом 1906 г. При осмотре тоннеля летом 1907 г. А.В. Львов предсказал ещё один крупный обвал, который грозил раздавить разбитый трещинами тоннель. В опасном состоянии находился и тоннель № 18. Весь массив, висевший (сейчас его уже нет – сняли) над тоннелем, был «разрезан» щелевидной трещиной, отделявшей его от скалы, шириной до 8 см, заполненной глинисто-щебнистым грунтом. При этом, массив опустился на свод тоннеля на 8–10 см, образовав трещину в своде, залитую, по личному указанию министра путей сообщения М.И. Хилкова, цементом. Массив давил на тоннель за время эксплуатации дороги с 1904 г. (величина опускания составила 2 см). А.В. Львов пи-

сал: «Необходимо совершенно переделать тоннели № 9 и 18» (РГИА. Ф. 350. Оп. 13. Д. 57. Л. 3).

Он также предлагал укрепить своды в тоннелях № 21 и № 23, устроить дренажную штольню в тоннеле № 12, в котором в сентябре 1907 г. в своде образовалась трещина. Помимо этого, он писал, что требуют специального геологического изучения вёрсты 77, 83, 84, 105, 124, 133. «Вообще этот участок дороги без геолога обойтись не может», – говорил А.В. Львов. В конце 121-го километра А.В. Львов обращал внимание на трещины и писал, что прирезка возможна только параллельно пути, сразу за тоннелем № 17. Прирезка склона опасна, в то же время прирезка выемки у тоннеля № 19 вполне возможна. Так Александр Владимирович скрупулезно просмотрел весь участок. Он считал своим долгом «присовокупить, что если все вышеописанные опасные пункты предварительно не будут изучены геологически, прежде чем приступать к техническим работам для защиты полотна, то этот участок дороги поглотит и много денег, и много человеческих жертв» (РГИА. Ф. 350. Оп. 13. Д. 57. Л. 2).

Таким образом, два с половиной года эксплуатации участка вполне подтвердили теоретические предположения А.В. Львова, так как ни одно из сооружений, построенных по его указанию, ни один из намеченных им пунктов, не оказался лишним, а там, где не были приняты рекомендуемые им меры предосторожности для защиты полотна, остались больные места, подвергавшиеся каждодневно опасности от обвалов и оползней.

В отношении тоннелей № 9 и № 18 во время изысканий для строительства второго пути, в 1908–1911 гг., было принято решение не укреплять их, а вывести из эксплуатации. Тоннель № 9 был разобран, часть скалы разгружена, а у основания поставлена длинная подпорно-улавливающая стенка. Тоннель № 18 – оставлен в стороне, вместо него построен новый тоннель № 18бис (рис. 4).

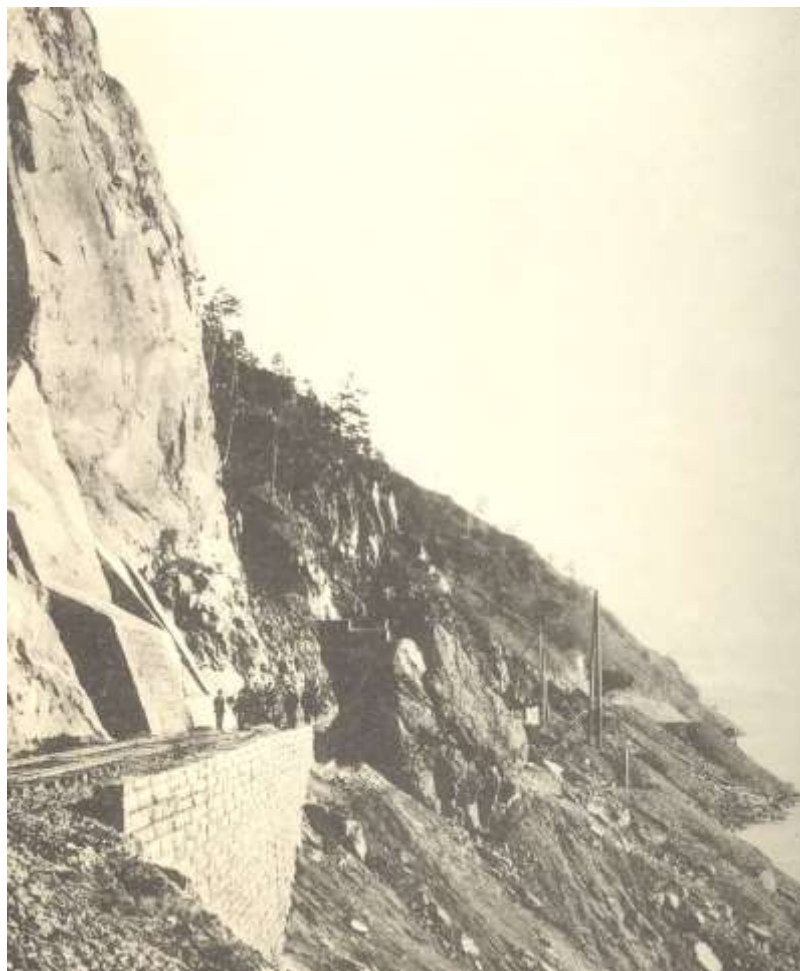


Рис. 4. Откос выемки на пик. 72, подпорная стенка и портал тоннеля № 18, пик. 70+12–70+45, вер. 49-я (123-й км). 1905 г.

Fig. 4. Slope of the excavation at pic. 72, retaining wall and portal of tunnel No. 18, pic. 70+12-70+45, ver. 49th (123rd km). 1905.

Почти во всех глубоких выемках и в тех полувыемках, где откос достигал значительной высоты, постоянно случались обвалы и вывалы, особенно после дождей. Дождевая вода, скатываясь по крутым склонам, подмывала срезанный верхний слой почвы, вымывала глину и песок у отдельных глыб и камней, которые, будучи не связанные между собой, давали вывалы, разрушения от подмывания проникало постепенно в глубину, и весь откос приходил в движение.

Более прочные породы повсеместно разбиты параллельными и пересекающими трещинами. Последние, наклоненные в сторону дороги покрыты гладким скользким глинисто-хлористым налетом, по ним и без смачивания водой соскальзывали значительные объемы породы. В породах, изогнутых в складки и порванных жилами гранита, появ-

ляются трещины новейшей деформации, показывавшие, что порода не выдерживает давления вышележащих масс, эти трещины, расширяясь, выпячивали отдельные глыбы, которые впоследствии вываливались. А.В. Львов писал, что трещины новейшей деформации ему приходилось наблюдать в банкетах, оставленных в тоннелях, и, казалось бы, хорошо защищённых от разрушения, но мелкие вывалы там почти ежедневно убирали тоннельные сторожа.

Несмотря на проводимые мероприятия по обеспечению безопасности движения поездов, на Кругобайкальской железной дороге ещё много оставалось опасных мест. Когда начались изыскательские работы для строительства второго пути Кругобайкальской железной дороги, А.В. Львова руководители Управления За-

байкальской железной дороги (именно оно проводило изыскания и соорудило второй путь) пригласило на должность геолога-консультанта. Одновременно с производством съёмок для проектирования второго пути на участке станция Байкал–село Култук летом 1909 г. А.В. Львов провёл очередные геологические исследования с целью выяснения состояния горных откосов, подлежащих прирезке, причин их разрушения и причин обвалов и условий строительства второго пути в наиболее опасных пунктах.

За пятилетний период эксплуатации дороги выветривание и разрушение скальных откосов, казавшихся прочными перед сдачей в эксплуатацию, происходило с необычайной быстротой, и, предполагаемая ранее А.В. Львовым, неустойчивость откосов вновь подтвердилась неоднократно обвалами, уменьшающимися с каждым годом. Общее количество обвалов за пять лет составляли около 50 тыс. куб. м. Как нечто нормальное считалась ежемесячная уборка одной тысячи кубических сажень (около 10 тыс. куб. м) обвалов (ГАТО. Ф. 215. Оп. 1. Д. 461. Л. 22). А.В. Львов вновь поставил перед собой задачу выяснить причины неустойчивости нагорных откосов и предложить меры по защите полотна в каждом частном случае.

Все свои мысли и результаты исследований А.В. Львов изложил в записке под названием «Геолого-техническое исследование участка станция Байкал–село Култук Кругобайкальской железной дороги в 1909 г.» (ГАТО. Ф. 215. Оп. 1. Д. 461. Л. 21–41 об.). Это были рекомендации весьма опытного геолога, уже несколько раз проводившего осмотр участка и, можно сказать, ощущавшего состояние откосов вдоль железной дороги.

Объёмная пояснительная записка имела несколько разделов: вступление, причины образования озера Байкал и характер трещин прибрежных гор, геологическое описание наиболее опасных пунктов, причины разрушения скальных откосов, химическое строение минералов байкальских пород, результаты испытания прочности байкальских пород, общее заключение. Записка включала в себя многочисленные рисунки и таблицу. Шаг за

шагом А.В. Львов описывал обвалоопасные участки, проводил геологические измерения, отбирал породы для химического анализа, формировал и обосновывал выводы. Так, изучая, одно из самых «узких» мест Кругобайкальской железной дороги, бухту Берёзовую, он провёл большое количество определений углов падения пород и сбросовых трещин и заметил, что проведение второго пути было возможно или в виде двух тоннелей, или, построив мост, но при этом, по его мнению, тоннельные работы «были бы значительными, потому, что авгитовый гранит, несмотря на обилие пересекающих его трещин, местами весьма прочен, кроме того, он пересечён жилами изверженной породы, чрезвычайно трудно поддающейся обработке» (ГАТО. Ф. 215. Оп. 1. Д. 461. Л. 23 об.).

При рассмотрении причин обвалов А.В. Львов обращал внимание на действие дыма и пара паровозов, усиливавших химическое выветривание, так как выхлопы содержали сернистый газ. А для выяснения непрерывной эволюции, совершавшейся в горных породах, он знакомился с химическим строением главнейших пород и проводил испытания их прочности.

Со временем изменились и взгляды на устойчивость склонов вдоль железной дороги. От оптимистических взглядов на будущее дороги первых инженеров через несколько лет эксплуатации не осталось и следа. На совещании по сооружению новых железных дорог в Сибири высказывалось мнение, что Кругобайкальскую железную дорогу, ввиду постоянных обвалов на ней, «нужно совершенно оставить и вести новую колею долиной Иркута или Олхи» и многие поддерживали это мнение.

А.В. Львов в своей записке писал, что «Кругобайкальская железная дорога была бы вполне нормальной дорогой альпийского типа, если бы при первоначальном проекте не сделано было очевидно ошибочное заключение о нормальной прочности байкальских пород и если бы считались с геологическим строением местности, с происхождением байкальской впадины, благодаря опусканию целого массива по сбросовым трещинам и поэтому не допускались бы откосы круче сбросовых трещин, вообще как можно ме-

нее врезались бы в гору и совсем не делали бы высоких откосов» (ГАТО. Ф. 215. Оп. 1. Д. 461. Л. 38 об.).

Главные рекомендации А.В. Львова при сооружении второго пути заключались в следующем: как можно меньше врезаться в нагорные откосы, а при прирезке делать откосы не круче сбросовых трещин и разгружать вышележащие массы, по возможности избегать употребление динамита, а пользоваться небольшими зарядами пороха, все тоннели должны быть обделаны, в некоторых тоннелях усилить дренаж, осмотреть своды и основания многих тоннелей и подпорных стенок, зарегистрировать все опасные откосы, при проектировании новых сооружений считаться с землетрясениями (ГАТО. Ф. 215. Оп. 1. Д. 461. Л. 36–38).

Давно закончилось строительство первого пути Кругобайкальской железной дороги, железнодорожный участок работал, но проблемы, связанные с обвалами, остались. Отчёт о геологических исследованиях на Кругобайкальской железной дороге горного инженера В.А. Вознесенского несколько задержался с выходом и был напечатан только в 1910 г., после того как были опубликованы заключения А.В. Львова. Поэтому в своём отчёте В.А. Вознесенский вступил в полемику с А.В. Львовым. Суть этой полемики сводилась к следующему. А.В. Львов указывал на то, что «многие данные об опасности байкальского варианта не были предусмотрены геологической запиской» изыскательских партий, и что изыскатели большую часть времени посвятили выяснению толщин и характера продуктов выветривания горных пород и не усмотрели подвижные осыпи. В.А. Вознесенский парировал такие обвинения и доказывал, что на всем протяжении западного участка Кругобайкальской железной дороги «нигде нет таких быстро образующихся, постоянно растущих и занимающих весь косогор движущихся осыпей». Упрекнуть изыскательские партии, считал В.А. Вознесенский, можно было только за некоторое несоответствие выводов с фактами, обнаруженными при постройке железной дороги, как, например, обнаружение в глубине кристаллического массива широких трещин. Но горные

партии не имели возможности пересечь мысы глубокими горными выработками, появление глубоких трещин предполагалось условно и обосновывалось во фразе, говорящей о необходимости «основательного крепления» всех тоннелей. Поэтому В.А. Вознесенский считал несправедливыми указания на то, что «в первоначальных проектах Кругобайкальской железной дороги геологические условия были недостаточно оценены, что послужило одной из главных причин превышения стоимости дороги против утверждённой расценочной ведомости». На такое повышение повлияла спешность работ и некоторые другие причины. Такова была позиция горного инженера, одного из авторов проекта Кругобайкальской железной дороги.

На строительстве второго пути и другие работы

В ходе строительства второго пути Кругобайкальского участка А.В. Львову пришлось участвовать в решении различных проблем. Так, в ночь с 9 на 10 августа 1912 г. в тоннеле № 27 произошёл обвал. В Управлении Забайкальской железной дороги была создана «Постоянно действующая комиссия по делу обвала в тоннеле № 27» в составе начальника 2-го эксплуатационного участка М.Н. Пестерёво, начальника первого участка строительства 2-го пути С.А. Гюнтера, начальника 3-й дистанции В.В. Реентовича, контролера-механика 2-го участка Гаевского и геолога А.В. Львова. Комиссия выяснила, что в тоннеле № 27 на всём протяжении была выработана штросса с нагорной стороны. Кольца № 1–5, 12–14 имели уже подведенные под пяты свода стенки. Кольцо № 9 и часть № 10 стояли на штендерах, при выработанной пьедретте. Остальные кольца № 6–8 и часть № 10 и 11 имели под пятами свода с нагорной стороны пьедретту, но ещё не подобранную для установки штендеров.

9 августа 1912 г. производилось бурение пьедретты кольца № 8, никаких признаков обвала не было. Но, начиная с 12 часов ночи, за несколько раз обвалилось 1.1 тыс. куб. м породы. Отдельные обломки были размером до 10 куб. м. Кроме того, в обвале находилась почва и небольшие деревья, провалив-

шимися в воронку желобовидного распадка между сопками. В то же время, сбоку тоннеля на расстоянии 4–6 м от его оси, на высоте более 30 м над пятой свода, произошёл обвал указанного распадка. Размеры первоначально образовавшейся воронки составляли: 6х11 м, высота – более 10 м. По мере уборки обвала воронка увеличивалась. Рухнувшими оказались половина свода кольца № 8 длиной до четырёх метров и половина свода кольца № 7 на длину один метр и половина кольца № 9.

При осмотре тоннеля № 27 пригодился его опыт исследования Кругобайкальской железной дороги во время строительства первого пути. А.В. Львов доложил комиссии, что в тоннеле № 27 во время пробивки верхнего направляющего хода из оставшейся на весу брекчии весной после оттаивания, спаивающей её мерзлоты, образовался вывал, на который технический контроль не обратил внимания, а подрядчику оказалось выгоднее сложить свод тоннеля, не заделывая забуткой образовавшуюся брешь (Архив ВСЖД. Ф. 1. Оп. 206. Д. 4. Л. 2–4). Летом 1904 г. вследствие доступа теплого воздуха и дождей, способствовавших оттаиванию мерзлоты, из брекчии образовался значительный обвал, разрушивший свод тоннеля на протяжении трёх колец. После обвала образовалась пещерообразная щель длиной более восьми метров, высотой до шести метров и шириной до двух с половиной метров. Со стороны Байкала по брекчии было пробито окно для укрепления щели над сводом, которое упиралось в упомянутую пещерообразную трещину.

Для защиты свода тоннеля от обвалов А.В. Львов предложил вырубить уступы в стенках трещины сброса на уровне висящей кровли брекчии и подвести маленький свод, на который опиралась бы брекчия, что и было приказано выполнить. Но подрядчик самовольно переменил решение и укрепил висящую брекчию плахами-штендерами. В 1912 г. обвалилась вся уцелевшая часть брекчии и часть скалы, отделенная сбросовой трещиной.

В ноябре 1915 г. закончились работы по строительству второго пути Кругобайкальской железной дороги. Но эксплуатация, по-

прежнему проходила в сложных условиях. Малые радиусы поворотов, отвесные склоны заставляли железнодорожников пристально следить за участком. Требовалась замена рельсов, требовалась очистка склонов от потенциальных обвалов. Но для этого необходимо было выявить эти места.

В апреле 1925 г. профессор А.В. Львов совместно с помощником начальника службы пути Забайкальской железной дороги инженером А.И. Власовым провёл осмотр старого обвала, произошедшего на 103-м км (за галереей № 8). А.В. Львов вновь сделал весьма подробное геологическое описание пород. Он не ограничивается только внешними признаками, он рассмотрел особенности формирования откосов и самого озера Байкал. А.В. Львов особо обращал внимание на расположение трещин. Так он сумел выяснить причины обвала и дал рекомендации по предупреждению дальнейших обвалов. *«Необходимо облегчить откос от давления выше лежащих масс и срезать две башнеобразные скалы, находившиеся в крайне неустойчивом положении и угрожающие неизбежным обвалом»* – писал Александр Владимирович (Архив ВСЖД. Ф. 1. Оп. 206. Д. 4. Л. 53–54).

А.В. Львовым обращено внимание на некоторые отступления от технических условий во время строительства дороги. Особо отмечены слабые скрепляющие свойства цемента в кладке тоннелей, подпорных стенок и галерей, указано на постановку некоторых подпорных стенок не на скальный грунт, а на гравий и валуны, что было недопустимо.

Все полученные комиссией материалы по обследованию были представлены в виде таблицы с точной привязкой точек наблюдения и перечислением необходимых мер по предупреждению обвалов.

А.В. Львов всей душой «болел» за порученную ему работу. Для него была важна любая мелочь в деле объективной оценки результатов исследования. Чтобы понять природу обвалов, для учёного А.В. Львова важно было знать минеральный состав пород, а для этого необходим был специальный станок для изготовления шлифов. Такой станок был в Иркутске, но в связи с тем, что

в 1925 г. Управление Забайкальской железной дороги переезжало в Читу, туда же перевозилось и всё оборудование, и желаемый станок. 29 октября 1925 г. А.В. Львов написал заявление на имя начальника дороги А.Г. Тюренкова с просьбой оставить ему этот единственный и очень необходимый в Иркутске станок. Вот текст этой просьбы: *«Из лаборатории Забайкальской железной дороги мной с Вашего разрешения во временное пользование взята машина для изготовления шлифов горных пород, которая мне сейчас крайне необходима для определения горных пород бывшей Кругобайкальской дороги, собранных этим летом во время работ Комиссии по обследованию обвалов. В настоящее время заведующий лабораторией инженер Г.К. Кропачев просит вернуть шлифовальный станок в виду перевода Лаборатории в Читу, причём выяснилось, что ему он совершенно не нужен, так как им никогда не приходится пользоваться и более того, что некому определять шлифы. В виду выше изложенного прошу Вашего разрешения оставить шлифовальный станок во временное пользование геологического кабинета Иркутского государственного университета, так как без приготовления и определения шлифов, собранных мной образцов я не могу закончить отчёт о причинах обвалов на бывшей Кругобайкальской железной дороге».*

С 31 мая по 2 июня 1926 г. А.В. Львов, заместитель начальника технического отдела службы пути Н.В. Шапошников, Ганженко, и ассистент Иркутского государственного университета И.А. Горбунова проводили опыт определения источников притока воды в тоннеле № 18бис. С этим тоннелем у железнодорожников были большие проблемы. Ещё во время строительства тоннеля в 1911–1913 гг. было установлено, что вблизи западного портала тоннеля на протяжении 100 м просачивалась вода ручья Киркирей. Управление дороги обратилось тогда к А.В. Львову для выяснения вопроса об источниках воды. При беглом осмотре русла А.В. Львов указал, где должна была быть построена постоянная плотина, для перехвата ручья Киркирей, ниже которой вода должна была течь по лотку, чтобы не по-

пасть в трещиноватые породы и не проникать в тоннель. В указанном месте строители заложили шурфы для точного определения дебита воды ручья Киркирей, но из-за дальности расстояния от железнодорожной линии 500 м и, следовательно, дороговизны постройки лотка, каменная плотина была построена значительно ниже в 140 м от линии. Первоначально эта плотина, когда трещина в русле была замазана цементом, работала удовлетворительно и первые два года вода вовнутрь тоннеля не попадала. Однако в дальнейшем плотина перестала выполнять своё прямое назначение и стала давать течь, каменный лоток оказался неисправным, и вода проникала в тоннель. Важно было выяснить, откуда попадала вода. Для определения притока воды А.В. Львов использовал метод Кноппа – растворение в воде поваренной соли при последующем титровании проб воды азотнокислым серебром в присутствии хромокислого калия. В результате выяснилось, что вся вода, просачивающаяся в тоннель, поступала из ручья Киркирей. Другого притока не было.

Осмотр штолен показал, что верхняя (из трёх) штольня улавливала незначительное количество всех вод. Нижняя штольня давала большое количество воды, больше, чем наблюдалось у выходного из-под тоннеля отверстия, что дало основания утверждать о фильтрации вод из нижней штольни под тоннелем. Плотина и лоток требовали капитального ремонта.

Для определения проникновения воды из распадка было произведено три опыта насыщения ключа концентрированным раствором хлористого натрия. На основании полученных данных комиссия пришла к выводу, что вода ключа Киркирей проникала по трещинам, минуя улавливающие сооружения. Была необходима перестройка улавливающих сооружений. По результатам осмотра 1 июня 1927 г. комиссия в составе Н.В. Шапошникова, Ганженко (от Слюдянской дистанции пути), уполномоченного ОГПУ Хоменко и А.В. Львова составила акт обследования улавливающих сооружений тоннеля № 18 бис (Архив ВСЖД. Ф. 1. Оп. 206. Д. 4. Л. 5) (рис. 5).



Рис. 5. Ручей Киркирей над тоннелем 18бис. 1938 г.

Fig 5. Kirkirei Creek above tunnel 18bis. 1938.

В работе следующей комиссии, производившей обследование тоннеля № 18бис в 1931 г., участвовал известный советский учёный, опытный мерзлотовед учёный секретарь Академии Наук М.И. Сумгин. По предложению Управления Забайкальской железной дороги и по поручению 1-го Восточно-Сибирского краевого научно-исследовательского съезда 1 мая был составлен акт об обследовании тоннеля. Осмотр непосредственно тоннеля и ближайшей пади показал, что со стороны иркутского портала на протяжении 80–90 м, наблюдались выходы воды по швам кладки тоннеля, а дренажные штольни и лоток под тоннелем забиты льдом. В тоннеле, в трёх метрах от иркутского портала семь, камней вывалились, их место заполнено льдом. Комиссия заявила, что необходимы немедленные работы по детальному обследованию тоннеля, чтобы собрать сведения о предложениях по выработке мер защиты тоннеля от воды.

Член комиссии А.В. Львов предложил удлинить верхнюю и нижнюю штольни за тоннелем до кольца № 14, то есть, подальше от входа в тоннель, чтоб они не промерзали,

провести верхнюю штольню до высоты тоннеля, нижней штольне придать наклон, провести цементацию коренных пород в русле ручья Киркирей, начиная от плотины.

Все эти предложения остались на бумаге. В начале июля 1938 г. главный инженер Метростроя П.Л. Тесленко при осмотре Кругобайкальской железной дороги предложил своё решение проблемы. В частности, было предложено реконструировать плотину и вырубить лес в бассейне водосбора ручья Киркирей, чтобы осушить местность.

Паллиативные меры уже не могли обеспечить безопасность движения на Кругобайкальском участке. В связи с нарастающим грузопотоком и меняющейся внешнеполитической обстановкой в 1941 г. было начато строительство Олхинского, горно-перевального, варианта дороги (рассматривавшегося и отвергнутого в конце XIX в.).

Строительство Иркутской гидроэлектростанции в 1950-х гг. приводило к затоплению пути от Иркутска до Байкала, что также требовало форсированного строительства нового пути.

Заключение

Таким, образом, инициативе А.В. Львова принадлежало несколько различных мероприятий, направленных на безопасность эксплуатации дороги, его мнение, между прочим, высоко ценилось в Управлении Забайкальской железной дороги. А.В. Львов был в числе первых учёных, кто соединил геологическую науку с железнодорожной практикой. Более 30 лет А.В. Львов соприкасался с вопросами выявления геологических причин, влиявших на безопасность движения поездов. Его записки и отчёты, которые довелось читать, отличаются глубокой проработкой темы, скрупулезностью, точностью и выветренностью фактов. Его стиль работы отличался тщательность отбора фактов, глубиной их анализа, увязкой совокупности всех явлений, выявления их причинности, предоставлением чётких выводов и заключений и личная ответственность за них.

Касаясь его личностных качеств, тот, кому приходилось с ним сталкиваться, например, инженер путей сообщения

Е.К. Гречишев, рассказывал, что это был человек высокого гражданского долга, с исключительной степенью ответственности за свои выводы и предложения, мягко и сердечно относившийся к людям.

Отметим также, что А.В. Львов оставил нам много своих записок, отчётов о геологических исследованиях в Сибири. Некоторые его материалы опубликованы (Львов, 1910, 1924). Многие работы в рукописях. Это наследие представляет огромный интерес для исследователей, научных работников, студентов и инженеров путей сообщения нового поколения и ещё ждет своей объективной оценки.

Литература

Архив ВСЖД. Ф. 1. Оп. 206. Д. 4. Л. 2–5, 53–54.

ГАТО. Ф. 215. Оп. 1. Д. 461. Л. 21–41.

РГИА. Ф. 326. Оп. 3. Д. 64. Л. 193.

РГИА. Ф. 350. Оп. 13. Д. 57. Л. 2–3.

РГИА. Ф. 446. Оп. 31. Д. 11. Л. 4.

Богачев Е. Он вернулся в Сибирь добровольно и навсегда // Иркутская электричка. 2001. 24 марта.

Восточное обозрение. 1900. 27 мая.

Геологические исследования вдоль линии Кругобайкальской железной дороги, произведенные под общим руководством проф. И.В. Мушкетова. Вып. 1. СПб.: Тип. М. Стасюлевича, 1904. С. 3.

Горошенова О., Чернов Ю. Александр Владимирович Львов: «Я знаю, есть в мире частица моя...» // Сибирское наследие. 2004. № 1.

Золото: Сокровище и проклятие. Доля 13. Легенды о Саянском золоте / Сост. С.А. Гурулев. Иркутск, 1996. 36 с.

Ливеровский А.В. 50 лет работы на железнодорожном транспорте. Новосибирск: СГУПС, 2005. С. 9.

Львов А.В., Кропачёв Г. Краткий отчёт о результатах исследования источника Аршан // Известия Восточно-Сибирского отдела императорского русского географического общества. Иркутск. 1910. Т. 40. С. 41–77.

Львов А.В. Из геологического прошлого средней части долины р. Иркутка в пределах от

Тункинской котловины до Зыркузунского хребта // Известия Восточно-Сибирского отдела русского географического общества. Иркутск, 1924. Т. 46. Вып. 3. С. 102–111.

Львов А.В. «Я знаю, есть в мире частица моя...» / А.В. Львов. Иркутск, 1999. 448 с.

Львова Н.А. Обзор геологической деятельности А.В. Львова. Рукопись / Личный архив автора.

Охотников И.И., Напрасников А.Г. Исследователь Прибайкалья и Забайкалья А.В. Львов // Проблемы краеведения. Вып. 3. Материалы к 3-й Забайкальской краеведческой конференции. Чита, 1968. С. 118–119.

Сапранкова Н. Исторические параллели // Восточно-Сибирский путь (Иркутск). 2000. 12 сент.

Сооружение Кругобайкальской железной дороги. Сборник пояснительных записок, технических условий и расчётов сооружений. (К альбому типовых и исполнительных чертежей). 1900–1905. СПб.: Знаменская тип. инж. Г.А. Бернштейна, 1907. Отдел 1. С. 26–29, 85–104; табл. 4–18.

References

Archive of the East Siberian Railway. F. 1. Op. 206. D. 4. L. 2-5, 53-54.

GATO. F. 215. Op. 1. D. 461. L. 21-41.

RGIA. F. 326. Op. 3. D. 64. L. 193.

RGIA. F. 350. Op. 13. D. 57. L. 2-3.

RGIA. F. 446. Op. 31. D. 11. L. 4.

Bogachev E. He returned to Siberia voluntarily and forever // Irkutskaya elektrichka. 2001. March 24.

Eastern Review. 1900. May 27.

Geological studies along the line of Circum-Baikal railroad, made under the general direction of Prof. I.V. Mushketov. Vol. 1. St. Petersburg: Tip. M. Stasyulevich, 1904. P. 3.

Goroshchenova O., Chernov Y. Alexander Vladimirovich Lvov: "I know, there is a part of me in the world..." // Siberian Heritage. 2004. No. 1.

Gold: Treasure and Curse. Share 13. Legends about Sayan gold / Compiled by S.A. Gurulev. S.A. Gurulev. Irkutsk, 1996. 36 p.

Liverovskiy A.V. 50 years of work on the railroad transportation. Novosibirsk: SGUPS, 2005. P. 9.

Lvov A.V., Kropachev G. Brief report on the results of the study of the source Arshan // Izvestiya Vostochno-Sibirskogo delode of the Imperial Russian Geographical Society. Irkutsk. 1910. T. 40. P. 41-77.

Lvov A.V. From the geologic past of the middle part of the Irkut River valley within the limits from the Tunka Basin to the Zyrkuzun Ridge // Izvestiya Vostochno-Sibirskogo dela of the Russian Geographical Society. Irkutsk, 1924. T. 46. Vol. 3. P. 102-111.

Lvov, A.V. "I know, there is my particle in the world..." / A.V. Lvov. Irkutsk, 1999. 448 p.

Lvova, N.A. Review of the geological activity of A.V. Lvov. Manuscript / Personal archive of the author.

Хобта Александр Викторович,

кандидат исторических наук,

664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, д. 7,

Восточно-Сибирская железная дорога – филиал ОАО «РЖД»,

начальник подразделения по сохранению исторического наследия ВСЦНТИБ,

email: dcnti_hobtaav@esrr.ru.

Khobta Alexander Viktorovich,

Candidate of Historical Sciences,

7, Karla Marksa St., Irkutsk, 664003,

East Siberian Railroad - branch of JSC "Russian Railways",

Head of the Historic Heritage Preservation Division of the VSCSTIB,

email: dcnti_hobtaav@esrr.ru.

Okhotnikov I.I., Naprasnikov A.G. Researcher of Pribaikalye and Transbaikalye A.V. Lvov // Problems of local lore. Vyp. 3. Materials for the 3rd Transbaikal local lore conference. Chita, 1968. P. 118-119.

Saprankova N. Historical parallels // East Siberian Way (Irkutsk). 2000. September 12.

Construction of Circum-Baikal railroad. Collection of explanatory notes, technical conditions and calculations of constructions. (To the album of typical and executive drawings). 1900-1905. St. Petersburg: Znamenskaya typ. of engineer G.A. Bernstein, 1907. Department 1. pp. 26-29, 85-104; tab. 4-18.

История геологического изучения Ботогольского графитового месторождения

С.В. Снопков¹, А.В. Хобта², И.А. Богданова¹

¹Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

²Музей истории ВСЖД ОАО РЖД, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Ботогольское графитовое месторождение, расположенное в Восточных Саянах, вызывает интерес не только благодаря богатым рудам, но и насыщенной истории его изучения. С момента открытия проявлений графита на Ботогольском гольце в первой половине XIX века, шло изучение его строения и генезиса. Понадобилось более века поисково-разведочных и эксплуатационных работ чтобы получить представление о геологии этого месторождения. В статье рассмотрена история изучения этого уникального месторождения.

Ключевые слова: Восточные Саяны, Ботогольский гольц, месторождение графита, графитовый рудник, генезис и строение месторождения.

History of geological study of the Botogol graphite deposit

S.V. Snopkov¹, A.V. Khobta², I.A. Bogdanova¹

¹Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

²Museum of the History of the East Siberian Railway, OAO Russian Railways, Irkutsk, Russia

Abstract. The Botogol graphite deposit, located in the Eastern Sayan Mountains, is of interest not only because of its rich ores, but also because of the rich history of its study. Since the discovery of graphite manifestations on the Botogol mountain in the first half of the 19th century, the study of its structure and genesis has been underway. It took more than a century of prospecting and exploration and exploitation works to get an idea of the geology of this deposit. The history of the study of this unique deposit is considered in the article.

Keywords: Eastern Sayan Mountains, Botogolsky Golts, graphite deposit, graphite mine, genesis and structure of the deposit.

Введение

Ботогольское графитовое месторождение было открыто и начало разрабатываться в середине XIX века. Графит на Ботогольском руднике с разной интенсивностью добывался почти полтора столетия. В это время шли работы по изучению его строения и генезиса, но открыть все тайны ботогольский гольц не торопился и геологическое изучение месторождения продолжалось практически весь период его эксплуатации (рис. 1).

Установление генезиса месторождения является одной из главных задач при изуче-

нии любого месторождения. «Генезис ботогольского графита, по сравнению с графитом других месторождений СССР и мира наиболее загадочен. ... Трудность изучения усугубляется разнообразием его руд, различным генезисом вмещающих пород, сложной морфологией графитовых тел» — писал один из исследователей месторождения Н.А. Флоренсов (Флоренсов и др., 1943). Более 100 лет этот вопрос был главным в повестке геологических работ на Ботогольском гольце.



Рис. 1. Ботогольский голец. Фото 2021 г.

Fig. 1. Botogol char. Photo 2021.

Досоветский период изучения месторождения

История открытия богатых рудных тел и начало разработки месторождения связано с российским купцом первой гильдии Жан-Пьером Алибером (Алибер, 1854). Удивительная история жизни и коммерческие проекты предприимчивого француза является предметом отдельного исследования (Снопков и др., 2022а; Снопков и др., 2022б; Снопков и др., 2022в).

Первые поисковые работы Алибер начал осенью 1847 г., после приобретения прав на разведку графита на Ботогольском гольце. Сначала поиски руды шли у подножья голь-

ца, так как там встречались глыбы графита (по-видимому, скатившиеся со склонов). Затем поисковые работы были перенесены на вершину гольца, где в конечном счете и был обнаружен и впоследствии долгие годы добывался уникальный по содержанию и качеству графит, который использовался для производства лучших в мире карандашей (Снопков и др., 2022б).

Добычу графита Алибер проводил шахтным способом. Для работы графитового прииска на вершине гольца был построен рудничный поселок (рис. 2). Следы этого поселка и остатки Алиберовской шахты сохранились до настоящего времени (рис. 3).



Рис. 2. Вид Алиберовского графитового прииска. Фрагмент рисунка из Альбома «Воспоминания о Сибири».

Fig. 2. View of the Aliberovskiy graphite mine. Fragment of a drawing from the Album "Memories of Siberia".



Рис. 3. Устье Мариинской (Алиберовской) шахты. Фото 2021 г.

Fig. 3. The mouth of the Mariinskaya (Aliberovskaya) mine. Photo 2021.

Сам Алибер геологию месторождения представлял следующим образом: «*Месторождение графита расположено значительно ниже вершины горы ... судя по выходу графита на дневную поверхность ... графит простирается по прямой линии с севера на юг, через самый центр хребта и, следовательно, можно предположить, что залежи графита находятся в этой части горы.*» (Горный ..., 1879) (рис. 4).

После отъезда Жан-Пьера Алибера из России в 1860 г. на руднике несколько раз менялись собственники, которые преимущественно вывозили графит, уже добытый Алибером. Графит шел на производство тиглей, которые сбывались в Иркутскую золотоплавочную лабораторию. Но были и открытия новых рудных тел, однако сведений о поисковых работах и изучении геологии

месторождения того периода сохранилось мало.



Рис. 4. Геологический разрез графитовой руды и окружающих гор. (Ботогольский голец (в центре) состоит из гранита, а обозначенная черным цветом рассекающая его жила – графит) (Фрагмент схемы из Альбома «Воспоминания о Сибири»).

Fig. 4. Geologic section of the graphite ore and surrounding mountains. (Botogolskiy Goletz (in the center) consists of granite, and the vein marked in black, which dissects it, is graphite) (Fragment of the scheme from the Album "Memories of Siberia").

В 1898 году Ботогол посетил изыскатель Сибирской железной дороги Л.Я. Ячевский. Леонард Антонович Ячевский — геолог, горный инженер, действительный статский советник. Он проводил геологические исследования в Забайкальской области, Киргизских степях, Енисейском горном округе, вдоль Среднесибирского и Кругобайкальского участков Сибирской магистрали. Его статьи о Ботогольском месторождении представляют первое полное петрографическое описание (Ячевский, 1898; Ячевский, 1899).

Ячевский первый уверенно определил породы Ботогольского гольца, как сиениты и нефелиновые сиениты. По вопросу о происхождении графита он отмечает, что сиенит Алиберовского гольца прорезает известняки и сланцы, богатых углеродистым веществом настолько, что некоторые из них могут быть прямо названы графитовыми сланцами. Он писал, что *«при излиянии магмы ... в нее затупались целые глыбы и островки окружающих пород и отчасти остались, претерпев некоторую степень метаморфизма, отчасти абсорбировались, влияя, конечно, на состав магмы и, быть может, составляя причину ее дифференциации. Углистое вещество должно было тоже претерпеть известные изменения; его превращение происходило неравномерно и образовался ... графит ...»* (Ячевский, 1898).

В досоветский период наибольшей интенсивности добыча графита достигла в 1916–1918 гг. Известно, что графит добывался в новых выработках, где именно — неизвест-

но. Куплетский Б.М. на начало 1920-х годов сообщает, что на Ботоголе есть 9 выработок, не считая большого количества канав и шурфов. В число этих выработок, входили Мариинский (Алиберовский) и Пермикинский прииски, Петровская штольня (Куплетский, 1925). К сожалению, плохая топографическая привязка не позволяет сопоставить все выработки с геологической картой, составленной советскими геологами в середине XX века. В это же время на месторождении была открыта самая крупная залежь — Корнельевский шток, которая в советское время разрабатывалась в течении 1930–1940-х годов. Интересно, что наиболее крупные залежи были открыты северовосточнее Мариинской шахты, то есть в стороне от участков, на которых в основном проводил разведочные работы Алибер. Сведений о том, кем были открыты новые залежи и их представлениях о геологии месторождения не сохранилось.

Графитовый рудник «Ботогольский»

После окончания Гражданской войны и восстановления Советской власти в Сибири Президиум Иркутского губернского совета народного хозяйства принял постановление о национализации Мариинского графитового рудника и передаче всех графитовых рудников в ведение Горного отдела Иркутского губернского совета народного хозяйства. В 1925 году ВСНХ РСФСР передал месторож-

дение в разработку гостресту «Русские самоцветы» и в этом же году был создан рудник «Ботогол», просуществовавший до 1951 г. После реорганизации треста «Русские самоцветы» разработку продолжил трест «Минеральное сырье», затем месторождение последовательно переходило в ведение трестов: «Минералруд», «Союзграфитнеруд», «Союзграфит» (с главной конторой (рудоуправлением) в г. Черемхово). В 1941 году Черемховское рудоуправление вместе с Ботогольским рудником были переданы тресту «Союзслюда» (Снопков и др., 2022а).

1924–1930 гг. стали периодом первого систематического научного и поисково-разведочного изучения Ботогольского месторождения. Несмотря на более чем полувековую историю добычи графита и большое количество (более 40) публикаций разных исследователей по теме Ботогола, научное описание геологического строения месторождения и механизма его формирования отсутствовали!

В 1924 г. на Ботогол отправляется первая научная экспедиция — экспедиция Минералогического Музея Всесоюзной Академии Наук, под руководством А.Н. Лабунцова. (Лобунцов, 1925) Экспедиция изучила геологическое строение Ботогольского гольца, горные породы его слагающие, и подсчитала запасы графитовой руды в месторождении.

Следующая научная экспедиция — экспедиция Института прикладной минералогии и металлургии под руководством Б.Н. Некрасова, организованная на средства треста «Минеральное Сырье», отправилась на месторождение в 1927 году. Её результатом стало составление топографической и геологической карт, проведение поверхностных разведочных работ и опробование старых выработок. Экспедицией было проведено минералого-петрографическое изучение с отбором образцов всех выходов графита и вмещающих пород в пределах участ-

ка работ. Кроме того, было проведено опробование всех старых выработок с целью определения объема выхода графитовой руды путем ручной сортировки на месте. Одним из результатов работ стало открытие новой залежи, названной позднее Некрасовским штоком. По результатам экспедиции Б.Н. Некрасов выдвинул свою гипотезу о генезисе месторождения. Он объяснял появление графита ранним выделением из магматического очага после ассимиляции щелочной магмой богатых углеродом осадочных пород (Некрасов, 1928).

Летом 1929 и 1930 года на Ботогольском гольце работала разведочная партия Института прикладной минералогии по заданию сначала треста «Минеральное сырье», а затем объединения «Минералруд». Работы партии, под руководством И.И. Орешкина, явились последовательным продолжением предшествующих научных работ и имели цель выявить промышленные запасы графитовой руды. Работы включали неглубокое разведочное бурение, проходку канав, отбор проб и геологическую съемку (рис. 5). Ручным алмазным бурением было пройдено 23 мелких скважин, общей длиной около 235 м (Орешкин, 1930). И.И. Орешкин впервые отметил сложность и особенности в расположении графитовых залежей. Его наблюдения кардинально меняли представление о генезисе графитовых руд, бытующее со времен Алибера.

Результатом этих экспедиций стало не только впервые сделанное детальное научное описание геологии Ботогола (научные статьи А.Н. Лабунцова, Б.Н. Некрасова, Б.М. Куплетского, Е.Е. Костылевой, И.И. Орешкина и др.), но и открытые новые залежи и подсчитанные запасы месторождения. Важным событием для научной общественности стал выпуск в 1925 году сборника статей «Материалы к изучению Русского графита» (Материалы ..., 1925).

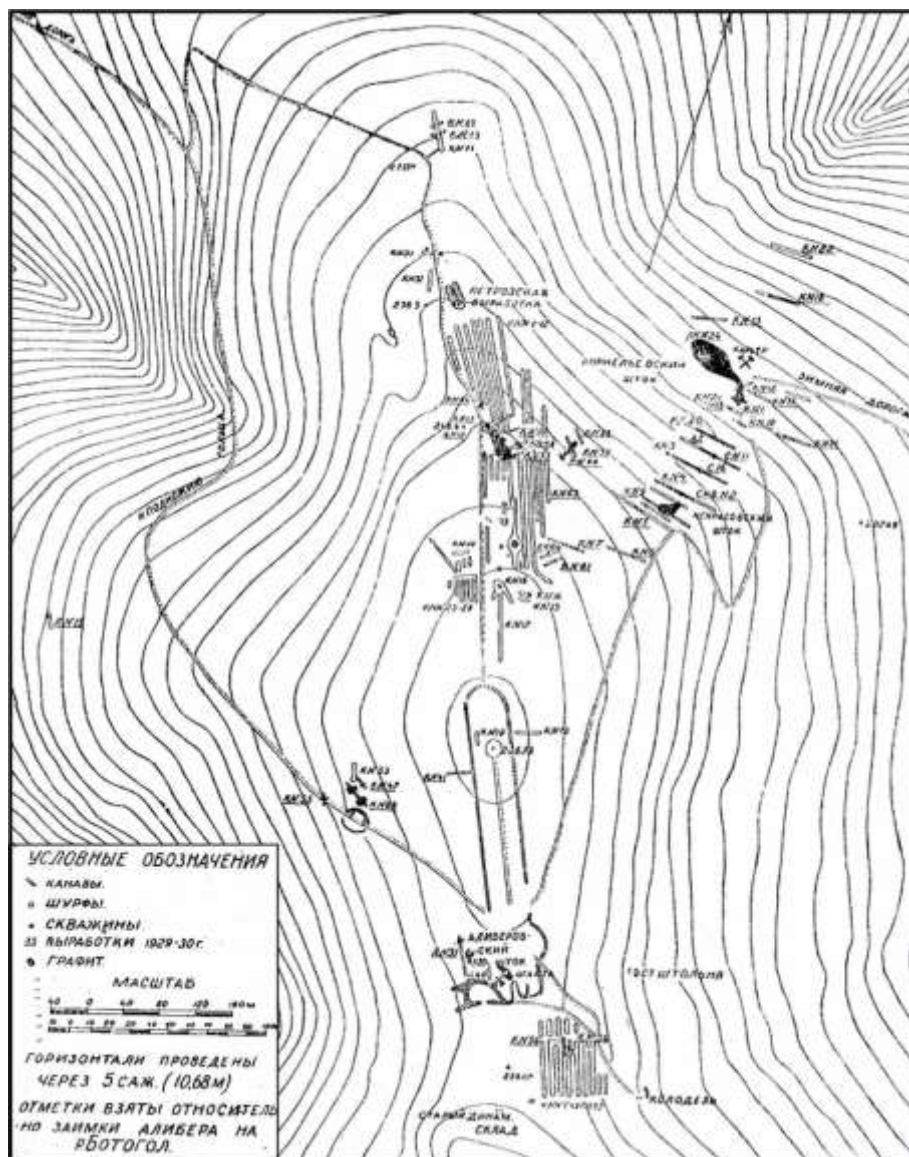


Рис. 5. Расположение горных выработок в центральной части Ботогольского гольца в 1929 г. (Орешкин, 1930).

Fig. 5. Location of mine workings in the central part of the Botogolsky Goltz in 1929 (Oreshkin, 1930).

Всё для фронта, всё для Победы

Наивысший расцвет в области изучения и разработки месторождения пришелся на самый сложный и трагический период истории страны — Вторую мировую войну и послевоенные годы.

Значение ботогольского графита для промышленности страны к концу 1930-х годов было велико. Несмотря на ряд открытых графитовых месторождений Ботогол сохранял лидирующие позиции по качеству руды. «В данное время ботогольский графит является основным сырьем всей нашей отечественной промышленности» (Флоренсов и

др., 1942); «Ботогольский графит ... единственное в СССР сырье для карандашной промышленности, в последнее время он получил применение в металлургии, электротехнике и др.» — сообщалось в геологических отчетах треста «Сибгеолнеруд».

Основным потребителем ботогольских руд являлась Кыштымская фабрика на Урале. Из ботогольского графита на фабрике производился карандашный (марка КК), элементный (марка ЭК) и литейный графит (марка ЛК).

В годы Великой Отечественной войны в связи с оккупацией Украины графитовая промышленность страны оказалась полно-

стью утраченной, и добыча графита на Ботоголе приобрела стратегическое значение. Высокая интенсивность добычи графита была напрямую связана с возросшим стратегическим значением графита не только как сырья для оборонной промышленности, но и как компонента, обеспечивающего создание ядерного щита нашей страны. Для реализа-

ции «ядерного проекта» требовалось большое количество чистейшего графита.

Рудник непрерывно работал всю войну и был закрыт в 1951 г. Со времен 1930-х годов на руднике действовало два поселка: Верхний (рудничный) – на восточном склоне гольца, и Нижний в долине реки Ботогол (рис. 6).



Рис. 6. Нижний поселок. Долина реки Ботогол. Фото 2004 г.

Fig. 6. Lower settlement. Botogol river valley. Photo 2004.



Рис. 7. Паровой двигатель электростанции. Фото 2004 г.

Fig. 7. Steam engine of the power plant. Photo from 2004.

В нижнем поселке действовали контора, склады рудника, больница, школа, почта, магазин Райпотребсоюза, электростанция, радиостанция, и др. (рис. 7).

Во время войны добыча руды в основном шла на крупнейшем Корнельевском штоке, где руды, имея содержание углерода выше 80 % оказались уникальными и не имеющими аналогов в мире. «Добыча графита ведется в двух забоях двумя женскими бригадами, по 6–8 человек каждая, с применением ... динамита. Бурение шпуров производится вручную, длина шпура ... от 1 до 1.5 м. ... Взорванная руда в вагонетках вручную отвозится до бункера, устроенного в одном из восстающих гезенков и через него подается

на вагонетки нижнего откаточного штрека и вывозятся конной тягой на поверхность. Освещение лампочками Вольфа, стеориновыми свечами и, изредка, фонарями «летучая мышь». Вентиляция естественная ... Вся добытая ... руда складывается вблизи места добычи в штабеля и зимой, с установлением санного пути (по льду замерзших рек), гужем вывозится в Ингу или Голуметь, оттуда на автомашинах доставляется в Черемхово для погрузки в вагоны и отправки потребителям, главнейший из которых является Кыштымский завод» — так описывал работу рудника Н.А. Флоренсов (Флоренсов, и др., 1942) (рис. 8–10).



Рис. 8. Подъем вагонетки на голец. (Фото из отчета о геологоразведочных экспедиции за 1942 год. (Флоренсов и др., 1942)).

Fig. 8. Lifting of the wagon to the loach. (Photo from the report on geological exploration expeditions for 1942. (Florensov et al., 1942)).



Рис. 9. Добывающая штольня возле Алиберовской шахты. (Фото из отчета о геологоразведочных экспедиции за 1942 год. (Флоренсов и др., 1942)).

Fig. 9. Mining adit near the Aliberovskaya mine. (Photo from the report on geological exploration expeditions for 1942. (Florensov et al., 1942)).



Рис. 10. Узкоколейная дорога с карьера Южного штока. (Фото из отчета о геологоразведочных экспедиции за 1942 год (Флоренсов и др., 1942)).

Fig. 10. Narrow-gauge road from the South Stock Quarry. (Photo from the report on geological exploration expeditions for 1942 (Florensov et al., 1942)).

Если до начала 1940-х г. рудник добывал в среднем 4000–5500 *t* руды, то с началом войны объемы добычи резко поднялись: в 1941 г. было добыто 4859 *t*, а в 1942 г. уже 8017 *t*. В 1943–1945 гг. было добыто 12000 *t*. Таким образом, за период 1941–1945 гг. рудник дал стране около 25 тыс. тонн графитовой руды превосходного качества.

В 1947 г. В.П. Солоненко и И.А. Кобеляцкий сообщают, что: «*в настоящее время Ботогольский рудник в значительной степени механизирован — установлены компрессоры, сооружен бремсберг (способ транспортировки руды в вагонетках вниз по наклонной горной выработке под собственной тяжестью с помощью тормозного устройства на откаточный горизонт — авт.) Механизация и новые формы труда позволяют добывать в год в двадцать раз больше руды, чем было добыто за 70 дореволюционных лет эксплуатации рудника*» (Солоненко и др., 1947).

Деятельность рудника в этот период сопровождалась комплексными поисковыми работами.

Восточно-Сибирское геологическое управление (ВСГУ) в 1939 году организует поисково-разведочный отряд для съемочных и поисковых работ на Ботогольском месторождении под руководством М.Г. Ноздрина,

Г.А. Шарова, М.Г. Королева. В ходе этих поисковых работ впервые в Восточной Сибири использовались геофизические методы разведки. В 1940 г. разведочные и геофизические работы продолжились (Флоренсов и др., 1943).

В 1941 г. по договору с ВСГУ работы были продолжены трестом «Сибгеолнеруд». Экспедиция треста под руководством И.И. Орешкина выполняла геологическую съемку, геофизические (электроразведочные) поиски залежей, горные работы (бурение и шурфование). Результатом работ стало подробное описание известных рудных тел месторождения; детализация строения сиенитового массива и его контактов с известняками; обнаружение нескольких мелких рудных тел (Орешкин, 1941).

После работ 1939–1941 гг., в ходе которых был получен ничтожный прирост запасов, а на руднике приближалось полное исчерпание ранее известных залежей руд, встал вопрос о дальнейшей судьбе месторождения. Открытие новых рудных тел стало первостепенной задачей.

Изучение месторождения перешло в ведение треста «Сибгеолнеруд» Народного Комиссариата промышленности строительных материалов СССР (НКПСМ СССР). Приказом НКПСМ СССР за № 1-44/с тресту

«Сибгеолнеруд» было приказано организовать геологоразведочную партию для изучения месторождения. Для проектирования и выполнения работ были привлечены лучшие специалисты-геологи, такие как: Михаил Михайлович Одинцов, Лев Иосифович Шаманский, Владимир Степанович Соболев, Николай Александрович Флоренсов, Виктор Прокопьевич Солоненко, Леонид Яковлевич Нестеров и др.

«Сибгеолнерудом», с участием М.М. Одинцова и Л.И. Шаманского, был подготовлен трехлетний проект работ (утвержден 25 мая 1942 года). (Косыгин и др., 1942) Этот проект стал важнейшим этапом в истории изучения месторождения.

В программе работ указывалось, что недостаточная изученность месторождения (особенно его структуры и генезиса) и неясность промышленных перспектив в тот момент, когда разведанные запасы графитовых руд приближаются к концу, создали угрозу консервации Ботогольского графитового рудника. Согласно утвержденного проекта планировались следующие работы:

1942 год – подготовительный этап на пути освоения месторождения, во время которого по своей значимости на первый план выдвигались геологические исследования, а вопросы промышленной разведки (из-за отсутствия новых объектов) занимали второстепенное место. Планировалось лишь провести доразведку заброшенного Алиберовского штока и других графитовых тел, если таковые будут обнаружены.

1943 год – продолжение геологического изучения; развитие и проверка выработанной в предыдущем году методики поисков; поисковые работы с применением геофизических методов; разведка новых графитовых тел и изучение возможности вовлечения в эксплуатацию бедных руд.

1944 год – промышленная разведка, с дополнительным проведением поисковых и гидрогеологических работ.

Фактически же трест «Сибгеолнеруд» проводил работы на Ботогольском гольце с 1942 г. по 1951 г.

Работы 1942 г. сначала проводились под руководством И.И. Осташкина при участии геолога Н.К. Дорошенко. В конце лета ад-

министративное руководство было возложено на Г.В. Иванова, а обязанности старшего геолога на Н.А. Флоренсова. В октябре того же года партия была реорганизована в экспедицию. Экспедиция должна была провести изучение месторождения на площади в 10–12 га для прогноза локализации графитовых тел, их формы, размеров, и, следовательно, определения направления поисковых и разведочных работ. Кроме того, необходимо было провести геолого-экономическую оценку месторождения и выявить кондиционную (с концентрацией углерода более 50 %) графитовую руду в количестве 10000 тонн.

По плану работ 1942 года необходимо было: пробурить 6 скважин (185 п. м.), осуществить проходку канав (1000 м³), шурфов (77 п. м.) и 4 штолен (212 м). Следы этих работ сохранились до настоящего времени (рис. 11-12). Дополнительно необходимо было провести опробование графитовых тел в горных выработках (240 п. м.). (Флоренсов и др., 1942) В результате механическое бурение было выполнено на 72 %; проходка канав — 97.1 %, шурфов — 5.8 % и штолен — 16 %. Невыполнение плана по отдельным видам работ и в целом по партии объяснялось: 1) недостатком рабочей силы на горных и топографических работах; 2) сильными бурями в октябре-декабре, прекращавшими надолго всякую работу в поле; 3) недостатком транспорта; 4) неуккомплектованностью бурового парка и невозможностью ремонта сносившегося бурового инструмента на месте работ.

Основными результатами работ стали: 1) разведка заброшенного Алиберовского штока буровыми работами, которая установила, что залежь почти полностью отработана (рис. 13); 2) открытие и разведка новой графитовой залежи, названной «шток Новый» с запасами богатой графитовой руды в 400 т; 3) выявление около 100 тыс. т бедных руд (с содержанием углерода 5–15 %); 4) изучение центрального участка месторождения детальным структурным картированием (масштаб: 1:1000); 5) обнаружение (впервые) связи графита с первичной тектоникой сиенитового массива и проявлениями пострудной тектоники вблизи графитовых тел; 6)

доказательство возможности обнаружения новых крупных графитовых тел.



Рис. 11. Разведочный шурф. Фото 2021 г.

Fig. 11. Exploration pits. Photo 2021.



Рис. 12. Разведочные канавы. Фото 2021 г.

Fig. 12. Exploration ditches. Photo 2021.



Рис. 13. Буровая вышка экспедиции на Алиберовском штоке (Из отчета Ботогольской геологоразведочной экспедиции за 1942 г.).

Fig. 13. The drilling derrick of the expedition on the Aliberov Shtok (From the report of the Botogol exploration expedition for 1942).

В 1943 году работы на Ботогольском месторождении были продолжены. В задачи работ экспедиции входило: детальное геологическое картирование (масштаба 1:5000 и 1:1000); поисковые работы с применением геофизики; глубинная разведка с помощью горных выработок. На производство работ было ассигновано 600 тыс. руб.

В 1943 году экспедиция работала непрерывно в течение всего года. Летом она состояла из 5 отрядов, а в остальное время из одного — поисково-разведочного, состоящего из 5 чел. (рук. геолог И.И. Блинников). Геологосъемочный отряд состоял из старшего геолога Н.А. Флоренсова, геолога В.П. Солоненко и 3-х студентов Иркутского горно-металлургического института (ныне ИрНИТУ); топографический отряд включал 2 чел.; геофизический отряд был укомплектован тремя студентами Ленинградского горного института; гидрогеологический отряд в середине лета был расформирован, и работы выполнялись геологическим отрядом. Руководил работой экспедиции Г.В. Иванов. В июле-августе количество рабочих достигало 53 чел. (Флоренсов и др., 1943).

Вследствие исключительно трудных климатических и транспортных условий, в которых находится месторождение, производственные планы всех работавших здесь ранее геологоразведочных экспедиций, начиная с 1938 года по 1943 г., систематически недовыполнялись. Только в 1943 году, несмотря на дополнительные трудности, обусловленные режимом военного времени, экспедиция не только выполнила, но и перевыполнила свой производственный план на 50 %.

Разведка графитовых залежей проводилась штольнями и скважинами. Проходка штолен шла в зимнее время, когда из-за сильных снежных буранов прекращалась транспортировка горючего, воды и дров для буровой вышки, которая вынуждена была простаивать. В ходе работ впервые была составлена гидрогеологическая карта Ботогольского гольца масштаба 1:25000.

Важным результатом работ экспедиции стало выявление новых графитовых залежей с помощью геофизических методов разведки. Как было указано выше, геофизические исследования выполнялись геофизическим отрядом Ленинградского горного института по договору с трестом Сибгеолнеруд.

Начальником отряда был студент-геофизик 4 курса Н.И. Шувал-Сергеев, операторами работали студент-геофизик 3 курса Ю.Н. Сытин и студентка-геофизик 2 курса Т.Н. Сироткина. Научным руководителем геофизических работ был заведующий кафедрой геофизических методов ЛГИ, профессор Л.Я. Нестеров. Главной целью геофизических работ был поиск новых графитовых тел. Комплекс методов разведочной геофизики включал магниторазведку (предполагалось, она сможет выявить контакт сиенитов с известняками) и электроразведку методами естественного электрического поля и электрического профилирования на постоянном токе (определение положения графитовых тел). Электроразведочными измерениями была покрыта площадь 3 км².

В результате геофизических работ был выявлен ряд аномалий, которые в том же году были проверены горными выработками. В большинстве аномалий были обнаружены новые графитовые залежи, такие как: шток «Большой» (с запасами 8000 т); 2-й южный (1800 т); Юго-восточный (1300 т); Ильинская залежь (8000 т); Гнездо №2 (400 т); 2-й юго-западный (40000 т). Это было самое большое открытие графитовых тел в один полевой сезон за всю историю изучения месторождения!

Важным результатом 1943 года стала корректировка методики поисковых работ. В предшествующих работах генетическая связь графита с известняками не вызывала никаких сомнений, поэтому искали рудные залежи, в первую очередь, там, где в массе сиенита встречались известняки. Предпочтение в поисковых методах отдавалось минералого-петрографическому изучению и горнопроходческим работам. В основу работ, начатых в 1942 году, была положена гипотеза о том, что графитовые тела имеют закономерную связь с тектоникой сиенитового массива и складчатой структурой известняков. Поэтому в ходе поисковых работ изучалась приуроченность графитовых тел к разломам, контактам сиенитов и известняков. Поэтому предпочтение получили методы структурного и геофизического картирования. Также были сделаны выводы о том, что при проведении геофизических работ в

1939 г. использовалась недостаточно детальная сеть наблюдений, и графитовые тела, массой до 3000 т пропускались в ходе съемки (Флоренсов и др., 1943).

Работы 1944 г. (начальник Г.В. Иванов, геолог Т.И. Баранова), заключающиеся в геологической съемке масштаба 1:5000 центральной части гольца, площадью 4 км², не внесли никаких новых изменений в прежние представления о месторождении, но дали ощутимый прирост запасов графитовых руд за счет вновь открытых и доразведанных залежей. Продолжалось геофизическое изучение месторождения. Электроразведочные измерения под руководством инженера Нестеровой проводилась в восточной и западной части гольца. По результатам предыдущих лет, использовалась эффективная методика работ: поиск графитовых залежей методом естественного электрического поля по сети 20x20 м, а затем детализация границ обнаруженных залежей с помощью метода измерения электрического сопротивления по сети 10x2 или 10x5 м (Глазов, 1951).

В 1945-1946 гг. работы продолжались под руководством И.И. Блинникова. В задачи входила: доразведка обнаруженных ранее залежей, а также поиски новых с применением геофизических методов. Доразведка проводилась на Юго-западной залежи, штоке «Бедный» и штоке «Большой». Разведаны новые графитовые залежи на участках геофизических аномалий 13, 14, 17, 20 и шток «КИМ». И.И. Блинниковым и В.М. Катковой был собран богатый материал по юго-восточной части гольца, послуживший основой для этой части при составлении геологической карты месторождения масштаба 1:5000. (Исайков, 1971) На площади 12.3 га продолжались геофизические исследования под руководством инженера-геофизика А.И. Иванова. Впервые было изучено влияние на результаты электрических измерений мерзлоты и наносов (Глазов, 1951). В 1948 г. С.М. Литвинцевой были продолжены поиски графитовых тел по ранее выявленным геофизическим аномалиями. Обнаружено несколько рудных тел и дан незначительный прирост запасов. (Исайков, 1971) Одним из главных результатов этих работ стало со-

ставление подробной геологической карты месторождения (рис. 14).

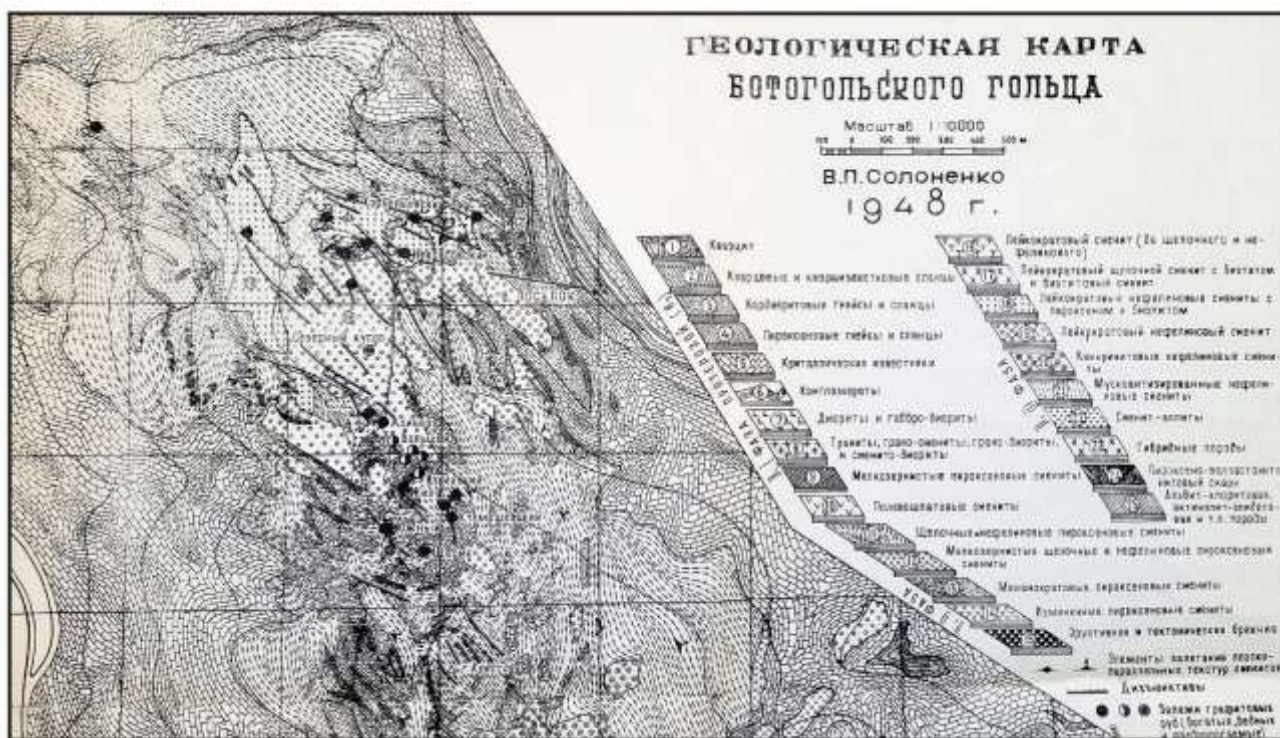


Рис. 14. Фрагмент геологической карты Ботогольского месторождения. (Из отчета о геологоразведочных работах в 1950 г. (Глазов, 1951)).

Fig. 14. Fragment of the geological map of the Botogolskoye field. (From the report on geological exploration works in 1950 (Glazov, 1951)).

Завершающим этапом изучения Ботогольского месторождения трестом «Сибгеолнеруд» стали работы 1950-1951 гг. Ботогольская геологоразведочная экспедиция была организована в 1950 г. по заданию Главгеологии МПСМ СССР. Основной целью работ являлась оценка запасов бедных графитовых руд (с содержанием углерода более 5 %).

Проектом предполагалось: доразведка предварительно разведанных в прошлые годы графитовых залежей, путем постановки на них глубинных разведочных работ; площадные поисковые работы на участках, не охваченных работами в прошлые годы в пределах северной, наиболее перспективной части месторождения; детальную разведку вновь открытых графитовых залежей; разведку и опробование валунных руд. На работы было выделено 1310 тыс. руб. По итогу

этих работ ожидалась подготовка запасов бедных графитовых руд в пределах 100 000 тонн (Глазов, 1951).

К полевым работам приступили в марте 1950 г. В состав экспедиции входил один поисково-разведочный отряд. В работах приняли участие: главный инженер И.И. Блинников; старший геолог Ю.Н. Глазов; прорабы Д.В. Карманов, З.И. Мишарин, М.И. Каргопольцев, В.Я. Ястремжевский; коллекторы: Р.В. Гизатулина и М.М. Богомяков; буровой мастер В.А. Бабушкин; начальник экспедиции Е.Ф. Балановский (Глазов, 1951).

Экспедиция выполняла: топографическую съемку, механическое бурение, проходку штольни, проходку шурфов и канав, опробование, рудоразработку. Все работы были сосредоточены на штоке «Бедный», «Аномалия 17» и Поисковом участке (рис. 15–17).



Рис. 15. Выполнение топографических работ. Справа — топограф Г.И. Столяров; слева — реечница Склянова. (Фото из отчета о геологоразведочных работах в 1950 г. (Глазов, 1951)).

Fig. 15. Execution of topographic works. On the right - topographer G.I. Stolyarov; on the left - Sklyanova's rack. (Photo from the report on geological exploration works in 1950 (Glazov, 1951)).



Рис. 16. Демонтаж бурового станка. (Фото из отчета о геологоразведочных работах в 1950 г. (Глазов, 1951)).

Fig. 16. Dismantling of the drilling machine. (Photo from the report on geological exploration works in 1950 (Glazov, 1951)).



Рис. 17. Патронирование аммонита. (Фото из отчета о геологоразведочных работах в 1950 г. (Глазов, 1951)).

Fig. 17. Patronization of an ammonite. (Photo from the report on geological exploration in 1950 (Glazov, 1951)).

Значительные трудности представляло снабжение водой буровой вышки: с мая по июнь воду подвозили в бочках с карьера Юго-западного штока; с июня собрали трубопровод из обсадных труб и пожарного шланга и качали воду насосом. Вода периодически — один раз в 2-3 дня — перекачивалась в глубокие шурфы, расположенные на возвышенной части гольца. Около шур-

фов стояли бочки, соединенные шлангом с буровой, по которому вода шла самотеком. Вода доставалась из шурфов ведрами и выливалась в бочки. 1 июля вода ушла из карьера Юго-западного штока, пришлось насосную станцию переносить на Алиберовскую шахту (рис. 18), из которой воды хватило до сентября. После осушения шахты бурение пришлось прекратить.



Рис. 18. Насосная станция в карьере Алиберовской шахты. (Фото из отчета о геологоразведочных работах в 1950 г. (Глазов, 1951)).

Fig. 18. Pumping station in the quarry of the Aliberovskaya mine. (Photo from the report on geological exploration works in 1950 (Glazov, 1951)).

План прироста запасов в 1950 году был выполнен на 232 %. Работа экспедиции продолжалась до января 1951 года, когда, согласно приказу Главгеологии МПСМ СССР, трест «Сибгеолнеруд» принял решение о ликвидации экспедиции. По мнению Ю.Н. Глазова, прекращать геологоразведочные работы не следовало бы, так как месторождение несомненно являлось перспективным. В том же году был законсервирован и Ботогольский графитовый рудник (Глазов, 1951).

Главными достижениями геологоразведочных работ, проводимых трестом «Сибгеолнеруд» с 1942 по 1951 год, стало:

- Составление детальных геологических и гидрогеологических карт месторождения.
- Открытие и разведка новых графитовых залежей, в том числе благодаря геофизическим измерениям, таких как: шток Новый; шток «Большой»; 2-й Южный шток; Юго-восточный шток; Ильинская залежь; Юго-Западный шток, 2-й Юго-западный шток, «Аномалия-17», шток «Бедный», шток «КИМ», и ряд других мелких рудных тел. Это обеспечило бесперебойную работу рудника в течение 10 лет и снабжение стратегическим сырьем промышленности страны в самый сложный период её истории.
- Детальное изучение типов и свойств графитовых руд, в том числе их обогатимость, что позволило рассматривать в качестве потенциального сырья не только богатые, но и более бедные руды.
- Создание эффективной методики поиска и разведки новых залежей графита, включающей детальные геологосъемку и геофизические исследования; поверхностные и глубинные способы разведки, причем отмечалось, что проходка штолен в условиях рельефа местности является наиболее эффективным способом глубинной разведки.
- И, наконец, главным достижением геологической науки стало понимание генезиса месторождения.

К разгадке главной тайны Ботогола

Как указывалось выше главной задачей геологических работ являлось установление генезиса месторождения, так как эффективную методику поиска и разведки графитовых залежей можно было выработать только в том случае, если понимать какие геологические факторы влияли на образование рудных тел.

Как было сказано выше, большинство исследователей на первых этапах изучения месторождения считали, что графит имеет магматическое происхождение и образовался в результате ассимиляции магмой известняков. Жан-Пьер Алибер считал, что графит зародился в недрах магматического массива и на поверхность из глубины выходит в виде узкой жилы. Л.А. Ячевский, давший первое геологическое описание месторождения, считал, что выделение графита происходило при застывании сиенитовой магмы, насыщенной углеродом за счет углеродсодержащих осадочных пород (Ячевский, 1898). Чисто магматического генезиса Ботогольского графита придерживался и В.И. Вернадский. Он отводил главную роль в выделении графита магматическому углероду (Флоренсов и др., 1943). Б.М. Куплетский приписывал основную роль диссоциации молекул карбонатов (известняков) под воздействием магмы, при которой освободившийся углерод пневмотологическим путем отлагался в виде штоков, гнезд и неправильной формы жил графита (Куплетский, 1925). Ещё один исследователь месторождения — Б.П. Некрасов — объяснял появление графита ранним выделением из магматического очага после ассимиляции щелочной магмой богатых углеродом осадочных пород (Некрасов, 1928).

Первым, кто обратил внимание на, необъяснимую в рамках вышеприведенных представлений, сложность строения месторождения был И.И. Орешкин. Он писал, что «в расположении отдельных графитовых месторождений на Ботогольском гольце нет ясно выраженной закономерности. Гнезда и штоки графита как будто беспорядочно

разбросаны по всей северо-западной оконечности вершины гольца». Орешкин связывал появление одних залежей с сиенитами, других с известняками. Графитовые тела, по его мнению, возникли в результате распада карбонатов известняковых ксенолитов в процессе пневматолитизации, поэтому форма залежей во многом отражает форму и размеры первичных ксенолитов. Он также считал, что, спрогнозировать расположение графитовых тел невозможно, а все наиболее крупные тела на месторождении уже выявлены (Орешкин, 1930). Единственным источником углерода, по мнению Орешкина, было карбонатное вещество известняков. Процесс восстановления CO_2 или CO до углерода (графита) протекал в газовой среде в поствулканическую фазу интрузии под влиянием ряда катализаторов (Si, Al и др.).

Геологи «Сибгеолнеруд» (Флоренсов, Солоненко и др.), работая на месторождении, выявили большое количество фактов, которые противоречили чисто магматическому и пневматолитовому генезису руд. Также не подтвердилась гипотеза об образовании графита в результате ассимиляции магмой глыб известняков (ксенолитов) (Флоренсов, 1943).

Первым шагом к пониманию генезиса месторождения стала оригинальная гипотеза, высказанная в 1942 г. одним из авторов проекта работ — Л.И. Шаманским. Он предположил, что между формой графитовых тел и их размещением в пространстве, с одной стороны, тектоникой сиенитового массива и структурой поглощенных магмой известняков, с другой, существует непосредственная связь (Косыгин и др., 1942). Эта гипотеза подтвердилась уже в первый год работы.

Полевые работы 1942 г. стали своеобразным научным прорывом в понимании Ботогольского месторождения. Был выявлен ряд принципиально новых моментов, которые во многом расходились с представлениями исследователей прошлых лет:

- сиенитовый массив сформировался не в один этап, а имели место несколько следовавших друг за другом стадий, сопровождающихся повышением щелочности сиенитов; кроме того, в массиве отчет-

ливо прослеживалась первичная тектоника;

- рудоотложение также представляло собой длительный процесс, в основном связанный с жидкой (гидротермальной) фазой интрузии;
- графитовые проявления не ограничивались только наружной (корковой) частью массива, а залежали на гораздо большей глубине, чем считалось ранее.

Эти данные позволили не только убедиться в том, что на Ботоголе ещё есть много неоткрытых залежей и признаков, по которым эти графитовые тела можно искать, но и дали новые факты к пониманию образования месторождения.

В 1942 г. Флоренсов предположил, что образование графита происходило в жидкую фазу интрузии, но в отличие от взглядов Ячевского и Некрасова, графитообразование являлось весьма длительным процессом.

В это же время, В.С. Соболев впервые обратил внимание на то, что графитизация различных пород Восточного Саяна имеет региональное распространение. Он предположил, что этот процесс связан с высоким восстановительным потенциалом древних битуминозных толщ этой территории. Соболев также сформулировал основные условия образования Ботогольского месторождения:

- значительная глубина формирования Ботогольской интрузии;
- существование восстановителей CO_2 в окружающих горных породах;
- локальное освобождение больших масс CO_2 под воздействием магмы.

В.П. Солоненко, соглашаясь с мнением В.С. Соболева и Н.А. Флоренсова о гидротермальном происхождении графита, считал, что гидротермальный по характеру отложения графит является органическим по происхождению углерода и связанным с битуминозной карбонатной толщей.

Выводы трех выдающихся ученых позволили сформировать новую точку зрения относительно происхождения графитовых залежей на Ботоголе. Согласно этой гипотезы:

- образование графита тесно связано с генезисом сиенитов ботогольского массива;

- последние образовались в большей мере за счет ассимиляции известняков граносиенитовой магмой, создавшей в Восточном Саяне большое количество граносиенитовых массивов;
- ассимиляция магмой известняков приводила к освобождению больших масс углекислоты в первую очередь за счет их битуминозности;
- так как интрузивный массив застывал на значительной глубине, то высокое давление содействовало образованию чистого углерода за счет восстановления CO_2 по известной в технике реакции Будуара: $2\text{CO} (\text{газ}) = \text{CO}_2 (\text{газ}) + \text{C} (\text{тв.})$;
- этому процессу благоприятствовала восстановительная среда (битуминозность ассимилируемых магмой известняков).

В результате этих гипотетических построений сформировалось понимание процессов, приведших к образованию графитовых залежей:

1. Графитизация началась ещё в жидкую магматическую фазу и в основном закончилось при сравнительно высокой температуре. В этот время образовалось некоторое количество графита (первой генерации). Источник графитового углерода — углеводородная примесь в известняке на этой стадии была растворена в щелочной магме.

2. Затем по древним разломам началось проникновение горячих водных растворов, содержащих большое количество CO , что привело к графитизации различных пород вблизи этих разломов (вторая генерация). Замещение графитом первоначальной породы (сиенита, известняка) во многих случаях носило избирательный характер, и приводило к образованию полосчатых и «пропитанных» руд, насыщенных силикатами. Вкрапленные, пропитанные и сплошные руды представляют один генетический ряд: вкрапленные при увеличении насыщения графитом переходили в пропитанные, а те в свою очередь — в сплошные богатые руды.

3. Основная же масса графитовых руд сформировалась в низкотемпературную постмагматическую стадию (третья генерация). Графитовый углерод на этой стадии (так же, как и предыдущей) был растворен в

горячих растворах, имевших температуру порядка 450–500 °С. Процесс проходил прерывисто. В результате проникновения растворов по трещинам образовывался графит с аморфной и волокнистой структурой, в виде гнезд неправильной, жильной, каплевидной, шарообразной или яйцевидной формы, как во вмещающих породах, так и в плотнокристаллическом графите предыдущих генераций. К этой же стадии относится образование самого чистого и мягкого древовидного графита.

В 1950–1960 годы основные позиции предложенной гипотезы были подтверждены новыми методами, используемыми в геологии. Экспериментально была подтверждена возможность образования графита путем восстановления углекислоты карбонатов в ходе реакции Будуара. Изотопный анализ ботогольского графита показал, что изотопный состав углерода имеет похож на состав углерода битумов в известняках (Исайков, 1971).

Возобновление работ

После длительного перерыва, в 1959 году разработка ботогольских графитовых руд была возобновлена, а в 1968 году были начаты поисково-разведочные и научно-исследовательские работы на месторождении. Добычу графитовой руды до 1993 года осуществлял тальковый рудник «Онот» Производственного объединения «Востокслюда».

Поисково-разведочные работы выполнялись геологоразведочной партией Нижнеудинской экспедиции Иркутского геологического управления Министерства геологии РСФСР. Главной задачей работ был прирост запасов для работы рудника (Исайков, 1971).

Следует отметить, что в период между окончанием работ треста «Сибгеолнеруд» (1951 г.) и началом работ Иркутского геологического управления, на Ботоголе работала ещё одна экспедиция. В 1959 г. на месторождении были проведены поисково-разведочные работы Бурятского геологического управления под руководством В.А. Лбова, целью которых была оценка запасов не графитовых руд, а вмещающих их нефелиновых сиенитов. Нефелиновые сие-

ниты могут использоваться в качестве сырья для получения алюминия. По результатам работ В.А. Лбов подсчитал, что ботогольский массив содержит 316 млн тонн нефелиновых сиенитов, что в пересчете на глинозем составляло 71021 тыс. тонн. По результатам этих работ Экономической партией Бурятского геологического управления (Руководитель А. Клигерман) в 1961 г. было дано технико-экономическое обоснование комплексной разработки месторождения — одновременно графита и нефелиновых руд. Это предложение в 1967 г было поддержано Ленинградским институтом «ГИПРОНИМЕТАЛУРОД», которым был составлен технико-экономический доклад о целесообразности комплексной разработки Ботогольского месторождения (Исайков, 1971). К сожалению, это предложение осталось только на бумаге.

Причиной возобновления интереса к Ботогольскому месторождению (кроме предложений о его комплексной разработке) стало то обстоятельство, что для изготовления электродов авиационных двигателей подходил только ботогольский графит и заменить его графитом других месторождений не удавалось. В целом же, на балансе запасов графитового сырья в СССР числилось около 20 месторождений и на долю Ботогольского месторождения приходилось всего лишь 0.002 % балансовых руд. Добыча графита (на 1971 г.) составляла 0.006 % от общей добычи графитовых руд СССР.

В соответствии с техническим заданием МПСМ СССР и плановым заданием Мингеологии РСФСР, Иркутским геологическим управлением в 1968 г. были начаты геологоразведочные работы на Ботогольском месторождении с целью доразведки известных крупных залежей (Юго-Западная, шток Бедный и Аномалия 17), а также поисков новых рудных тел с подготовкой запасов графитовых руд с содержанием углерода более 30 % в количестве 250 тыс. тонн. Но уже в декабре того же года решением совещания Главноруда МПСМ СССР задачи были сужены и сведены к подготовке запасов графитовых руд с содержанием углерода более 30 % в количестве 7–10 тыс. тонн за счет доразведки Юго-Западной залежи. Дополни-

тельным условием для доразведки стало требование выявления и подсчета запасов только янокристаллических руд, так как по результатам обогащения опытных партий графитовых руд на Кыштымском комбинате руды, представленные скрытокристаллической (аморфной) разновидностью графита, оказались непригодными для переработки.

Полевые работы по утвержденному проекту выполняли геологи: Г.Л. Исайков, Б.П. Прошутинский, К.Р. Горбунов; техники-геологи: Т.Н. Лейзерукова, Л.Н. Исайкова. Руководили работами начальник партии С.К. Олейник и старший геолог Г.Л. Исайков. Работы закончились в январе 1970 г. Проводимые работы включали бурение с поверхности, подземное механическое бурение и шурфовку. Составитель итогового отчета работ старший геолог Г.Л. Исайков указывает, что в период с 1968 по 1970 гг. задачи работ партии менялись три раза: сначала работы были направлены на доразведку выявленных ранее крупных залежей и поиск новых тел, с привлечением геофизики; затем все работы были переориентированы на эксплуатируемую Юго-Западную залежь; позднее партии было приказано переключиться на расчистку старых канав для отбора технологических проб для получения концентрата по залежам «Аномалия 17», шток «Бедный» и «Ильинская», и в случае положительного результата испытания проб провести детальную разведку этих залежей. Безусловно, эти управленческие решения вносили определенную бессистемность в проводимые исследования.

В планировании работ геологи Нижнеудинской экспедиции в полной мере использовали результаты геологических работ 1940-х годов. Но в связи с новыми техническими условиями на графитовую руду месторождения, а также графитовый концентрат, был выбран другой подход к оценке качества графита. Основную роль в оценке залежей стали играть структурные особенности, совершенство структуры, кристалличность, а не высокое содержание углерода, как было раньше. Одновременно с геологоразведочными работами, проводились испытания разных типов руд, для оценки их

пригодности для изготовления авиационных электродов.

Поменялось и представление о графитовой руде. Если раньше она рассматривалась как агрегат из вмещающей породы и графита, то в начале 1970-х годов геологи воспринимали руду как вмещающую породу, аморфный (непригодный) и кристаллический (сырье для электродов) графит. Аморфный графит представлял собой шарообразные, каплеобразные, сферические, скрытокристаллические образования, которые могли находиться даже внутри ясно кристаллической массы графита (Исайков, 1971).

Интересно, что Алибер оценивал аморфный, скрытокристаллический графит как «годный», а яснокристаллический как «отвальной». А через сто лет технологи оценивали графит с точностью наоборот. По технологическим условиям Кыштымского комбината графит с совершенной кристаллической структурой относился к 1 сорту и представлял собой большую ценность вследствие однородности своего состава и способности обогащаться, а графит с различной степенью нарушений в укладке слоев (древовидный графит, массивный скрытокристаллический, почковидный) относился к категории непригодных руд. Удивительно, но самыми пригодным сырьем для изготовления авиационных электродов оказались вкрапленные руды, так как состояли из исключительно яснокристаллического графита. Вкрапленные руды представляют собой сиенит с вкрапленниками графита различных размеров и частоты. Содержание углерода в них составляет 10–30 %.

В прошлые периоды разработки месторождения на эти руды даже не обращали внимания, относя их к бедным, забалансовым. Остается только удивляться прозорливости Николая Александровича Флоренсова, который первым заговорил о перспективности бедных вкрапленных руд в то время, когда добытчики старались выбрать в залежах только самые богатые руды.

Основные работы партии были проведены на Юго-Западной залежи, которая была обнаружена работами 1940–1945 гг. треста Сибгеолнеруд. Залежь объединяет два ранее

выделявшихся рудных тела под названием 1-го и 2-го Юго-Западных штоков. Из 32 рудных тел и залежей, числящихся на балансе месторождения, Юго-Западная залежь являлась наиболее крупной. Особенностью залежи являлось преобладание яснокристаллического графита. Аморфный графит присутствовал в небольшом количестве, слагая небольшие гнезда сплошных богатых руд.¹

За весь период работ залежь была разведана: 1) с поверхности сетью канав через 10–20 м; 2) на глубину скважинами по сети 15х25 м; 3) штольной 4) скважинами из подземных выработок (103 шт.). В ходе доразведки залежи было выявлено 8 новых рудных тел.

Проведенная доразведка Юго-Западной залежи позволила значительно (почти на порядок) скорректировать (уменьшить) запасы. Если в 1946 г. подсчитанные запасы залежи составляли почти 400 тыс. тонн, то в 1970 году эта цифра составила 54.04 тыс. тонн, в том числе кондиционных (яснокристаллических) руд — 36.34. Содержание графита в рудах залежи изменялось от 32 до 69 %. Запасы были утверждены научно-техническим советом Иркутского геологического управления 20.08.1971.

В 1975 г. по заданию АН СССР на месторождении проводились работы Р.В. Лобзовой по уточнению генезиса графита. (Лобзова, 1975) В конце 1990-х годов проводились минералогические исследования месторождения под руководством А.Г. Миронова.

Кроме поисково-разведочных работ на месторождении в 1960–1970-е годы шла разработка кондиций ботогольских графитовых руд и способов их разработки. После технико-экономического обоснования комплексной разработки месторождения (графита и

¹ Исайков Г.Л. Отчет о работах по доразведке Юго-Западной залежи Ботогольского месторождения графита, проведенных в 1968–70 гг. — Иркутск: 1971 г. Рукопись. С. 56.

нефелиновых руд) в 1961–1967 гг., Ленинградским ГИПРОНИИМЕТАЛЛУРОДОМ были разработаны временные кондиции для отработки залежей (Юго-Западная, «Аномалия 17», «шток Бедный») открытым способом. В этих кондициях минимальное содержание углерода в пробах составляло уже 30 % (яснокристаллические руды с примесью аморфного графита). Попутно оценивались бедные яснокристаллические руды с содержанием углерода 10–30 %.

Решение о проведении ревизии, запасов, доразведки нижних горизонтов известных залежей «Юго-Западная», «17 аномалия» и «шток Бедный» было принято на совещании, проведенном 27 ноября 1989 года, в Производственном объединении «Востокслюда».

Это решение было принято в связи с тем, что вновь изменились потребности потребителей. Учитывая современные технологические требования к графитовой руде для производства различных видов изделий на основании заявок потребителей, было решено провести полупромышленные испытания графитовых руд для того, чтобы можно было судить о их пригодности.

В конце 1980-х годов на Ботоголе проводились в небольшом объеме геологоразведочные работы старательской артели «Графит».

Следы разных этапов разработки месторождения сохранились на Ботогольском гольце до настоящего времени (рис. 19–22).



Рис. 19. Рудничный поселок артели «Графит». Фото 2004 г.

Fig. 19. Mine settlement of the Grafit artel. Photo of 2004.



Рис. 20. Штабель заготовленной графитовой руды. Фото 2021 г.

Fig. 20. Stack of harvested graphite ore. Photo 2021.



Рис. 21. Части рудничной вагонетки. Фото 2021 г.

Fig. 21. Parts of a mine wagon. Photo 2021.



Рис. 22. Остатки рельсовой (деревянной) вагонеточной дороги. Фото 2021 г.

Fig. 22. Remains of the rail (wooden) wagon road. Photo 2021.

Современные представления о геологии месторождения

Результатом почти полуторавековой истории изучения ботогольского графита стали следующие представления о строении и генезисе месторождения.

Месторождение графита связано с массивом щелочных нефелиновых сиенитов ботогольского комплекса, внедрившихся в толщу позднепротерозойских известняков и сланцев. Сиенитовый массив находится вблизи мощного разлома и приурочен к замку антиклинального изгиба метаморфической толщи. Основные залежи графита сосредоточены в северной части интрузивного массива. Рудные тела встречаются как в контактах известняков, так и на значительном удалении от них.

Происхождение ботогольского графита тесно связано с генезисом щелочных пород интрузивного массива. Последние (сиениты) образовались в большей мере за счет ассимиляции известняков граносиенитовой магмой, создавшей в Восточном Саяне большое количество граносиенитовых массивов. Ассимиляция известняков приводила к освобождению больших масс углекислоты, а так как интрузив застывал на значительной глубине, то высокое давление способствовало образованию чистого углерода за счет восстановления CO_2 . Этому процессу особенно

благоприятствовала восстановительная среда, возникающая благодаря битуминозности ассимилируемых магмой известняков.

Выделение графита происходило в несколько стадий, а сам процесс был весьма длительным. Начало отложения графита относится к непосредственно магматической фазе, а затем его выделение продолжалось в постмагматическую фазу, когда углерод отлагался из гидротермальных растворов, циркулировавших по зонам дробления сиенитов. Большая часть графитовых руд месторождения была отложена гидротермальным путем.

Графитовые тела имеют общую субмеридианальную ориентировку, и залегают, в основном, внутри сиенитового массива, реже на контакте его с вмещающими породами. Форма рудных тел — это гнезда с неправильными обычно с несколько вытянутыми (эллипсоидными) очертаниями, но встречаются также тела в виде пластовых залежей, жил, зон и различных гнезд. Размеры тел также весьма разнообразны, крупнейшие из них (так называемые «штоки») достигают 50 м в длину, 15–20 м в ширину и 30 метров в глубину.

Кроме компактных однородных масс графитовой руды графит образует в сиените более или менее густую вкрапленность. Такие «графитизированные» сиениты часто за-

легают вокруг графитовых тел, образуя их оболочку, и могут сами являться объектом эксплуатации, так как содержание углерода в них достигает 8–10 %.

Внутри и вблизи графитовых тел наблюдаются, как правило, разнообразные разрывные нарушения: сбросы, мелкие чешуйчатые надвиги и сколы. По краям всех крупных залежей почти неизменно залегают графитовые брекчии, состоящие из обтертых обломков более плотного графита, сиенита, пегматита, погруженных в раздробленную и растертую массу графита. Такое тектоническое месиво также является «бедной» графитовой рудой.

Графит на Ботогольском месторождении встречается в различных формах. Наиболее распространен массивный мелкокристаллический графит, составляющий основную массу графитовой руды. Этот графит отличается беспорядочным или полухаотическим расположением очень мелких кристалликов. Другой разновидностью является крупнокристаллический (чешуйчатый) графит с размерами чешуй от нескольких квадратных миллиметров до 1-1.5 см². Кроме того, встречается, так называемый, древовидный графит с резко выраженной волокнистой текстурой. Значительно реже и в малых количествах встречается каплевидный графит, тельца которого сходны с каплями свинца. Внутренняя их часть состоит и лучевидно ориентированных кристаллов графита, как бы обтянутых наружной концентрически-скорлуповатой оболочкой плотного графита. Столь же редко, как и каплевидный, встречаются почковидный и оолитоподобный графит.

Химически ботогольский графит отличается высокой чистотой. Так, содержание углерода в древовидном графите, образующем наиболее богатые сорта руды, достигает 98 %. В графитовых рудах, всегда имеющих некоторую примесь силикатов, кальцита и окислов железа и титана, содержание углерода колеблется от 30–40 % («бедные руды») до 75–80 % («богатые руды»). Это необычно высокое содержание графитного углерода дало Ботогольскому месторождению мировую известность.

Общая площадь месторождения составляет около 3 км². За время поисково-разведочных работ на Ботогольском гольце было обнаружено более 20 графитовых залежей. Часть из них к настоящему времени полностью выработаны. Всего на руднике было добыто около 910 тыс. тонн графитовой руды превосходного качества с содержанием углерода от 60 до 98 %. Согласно информации Департамента по недропользованию по Дальневосточному федеральному округу (Приказ от 07.09.2020 № 1504), по состоянию на 1 января 2020 г. на месторождении запасы руд с содержанием углерода 60 % и выше по категории В+С₁ оцениваются в количестве: 100 тыс. тонн руды и более 40 тыс. тонн чистого графита. Прогнозные ресурсы графита составляют более 4000 тыс. тонн. (Государственный ..., 2019). Интересно что большая часть указанных запасов была выявлена работами экспедиций треста «Сибгеолнеруд» во время Великой Отечественной войны.

Заключение

Ботогольский графитовое месторождение является не только уникальным геологическим объектом и свидетельством развития горного дела в Сибири, но и памятником истории геологического поиска нескольких поколений рудознатцев и ученых-геологов.

История геологического изучения Ботогола, с одной стороны, отражает общую тенденцию изменения геологоразведочной отрасли в России, с другой, демонстрирует как неординарные целеустремленные люди, жизнь которых переплелась с историей ботогольского графита, стремились раскрыть геологические тайны и обнаружить нужное стране полезное ископаемое.

Ботогольский гольц во все времена привлекал путешественников и исследователей. Изучение истории геологических исследований и добычи графита безусловно открывает новую страницу интереса к этому месту.

Литература

Алибер Ж.-П. Об отыскании графита в Восточной Сибири Тавастгусским первостатейным купцом Алибером // Вестник Императорского

Русского географического общества. 1854. Кн. 3. Ч. 1.

Глазов Ю.Н. Ботогольское месторождение графита в Окинском аймаке БМАССР. Отчет о геологоразведочных работах в 1950 г. Том 3. – Иркутск: 1951.

Горный журнал. 1879. Т.1.– С. 343–351.

Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2019 года. Выпуск 54: Графит. // ФГБУ «Росгеолфонд», 2019.

Исайков Г.Л. Отчет о работах по доразведке Юго-Западной залежи Ботогольского месторождения графита, проведенных в 1968-70 гг. – Иркутск: 1971 г.

Косыгин И.П., Одинцов М.М., Шаманский Л.И. Проект геологоразведочных работ на Ботогольском месторождении графита в 1942 г. Рукопись.

Куплетский Б.М. Петрографический очерк Алиберовского месторождения графита. // Материалы к изучению Русского графита. Сборник статей. – Л.: 1925. С. 55–56.

Лабунцов А.Н. Описание Алиберовского графитового рудника. // Материалы к изучению Русского графита. Сборник статей. – Л.: 1925. С.39.

Лобзова Р.В. Графит и щелочные породы района Ботогольского массива / Р.В. Лобзова. – Москва: Наука, 1975.– 123 с.

Материалы к изучению Русского графита. // Материалы для изучения естественных производительных сил СССР. Сборник статей. № 55 – Л.: 1925.

Некрасов Б.Н. Алиберовское месторождение графита. // Минеральное сырье, № 3, 1928.

Орешкин И.И. Ботогольское месторождение графита. Предварительное сообщение о разведочных работах Института прикладной минералогии в 1929 и 1930 г.г. // Минеральное сырье, № 8-9, 1930. С. 795–813.

Орешкин И.И. Полный отчет о работах Ботогольской геологоразведочной экспедиции за 1941 г. Рукопись.

Снопков С.В., Хобта А.В. Ботогольский графит. Удивительная история уникального месторождения. – Иркутск: Типография «Оттиск», 2022. - 214 с.

Снопков С.В., Хобта А.В. Сибирская одиссея Жан-Пьера Алибера. // Известия лаборатории древних технологий: научный журнал. № 1 (42) – Иркутск: Изд-во ИРННТУ, 2022. – 243 с. С. 128–141.

Снопков С.В., Хобта А.В., Богданова И.А. История открытия Ботогольского графитового месторождения. Мифы и факты. // [Электронный ресурс] // Геология и окружающая среда. — 2022.– Т. 2, № 1.– С. 145–156.

Солоненко В.П., Кобеляцкий И.А. Восточные Саяны (научно-популярный очерк). – Иркутск: Иркутское областное издательство, 1947.

Флоренсов Н.А., Осташкин И.П. Отчет Ботогольской геологоразведочной экспедиции за 1942 г. Рукопись.

Флоренсов Н.А., Соболев В.С., Блинников И.И., Солоненко В.П. Ботогольское месторождение графита. Отчет за 1943 г. (НКПСМ. Восточно-Сибирский геологоразведочный трест нерудных ископаемых «Сибгеолнеруд». Геологоразведочная экспедиция № 2. – Иркутск: 1943. Рукопись.

Ячевский Л. Об Алиберовском месторождении графита. Зап. СПб. Минер. О-ва, ч. XXXV, 1898 г. С. 34.

Ячевский Л.А. Алиберовское месторождение графита на Ботогольском гольце / Л.А. Ячевский // Геологические исследования и разведочные работы по линии Сибирской железной дороги. – СПб.: 1899. Вып. 11. С. 21.

References

Alibert J.-P. About finding graphite in Eastern Siberia by Tavastgus first-rate merchant Alibert // Bulletin of the Imperial Russian Geographical Society. 1854. Book 3. Ch. 1.

Glazov Yu.N. Botogolskoe graphite deposit in the Oka aimak of BMASSR. Report on geological exploration works in 1950. Vol. 3. – Irkutsk: 1951.

Mining Journal. 1879. VOL. 1.– P. 343–351.

State balance of mineral reserves of the Russian Federation as of January 1, 2019. Issue 54: Graphite. // FGBU "Rosgeolfond", 2019.

Isaikov G.L. Report on the works on additional exploration of the South-West deposit of Botogolskoye graphite deposit, conducted in 1968-70. – Irkutsk: 1971.

Kosygin I.P., Odintsov M.M., Shamansky L.I. Project of Geological Exploration at the Botogol Graphite Deposit in 1942. Manuscript.

Kupletsky B.M. Petrographic sketch of the Aliberovskoye graphite deposit. // Materials for the study of Russian graphite. Collection of articles. – L.: 1925. P. 55–56.

Labuntsov A.N. Description of the Aliberovskiy graphite mine. // Materials for the study of Russian graphite. Collection of articles. – L.: 1925. P. 39.

Lobzova, R.V. Graphite and alkaline rocks of the Botogol massif area / R.V. Lobzova. – Moscow: Nauka, 1975.– 123 p.

Materials for the study of Russian graphite. // Materials for the study of natural productive forces of the USSR. Collection of articles. No. 55. – Л.: 1925.

Nekrasov B.N. Aliberovskoe graphite deposit. // Mineral raw materials, No. 3, 1928.

Oreshkin I.I. Botogol graphite deposit. Preliminary report on the exploration work of the Institute of Applied Mineralogy in 1929 and 1930 // Mineral Raw Material, No. 8-9, 1930. P. 795–813.

Oreshkin I.I. Full Report on the Works of the Botogol Exploration Expedition for 1941. Manuscript.

Snopkov S.V., Khobta A.V. Botogol graphite. The Amazing History of a Unique Deposit. – Irkutsk: Typography "Ottisk", 2022. – 214 p.

Snopkov S.V., Khobta A.V. Siberian odyssey of Jean-Pierre Alibert. // Izvestiya laboratories of ancient technologies: scientific journal. No. 1 (42) – Irkutsk: Izd-vo IRNITU, 2022. – 243 p. P. 128–141.

Snopkov S.V., Khobta A.V., Bogdanova I.A. History of the discovery of the Botogol graphite deposit. Myths and facts. // [Electronic resource] // Geology and Environment. – 2022.– VOL. 2, No. 1.– P. 145–156.

Solonenko V.P., Kobelyatsky I.A. Eastern Sayers (popular science essay). – Irkutsk: Irkutsk Regional Publishing House, 1947.

Florensov N.A., Ostashkin I.P. Report of the Botogol Geological Exploration Expedition for 1942. Manuscript.

Florensov N.A., Sobolev V.S., Blinnikov I.I., Solonenko V.P. Botogol graphite deposit. Report for 1943 (NKPSM. East Siberian geological exploration trust of non-metallic minerals "Sibgeolnerud". Geological exploration expedition No. 2. – Irkutsk: 1943. Manuscript.

Yachevsky L. On the Aliberovskoye graphite deposit. Zap. SPB. Miner. O-va, ch. XXXV, 1898, p. 34.

Yachevskiy L.A. Aliberovskoe graphite deposit on Botogolskoe Goltse / L.A. Yachevskiy // Geological research and exploration work along the line of the Siberian railroad. – SPb.: 1899. Issue. 11. P. 21.

Снопков Сергей Викторович,

кандидат геолого-минералогических наук,
664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,
Иркутский государственный университет,
геологический факультет,
доцент,
664074, г. Иркутск, ул. Курчатова, 3,
Сибирская школа геонаук, Иркутский национальный исследовательский технический университет,
ведущий научный сотрудник,
email: snopkov_serg@mail.ru.

Snopkov Sergey Viktorovich,

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
664003 Irkutsk, Lenin str., 3,
Irkutsk State University, Faculty of Geology,
Associate Professor,
664074 Irkutsk, Kurchatov str., 3,
Siberian School of Geosciences, Irkutsk National Research Technical University,
Leading Researcher,
email: snopkov_serg@mail.ru.

Хобта Александр Викторович,

кандидат исторических наук,
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, д. 7,
Восточно-Сибирская железная дорога – филиал ОАО «РЖД»,
начальник подразделения по сохранению исторического наследия ВСЦНТИБ,
email: dcnti_hobtaav@esrr.ru.
Khobta Alexander Viktorovich,
Candidate of Historical Sciences,
7, Karla Marksa St., Irkutsk, 664003,
East Siberian Railroad - branch of JSC "Russian Railways",
Head of the Historic Heritage Preservation Division of the VSCSTIB,
email: dcnti_hobtaav@esrr.ru.

Богданова Ирина Анатольевна,
664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

*Иркутский государственный университет,
геологический факультет,
старший преподаватель,
email: irinairk@gmail.com.
Bogdanova Irina Anatolievna,*

*664003 Irkutsk, Lenin str., 3,
Irkutsk State University, Faculty of Geology,
Senior Lecturer,
email: irinairk@gmail.com.*

Достойное современное продолжение исследований ледников Мунку-Сардык С.П. Перетолчиным, начатое им в начале XX века

С.Н. Коваленко¹, А.Д. Китов²

¹Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

²Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В статье даётся сравнительный анализ достижений естественно-научных исследований ледников в районе г. Мунку-Сардык (Восточные Саяны) начала XX века знаменитого иркутского геолога, географа и климатолога Сергея Павловича Перетолчина (1863–1914) в сравнении с современными географическими исследованиями авторов статьи в начале XXI века.

Ключевые слова: хребет Мунку-Сардык, С.П. Перетолчин, научно-исследовательские работы, современные ледники, изучение ландшафтов, погоды и геологии.

A worthy modern continuation of the research of Munku-Sardyk glaciers by S.P. Peretolchin, started by him at the beginning of the XX century

S.N. Kovalenko¹, A.D. Kitov²

¹Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia. V.B. Sochava SB RAS, Irkutsk, Russia

Annotation. The article gives a comparative analysis of the achievements of natural-scientific studies of glaciers in the area of Munku-Sardyk (Eastern Sayan Mountains) in the early XX century of the famous Ir-Kutsk geologist, geographer and climatologist Sergey Pavlovich Peretolchin (1863–1914) in comparison with modern geographical studies of the authors of the article in the early XXI century.

Keywords: Munku-Sardyk Ridge, S.P. Peretolchin, research works, modern glaciers, study of landscapes, weather and geology.

К 160-летию С.П. Перетолчина.

Сергей Павлович Перетолчин родился 20 октября 1863 г. в Бодайбинском районе на Надеждинском прииске, принадлежавшем иркутскому купцу Трапезникову и погиб при странных обстоятельствах в маршруте при изучении вулканов Восточного Саяна в Окинском аймаке в Бурятии. С.П. Перетолчин является одним из видных деятелей естественников начала XX века города Иркутска. В 1897 г. он вступил в Императорское Русское географическое общество, в 1902–1910 г. учился на горном отделении Томского технологического института (ныне

Политехнический) по геологоразведочной специальности и получил звание горного инженера. При окончании он защитил дипломный проект «Детальная разведка рудного месторождения золота».

Самостоятельные научные географические и геологические исследования Сергей Павлович начал в 1896 г. Для своих исследований он выбрал ближайшие к Иркутску горные хребты, тогда еще очень плохо изученные. Всего на 200–300 руб., Сергей Павлович организовывал маршруты с одним проводником и одной-двумя вьючными ло-

шадьми. В 1896 г. Перетолчин дважды поднялся на Мунку-Сардык, главную вершину Восточного Саяна и подробно описал ледники и провел метеорологические наблюдения. Осенью, того же года он сделал доклад в Восточно-Сибирском отделе Географического общества и в том же году опубликовал статью об этой поездке в «Известиях» отдела.

В следующем, 1897 г., Отдел уже сам командировал его и другого члена Отдела, подполковника Е.М. Генинг-Михелиса для изучения Мунку-Сардыка и озера Косогол (Хубсугул-Далай). В последствие Е. Генинг-Михелис опубликовал в «Известиях» отдела большую статью об этой поездке (Генинг-Михелис, 1898). Е. де Геннинг-Михелис и С. Перетолчин опять достигли вершины, поднявшись по южному леднику на вершину (Перетолчин, 1897).



Рис. 1. Сергей Павлович и Варвара Ивановна Перетолчины в экспедиции на Мунку-Сардык (Обручев, 1973).

Fig. 1. Sergey Pavlovich and Varvara Ivanovna Peretolchin in the expedition to Munku-Sardyk (Obruchev, 1973).

В последующие годы С.П. Перетолчин ежегодно с 1898 по 1907 г. посещал ледники

Мунку-Сардыка и озеро Косогол. За эти годы он 12 раз подымался на самую высокую вершину Восточного Саяна (3491 м). В 1901–1907 гг. он ежегодно брал отсчеты по минимальному термометру, который установил в 1900 г. вблизи вершины Мунку-Сардыка на высоте 2860 м. В те годы в России это был исключительный случай — семилетнее непрерывное наблюдение минимальной температуры на такой высокой вершине (Обручев, 1973).

В свободное от занятий время в 1905–1908 гг. Сергей Павлович то работал на угольных копях Рассушина в Черемхове, то снова возвращался к своему любимому Мунку-Сардыку. Он опубликовал две большие статьи — одну о ледниках (1908), другую об озере Хубсугул (Косогол) (1903). Библиографию работ С.П. Перетолчина и других приводимых выше авторов см. (Перечень работ... 2023).

В 1909 г. Русское географическое общество наградило С.П. Перетолчина малой золотой медалью за его двенадцатилетние работы по изучению оледенения Восточного Саяна и озера Хубсугул. «С.П. Перетолчин вообще был робок в публикациях и печатал свои статьи лишь после того, как несколько раз побывал в изучаемом районе. Так, например, на Мунку-Сардыке он был двенадцать раз, на озере Хубсугул — не менее пяти (с 1897 по 1902 г.)... В архиве Географического общества хранится много путевых тетрадей и черновых набросков С.П. Перетолчина. Имеются два варианта физико-географического очерка Хубсугула, статья «Базальты оз. Косогол» (1910 г., ненапечатанная) и отчеты об отдельных годах исследований. Есть большая статья «К вопросу о нашем лесном хозяйстве» (1893), также ненапечатанная. Сохранился и «Отчет Томскому технологическому институту о командировке студента С.П. Перетолчина в 1903 г. для собирания минералогической и геологической коллекций». Поездка эта была сделана по инициативе В.А. Обручева в восточную часть Восточного Саяна на Слюдянку и озеро Хубсугул, на Мунку-Сардык и в верховья Иркутка. Из материалов фонда Перетолчина отметим еще «Краткий отчет об исследованиях в Иркутской губернии в

1888 г.» (Куда, Слюдянка, Хамар-Дабан), «Очерк современного состояния минеральных вод Ниловой Пустыни». Все эти черновики и отчеты говорят о разнообразии интересов Сергея Павловича.

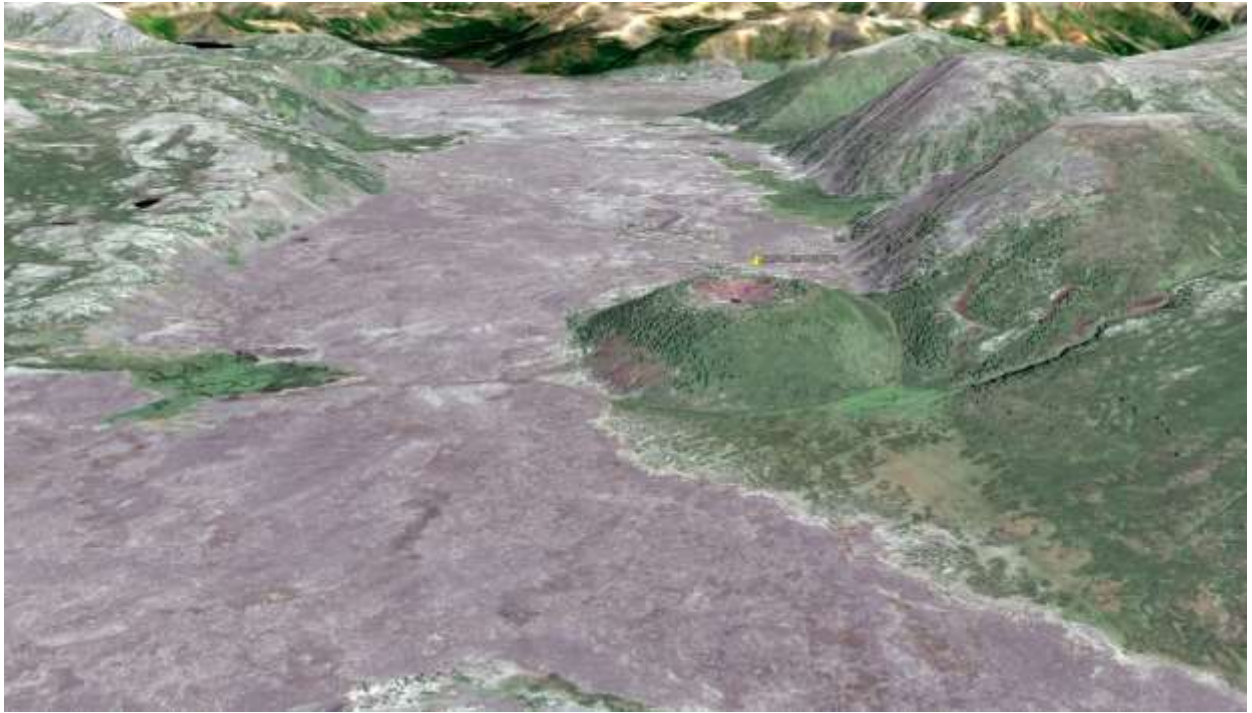
...Каково значение научных работ С.П. Перетолчина? Он был, безусловно, талантливым человеком, начал он исследователем типа краеведа, а потом постепенно превратился в специалиста-геолога. Его опубликованные работы о ледниках Мунку-Сардыка и оз. Хубсугул — очень тщательно выполненные всесторонние исследования физико-географического типа. Статья о хубсугульских базальтах — хорошее региональное геологическое исследование. В обоих районах Перетолчин был пионером: первый дал стоящие на современном научном уровне описания. Исследование вулканов

Джон-Болока также должно было стоять на том же уровне: после беглой поездки П.А. Кропоткина в 1865 г. никто не изучал вулканов. Геолог, вышедший из школы В.А. Обручева, конечно, должен был дать первоклассное описание вулканов и лавового потока. Очень жаль, что не сохранились записные книжки Перетолчина 1912 и 1914 гг.» (Обручев, 1973, с. 16 и 22).

Вулкан, фотографируя который он таинственно погиб, теперь назван его именем и является одним из красивейших вулканических конусов новейшего вулканизма в Восточном Саяне (рис. 2). На месте гибели жена его поставила памятник. Его именем назван также и ледник, исследованию которого он посвятил более 12 лет.



а)



б)

Рис. 2. Вулкан Перетолчина в вечернем свете, 3.07.2004, ф. В. Петухина (по Кривошеева, 2023) (а) и перспективный вид с юга на космоснимке Google Earth (б).

Fig. 2. Peretolchina volcano in evening light, 3.07.2004, f. V. Petukhin (after Krivosheeva, 2023) (a) and perspective view from the south on Google Earth satellite image (b).

25 июля 2006 г. нами был найден минимальный термометр Перетолчина (рис. 3), установленный им 19 июня 1900 г. (по старому стилю), и, начиная с этого года, мы уже 17 лет фиксируем минимальную годовую температуру на высоте 2900 м (табл. 1).

«Спиртовой minimum-термометр (работы Ф.О. Мюллера в С.-Петербурге) подвешен на проволочных подержках внутри цилиндрической железной коробки диаметром 15 см, длиной 50 см, снабженной небольшой продолговатой дверцей для осмотра прибора. Последнюю можно осторожно открыть и сделать отсчет термометра. Для новой установки указателя, коробку нужно вынуть из ее места, наклонить в сторону столбика

спирта, чтобы указатель скатился к его концу (*мениску*), и затем *осторожно, держа строго горизонтально*, положить ее на прежнее место и закрыть дверцею. Термометр заложен 19 июня 1900 года на абсолютной высоте 2860 метров, немного ниже границы явно-брачных растений... Заметное отступление от некоторых научно-технических условий установки термометра в данном случае положительно необходимо, так как и здесь возможны случаи, при которых демонстративно поставленный прибор может возбудить праздное любопытство какого-нибудь бурята-охотника и повлечь за собою неизбежную его порчу или поломку» (Перетолчин, 1908, с. 29–30, курсив наш).



Рис. 3. Минимальный термометр С.П. Перетолчина в металлической капсуле сделанной еще в 1900 г.
Fig. 3. Minimal thermometer of S.P. Peretolchin in a metal capsule made in 1900.

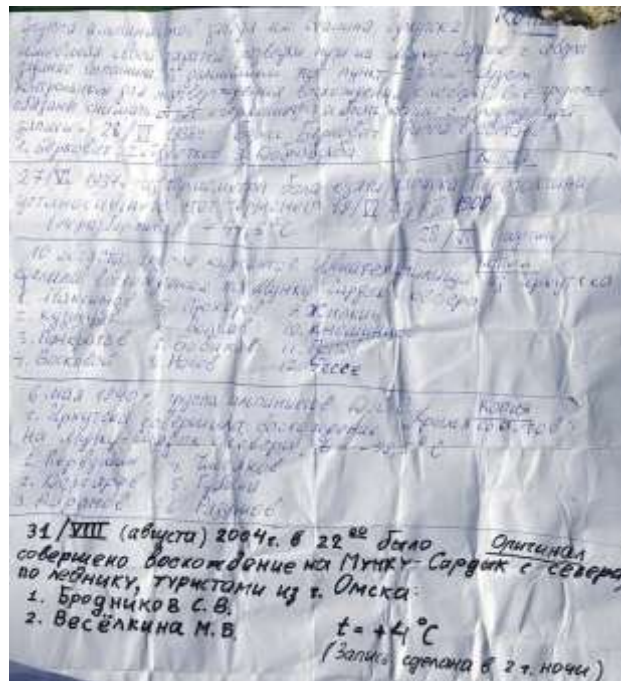


Рис. 4. Записка, извлеченная из капсулы термометра Перетолчина
Fig. 4. Note extracted from the capsule of the Peretolchin thermometer.

В капсуле с термометром находилась и записка, оставленная альпинистами (рис. 4), содержание которой приводится ниже.

Копия записки взятой 25.07.2006 г. в 10²²
 (орфография и пунктуация сохранены)

Копия

Группа альпинистов завода им. Сталина Иркутск-2 имевшая своей задачей разведки пути на Мунку-Сардык с севера задание выполнила. В дальнейшем этот пункт — 2800 м — будет контрольным для подтверждения восхождения с севера. Все группы обязаны снимать отчет с термометра и брать копии с предыдущей записи. 28/VI 1938 г. Борис Беркович. Группа в составе:

1. Беркович, 2. Цветков, 3. Добробаба.

Копия

27/VI 1937 г. Из термометра была взята записка Перетолчина установившего этот термометр 19/VI ст. ст. 1900 г. (неразборчиво) $-44,5^{\circ}\text{C}$ 28/VI (Подписи)

Копия

10 августа группа курсантов Авиатехучилища из Иркутска сделала восхождения на Мунку-Сардык с севера.

1. Максимов 5. Прохоров 9. Жилкин
2. Кузнецов 6. Волков 10. Кмошинцов
3. Панкратов 7. Бобиков 11. Попов
4. Восковой 8. Носов 12. Фессе

Копия

6 мая 1940 г. группа альпинистов Д.С.О. «Крылья Советов» г. Иркутска совершила восхождение на Мунку-Сардык с севера. $t = -49,5^{\circ}\text{C}$

1. Первушин 4. Чистяков
2. Дегтярев 5. Губина
3. Абрамов 6. Разумов

Оригинал

31/VIII (августа) 2004 г. в 22⁰⁰ было совершено восхождение на Мунку-Сардык с севера, по леднику, туристами из г. Омска:

1. Бродников С.В.
2. Веселкина М.В. $t = +4^{\circ}\text{C}$
(Запись сделана в 2 ч. ночи)

Подробности же содержания первой записки, оставленной С.П. Перетолчиным, мы неожиданно совсем недавно нашли в статье Б. Берковича, руководителя первого спортивного восхождения на вершину с северной стороны 27 июня 1937 г. (Беркович, 1937):

«Восточносибирское отделение императорского русского географического общества. Термометр-минимум поставлен близ ледника северного склона вершины Мунку-Сардык 19 июня 1900 г. Поставлен термометр членом отделения С. Перетолчиным».

Таблица 1

Показания минимальной температуры термометра Перетолчина, установленного 19 июня 1900 г. по старому стилю или 2 июля по новому стилю

Table 1

Readings of the minimum temperature of the Peretolchin thermometer set on June 19, 1900 old style or July 2 new style

Интервал охвата за зиму	Значение, °С	Наблюдатели	Средняя, °С
1900/1901 гг.	-36.0	С. Перетолчин	-34.58
1901/1902 гг.	-35.5	С. Перетолчин	
1902/1903 гг.	-33.5	С. Перетолчин	
1903/1904 гг.	-35.5	С. Перетолчин	
1904/1905 гг.	-32.4	С. Перетолчин	
1905/1906 гг.	-35.0	С. Перетолчин	
1906/1907 гг.	-34.2	С. Перетолчин	
2006/2007 гг.	-31.5	С. Коваленко, О. Дроздова	-34.14
2007/2008 гг.	-34.2	С. Коваленко, А. Китов	
2008/2009 гг.	-37.3	С. Коваленко	
2009/2010 гг.	-34.0	С. Коваленко	
2010/2011 гг.	-34.2	С. Коваленко	
2011/2012 гг.	-38.0	А. Китов	
2012/2013 гг.	-33.2	С. Коваленко, А. Китов	
2013/2014 гг.	-34.1	А. Китов, Е. Иванов	
2014/2015 гг.	-35.5	С. Коваленко	
2015/2016 гг.	-31.7	С. Коваленко	
2016/2017 гг.	-30.8	А. Китов, Е. Иванов	
2017/2018 гг.	-37.2	Данные с термохрона	
2018/2019 гг.	-37.3	С. Коваленко	
2019/2020 гг.	-33.3	С. Коваленко, А. Коваленко	
2020/2021 гг.	-35.5	А. Китов, Е. Иванов	
2021/2022 гг.	-30.0	А. Китов, А. Белоусов	
2022/2023 гг.	-32.5	А. Китов, А. Белоусов	

Как следует из результатов анализа данных табл. 1, средняя минимальная температура начала XX века отличается от средней минимальной температуры начала XXI века всего на 0.44 °С в сторону похолодания.

Кроме того, с лета 2009 года рядом с минимальным термометром и других узловых местах установлены специальные энергонезависимые приборы-самописцы — термохроны (I-button), представляющие из себя полностью защищенные терморегистраторы весом всего 3 г и диаметром 17 мм, упакованные

в корпусе, изготовленные из химически и биологически инертной медицинской нержавеющей стали, измеряющие температуру и сохраняющие в собственной памяти снабженные временными отметками результаты последних измерений за период от 1.5 суток до 1 года. Сначала термохроны закапывались в грунт на глубину 40 см, а с 2011 года были вынесены на поверхность рядом с артефактом (термометром Перетолчина). Показания термохронов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Данные минимальной температуры за год с термохронов устанавливаемых рядом с минимальным термометром Перетолчина

Интервал охвата за зиму	Дата	Значение °С
2009/2010	30-31.12.2009	-20.0*
2009/2010	13-14.02.2010	-25.5*

2010/2011	25.01.2011	-26.2*
2011/2012	13.12.2011	-25.3
2011/2012	28.01.2012	-37.4
2012/2013	29.11.2012	-26.5
2012/2013	17.02.2013	-30.0
2013/2014	22.10.2013	-18.6
2014/2015	30.11.2014	-33.5
2014/2015	20.02.2015	-28.5
2015/2016	23.12.2015	-28.6
2015/2016	21.01.2016	-31.6
2016/2017	20.11.2016	-28.9
2016/2017	28.01.2017	-30.2
2017/2018	15.12.2017	-26.2
2017/2018	21.01.2018	-37.2
2018/2019	05.12.2018	-36.4
2018/2019	06.02.2019	-36.9
2019/2020	06.02.2019	-37.3
2019/2020	01.02.2020	-28.0
2020/2021	16.12.2021	-24.8
2021/2022	13.02.2022	-25.3
2022/2023	28.11.2022	-32.3
2022/2023	23.01.2023	-30.3

* Термохрон был установлен в грунте 40 см

Величина территории современного нашего охвата эпизодическими наблюдениями за погодными характеристиками составляет более 50 км². Во время наиболее интенсивного наплыва туристов (конец апреля – начало мая, весь июль – начало августа) в различных точках территории нами фиксируются минимальная и максимальная ежедневная температуры, изменения атмосферного давления, изменения температуры, осадки, ветер, атмосферные явления. В 2013-2014 гг. в течение года на трассе наиболее популярного маршрута восхождения на Мунку-Сардык на высотах 1800, 2100, 2600 метров работали автоматические метеостанции, каждые три часа фиксирующие, кроме вышеуказанных параметров, еще влажность, скорость и направление ветра, объем и время выпадения жидких осадков (Ключникова, 2013).

Научные исследования выполняются студентами и преподавателями студенческо-преподавательского клуба «Портулан» ПИ ИГУ, научными сотрудниками Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. До 2005 года экспедиции проходили в самое благоприятное для туристических и альпинистских восхождений время — в конце ап-

реля начале мая, когда окружающая природа только еще просыпается от зимней спячки. С 2002 года клубом Портулан предпринято 43 экспедиции в район г. Мунку-Сардык. Количество участников, охваченных этими экспедициями в разные годы, составляло: в 2002 г. — 6 чел.; 2003 г. — 13 чел.; 2004 г. — 16 чел.; 2005 г. — 24 чел. и 4 летом; 2006 г. — 28 чел. и 10 чел. летом; 2007 г. — 20 чел. и 5 чел. летом; 2008 г. — 21 чел. и 2 чел. летом; 2009 г. — 29 чел. и 4 летом; 2010 г. — 20 чел. и 5 летом; 2011 г. — 26 чел. и 5 летом; 2012 г. — 12 чел.; 2013 г. — 20 чел., 6 чел. летом и 5 чел. осенью; 2014 г. — 42 чел. и 6 чел. летом; 2015 г. — 31 чел. и 4 чел. летом; 2016 г. — 30 чел. и 7 чел. летом; 2017 г. — 33 чел. и 5 чел. летом; 2018 г. — 17 чел. и 4 чел. летом; 2019 г. — 44 чел. и 4 чел. летом; 2020 г. — весной из-за коронавируса не состоялась, зато летом было две экспедиции в июне и июле — 8 чел.; 2021 г. — 37 чел. и 5 чел. летом; 2022 г. — 20 чел. и 5 летом; 2023 г. — 20 чел. и 4 летом.

Общее количество участников экспедиций составило 548 человек. Летние экспедиции добавились к ежегодным зимним с 2005 года, и проходят в течение последних дней лета и начале осени, а для находящихся

здесь горных ледников, до начала зимней спячки (примерно с 20 июля по 10–13 августа). Совместно с клубом летом проводятся экспедиции и Институтом географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (г. Иркутск). Основным исполнителем долгие годы являлась, вначале дипломница ИГПУ, а затем и аспирантка вышеназванного института, О.В. Дроздова, изучавшая ледниковые ландшафты Восточного Саяна. Ей помогали ее руководитель диплома доцент ВСГАО С.Н. Коваленко, с.н.с. ИГ СО РАН А.Д. Китов и члены клуба Портулан. С 2008 года основными исполнителями научных исследований становятся А.Д. Китов (гляциологические и ландшафтные наблюдения); С.Н. Коваленко (геологические, геоморфологические, гляциологические, метеорологические наблюдения), ст-т ИГПУ, асп. и н.с., канд. геогр. наук ИГ СО РАН Е.Н. Иванов (палеоклиматические и гляциологические исследования); в разные годы принимают участие ст-т ИГПУ, асп., с.н.с., канд. биол. наук Иркутского научно-исслед. противочумного ин-та Сибири и Дальнего Востока А.В. Холин (исследования и наблюдения за животным миром); ст-т ИГПУ, асп. ИГ СО РАН И.И. Рязановский (исследование селевых паводковых образований); ст-т ИГПУ, асп. и с.н.с., канд. геогр. наук ИГ СО РАН В.А. Преловский (зоологические наблюдения); ст-т ВСГАО В.А. Ильинский (эрозионные процессы); ст-ка ВСГАО Э.В. Мункоева (наледные явления); ст-ка ВСГАО К.С. Ключникова (микроклиматические исследования и метеорологические наблюдения); асп., инж. ИГ СО РАН В.Ю. Белоусов (снежники).

В течение 2002–2023 гг. участниками экспедиций был открыт новый ледник, названный из-за своей формы в плане «Бабочкой»; впервые в районе обнаружен и описан мерзлотно-каменный горный поток (2013 г.); выделены и описаны многочисленные палеоледниковые формы рельефа прогрессивной стадии и восьми стадий отступления ледников района; отобраны пробы льда, выполнены описания рельефа, ландшафтов, снежных, наледных и оползневых явлений, растительности, найден (25 июля 2006 г.) минимальный термометр Перетол-

чина, установленный им 19 июня 1900 года по старому стилю; найдены и отобраны пробы остатков древнего дерева с возрастом 6280 ± 70 лет (2008 г.), обнаруженного значительно выше современной границы леса; с помощью спутниковых навигационных приемников проведены измерения границ и абсолютных высот пяти ледников — Перетолчина, Южного, Радде, Бабочка (2007–2008 гг.) и Пограничного, замерены площади озер, наледей, бараньих лбов, простирающихся осей морен и др.; произведено сравнительное фотографирование ледников с тех же самых точек, с которых ледники фотографировались С.П. Перетолчиным в 1900 г.; нанесены места многочисленных стоянок (биваки) туристов; уточнены траектории основных троп и обнаружены новые, которые можно использовать для туристических и научных экскурсий; в начале 2014 г. вышли в мировую интернетовскую паутину, создав и начав наполнять естественнонаучный сайт <http://munku-sardyk.ru>. Результаты наших исследований оперативно (под стать С.П. Перетолчину) публикуются в открытой печати. С 2002 года нами по естественнонаучной тематике по району Мунку-Сардыка опубликовано 93 научных работы. Полный список работ см. на сайте (Перечень работ... 2023).

Литература

Де-Геннинг-Михелис Е. В Северной Монголии. (Экспедиция на Мунку-Сардык и Косогол в 1897 г.) // Известия Вост.-Сиб. отд. Рус. Геогр. о-ва. – Иркутск, 1898. – Т. XXIX, №. 3. – С. 151–190.

Ключникова К.С. Использование микроклимата рекреационной зоны горы Мунку-Сардык. Статья 1 / К.С. Ключникова // Вестник кафедры географии ВСГАО. – 2013. – № 3–4 (8). – С. 38–45.

Кривошеева Н. По хребту Кропоткина (2004 г.) [Электронный ресурс] / Н. Кривошеева // Природа Байкала : сайт. – URL: <https://nature.baikal.ru/phtext.shtml?id=1371/>. (дата обращения 7.09.2023).

Обручев С.В. Жизнь и смерть С.П. Перетолчина [Электронный ресурс] // Таинственные истории. – М.: Мысль, 1973. – С. 15–22. – Электрон. версия печат. публ. – Режим доступа: <https://litmir.club/br/?b=180129&p=15>. (дата обращения 7.09.2023).

Перетолчин С.П. Восхождение на Мунку-Сардык летом 1896 года.– Изд. Вост. Сиб. отд. ИРГО.– 1897.– № 4.– С. 270–279.

Перетолчин С.П. Ледники хребта Мунку-Сардык // Изв. Томск. техн. ин-та.– Т. 9.– Томск : Типо-литография Сиб. т-ва печатного дела, 1908.– 60 с.

Перечень работ авторов по району исследований [Электронный ресурс] // Мунку-Сардык : сайт.– URL: <http://munku-sardyk.ru/bibliography/>. (дата обращения 7.09.2023).

References

De-Genning-Michelis E. In Northern Mongolia. (Expedition to Munku-Sardyk and Kosogol in 1897) // *Izvestiya Vost.-Sib. of Rus. Irkutsk*, 1898, Vol. XXIX, No. 3. – С. 151–190.

Klyuchnikova, K.S. Use of micro-climate of the recreational zone of Munku-Sardyk Mountain. Article 1 / K.S. Klyuchnikova // *Vestnik of the Department of Geography VSGAO*. – 2013. – No. 3-4 (8). – P. 38-45.

Коваленко Сергей Николаевич,

кандидат геолого-минералогических наук,

664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

Иркутский государственный университет, геологический факультет,

доцент кафедры динамической геологии,

тел.: (3952)20-16-39,

email: igpug@mail.ru.

Kovalenko Sergey Nikolaevich,

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,

664003 Irkutsk, Lenin str., 3,

Irkutsk State University, Faculty of Geology,

Associate Professor of the Department of Dynamic Geology,

tel.: (3952)20-16-39,

email: igpug@mail.ru.

Китов Александр Данилович,

кандидат технических наук,

664033 Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1,

Институт географии им. В.Б. Сочавы, СО РАН,

старший научный сотрудник,

тел.: (3952) 42–74–72,

email: kitov@irigs.irk.ru.

Kitov Aleksandr Danilovich,

Candidate of Technical Sciences,

664033 Irkutsk, Ulaanbaatarskaya str., 1,

Sochava Institute of Geography, CO RAS,

Senior Research Fellow,

tel.: (3952) 42–74–72,

email: kitov@irigs.irk.ru.

Krivosheeva, N. Along the Kropotkin Ridge (2004) [Electronic resource] / N. Krivosheeva // *Nature of Baikal* : site. – URL: <https://nature.baikal.ru/phtext.shtml?id=1371/>. (date of address 7.09.2023).

List of authors' works on the area of research [Electronic resource] // Munku-Sardyk : website. – URL: <http://munku-sardyk.ru/bibliography/>. (date of reference 7.09.2023).

Obruchev S.V. Life and death of S.P. Peretolchin [Electronic resource] // *Mysterious stories*.– M.: Mysl, 1973. – P. 15–22. – Electronic version of printed publ. – Mode of access: <https://litmir.club/br/?b=180129&p=15>. (date of address 7.09.2023).

Peretolchin S.P. Ascent to Munku-Sardyk in the summer of 1896. – *Izd. Vost. Sib. отд. ИРГО*. – 1897. – No. 4. – P. 270–279.

Peretolchin S.P. Glaciers of the Munku-Sardyk Ridge // *Izv. Tomsk. teh. inst.* – Vol. 9. – Tomsk : Typo-lithography of the Sib. printing house, 1908. – 60 p.

Предшественники и участники открытия Марковского месторождения нефти и газа

А.Т. Корольков, Д.К. Васенков

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Прослежена история открытия первых месторождений нефти и газа на Сибирской платформе от первой залежи нефти на Чемиканской площади в бассейне р. Толбы (Саха-Якутия) до открытия первого Марковского нефтегазоконденсатного месторождения. Показана роль отца сибирской нефти Василия Михайловича Сеньюкова в получении первой нефти на Сибирской платформе и в продвижении идеи опорного бурения в ее пределах. Несмотря на случайность открытия Марковского месторождения (фонтана нефти) в 1962 году, разведочные работы в его пределах указали дальнейшее направление поисков в северном направлении в 90 км от Марково (в пределах Непского свода).

Ключевые слова: Сибирская платформа, кембрийские коллектора, опорное бурение, Марковское месторождение нефти и газа, Непский свод.

Predecessors and participants in the discovery of the Markov oil and gas field

A.T. Korolkov, D.K. Vasenkov

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Abstract. The history of the discovery of the first oil and gas fields on the Siberian platform is traced from the first oil deposit on Chemikanskaya Square in the Tolba River basin (Sakha-Yakutia) to the discovery of the first Markov oil and gas condensate field. The role of the father of Siberian oil Vasily Mikhailovich Senyukov in obtaining the first oil on the Siberian platform and in promoting the idea of reference drilling within its limits is shown. Despite the accidental discovery of the Markov field (oil fountain) in 1962, exploration work within its limits indicated the further direction of the search in the north direction 90 km from Markovo (within the Nepsky Vault).

Keywords: Siberian platform, Cambrian reservoirs, support drilling, Markovskoye oil and gas field, Nepsky vault.

Введение

История открытия месторождений полезных ископаемых — один из важных воспитательных и поучительных аспектов обучения геологов. Общеизвестно, что геологический факультет ИГУ стоял у истоков открытия обширной и богатой Якутской алмазонасной провинции благодаря смелому прогнозу, настойчивости по его проверке, знаниям и организаторским способностям первого декана самостоятельного геологического факультета ИГУ, отца сибирских алмазов Михаила Михайловича Одинцова, ко-

торый вдохновил на совместную работу многих геологов-производственников, преподавателей и студентов (Корольков, 2017).

Открытие месторождений нефти и газа на Сибирской платформе произошло в течение длительного времени. И в этом случае имела место интуиция молодого геолога-нефтяника В.М. Сеньюкова, которому в свое время не поверили корифеи нефтяной геологии (Файнштейн, Лебедь, 1980). Но неукротимая энергия, вера в свою идею и упорство в достижении цели привели его к успеху — получению первой нефти с глубины 370 м.

Однако, сразу закрепить результат помешала Великая Отечественная война 1941-1945 года. В послевоенное время по инициативе этого же геолога, поддержанной И.М. Губкиным, началось масштабное бурение редких опорных скважин с керном без четких представлений о глубинных структурах, в которых локализируются залежи нефти и газа. Поэтому длительное время не удавалось открыть ничего серьезного. Но в 1962 году одна из скважин в районе п. Марково дала фонтан нефти... Скважина была пробурена не в том месте, где предусматривал проект. Позже обнаружилось, что Марковское месторождение нефти и газа – среднее по запасам. Но детальная разведка установленных коллекторов этого первого в Иркутской области месторождения указала на их пространственную ориентировку и дала направление для дальнейших поисков.

Сейчас много специалистов-нефтяников (в том числе обучавшихся на геологическом факультете ИГУ) работает на поисках, разведке и эксплуатации месторождений нефти и газа Сибирской платформы. Хорошее знание истории открытий месторождений нефти и газа — залог новых свершений в их работе.

В.М. Сенюков — первооткрыватель залежи нефти в Сибири

Василий Михайлович Сенюков для нефтяников — такая же легендарная личность, как и Михаил Михайлович Одинцов. Родился он 7 января 1907 года в Вологодской губернии, а умер 22 августа 1975 года в возрасте 68 лет. В юном возрасте ему повезло заниматься поисками нефти и газа в родных краях в экспедиции (Файнштейн, Лебедь, 1980). Это зародило страсть к обучению и предопределило его будущую специальность нефтяника. В.М. Сенюков закончил Московский нефтяной институт (сейчас Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина) в 1935 году (Сенюков, электронный ресурс). Еще студентом он оказался на практике в Восточной Сибири. В то время изучали нефть- и газопроявления... на восточном побережье оз. Байкал, где даже было пробурено несколько глубоких скважин в начале два-

дцатого века (Файнштейн, Лебедь, 1980; Исеев, 2022). Считалось, что дно глубокого оз. Байкал подстилается кембрийскими отложениями, богатыми водорослями и другой органикой, которые способны формировать нефтематеринские породы. По разломам восточного побережья оз. Байкал нефть поступала к поверхности, где находили многочисленные проявления углеводородов в древних, молодых породах и в воде озера. У молодого студента-нефтяника зародилась смелая идея о проверке кембрийских пород Сибирской платформы на нефть и газ, которые располагались в пределах ее чехла на больших глубинах. Свои представления В.М. Сенюков в развернутом виде представил на защите курсовой работы, что вызвало негативную реакцию у членов аттестационной комиссии. Защита диплома также была оценена на удовлетворительно. Но это не остановило молодого нефтяника, а подтолкнуло к поискам возможностей для проверки своей идеи. Поразительно, что В.М. Сенюкову удалось пробиться на прием к Серго Орджоникидзе – народному комиссару тяжелой промышленности СССР (Орджоникидзе, электронный ресурс), который решил пригласить самых авторитетных специалистов для обсуждения поставленной проблемы. Главные ученые-нефтяники были преимущественно преподавателями того вуза, который только что закончил В.М. Сенюков. Конечно, они дали отрицательное заключение. Но неожиданно проект поддержал Иван Михайлович Губкин (Губкин, электронный ресурс), присутствовавший на заседании у министра. И Серго Орджоникидзе выделил средства для глубокого бурения из скромных ресурсов того времени (на тот момент имелось оборудование только для 16 скважин на всю страну). Буровое оборудование морскими кораблями завезли сначала Северным морским путем, затем от устья р. Лена до предполагаемого района бурения. И уже в 1935 году на Чемкианской площади в бассейне р. Толба (Саха-Якутия) с глубины 370–385 м был получен приток нефти. Это стало доказательством правильного прогноза молодого нефтяника Василия Михайловича Сенюкова.

Представляю, с какой гордостью он показал в бутылке густую смолянистую жидкость Серго Орджоникидзе! Но вскоре началась война... Много геологов вдохновились находкой нефти в Восточной Сибири и устремились искать следы выходов углеводородов на дневную поверхность. Даже М.М. Одинцов в 1939 году был направлен на проверку залежей нефти и газа в бассейн р. Нижней Тунгуски вместе со студентом из п. Марково (Одинцов, 1980). В маршрутах никаких серьезных признаков углеводородов они не обнаружили, но обратили внимание на обнажения трапповой формации, которые стали для М.М. Одинцова основой для прогноза на алмазы и организации первой алмазной экспедиции в бассейне р. Нижней Тунгуски. В годы войны дальнейшее изучение нефтяных залежей Сибирской платформы было приостановлено. В это время Василий Михайлович Сенюков работал в пределах Восточно-Европейской платформы. Благодаря своему нетрадиционному мышлению и упорству, он открыл месторождение нефти и газа в Саратовской области, а позже руководил строительством первого газопровода от Саратова до Москвы. За эти открытия получил заслуженные награды: Сталинскую премию первой степени (1941) - за открытие первой нефти на Сибирской платформе и научный труд «Река Толба и нефтеносность северного склона Алданского массива» (1938); Сталинскую премию первой степени (1946) — за открытие и исследование Елшано-Курдюмского газового месторождения близ Саратова. Стал первым в СССР доктором геолого-минералогических наук в 1938 году за открытие месторождений нефти в Восточной Сибири (без защиты диссертации). Но времена были сложные, по доносу в 1952 году его арестовали и отправили на Лубянку. Существует версия, что И.В. Сталин отказался ликвидировать В.М. Сенюкова со словами «Дважды Сталинского лауреата расстрелять не могу позволить» (рис. 1).



Рис. 1. Василий Михайлович Сенюков — первооткрыватель нефти на Сибирской платформе.

Fig. 1. Vasily Mikhailovich Senyukov — discoverer of oil on the Siberian platform.

После успешной находки нефти в Восточной Сибири В.М. Сенюков был заместителем, позже - начальником Главного геологического управления Наркомата топливной промышленности СССР (1938–1942 годы) и одновременно — зав. кафедрой геофизических и геохимических методов разведки родного института (1940–1942 годы), начальником комплексной экспедиции Наркомнефти по Урало-Волжской провинции и начальником Государственной геологической экспертизы по газопроводу Саратов — Москва (1942–1946 годы), директором института ВНИГРИ (1946–1952 годы), зав. лабораторией и сектором геохимических исследований ВНИИ природных газов. За свою трудовую деятельность награжден орденами Ленина, Красной Звезды, Знак Почета (дважды), был Заслуженным деятелем науки и техники Коми АССР и Якутской АССР. Скончался в 1975 году после травмы, полученной в ходе эксперимента по строительству беструбного тоннелепровода.

Скважины опорного бурения

Еще до войны В.М. Сенюков вместе с И.М. Губкиным обсуждали идею бурения

редких скважин большой глубины с керном. В 1939 году Губкин И.М. ушел из жизни. Во время войны этим проектом не занимались. Но обнаружение нефти на Сибирской платформе и острая необходимость в открытии новых месторождений нефти и газа требовали продолжения поисковых работ. Надежных глубинных структур, связанных с залежами углеводородов, в первые послевоенные годы не знали. Результаты сейсморазведочных работ отсутствовали. В.М. Сенюков стал настойчиво продвигать идею опорного бурения одиночных скважин через сотни км друг от друга по всей территории Сибирской платформы. Он считал, что открытие залежей нефти возле поднятия Алданского щита в 1935 году показало, что нефтематеринские кембрийские породы здесь в значительной степени приподняты и уничтожены процессами выветривания в результате поднятия. Поэтому искать надо глубинные сводовые поднятия в центральной части Сибирской платформы. Опорные скважины должны располагаться по профилям, пересекающим по длине и ширине бассейнов осадконакопления с предполагаемыми залежами углеводородов. Бурить предлагалось вплоть до границы с фундаментом платформы. В качестве первоочередных интуитивно В.М. Сенюков предлагал участки, расположенные в северной части Иркутской области: Усть-Кутский, Божеханский, Бельский. В 1947 году в Иркутске состоялась первая Всесоюзная конференция по изучению производительных сил Восточной Сибири, где им был сделан доклад (Сенюков, 1947). После продолжительной дискуссии конференция подтвердила необходимость опорного бурения. Но неопределенность прогноза и стремление сделать открытия месторождений нефти и газа быстрее и более дешевым способом привели к тому, что бурить опорные скважины, игнорируя интуитивные рекомендации В.М. Сенюкова, начали в 1947–1953 годах преимущественно возле транссибирской железнодорожной магистрали, а не на севере. Когда скважины

вблизи железной дороги оказались пустыми, решили вообще свернуть работы.

Марковский фонтан нефти — случайное открытие

Из Министерства нефтяной промышленности СССР пришел приказ о закрытии треста «Востнефтегазгеология» (Файнштейн, Лебедь, 1980), который производил бурение опорных скважин. Но в этот же день поступила радиограмма из партии, которая бурила скважины на Осинской площади, где был получен приток легкой нефти с дебитом в 200 литров в сутки. Это сообщение заставило Министерство со скрипом отменить подготовленный на ликвидацию треста приказ. Бурение продолжилось возле Осинской площади по принципу «ищи нефть возле нефти» без детальной предварительной подготовки структур. Когда стало понятно, что в южной части Иркутской области ничего серьезного не найти, было решено обратить внимание на северные районы. Еще перед войной В.А.Обручев обнаружил поднятие кембрийских осадочных пород возле поселка Марково Усть-Кутского района. После войны в 1952 году, когда северные районы считались перспективными, партией под руководством молодой выпускницы Московского нефтяного института Кармеллы Гейселевны Гинзбург было произведено более детальное изучение этой антиклинальной структуры. Но бурить опорную скважину здесь приступили только в 1960 году. Старый поселок Верхнее Марково располагался на правом берегу р. Лены, а новый поселок нефтеразведчики построили на левом берегу. По проекту скважина должна была располагаться на правом берегу вблизи старого поселка Верхнее Марково. Для бурильщиков выбранная площадка была неудобной. Поэтому в Иркутске в тресте «Востсибнефтегазгеология» буровики решили согласовать изменение места для бурения опорной скважины (рис. 2). Начальник геологического отдела треста А.С.Повышев согласился с их мнением.



Рис. 2. Место бурения первой скважины в п. Марково на левом берегу р. Лена, из которой был получен фонтан нефти в 1962 году.

Fig. 2. Drilling site of the first well in Markovo settlement on the left bank of the Lena River, which produced an oil fountain in 1962.

Следует сказать, что позже на правом берегу пробурили разведочную скважину, которая оказалась пустой. То есть не было бы открытия Марковского нефтегазоносного месторождения, если бы опорная скважина бурилась в том месте, где предусматривал проект. Начальником буровой партии был назначен В.В. Криворучко, главным геологом Л. К. Овченков. бурение проводили опытные бурильщики. Породы, которые вскрывались скважиной, доставили много хлопот главному геологу Овченкову Леониду Кузьмичу. С образцами керна он неоднократно выезжал в Иркутск для консультации. Породы были раздроблены и перетерты, включали куски пропитанного битумом материала, одинаковые породы повторялись дважды. Стало ясно, что скважина попала в зону разлома. На глубине 580 м был обнаружен интервал пород, насыщенных черным битуминозным веществом. С глубины 1280 м достали образец, пропитанный по порам и кавернам полужидкой нефтью. Когда эти

образцы Овченков показал главному геологу треста В.Е. Мосеву, тот посоветовал крайне осторожно проводить дальнейшее углубление скважины. Скважина была укреплена восьмидюймовыми обсадными трубами, установили противовыбросовое оборудование — превентор. Хотя контроль за проходкой скважины был усилен, фонтан нефти ударил мощно и внезапно...

18 марта 1962 года проводились выборы в Верховный Совет СССР. Л.К. Овченков был назначен председателем избирательной комиссии, которая размещалась на правом берегу р. Лена. Бурение в этот день вела буровая вахта под руководством Фондеева Николая Александровича. На глубине 2164 м раствор, идущий по скважинам, начал пульсировать. При увеличении промывки скважины оказалось, что желоба и приемный амбар бурового раствора забиты пеной. То есть стало ясно, что врезались в продуктивный горизонт. Срочно начали поднимать буровые трубы на 250 м (10 свечей), чтобы за-

крыть плашки превентора. Успели поднять только 9 свечей. Воздух насытился газом. Дизеля продолжали работать даже без подачи топлива. Только после того, как забили воздухопроводы тряпками, дизеля замолчали. Снизу нарастал грозный гул, вибрировали мостки, шапка пены накрыла ротор. Н.А. Фондеев скомандовал: потушить огни, всем покинуть буровую! Но мощная струя нефти через буровой инструмент рванула вверх, разбилась на капли, осыпала людей. Потом по желобам и по мосткам устремилась потоком в ближайший овраг. Нефть содержала большое количество сероводорода. Образовавшееся нефтяное озеро окуталось ядовитым облаком, которое устремилось к поселку. Нефтяники стояли изумленные и радостные одновременно! Прибежал с правой стороны р. Лена Л.К. Овченков прямо с избирательной урной в руках... В суете не заметили, как погиб каротажник Виталий Ефименко, отбирая в бутылки пробы нефти с большим содержанием ядовитого сероводорода. Только через месяц удалось укротить нефтяную стихию, сжечь озеро нефти и спасти р. Лену.

После открытия Марковского месторождения на север устремились геологи, строители, буровики, журналисты и писатели... Одним из первых прилетел Василий Михайлович Овченков — отец сибирской нефти в кембрийских породах. Константин Симонов и Евгений Евтушенко посвятили свои статьи и стихи Марковскому чуду. Для руководства Марковской разведочной экспедицией был назначен Борис Абович Фукс, который сумел наладить ритмичную работу по разведке месторождения, проявив при этом заботу о людях (организовал в короткие сроки строительство жилья, объектов соцкультбыта, заинтересовал людей не только работой, но и спортом, творчеством). Однако проведенная разведка показала, что в районе п. Марково открыто среднее по запасам нефтегазовое месторождение.

Значение месторождения

Оценили Марковское месторождение в результате разведочных работ за четыре года. По геологическому строению оно оказалось сложным, а по запасам — средним. После успешной борьбы с фонтаном наиболее прогрессивные и опытные геологи хотели следующую скважину бурить до пород фундамента Сибирской платформы (В.М. Сенью-

Марковского

ков, В.Д. Мосев, К.А. Савинский, Л.К. Овченков и др.). Но Министерство нефтяной промышленности СССР эту идею не поддержало, а предложило сосредоточиться на разведочных работах только того коллектора, из которого был получен приток нефти при фонтане (осинский горизонт). Через два года стало ясно, что этот пласт промышленные показатели имеет только в узкой зоне дробления, связанной с глубинным разломом. Кроме того, было установлено, что Марковское поднятие верхних горизонтов связано с солевой тектоникой. Ниже соляной толщи породы залегают спокойно и полого воздымаются в северном направлении. Одна из скважин, пробуренная ниже осинового горизонта, вскрыла песчаники с хорошими коллекторскими свойствами и залежью газов. Поиски были переориентированы на изучение этих песчаников, но по простиранию они быстро заместились непроницаемыми породами. Скоро Б.А. Фукс и Л.К. Овченков поняли, что нефтяники повторили старую ошибку: искали нефть возле нефти на ограниченной Марковской площади (как когда-то раньше возле Осиновской площади недалеко от транссибирской магистрали). Поэтому они предложили пробурить параметрическую скважину в 90 км севернее Марково в бассейне р. Нижней Тунгуски, так как в этом направлении воздымались подсольевые песчаные горизонты. Это предложение поддержал зав. отделом нефти и газа ВостСибНИИГГиМСа на тот момент Алексей Иванович Золотов. Он вспомнил идею Н.С. Шатского и др. ученых о предполагаемом крупном поднятии на севере Иркутской области (Непском своде) и высказал мысль, что по мере приближения к центральной части свода песчаные коллектора будут выклиниваться из разреза, а на фундаменте платформы будут залегать вышележащие галогенно-карбонатные породы. В дальнейшем это блестяще подтвердилось. Позже А.И. Золотов стал профессором, начальником управления нефти и газа Мингео СССР. Таким образом, в результате разведочных работ на Марковском месторождении было намечено направление прослеживания разведочными скважинами перспективных коллекторов с нефтью и газом на северных от Марково площадях. Это привело к открытию других крупных месторождений углеводородов. Кроме того, был получен бесценный опыт работы многочисленной плеяды геологов, буровиков, геофизиков по

поискам и разведке нефтегазоносных площадей в условиях севера Восточной Сибири.

Заключение

Представленная в статье история открытия залежей нефти и газа на Сибирской платформе позволяет сделать несколько выводов.

1. Для открытий требуются нестандартное мышление, знания, интуиция, смелость, настойчивость, целеустремленность, которые наиболее ярко проявляются в молодом возрасте.

2. Василия Михайловича Сенюкова, обладавшего этими чертами характера, можно по праву назвать отцом сибирской нефти. Загоревшись идеей открытия нефти на Сибирской платформе еще в студенческие годы, он в 28 лет открыл первые залежи нефти в бассейне р. Толбы (Саха-Якутия), целеустремленно продвигая и отстаивая свои взгляды на всех уровнях даже без надежных доказательств.

3. Открытие было бы невозможно без поддержки главного нефтяника того времени Ивана Михайловича Губкина и наркома тяжелой промышленности СССР Серго Орджоникидзе, которые поверили интуиции, энергии молодого нефтяника В.М. Сенюко-

ва, выделили средства и оборудование для бурения.

4. Опорное бурение, позже предложенные В.М.Сенюковым и И.М.Губкиным, — наиболее правильный путь открытия крупных месторождений нефти и газа, приуроченных к глубинным структурам, когда нет необходимой надежной информации по этим структурам.

5. Открытие Марковского месторождения нефти и газа подготавливалось многими геологами, но все же произошло случайно из-за отказа от бурения в том месте, где скважина была запроектирована.

6. Открытие нефти возле нефти (то есть на ограниченных площадях возле уже известных месторождений углеводородов) не оправдывает себя. Это проявилось в Восточной Сибири при бурении разведочных скважин вблизи Осиновской (около трансибирской магистрали) и Марковской площадей.

7. Разведка Марковского месторождения нефти и газа показало его сложное строение, связанное с разломной тектоникой, и средние запасы. Но при этом опытным путем было установлено, что дальнейшие поиски следует продолжить севернее Марково в 90 км по направлению к Непскому своду.

Литература

Губкин Иван Михайлович [Электронный ресурс]

[https://ru.wikipedia.org/wiki/Губкин,_Иван_Михайлович_\(просмотр_06.04.2022\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Губкин,_Иван_Михайлович_(просмотр_06.04.2022))

Исаев В.П. Нефть и газы озера Байкал. Иркутск: Издательство ИГУ, 2022. 147 с.

Одинцов М.М. По Восточной Сибири в геологических партиях: Из записок сибирского геолога. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1981. 190 с.

Сенюков В.М. Проблема нефтеносности кембрия Восточной Сибири // Конференция по изучению производительных сил Иркутской области. Тезисы докладов. Глав. ред. И.П. Бардин. М.–Л.: Издательство АН СССР. С. 60–61.

Корольков А.Т. Алмазная экспедиция 1947 года Михаила Одинцова // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2017. Т. 22. С. 82–91.

Орджоникидзе Серго (Орджоникидзе Григорий Константинович) [Электронный ресурс] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Орджоникидзе,_Серго_\(просмотр_06.04.2022\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Орджоникидзе,_Серго_(просмотр_06.04.2022))

Сенюков Василий Михайлович [Электронный ресурс]

[https://ru.wikipedia.org/wiki/Сенюков,_Василий_Михайлович_\(дата_просмотра_06.04.2022\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сенюков,_Василий_Михайлович_(дата_просмотра_06.04.2022))

Файнштейн Г.Х. За нами встают города. Лебедь Г.Г. Разбуженные джины. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1980. 304 с.

References

Gubkin Ivan Mikhailovich [Electronic resource] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Gubkin,_Ivan_Mikhailovich_\(viewed_04/06/2022\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Gubkin,_Ivan_Mikhailovich_(viewed_04/06/2022))

Isaev V.P. Oil and gases of Lake Baikal. Irkutsk: ISU Publishing House, 2022. 147 p.

Odintsov M.M. Across Eastern Siberia in geological parties: From the notes of a Siberian geologist. Irkutsk: Vost.-Sib. book publishing house, 1981. 190 p.

Senyukov V.M. The problem of Cambrian oil content in Eastern Siberia // Conference on the study of productive forces of the Irkutsk region. Abstracts of reports. Head. ed. I.P. Bardin. M.–L.: Publishing house of the USSR Academy of Sciences. P. 60–61.

Korolkov A.T. Diamond expedition of 1947 by Mikhail Odintsov // News of Irkutsk State University. Earth Science Series. 2017. Vol. 22. P. 82–91.

Ordzhonikidze Sergo (Ordzhonikidze Grigory Konstantinovich) [Electronic resource] https://ru.wikipedia.org/wiki/Ordzhonikidze,_Sergo (viewed 04/06/2022)

Senyukov Vasily Mikhailovich [Electronic resource]

https://ru.wikipedia.org/wiki/Senyukov,_Vasiliy_Mikhailovich (date viewed 04/06/2022)

Fainshtein G.Kh. Cities are rising behind us. Lebed G.G. Awakened genies. Irkutsk: East Siberian Book Publishing House, 1980. 304 p.

Корольков Алексей Тихонович,

доктор геолого-минералогических наук, профессор,

664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

Иркутский государственный университет, геологический факультет,

профессор,

email: baley51@mail.ru.

Korolkov Alexey Tikhonovich,

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,

3 Lenina St., Irkutsk 664003,

Irkutsk State University, Department of Geology,

professor,

email: baley51@mail.ru.

Васенков Данил Константинович,

664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

Иркутский государственный университет, геологический факультет,

студент.

Danil Konstantinovich Vasenkov,

3 Lenina St., Irkutsk 664003,

Irkutsk State University, Department of Geology,

student.

Достижения геологов-выпускников 1973 года Иркутского государственного университета (встреча через 50 лет)

А.Т. Корольков

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Встречи выпускников различных ВУЗов происходят часто. Особенно регулярно через каждые 5 лет встречаются выпускники-геологи. Каждая встреча — это радость возвращения в юность. Многих выпускников давно зовут по имени и отчеству. Хотя через 50 лет встречаются... бабушки и дедушки, друг друга называют исключительно по именам. Такая встреча — не просто общение, но и подведение итогов. Каждый курс несет бесценный опыт работы в своей сфере. Обзор этой трудовой деятельности показывает, как много сделали полезного для страны выпускники-геологи. Об этом должны знать не только представители Иркутского государственного университета и студенты, но и широкий круг читателей.

Ключевые слова: геологический факультет ИГУ, геологическая съемка и поиски, геология месторождений нефти и газа, месторождения золота, достижения выпускников 1973 года, награды выпускников.

Achievements of geologists-graduates of the Irkutsk state university in 1973 (meeting in 50 years)

A.T. Korolkov

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Abstract. Meetings of graduates of various universities occur frequently. Geologists graduates meet especially regularly every 5 years. Every meeting is the joy of returning to youth. Many graduates have long been called by name and patronymic. Although after 50 years there are... grandparents, they call each other exclusively by their first names. Such a meeting is not just communication, but also summing up. Each course brings invaluable experience in its field. A review of this work activity shows how much the geologists graduates have done useful for the country. This should be known not only by representatives of Irkutsk State University and students, but also by a wide range of readers.

Keywords: Faculty of Geology of ISU, geological survey and prospecting, geology of oil and gas deposits, gold deposits, achievements of graduates in 1973, awards of graduates.

Как учились, по каким специальностям и сколько было выпускников. Через 50 лет после окончания вуза состоялась встреча выпускников геологического факультета Иркутского государственного университета 19-20 мая 2023 года. В далеком 1973 году 56 человек стали обладателями дипломов инженеров-геологов по двум специальностям: 1) «геологическая съемка и поиски месторождений полезных ископаемых»; 2) «геология месторождений нефти и газа». Учились 5 лет. Никаких бакалавров и магистров в то время не было. Конкурс при

поступлении в 1968 году был 3-4 человека на место. Абитуриенты сдавали следующие вступительные экзамены: математика устно, математика письменно, физика, иностранный язык, сочинение. На курс было принято 100 человек (2 группы «съемщиков», 2 группы «нефтяников» по 25 человек). Кроме того, было 50 человек кандидатов, которые учились со студентами, хотя ими не являлись. Если кто-то из студентов отчислялся, на его место студентом принимали кандидата. То есть из 100 (или 150 вместе с кандидатами) студентов первого курса только 56

смогли защитить диплом. Из этих цифр видно, что обучение было довольно жестким и требовательным. Но мы смогли собраться и через 50 в количестве 20 человек.

Учителя. Большинство наших преподавателей прошли производство, работали в научно-исследовательских институтах или различных лабораториях университета. Ректором в 1973 году был физик Николай Фомич Лосев. Среди преподавателей запомнились следующие специалисты: Виктор Давыдович Мац (общая геология), Владимир Александрович Наумов (структурная геология), Валентина Ильинична Дреганова (практика по структурной геологии, зам. декана), Тарас Тимофеевич Деуля (минералогия), Галина Ивановна Бердникова (практика по минералогии у «съемщиков»), Галина Яковлевна Алексеева (практика по минералогии у «нефтяников»), Анатолий Гаврилович Золотарев (геоморфология), Александр Иосифович Бердников (петрография), Виктор Афанасьевич Наумов (литология), Мефодий Иванович Грудинин (федоровский столлик), Михаил Федорович Кузнецов (геотектоника), Владимир Васильевич Латин (палеонтология), Тамара Николаевна Титоренко (палеонтология у «нефтяников»), Ольга Поликарповна Егорова (фациальный анализ и палеогеография), Георгий Андреевич Дмитриев (симметрия и геологическое вре-

мя), Анна Петровна Труфанова (историческая геология), Георгий Алексеевич Кузнецов (геология СССР), Анатолий Иванович Горячев (региональная геология), Владимир Александрович Ланин (кристаллография), Юрий Петрович Деев (месторождения горючих полезных ископаемых), Михаил Ниллович Трещетенков (геология месторождений нефти и газа), Борис Абович Фукс (месторождения нефти и газа Сибирской платформы), Сергей Григорьевич Галабурда (месторождения твердых полезных ископаемых), Анатолий Рудольфович Зилов (месторождения редких и рассеянных металлов), Яков Николаевич Загибалов (взрывные работы), Виктор Валентинович Демидов (минераграфия), Евгений Тимофеевич Бубнов (методика поисков и разведки месторождений полезных ископаемых), Геннадий Иванович Лохматов (физика пласта), Виктор Петрович Исаев (геохимия месторождений полезных ископаемых, декан), Олег Васильевич Грабкин (первая геологическая практика), Сергей Сергеевич Красинец (вторая геологическая практика). Выпускники — геологи тех лет имели хорошую традицию делать после окончания университета совместную фотографию с ведущими преподавателями (рис. 1). К сожалению, после перестройки эта традиция у выпускников-геологов оказалась утраченной.



Рис. 1. Выпускники геологического факультета ИГУ в 1973 году.

Fig. 1. Graduates of the Geological Faculty of the ISU in 1973.

Отличие курса от других курсов. Отличались выпускники 1973 года очень сильными студентами из групп «съемщиков» и слабыми — из групп «нефтяников». Достаточно сказать, что к окончанию геологического факультета ИГУ одну группу «нефтяников» вообще расформировали. И в 2023 году на встрече через 50 лет преобладали «съемщики». В 70-80-е годы двадцатого столетия востребованы на производстве и в

науке были «съемщики», так как по всей Сибири производились планомерные геолого-съемочные работы масштаба 1:200 000 и 1:50 000. А в рудных районах выпускники проводили детальные геолого-съемочные исследования масштаба 1:25 000 и 1:10 000. Считалось, что учиться на «съемщиков» более интересно и трудно (рис. 2).

**Рис. 1.** Встреча выпускников 1973 года через 50 лет

Стоят (слева направо): Анатолий Иванов, Вячеслав Михеев, Игорь Перевалов, Владимир Кошкин, Геннадий Васильков, Виктор Кардонов, Гомбожап Цыбиков, Сергей Пехтерев, Василий Пусенков, Ирина Михайлова, Анатолий Степаненко, Алексей Корольков. Сидят (слева направо): Галина Дреннова, Тамара Кудрявцева (Бутвина), Надежда Киселева, Ирина Цешковская (Богданович), Екатерина Шильникова (Горячева), Галина Анфиногенова (Баянова), Нина Капустина, Галина Кострикова.

Fig. 2. Meeting of graduates of 1973 in 50 years.

Standing (from left to right): Anatoly Ivanov, Vyacheslav Mikheev, Igor Perevalov, Vladimir Koshkin, Genady Vasilkov, Viktor Kardonov, Gombozhap Tsybikov, Sergey Pekhterev, Vasily Pusenkov, Irina Mikhailova, Anatoly Stepanenko, Alexey Korolkov. Sitting (from left to right): Galina Drennova, Tamara Kudryavtseva (Butvina), Nadezhda Kiseleva, Irina Tsheshkovskaya (Bogdanovich), Ekaterina Shilnikova (Goryacheva), Galina Anfinogenova (Bayanova), Nina Kapustina, Galina Kostrikova.

Вообще образование было фундаментальным и универсальным. При желании «съемщики» могли работать «нефтяниками», а «нефтяники» — «съемщиками». Трудная, интересная и высокооплачиваемая работа

существовала в Магаданской области, республике Саха-Якутия, Хабаровском и Забайкальском краях и других местах. Производственная практика могла проходить во всех районах Сибири и Дальнего Востока, вклю-

чая Камчатку, о. Сахалин, Курильские острова. Кроме того, на факультете многие преподаватели проводили хозяйственные работы с многочисленными производственными организациями, в которые активно вовлекались студенты и выпускники геологического факультета ИГУ. После окончания на Север за интересной работой и хорошими заработками устремилось много выпускников – юношей и девушек. Только в Магаданской области работали 10–15 человек. Большинство юношей обучались в университете военному делу по специальности «военные химики». После принятия присяги на двухмесячных военных сборах в Восточном Забайкалье стали лейтенантами. Примерно треть из состава обучающихся военному делу после окончания университета оказались в действующих вооруженных силах и служили преимущественно два года.

Достижения. Очень многие однокурсники работали на геологической съемке и поисках (Сизых и др., 2016): Анатолий Иванов, Евгений Мозалевский, Вячеслав Михеев, Сергей Рожок, Николай Григорьев, Виктор Кардонов, Андрей Егоров, Виктор Ваулин, Василий Пусенков, Ирина Цешковская, Галина Уткина, Мария Хороших, Галина Кострикова, Лилия Хилиманюк, Валентина Соколова, Сергей Пехтерев, Петр Кротов, Алексей Добрынин, Виктор Литвинцев, Сергей Чипизубов, Алексей Корольков. Когда заканчивали университет, председателем приемной комиссии на защите дипломов был главный инженер Иркутского геологического управления Арнольд Серд. Выступление Анатолия Иванова ему так понравилось, что Серд пригласил его работать в Иркутскую геологосъемочную экспедицию прямо на защите. В то время устроиться в эту ведущую производственную школу иркутских геологов было очень трудно. Анатолий Иванов с честью оправдал доверие Серда, всю свою жизнь проработав геологосъемщиком до закрытия экспедиции в 90-х годах двадцатого века из-за прекращения финансирования. Является автором и соавтором нескольких листов геологических карт 1:200 000 и 1:50 000 масштаба на территории преимущественно Бодайбинского района Иркутской области, первооткрывате-

лем нескольких месторождений и рудопроявлений. Он даже защитил кандидатскую диссертацию без отрыва от производства по своим материалам. Евгений Мозалевский по распределению оказался в республике Саха-Якутия, где участвовал в составлении нескольких листов геологических карт 1:200 000 и 1:50 000 масштаба и был куратором геолого-съемочных и поисковых работ Аллах-Юньской экспедиции до перестройки в стране. Вячеслав Михеев несколько лет работал в различных геолого-съемочных партиях Амурской области и Хабаровского края до перехода на работу в старательскую артель «Амур». Сергей Рожок проводил геолого-съемочные и поисковые работы в Забайкалье и на севере Иркутской области. Николай Григорьев всю свою жизнь проработал в Магаданской области и на Чукотке сначала в геолого-съемочных и поисковых партиях, позже — при разведке и эксплуатации месторождений. Андрей Егоров длительное время занимался геолого-съемочными и поисковыми работами на алмазы в республике Саха-Якутия и Архангельской области, работал на поисках золота в Эквадоре. Виктор Кардонов начинал как хороший геологосъемщик в Саха-Якутии, затем служил в армии, а после выхода в отставку занимался поисковыми и поисково-оценочными работами в Бодайбинском районе и Присяянье. Виктор Ваулин всю жизнь работал на геолого-съемочных, поисковых и разведочных работах в Магаданской области. Василий Пусенков длительное время работал на геолого-съемочных и поисковых работах в Магаданской области. Ирина Цешковская после окончания несколько лет работала в съемочных и поисковых партиях Магаданской области, а сейчас является ведущим инженером-минералогом Республиканского аналитического центра в Бурятии. Галина Уткина и Мария Хороших проводили геолого-съемочные работы в республике Саха-Якутия. Галина Кострикова несколько лет работала в геолого-съемочных, затем в геохимических партиях в Приморье. Лилия Хилиманюк занималась геолого-съемочными работами в Хабаровском крае. Валентина Соколова проводила геолого-съемочные и поисковые работы во многих районах Буря-

тии. Сергей Пехтерев служил два года в армии, затем работал на геологической съемке и поисках в Забайкальском крае и Монголии, активно занимается и сейчас поисково-оценочными работами в Забайкалье. Петр Кротов после двух лет службы в армии в Монголии проводил геологическую съемку в Саянах и на севере Иркутской области, сейчас успешно занимается бизнесом. Алексей Добрынин до перестройки работал в геолого-съёмочных и геохимических партиях Бурятии. Виктор Литвинцев служил в армии офицером-двухгодичником, затем много лет работал в ПГО «Сосновское», занимаясь поисками и разведкой месторождений урана в Бурятии и Забайкалье. Сергей Чипизубов служил в армии офицером-двухгодичником, после этого много лет работал на поисках месторождений золота в Забайкальском крае и в артелях по добыче россыпного золота. Алексей Корольков занимался геологическим доизучением 1:50 000 масштаба центральной части Бодайбинского района и детальным картированием 1:10 000 масштаба южной части Балейского рудного узла (Забайкальский край) и участка Северо-Муйского тоннеля (республика Бурятия).

Официально первооткрывателями месторождений являются Анатолий Иванов, Николай Григорьев. Работая активно в Бодайбинском районе, Анатолий Иванов открыл два месторождения коренного золота, железа, несколько рудопроявлений олова (Иванов, 2014). Николай Григорьев открыл в Магаданской области богатое месторождение коренного золота Джульетта, которое интенсивно эксплуатируется до настоящего времени. Сергей Рожок участвовал в открытии месторождений железа и нескольких рудопроявлений олова на севере Бодайбинского района. В процессе геолого-съёмочных и поисковых работ многие однокурсники открыли новые рудопроявления, хотя и не являются официально первооткрывателями. В настоящее время общепризнанным фактом является то, что большинство месторождений различных полезных ископаемых было обнаружено в результате планомерных геолого-съёмочных и поисковых работ до перестройки в стране. Некоторые из них были

рудопроявлениями, а потом получили статус месторождений после поисково-оценочных работ в современной России.

Активное участие в эксплуатации месторождений коренного золота принимал Николай Григорьев в Магаданской области и на Чукотке (месторождение Джульетта и Купол). Николай Григорьев являлся одним из руководителей крупной российско-канадской компании Kinross (рис. 3) по разработке золото-серебряного месторождения Купол на Чукотке (Григорьев и др., 2011). Сейчас из-за санкций эта компания продала свои активы российским бизнесменам.



Рис. 2. Руководители компании Kinross по эксплуатации месторождения Золотой Купол (слева направо): Джордж Джонсон, Джеймс Аллен Салливан, Николай Григорьев.

Fig. 3. The heads of the Kinross company for the operation of the Golden Kupol (from left to right): George Johnson, James Allen Sullivan, Nikolai Grigoriev.

В разведке и разработке месторождения Дукат (Магаданская область) много труда вложил Виктор Ваулин. Многочисленные месторождения россыпного и коренного золота в Красноярском крае разведывал и разрабатывал Владимир Кошкин. Добычей золота из россыпных месторождений занималась Нина Капустина в Магаданской области, Галина Анфиногорова и Сергей Чипизубов в Забайкальском крае. Месторождение россыпного золота разрабатывал Вячеслав Михеев в Колумбии.

Почти 30 лет занимался Вячеслав Михеев эксплуатацией крупнейшего месторождения россыпной платины Кондер (рис. 4) в России (север Хабаровского края). Эта артель была

самой крупной в России по добыче россыпной платины (Волков, 1997).



Рис. 4. Геолог участка артели «Амур» Вячеслав Михеев (слева), главный маркшейдер артели В. Фатьянов.

Fig. 4. Vyacheslav Mikheev (on the left), geologist of the Amur artel site, V. Fatyanov, chief surveyor of the artel.

В артели «Амур» по добыче россыпной платины прошли хорошую практику многие студенты геологического факультета ИГУ и сыновья однокурсников 1973 года выпуска.

Интересная судьба сложилась у нефтяника Владимира Климова. В Иркутске он несколько лет занимался инженерной геологией. Затем много лет работал на эксплуатации медно-никелевых месторождений Мурманской области сначала в карьере, а затем — в подземных выработках. Потом переехал в г. Санкт-Петербург и работает в Институте горного дела РАН, стал крупным специалистом по безопасной отработке различных месторождений открытым и подземным способом.

После службы в армии в течение двух лет и поисков россыпных месторождений золота Игорь Перевалов перешел на работу в инженерной геологии и стал крупным специалистом, имеющим международный сертификат эксперта. Много лет он возглавлял фирму, специалисты которой оценивали возможности для строительства крупных промышленных зданий, дорог, трубопроводов по всей Сибири.

Как уже отмечалось, многие мужчины из выпускников-геологов 1973 года стали офицерами-двухгодичниками по специальностям военных химиков. После двух лет службы в армии большинство вернулись к профессии геолога. Но Виктор Кардонов

длительное время был армейским офицером, служил в Забайкалье и Восточной Германии, закончил военную академию, стал командиром части в Хабаровском крае и полковником (рис. 5). Вместе со своими подчиненными он выезжал на ликвидацию Чернобыльской аварии.



Рис. 5. Полковник Виктор Кардонов

Fig. 5. Colonel Viktor Kardonov

После возвращения в Иркутск возглавлял службу МЧС г. Иркутска. Ему пришлось заниматься ликвидацией последствий авиака-

тастрофы самолета «Руслан», упавшего на жилые кварталы г. Иркутска-II. За свою выдающуюся деятельность в армии и МЧС Виктор Кардонов награжден «Орденом Мужества». Мы гордимся своим замечательным воином-однокурсником! Сейчас полковник в отставке Виктор Кардонов продолжает заниматься геологическими поисками и бизнесом.

Гомбожап Цыбиков служил два года в армии, затем работал геологом-нефтяником в Саха-Якутии. Потом вернулся на родину в Бурятию, где был избран главой администрации Курумканского района. Земляки доверили ему и не ошиблись. Много добрых дел было сделано Гомбожапом Цыбиковым для развития района. Поэтому главой администрации его избирали на два срока. Сергей Рожок после работы в геолого-съёмочной экспедиции много лет возглавлял «Территориальный фонд геологической информации по Иркутской области». Геннадий Васильков много лет работал в Свердловском райкоме КПСС г. Иркутска, отвечая за работу с молодежью. После перестройки был преподавателем, воспитателем различных техникумов, школ.

Две выпускницы 1973 года геологического факультета ИГУ активно трудились в банковской сфере. Это Клавдия Федорова, которая по распределению была направлена в банк, и Тамара Кудрявцева. Вторая устроилась на работу в банк после возвращения в Иркутск из Мамско-Чуйского района и очень скоро стала возглавлять отдел, благодаря своим способностям (университет она закончила с отличием).

Как уже говорилось, сравнительно немного выдающихся нефтяников оказалось среди выпускников ИГУ 1973 года. Екатерина Шильникова (Горячева) вместе с мужем длительное время работала на поисках и

разведке Марковского месторождения нефти и газа и отличалась творческим подходом к делу. Надежда Киселева сравнительно немного поработала на поисках и разведке месторождений нефти и газа в Оренбургской области, а потом вернулась в Ангарск и работала в другой сфере. Людмила Шамракова работала нефтяником в Оренбургской области, а затем технологом на комбинате в г. Саянске. Гомбожап Цыбиков несколько лет занимался поисками месторождений нефти и газа в республике Саха-Якутия. Анатолий Степаненко изучал нефтяные месторождения Иркутской области при работе в ВостСибНИИГГиМСе, а затем работал в строительной фирме. Ирина Михайлова всю свою жизнь посвятила нефтяной геологии, занимаясь поисками и разведкой углеводородов Иркутской области, недалеко от г. Иркутска обнаружила месторождение минеральной воды. Валентина Тасханова много лет работала на севере Тюменской области в нефтяной промышленности.

Два человека из однокурсников стали кандидатами геолого-минералогических наук (Владимир Кошкин, Владимир Бутвин), два однокурсника защитили диссертации на степень доктора геолого-минералогических наук (Анатолий Иванов, Алексей Корольков). Наибольших успехов в производственной и научной сфере достиг Анатолий Иванов (рис. 6), который стал академиком РАЕН, научным руководителем крупного научно-исследовательского института ЦНИГРИ в г. Москве (длительное время он был директором этого института), председателем научного совета ЦНИГРИ по защите докторских и кандидатских диссертаций, главным редактором журнала «Отечественная геология». ЦНИГРИ является головным институтом в России по золоту, платине, алмазам и цветным металлам.



Рис. 6. Анатолий Иванов в годы работы в Иркутске.

Fig. 6. Anatoly Ivanov during his years of work in Irkutsk.

Галина Дреннова работала в Институте земной коры СО РАН и следила за сейсмической обстановкой в регионе. Она стала крупным специалистом по расшифровке сейсмических колебаний, приходящих от различных станций Сибири. Кроме того, является самым востребованным экскурсоводом по Кругобайкальской железной дороге, Иркутску и Прибайкалью.

Несколько человек после распада СССР работали в школах. В ВУЗах сейчас трудятся два человека (Анатолий Иванов совместителем, Алексей Корольков штатным преподавателем). Стаж преподавательской работы Алексея Королькова 34 года. После 16 лет работы в производственных (рис. 7) и научно-исследовательских организациях и защиты кандидатской диссертации он пришел работать на кафедру геологии и геофизики Иркутского государственного университета, защитил докторскую диссертацию и трудится профессором кафедры динамической геологии в настоящее время.

За эти годы читал лекции, проводил практические занятия по многим дисциплинам (общая геология, историческая геология, стратиграфия, палеонтология, структурная геология, геология Мирового океана, формационный анализ, террейновый анализ, экология и др.), руководил полевыми практиками студентов в России и за рубежом,

выпускными дипломными работами бакалавров, магистров, специалистов, аспирантов. Количество студентов, которых обучал за 34 года, приближается к 2000 (если взять в среднем 50 человек в год). За это время дети четырех однокурсниц закончили геологический факультет ИГУ (Ирины Михайловой, Галины Анфиногеновой, Ирины Цешковской, Екатерины Шильниковой).



Рис. 7. Алексей Корольков во время работы в Иркутской геологосъемочной экспедиции

Fig. 7. Alexey Korolkov while working in the Irkutsk geological survey expedition

Годы перестройки заставили многих геологов искать другие сферы работы. Анатолий Иванов после прекращения деятельности Иркутской геолого-съёмочной экспедиции организовал АО «СибГК» и успешно возглавлял его до отъезда в г. Москву, пригласив к себе работать самых достойных геологов-съёмщиков. Они параллельно открывали магазины, чтобы зарабатывать деньги на полевые геологические работы. После его отъезда акционерное общество возглавил Виктор Кардонов, который организовал дополнительно акционерное общество по продаже строительных материалов ЗАО «ТОН-М». Петр Кротов в Красноярске руководит фирмой по производству счетчиков.

Почему мы встречаемся через каждые пять лет. Современные геологи-выпускники встречаются редко и нерегулярно. Но для геологов, обучавшихся в СССР, это стало необходимым. Причем, каждая встреча оставляет некое чувство неполноты — мало пообщались. Сами того не замечая, после каждой встречи молодеем душой. У нас есть что рассказать своим детям и внукам, потому что геологическое братство создает чувство надежности. И у нас есть гордость за своих однокурсников! Через 50 лет мы встретились в конце мая, предполагая теплую погоду (до этого приезжали обычно накануне дня геолога в первых числах апреля, так как многие были полевыми геологами). Но 19-20 мая шел снег и был сильный ветер с Байкала! Природа как бы напомнила нам: «Ты солнца и ветра брат!». Именно на такую тему многие из нас когда-то писали вступительное сочинение при поступлении на геологический факультет ИГУ. Несмотря на погоду, юбилейная встреча прошла в исключительно теплой и дружеской обстановке.

Наши потери и надежды. К 2023 году из 56 окончивших в 1973 году выпускников 14 ушли из жизни. Это составляет 25 %. Но двадцать человек собрались на факультете (35.7 % от всех окончивших). Приехали из Москвы, Владивостока, Сочи, Красноярска, Читы, Улан-Удэ, Усолья, Саянска, пришли живущие в Иркутске. Вспомнили всех добрым словом и договорились встречаться чаще, чтобы «вместе стареть». Пожелали здо-

ровья и надежды на новые встречи. Горячо благодарили организаторов встречи Галину Дреннову, Виктора Кардонова, Алексея Королькова, Анатолия Иванова.

Итоги. Хочется подвести некоторые итоги.

1. Однокурсники-геологи ИГУ достойно прожили жизнь, в меру своих способностей и талантов раскрывшись в профессии.

2. Преимущественно это были геологи-работяги, которые работали на геологической съемке и поисках месторождений золота, платины, алмазов, полиметаллов, нефти и газа.

3. Многие однокурсники добились больших успехов за свои достижения. «Орденом Мужества» награжден Виктор Кардонов. Медаль «За трудовую доблесть» получена Анатолием Ивановым. Званием «Заслуженный геолог Российской Федерации» отмечены Анатолий Иванов, Николай Григорьев. Звание «Почетный работник газовой промышленности Российской Федерации» имеет Гомбожап Цыбиков. Нагрудный знак «Отличник разведки недр» присвоен Владимиру Кошкину, Галине Костриковой, Галине Анфиногеновой, Сергею Пехтереву. Нагрудный знак «Почетный разведчик недр» имеют Владимир Кошкин, Сергей Пехтерев. Нагрудный знак «За заслуги в разведке недр» присвоен Анатолию Иванову. Нагрудным знаком «За развитие научно-исследовательской работы студентов» обладает Алексей Корольков.

4. Мои друзья знают по своему богатому опыту, какими компетенциями должен обладать геолог, поэтому многое могли бы рассказать студентам.

5. В университете геологическое образование получали из рук преподавателей, прошедших школу производства и не имевших специального педагогического образования. Но полученные знания были настолько фундаментальные, что выпускники легко смогли адаптироваться и успешно работать в любой сфере деятельности.

6. Обучение шло только по двум программам (геологов-съёмщиков и геологов-нефтяников), но качество образования было более высоким.

7. Работа в профессии у многих произошла потому, что были «востребованы».

Но мы верим, что геологи нового поколения будут нужны, займут свое достойное место и в наше время!

Литература

Волков А.П. Платина «Амура». Хабаровск: «Артель старателей «Амур», 1997. 100 с.

Григорьев Н.В. Золотой Купол. Компания «Kenross». Фотоальбом Сергея Халанского. Магадан: Издательский дом «Дикий Север», 2011. 302 с.

Иванов А.И. Золото Байкало-Патом (геология, оруденение, перспективы). М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2014. 215 с.

Сизых А.И., Буланов В.А., Юденко М.А. Пусть мы сотни верст бродили. В 5 томах. Том 4.

Корольков Алексей Тихонович,

*доктор геолого-минералогических наук,
профессор кафедры динамической геологии,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1, Россия,
email: baley51@mail.ru.*

Alexey T. Korolkov,

*Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,
Professor of the Department of Dynamic Geology,
Irkutsk State University,
664003 Irkutsk, Karl Marx str., 1, Russia,
email: baley51@mail.ru.*

Геологи — работяги, искатели, ходоки. 1970–1979 годы. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2016. 180 с.

References

Volkov A.P. Platinum "Amur". Khabarovsk: "Artel of Prospectors "Amur", 1997. 100 p.

Grigoriev N.V. Golden Dome. Kenross Company. Photo album of Sergei Khalansky. Magadan: Publishing house "Wild North", 2011. 302 p.

Ivanov A.I. Gold of Baikal-Patom (geology, mineralization, prospects). M.: FSUE TsNIGRI, 2014. — 215 p.

Sizykh A.I., Bulanov V.A., Yudenko M.A. Let us wander hundreds of miles. In 5 volumes. Volume 4. Geologists are hard workers, seekers, walkers. 1970 — 1979. Irkutsk: ISU Publishing House, 2016. 180 p.

Первоначальное обоснование и последующее восприятие гипотез о строении и развитии Байкальской системы впадин

С.В. Рассказов^{1,2}, И.С. Чувашова^{1,2}

¹Институт земной коры СО РАН, Иркутск

²Иркутский государственный университет, Иркутск

Аннотация. История развития представлений о строении и развитии Байкальской системы поднятий и впадин и ее важнейших структурных элементов условно разделяется на этапы выдвижения: 1) начальных гипотез, появившихся до 1960-х гг., 2) основных гипотез, связанных с большим объемом работ, выполненных в связи с разработкой проблемы рифтогенеза на территории юга Восточной Сибири в 1960–1990-х гг., и 3) новейших гипотез, в основу которых легли факты, полученные благодаря использованию новых подходов, реализованных в геологических исследованиях 2000–2020-х гг.

Ключевые слова: кайнозой, Байкал, Байкальская рифтовая зона, Байкальская рифтовая система, Японско-Байкальский геодинамический коридор, Азия, рифтогенез.

Initial substantiation and subsequent reception of hypotheses on structure and development of the Baikal system of basins

S.V. Rasskazov^{1,2}, I.S. Chuvashova^{1,2}

¹Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk

²Irkutsk State University, Irkutsk

Abstract. The history of getting ideas on the structure and development of the Baikal system of basins and its most important structural elements is conventionally divided into stages of putting forward: 1) initial hypotheses that appeared before the 1960s, 2) numerous hypotheses associated with a large amount of work performed in connection with the development of the rifting problems in the south of Eastern Siberia in the 1960–1990s, and 3) latest hypotheses that resulted from new facts obtained through new approaches implemented in geological studies of the 2000–2020s.

Keywords: Cenozoic, Baikal, Baikal rift zone, Baikal rift system, Japan-Baikal geodynamic corridor, Asia, rifting.

Введение

Геологическая гипотеза порождается суммой фактов, которые геолог получает в полевых экспедициях с последующей камеральной обработкой собранных материалов. Если цель исследований поставлена по-новому и правильно подобраны методы исследований для ее достижения, гипотеза действительно приобретает новый смысл. С течением времени, появляются новые факты и новые подходы, способствующие уточнению принятой гипотезы или ее замене новой

гипотезой, лучше объясняющей полученные данные.

На юге Восточной Сибири находится весьма выразительная новейшая геологическая структура, обозначенная на земной поверхности Байкальской системой впадин с глубокими озерами Байкал и Хубсугул. Система впадин в виде единой новейшей структуры была впервые трассирована Н.А. Флоренсовым (1948) и Е.В. Павловским (1948а,б). Кем и когда проводились последующие исследования впадин? Кто впервые выдвинул ту или иную гипотезу о характере

развития этой системы? На каких фактах основывались вновь появившиеся гипотезы? Какой смысл в них вкладывался изначально?

В настоящей статье представлены оценки гипотез, выдвигавшихся при изучении Байкальской системы впадин несколькими поколениями геологов. В суждениях об образовании впадины оз. Байкал и пространственно связанной с ней Байкальской системы сухоходных впадин используются термины, обоснованные и принятые в оригинальной трактовке авторов первых публикаций о тех или иных геологических феноменах. Зачастую, в последующих работах авторы, не знакомые с логикой современников новых разработок, вносили искаженное понимание прежде принятых терминов.

Цель обзора – обозначить публикации, в которых впервые ставился и решался вопрос о происхождении Байкальской системы впадин или ее важнейших структурных элементов с формулировкой новой гипотезы. В рассмотрении вовлекаются наиболее заметные гипотезы с оценкой их восприятия, сложившейся к настоящему времени через последующие работы, составившие «основной поток геологии».

Начальные гипотезы

Начальные основополагающие гипотезы были выдвинуты: 1) о единой эволюции структуры Байкальской впадины в мезозое и кайнозое (1948 г.), 2) об определении Восточно-Сибирского рампа или свода (1948 г.), и 3) об унаследованном развитии впадин оз. Байкал от структуры докайнозойского фундамента (1968 г.).

Единая эволюция структуры Байкальской впадины в мезозое и кайнозое

В 1772 г. П.С. Паллас, наблюдая «утесы конгломератов на западном берегу озера, пришел к убеждению, что котловина Байкала представляет собой громадную трещину, разделившую горы и заполнившуюся водой», а позднее, в 1871–1874 гг. А.Л. Чекановский тоже изложил «взгляд на происхождение Байкала как громадной трещины в юрской формации» (Флоренсов, 1960, с. 5). Как видим, термин «трещина» был впервые применен для обозначения впадины оз. Бай-

кал на русском языке на 122 года раньше, чем для обозначения термином “rift” на английском языке сброса, образовавшегося под влиянием гравитационных сил и ограничивающего рифтовую долину в Восточной Африке (Gregory, 1984).

Хотя в отчетах П.С. Палласа и А.Л. Чекановского юрские отложения и кайнозойская впадина оз. Байкал оказались как будто случайно связанными между собой, в последующих работах по югу Восточной Сибири действительно предполагалось неразрывное развитие мезозойских и кайнозойских структур (Павловский, 1948а,б). Соответственно, осадочные и вулканические комплексы мезозоя и кайнозоя этой территории представлялись в единой совокупности пород (Флоренсов, 1960; Белов, 1963). Из анализа распределения в рельефе вулканоогенных и осадочных формаций Прибайкалья и Забайкалья следовал вывод «об исключительной локализации кайнозойских впадин в Прибайкалье, о том, что последние как бы вложены, «втиснуты» в гораздо более широкое и ровное мезозойское тектоническое поле» (Флоренсов, 1960, с. 189).

С начала 1960-х гг. появились работы с новыми представлениями о геологическом развитии юга Сибири в мезозое и кайнозое. При углубленном изучении пространственно-временного распределения осадочных формаций была установлена смена направленности развития тектонической структуры Прибайкалья и Забайкалья от среднего мела к позднему мелу и палеогену (Логачев, 1974; Скобло и др., 2001; Рассказов и др., 2007) с резкой сменой состава вулканических пород и характера вулканизма около 100–90 млн лет назад (Рассказов, 1993). Комплексный анализ данных, полученных позже, показал, что от этого рубежа начался новейший геодинамический этап, который привел к современному состоянию коры и мантии в глобальном и региональном (азиатском) выражении (Рассказов, Чувашова, 2013; Rasskazov, Chuvashova, 2017).

Заметим, что направленный процесс распада Пангеи предполагает единое развитие океанов в мезозое и кайнозое, в последние 240 млн лет (Le Pichon et al., 2019). Однако развитие континентов отличалось от разви-

тия океанов. Влияние континентальной тектоники отразилось в характере геологического развития Земли как космического тела и запечатлено в различных геологических фактах, например, в смене направленности Sr-изотопного тренда в водах океанов около 90 млн лет назад. Тенденция снижения отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в водах Мирового океана в течение раннего и среднего палеозоя свидетельствует о снижении роли фактора размыва континентов и возрастании роли фактора

вовлечения в экзогенную переработку мантийного материала, поступавшего в зонах спрединга океанического дна. Вклад океанического компонента в переходный временной интервал от раннего-среднего фанерозоя к позднему фанерозою отражается в среднеюрском (160–158 млн лет) абсолютном минимуме отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в водах Мирового океана. Начиная с 90 млн лет назад, поверхность континентов стала разрушаться сильнее (рис. 1).

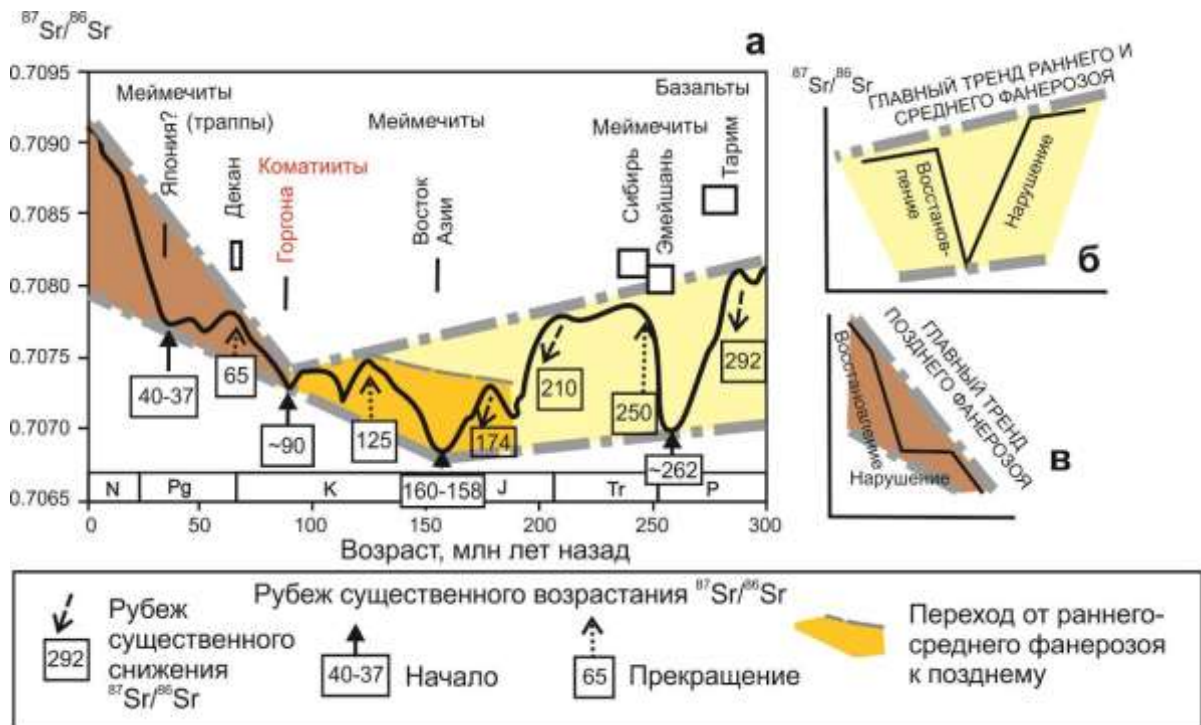


Рис. 1. Главные тренды вариаций $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в морской воде раннего-среднего и позднего фанерозоя (Чувашова и др., 2017). На панели (а) изгиб верхней огибающей (конвергентной) линии тренда около 90 млн лет назад соответствует начальной точке отсчета новейшего геодинамического этапа. Изгиб нижней огибающей (дивергентной) линии тренда около 160 млн лет назад означает предшествующую глобальную структурную перестройку, маркированную океаническими событиями. Врезки (б) и (в) иллюстрируют нисходящий и восходящий характер главного тренда континентальных событий. Использована линия морских записей из работ (McArthur et al., 2001, 2012).

Fig. 1. The main sea water trend of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variations in the Early-Middle and Late Phanerozoic (Chuvashova et al., 2017). (a) – bending the upper envelope (convergent) line of the trend at ca. 90 Ma corresponds to the initial reference point of the latest global geodynamic stage. Bending of the lower envelope (divergent) line at ca. 160 Ma means the preceded global structural reorganization, marked by oceanic events. Inserts (b) and (c) illustrate descending and ascending parts of the main trend of continental events. The line of marine records is adopted after McArthur et al. (2001, 2012).

Сейчас вряд ли можно считать оправданным утверждение о том, что структурное развитие коры юга Восточной Сибири в мезозое и кайнозое было однонаправленным. В южно-байкальском ядре будущей Байкальской системы поднятий и впадин в мезозое существовал ороген, который сохранился в

виде остаточного Южно-Байкальского поднятия в позднем мелу и палеогене (т.е. в начале и середине новейшего геодинамического этапа) с развитием предгорных прогибов (Предбайкальского и Селенгино-Витимского). Структуры коры, образовавшиеся в результате мезозойского тектогене-

за, были существенно преобразованы к концу новейшего геодинамического этапа тектоническими процессами, получившими выражение в оформлении Байкальской системы впадин.

Определение Восточно-Сибирского рампа или свода

Первый (почти завершённый) образ структуры Байкальской системы впадин (системы поднятий и впадин) был намечен Е.В. Павловским по рельефу земной поверхности (1948а, с. 116–117): «На юго-запад от Байкальской впадины, составляя непосредственное ее продолжение, располагаются в неточном порядке впадины более мелкого масштаба – Тункинская, Торская и др. На севере происходит как бы раздвоение впадины Байкала на две ветви — Баргузинскую и Северо-Байкальскую, протягивающиеся далеко вверх по течению рр. Баргузина и Верхней Ангары. К северо-востоку от Баргузинской впадины расположена довольно значительная по размерам впадина, занятая

верхним течением р. Ципи и оз. Баунт. Между Ципинской и Верхне-Ангарской впадинами, отделяясь от них горными перемычками, располагается сравнительно небольшая впадина, занятая верхним течением р. Муи и левого притока р. Витима. Эта впадина является крайним западным членом целой системы депрессий, объединяемых под общим названием Муйско-Чарской впадины, наиболее крупной после Байкала. В состав обширной Муйско-Чарской впадины входят, помимо упомянутой впадины в верховьях р. Муи, еще впадина низовья р. Муи и р. Конды, обширная Верхне-Чарская впадина и Токкинская (в верховьях р. Токко, крупного правого притока р. Чары). Все эти впадины, разъединенные лишь междугорными перемычками, располагаются в четочном порядке и в совокупности слагают крупную Муйско-Чарскую впадину. К югу от Верхне-Чарской впадины расположена довольно крупная отрицательная форма рельефа — Верхне-Каларская впадина...

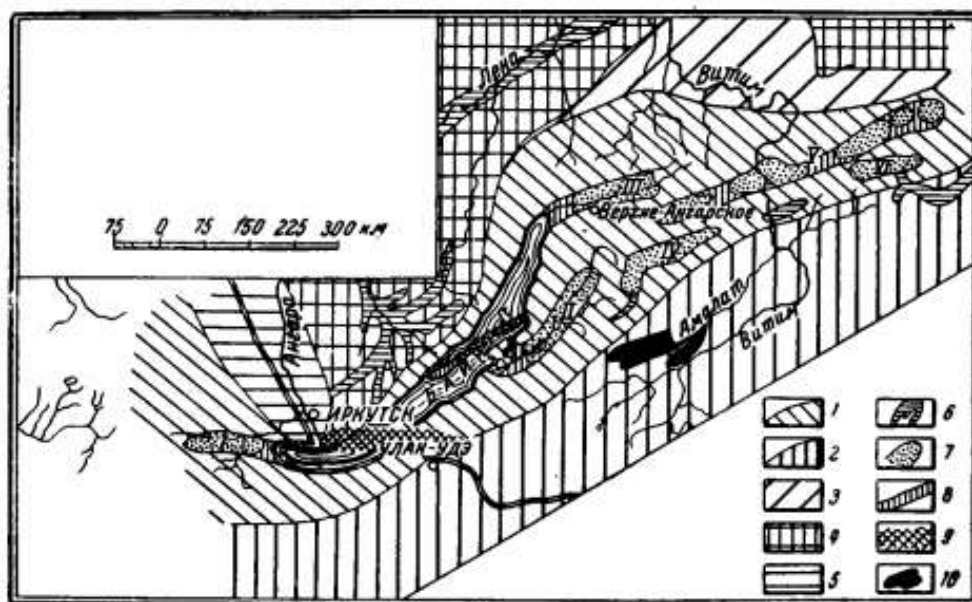


Рис. 2. Схема Восточно-Сибирского рампа. 1 – сводовое поднятие Станового хребта; 2 – зона развития мелких рамповых структур; 3 – окраинная зона Патомского нагорья – область интенсивных колебательных движений в кайнозое; 4 – Приленская плоская возвышенность – область медленного общего поднятия; 5 – Иркутский угленосный бассейн – впадина предгорного типа; 6 – древние долины; 7 – впадины байкальской системы: I – система южных впадин (Тункинская и др.), II – Баргузинская, III – Верхне-Ангарская, IV – Щитинская, V – Муйско-Чарская, VI – Каларская; 8 – междугорные перемычки, на Байкале частью подводные; 9 – зона мезозойского «поперечного синклинала»; 10 – главное поле развития покровных базальтов. Рис. 22 из монографии Е.В. Павловского (1948а).

Fig. 2. Scheme of the East Siberian ramp. 1 – arched rise of the Stanovoy Range; 2 – zone of development of small ramp structures; 3 – marginal zone of the Patom Highlands – an area of intense oscillatory movements

in the Cenozoic; 4 – Prilensky flat upland – an area of slow general uplift; 5 – Irkutsk coal basin – foothill-type depression; 6 – ancient valleys; 7 – depressions of the Baikal system: I – system of southern depressions (Tunka and others), II – Barguzin, III – Verkhnyaya Angara, IV – Shchitin, V – Muya-Chara, VI – Kalar; 8 – intermountain bridges, partly underwater on Lake Baikal; 9 – zone of the Mesozoic “transverse syncline”; 10 – the main field of basaltic cover. Fig. 22 from the monograph by E.V. Pavlovsky (1948a).

Вдоль краев описываемой системы впадин тянутся в виде двух параллельных хребтов альпийские горные цепи, достигающие абсолютной высоты 1800–2000 м, а местами даже 2500–2800 м... система впадин, которую мы будем называть Байкальской системой, всюду сопровождается высокогорными массивами альпийского типа, вытянутыми вдоль впадин и вплотную примыкающими к ним со всех сторон... Высокогорная зона, тесно связанная с системой впадин, в общем повторяет контуры последней. В плане зона высокогорья имеет вид полосы, изогнутой в виде пологого S и вытянутой в общем с юго-запада на северо-восток. Ширина этой зоны выражается в 150—200 км. Длина ее, равная длине Байкальской системы впадин, может быть оценена примерно в 2000 км» (рис. 2).

Далее «...формирование впадин байкальского типа целесообразнее связывать не с расширением земной коры, не с возникновением разрывов типа нормальных сбросов и не с опусканием узкой и длинной полосы под влиянием силы тяжести. Скорее эти наблюдения свидетельствуют в пользу теории сжатия, под влиянием которого началось вспучивание огромного валоподобного Станового хребта, сопровождавшееся сколами земной коры в замковой части свода. Эти сколы, как можно думать, по типу относятся к разрывам надвигового типа – одной из форм проявления складкообразовательного процесса. Нужно думать, что надвиги, по которым обе части свода надвигались на центральную полосу, были ориентированы навстречу друг другу, что по поверхностям скольжения их обе части разорванного свода двигались навстречу друг другу» (с. 120).

Логика механизма образования структуры поднятий и впадин приводит Е.В. Павловского к выводу о развитии орогенеза. «Свод Станового хребта можно рассматривать как

крупную складку антиклинального типа — мегаантиклинал. Его своеобразие заключается в том, что он, обладая признаками обычной структуры складчатого типа, выражен на поверхности. Формирование этого своеобразного мегаантиклинала явилось настоящим горообразующим процессом, приведшим в конечном счете к появлению высокогорного Станового хребта» (с. 122).

Е.В. Павловским предложены варианты сравнения Байкальской системы впадин с подобными структурами земной поверхности. «В поисках структур, аналогичных впадинам Байкальской системы и обрамлению их Становым хребтом, внимание останавливается на близких явлениях, сравнительно давно известных под именем рифтовых или рамповых долин на побережье Средиземного моря, в Палестине и на востоке Африканского континента.» (с. 123). «И в Африке, как и в Аравии, так же, как и в Восточной Сибири, формированию сводов и полос опускания предшествовала эпоха формирования зрелого рельефа, или, местами, пене-плена. Последующий этап – вспучивание свода – создает совершенно новые условия существования речной сети, приспособляющейся к новым условиям рельефа поверхности. И в Африке, и в Байкальской зоне на фоне развития сводового поднятия образуются узкие полосовидные зоны опускания. Формирование этих последних является сложным процессом, связанным с образованием диагональных перемычек внутри впадин. Впадины в некоторых частях начинают служить водоемами для крупных озер. Эти последние, в свою очередь, оказывают определенное ориентирующее влияние на прилегающую речную систему, служа для нее местным базисом эрозии. Формирование свода и узких полос опускания в Африке, так же, как и в Восточной Сибири, является

процессом, не завершенным до настоящего времени. И Байкальская система, и Великий Африканский рифт представляют собой области частых землетрясений. По окраинам впадин располагаются горячие ключи и газовые источники. На периферии сводового поднятия проявляется мощная эффузивная деятельность, как это мы видели, например, в Трансиордании. Совершенно аналогичное явление характерно и для Байкальской системы» (с. 125). «Поразительно также, что время образования полос опускания и в Африке, и в Сибири одно – третичный и четвертичный периоды вплоть до настоящего момента... Механизм образования и природа узких полос опускания представляются до самого последнего времени дискуссионными вопросами. В споре теорий рифта и рампа последний начинает, по-видимому, приобретать главенствующее значение» (Здесь же).

В другой работе этого же года Е.В. Павловский (1948б) рассматривает рельеф обширной территории юга Восточной Сибири и Дальнего Востока с обозначением Байкальского сводового поднятия, Селенгино-Витимского синклинория, Даурского свода и Шилкинского синклинория. С одной стороны, он вновь подчеркивает сходство структур юга Восточной Сибири с рифтовыми долинами Восточной Африки и района Мертвого моря, с другой стороны, делает вывод о неприменимости к структурам юга Восточной Сибири теории рифта и рампы, предлагая рассматривать происхождение этих структур в результате особых процессов аркогенеза и тафрогенеза.

Идея Е.В. Павловского о существенной роли сжатия коры на юге Восточной Сибири в мезозое и кайнозое не получила конкретного обсуждения в последующих работах Н.А. Флоренсова (1960) и Н.А. Логачева

(1977), поскольку для структуры БРЗ этими авторами была принята гипотеза рифтогенеза (тафрогенеза). Между тем в БРЗ установлены надвиги, отражающие сжатие верхней части коры (Ружич и др., 1972; Рассказов, 1990; Аль Хамуд и др., 2021). По гравиметрическим данным моделировалась утолщенная кора под хребтом и утоненная кора под впадиной (устное сообщение Ю.А. Зорина). Такие соотношения подтвердились моделью сейсмической томографии на профиле Тункинской долины и хр. Хамар-Дабан (Мордвинова и др., 2017).

Дополнительную аргументацию в пользу сочетания растяжения и сжатия в Байкальской системе поднятий и впадин вносят данные GPS-геодезии. Пространственное распределение преобладающих типов горизонтальных деформаций коры в поле современных горизонтальных деформаций территории Южного Прибайкалья и Северной Монголии отвечает зональной смене условий растяжения, сдвига и сжатия в направлении северо-запад – юго-восток (рис. 3). Впадины и понижения в региональном рельефе соответствуют областям растяжения и сдвига. Области преобладающего укорочения земной коры пространственно тяготеют к поднятиям (Лухнев и др., 2003).

Изучение разрезов осадочных отложений на Танхойской тектонической ступени Южного Байкала, выполненное в последние годы, показало, что после накопления осадочной толщи эоцена–начала плиоцена в спокойных тектонических условиях, в начале плиоцена активизировались сдвиговые смещения со сжатием. В районе Мишихи сдвиг по субширотному разлому сопровождался образованием лежачей складки, в верхнем крыле которой древние слои находятся выше молодых слоев (Аль Хамуд и др., 2021).

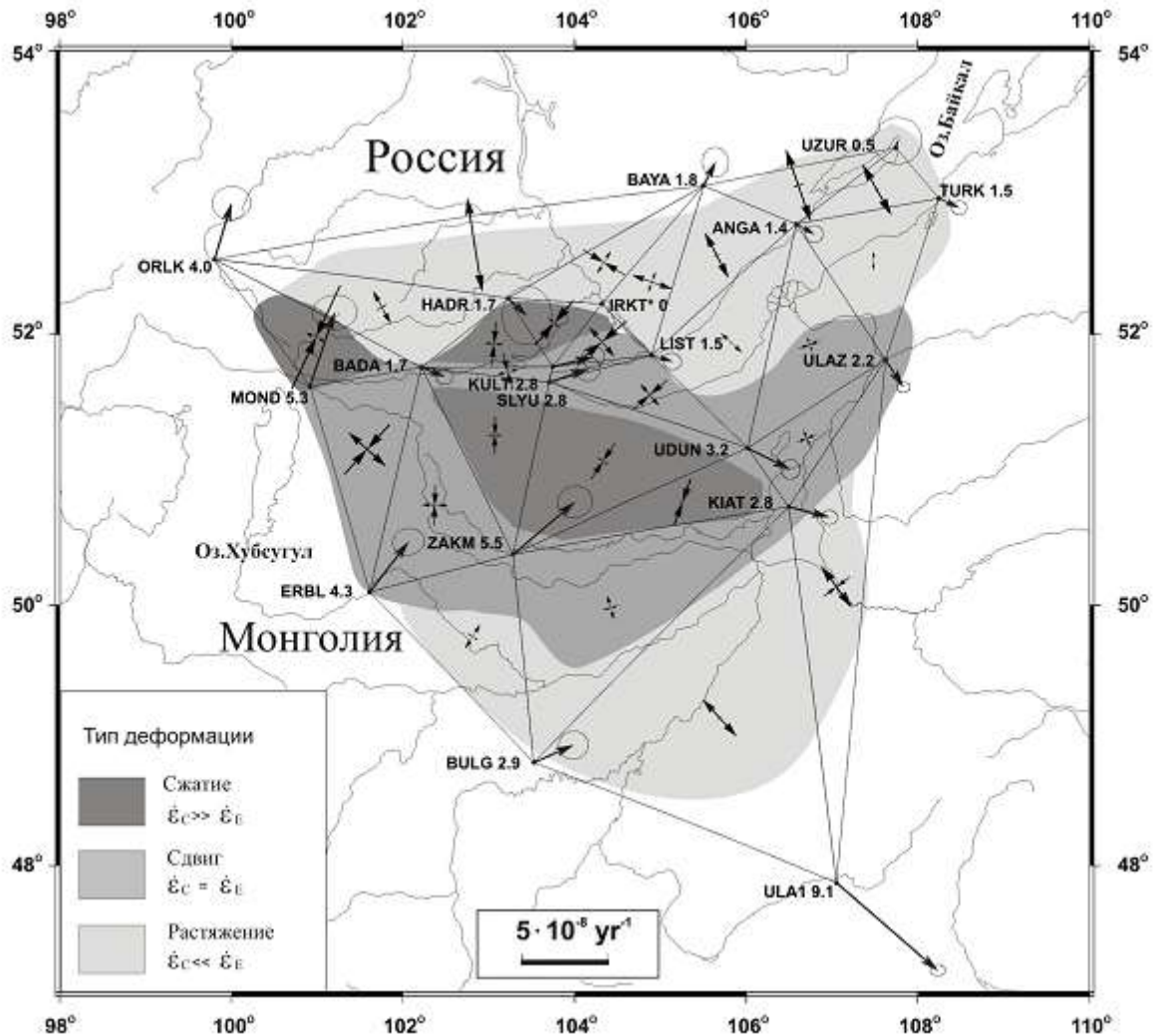


Рис. 3. Поле скоростей современных горизонтальных движений и деформаций южного обрамления Сибирской платформы по данным измерений на Байкальском и Монгольском GPS-полигонах за 1994–2001 гг. Векторы скорости смещений пунктов относительно ИРКТ показаны с эллипсами 95%-ного доверительного интервала. Рядом с пунктами наблюдений указаны аббревиатуры их названий и значения скорости движений в мм/год (Лухнев и др., 2003).

Fig. 3. The field of recent horizontal movement velocities and deformation rates of the southern surroundings of the Siberian platform, according to measurement data on the Baikal and Mongolia GPS testing areas for 1994–2001. Velocity vectors of sites relative to IRKT (Irkutsk) are shown with ellipses of the 95 percent confidence. At the measurement sites, name abbreviations and velocity rates (mm/year) are given after (Lukhnev et al., 2003).

На рис. 4 показаны представительные сейсмические профили 4 и 17 осадочного наполнения Южно-Байкальской впадины, пространственно соответствующие Осиновской и Мишихинско-Клюевской палеодолинам южного побережья Байкала (Расказов и др., 2014). На профиле 4 отчетливо различаются две толщи донных отложений: нижняя, складчатая и верхняя, горизонтально-слоистая. Верхняя толща смещена к северному борту впадины. У южного борта гори-

зонтальная слоистость отсутствует, и поверхность дна несколько поднимается. Такое строение профиля, закономерно отражающее асимметрию впадины байкальского типа (на которую впервые обратил внимание А.Л. Чекановский), предполагает интенсивное поступление осадочного материала в озеро преимущественно с южного борта впадины. Ритмично-слоистый материал, представлен в низах разреза донных отложений и в северной, и в южной частях озера.

В верхах разреза донных отложений южной части впадины слоистость становится неотчетливой, что свидетельствует о латеральной смене ритмичных осадков неслоистым материалом авандельты Осиновской па-

леодолины. После складчатых деформаций такой же неслоистый материал продолжал накапливаться в южной части впадины одновременно с накоплением глубоководных осадков в ее северной части.

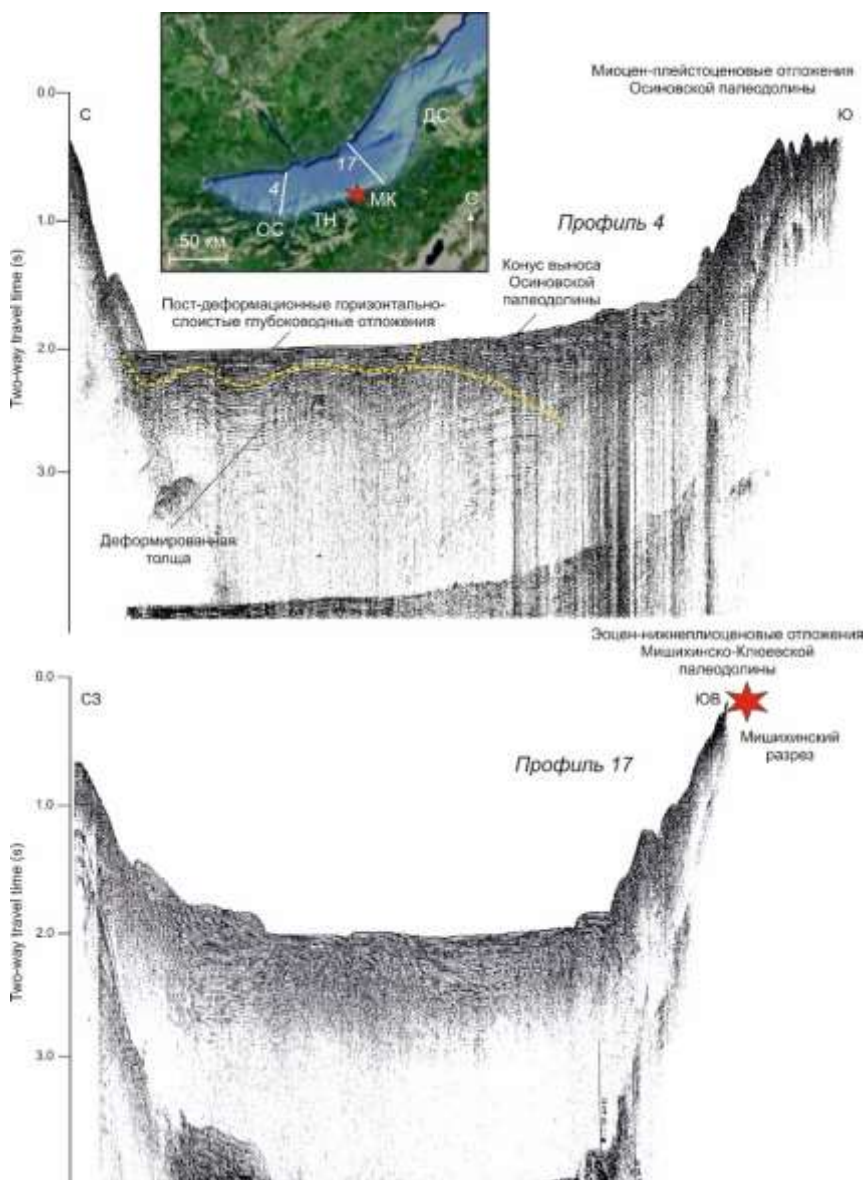


Рис. 4. Представительные сейсмические профили 4 (а) и 17 (б) осадочного наполнения Южно-Байкальской впадины (Логачев и др., 1996; Levi et al., 1997). Местоположение профилей показано на врезке в. На южном берегу Байкала профилям 4 и 17 пространственно соответствует распространение аллювиальных отложений Осиновской (ОС) и Мишихинско-Клюевской (МК) палеодолин, разделенных Танхойским блоком (ТН) с болотно-старичными отложениями. Стратоны разреза отложений Мишихинско-Клюевской палеодолины и Танхойского блока коррелируются со стратонами разреза, вскрытого скважинами в дельте р. Селенга (ДС).

Fig. 4. Representative seismic profiles 4 (a) and 17 (b) of the sedimentary filling of the South Baikal basin (Logatchev et al., 1996; Levi et al., 1997). The profile location is shown in inset c. On the southern shore of Lake Baikal, profiles 4 and 17 spatially correspond to the distribution of alluvial sediments of the Osinovka (OC) and Mishikha-Klyuevka (MK) paleovalleys, separated by the Tankhoi block (TH) with swamp-oxbow sediments. Strata of the sedimentary section in the Mishikha-Klyuevka paleovalley and the Tankhoi block correlate with those in the section studied by wells in the Selenga delta (DC).

Выявленная смена однонаправленного развития структуры от эоцена до начала плиоцена с последующим проявлением транспрессии коры может свидетельствовать в пользу кратковременного появления «сжатия, под влиянием которого началось вспучивание огромного валоподобного Станового хребта, сопровождавшееся сколами земной коры в замковой части свода» (Павловский, 1948; с. 120). Сжатие коры, выявленное на Танхойской тектонической ступени, действительно предшествовало росту хр. Хамар-Дабан, сопровождавшемуся накоплением во впадинах молассоидов аносской свиты верхнего плиоцена-эоплейстоцена.

Имеются факты, отражающие более поздние структурные перестройки в БРЗ. В северной (привпадинной) части Удоканского вулканического поля такая перестройка выразилась в резкой смене ориентировки даек одновременно со сменой состава магматических расплавов около 2.5 млн лет назад (Расказов, Чувашова, 2018). В осевой части хр. Удокан, в зоне голоценового вулканизма, было установлено изменение простирания трещинных магмовыводящих каналов с северо-западного на северо-восточное, произошедшее около 9–5 тыс. лет назад. Вулканизм Удоканского поля последних 15 тыс. лет контролировался структурами северо-восточной части Байкальской рифтовой системы и западной части Олекмо-Становой орогенной системы. Предполагается, что начало юного вулканизма было сопряжено с импульсом северо-западного сжатия верхней части коры в Олекмо-Становой системе, а затухание вулканизма произошло при ослаблении сжатия и переходе к преобладающему северо-западному растяжению коры, характерному для Байкальской рифтовой системы (Расказов, 1999). Перестройки, сопровождавшиеся проявлением сжатия коры, происходили в БРС с квазипериодичностью 2.5 млн лет: около 5–4 млн лет назад, около 2.5 млн лет назад и 9–5 тыс. лет назад. Эта квазипериодичность соответствует великим циклам эксцентриситета и, следовательно, может быть обусловлена орбитальным вращением Земли.

Мы приходим к выводу, что первоначальная идея Е.В. Павловского о проявлении сжатия коры при образовании впадины оз. Байкал не лишена оснований. Принимая во внимание импульсный характер развития вулканизма, пространственно связанного с Байкальской системой впадин в позднем кайнозое, мы предполагаем, что тектонические усилия растяжения и сжатия верхней части коры регулировали вулканические импульсы. Кора находится в условиях всестороннего сжатия. Растяжение коры, сопровождавшееся вулканизмом, чередовалось с ее сжатием, инверсионными движениями земной поверхности и реализацией надвигов в ходе планетарных циклических изменений тектонических напряжений с квазипериодичностью 2.5 млн лет.

Основные рабочие гипотезы о кайнозойском рифтогенезе на юге Восточной Сибири

В 1950-гг. начались систематические исследования осадочного наполнения впадин байкальского типа. В первой обобщающей работе по мезозойским и кайнозойским впадинам Прибайкалья и Забайкалья Н.А. Флоренсова (1960) за Байкальской системой впадин утвердилось новое понятие Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). В 1960–1990-х гг. были опубликованы многочисленные работы в поддержку этой гипотезы. Определяющую роль в распространении этой гипотезы сыграли монографические обобщения Н.А. Логачева (1974, 1977).

Здесь рассматриваются основные рабочие гипотезы: 1) об определении БРЗ (1960 г.), 2) об определении палеоценовых отложений в Байкальской системе впадин (1970 г.), 3) об омоложении БРЗ от ее центральной части на северо-восток (1966 г.), 4) о раннеорогенном (добайкальском) и позднеорогенном (необайкальском) этапах тектонического развития БРЗ (1974 г.), 5) о влиянии Индо-Азиатской конвергенции на образование БРЗ (1975 г.), 6) о сдвиговых движениях в БРЗ (1968 г.), 7) о вращении в БРЗ (1978 г.), 8) о сегментном строении БРС (1996 г.); 9) о поперечной структурной зональности в БРЗ (1984 г.), 10) об определении Байкальской рифтовой системы (БРС) (1993 г.) и 11) о зонах аккомодации в БРС (1993 г.).

Определение Байкальской рифтовой зоны

Первые детальные стратиграфические исследования осадочного наполнения впадин байкальского типа проводились на Танхойском третичном поле (Пальшин, 1955) и в долинах, Тункинской и Баргузинской (Логачев, 1958, 1968). В Тункинской и Баргузинской долинах и в дельте р. Селенги были пройдены глубокие скважины. В результате этих работ обозначились преимущественно

тонкозернистые угленосные отложения, выделенные в составе угленосной свиты. Выше угленосной свиты были охарактеризованы отложения охристой свиты, сложенной песками, гравелитами и галечниками, а еще выше – отложения песчаной свиты. Локально, в Тункинской впадине и на Еловском отроге выделялась туфогенно-осадочная свита (Логачев, 1958) (рис. 5).

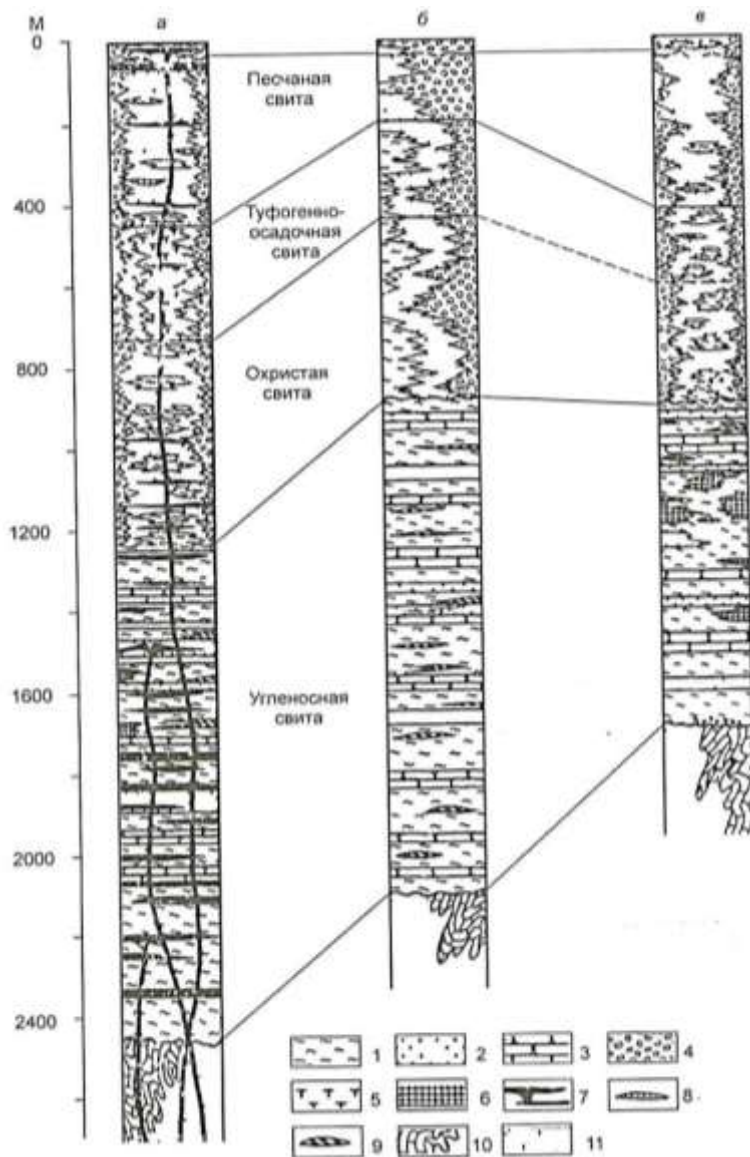


Рис. 5. Сопоставление разрезов кайнозойских отложений Тункинской долины (а), юго-восточного побережья оз. Байкал (б) и Баргузинской долины (в) (Логачев, 1958). 1 – глины, алевриты, алевролиты; 2 – пески; 3 – песчаники; 4 – конгломераты, галечники, брекчии, гравийные пески; 5 – туфы, туффиты; 6 – диатомиты, диатомовые глины; 7 – базальты; 8 – торфяники; 9 – бурые угли; 10 – паропороды докембрия; 11 – ортопороды докембрия.

Fig. 5. Comparison of sections of Cenozoic sediments of the Tunka Valley (a), the southeastern coast of Lake Baikal (b), and Barguzin Valley (v) (Logatchev, 1958). 1 – clays, silts, siltstones; 2 – sands; 3 – sandstones; 4 – conglomerates, pebbles, breccias, gravel sands; 5 – tuffs, tuffites; 6 – diatomites, diatomaceous; 7 – basalts; 8 – peat bogs; 9 – brown coals; 10 – Paleozoic metamorphic rocks; 11 – Paleozoic orthoquartzites.

clays; 7 – basalts; 8 – peatlands; 9 – brown coals; 10 – Precambrian steam rocks; 11 – Precambrian orthorocks.

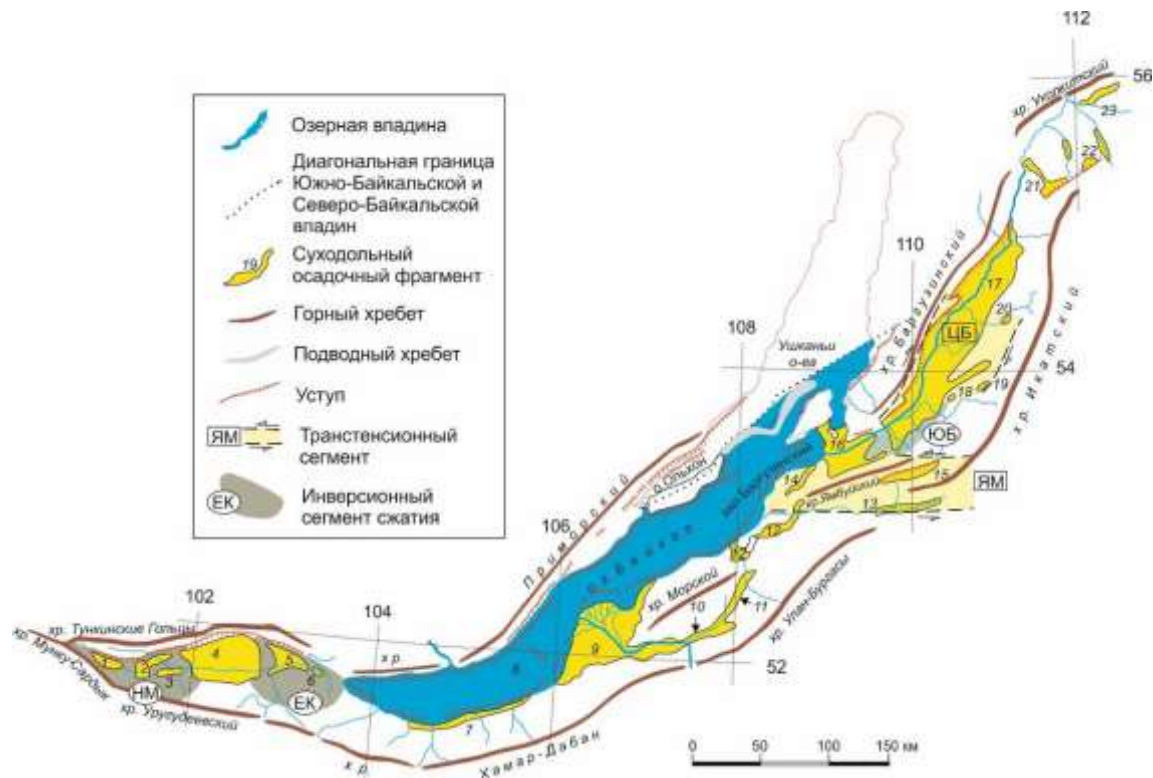


Рис. 6. Бассейны и хребты центральной части БРЗ. Впадины: 1 – Мондинская, 2 – Хойтогольская, 3 – Туранская, 4 – Тункинская, 5 – Торская, 6 – Быстринская, 7 – Танхойская, 8 – Южно-Байкальская, 9 – Усть-Селенгинская, 10 – Итанцинская, 11 – Хамская, 12 – Котокельская, 13 – Туркинская, 14 – Максимихинская, 15 – Ямбуйская, 16 – Усть-Баргузинская, 17 – Баргузинская, 18 – Ясская, 19 – Богундинская, 20 – Гаргинская, 21 – Амутская, 22 – Тураки, 23 – Нироконская. Транстензионные сегменты: ЦБ – Центрально-Баргузинский, ЯМ – Ямбуйский. Инверсионные секторы сжатия: ЕК – Еловско-Култукский, НМ – Ниловско-Мондинский, ЮБ – Южно-Баргузинский. В качестве основы использован фрагмент схематической карты центральной части БРЗ из работы (Флоренсов, 1960) с изменениями и дополнениями.

Fig. 6. Basins and ranges in the central part of the BRZ. Basins: 1 – Mondy, 2 – Khoitogol, 3 – Turan, 4 – Tunka, 5 – Tory, 6 – Bystraya, 7 – Tankhoi, 8 – South Baikal, 9 – Ust-Selenga, 10 – Itantsa, 11 – Khama, 12 – Kotokel, 13 – Turka, 14 – Maksimikha, 15 – Yambuy, 16 – Ust-Barguzin, 17 – Barguzin, 18 – Yassa, 19 – Bogundin, 20 – Garga, 21 – Amut, 22 – Turaki, 23 – Nirok. Transtension segments: ЦБ – Central Barguzin, ЯМ – Yambuy. Inversional sectors of compression: ЕК – Elovka-Kultuk, НМ – Nilovka-Mondy, ЮБ – South Barguzin. As a basis, a fragment of the sketch map of the central part of the BRZ from (Florensov, 1960) is used with changes and additions.

В ходе разработки легенды Государственных геологических карт, включающих впадины центральной части БРЗ, угленосная свита миоцена–нижнего плиоцена получила название танхойской по стратипу в районе ст. Танхой ($N_1-N_2^{1tn}$) на южном побережье Байкала, а охристая свита верхнего плиоцена–эоплейстоцена – название аносовской свиты по стратипу р. Аносовка ($N_2^2-Q_{Ean}$) здесь же. Вышележащая туфогенно-осадочная свита, распространенная локально в Тункинской впадине и на Еловском отроге,

вошла в литературу под названием «ахаликской свиты» (Логачев, 1974; Решения..., 1981). Однако в возрастном отношении эта свита оказалась вулканогенным возрастным аналогом аносовского осадочного стратона (Рассказов, 1993). Песчаная свита не получила собственного географического названия и в сущности является полихронной (Коломиец, 2010).

Дотанхойские кайнозойские отложения фрагментарно встречаются во впадинах байкальского типа и распространены в Селен-

гино-Витимском и Предбайкальском прогибах. Стратоны этих прогибов имеют возрастную диапозон от маастрихта до квартера (рис. 7). Со стратонами осевых впадин БРЗ

сопоставляются только стратоны верхней части разреза Селенгино-Витимского и Предбайкальского прогибов.

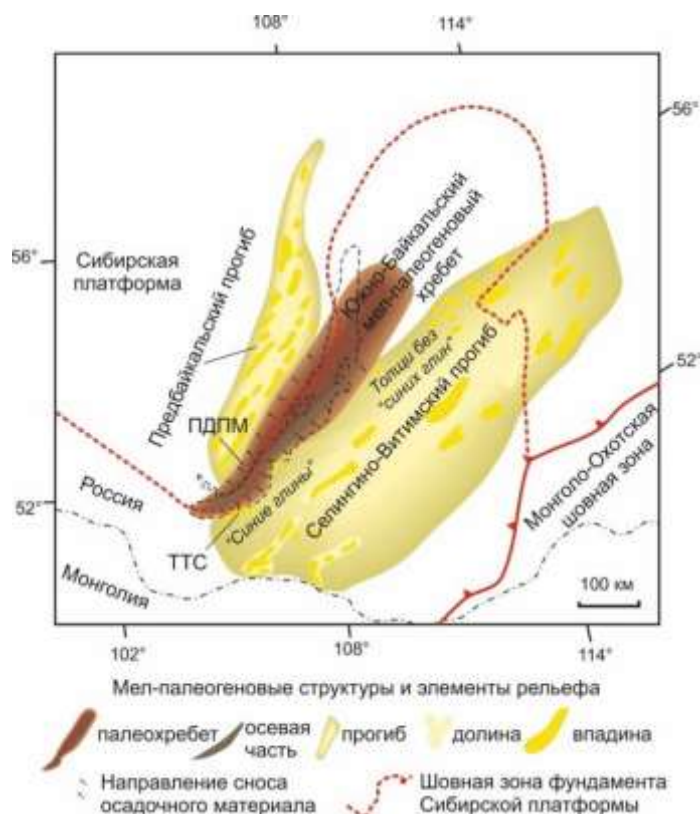


Рис. 7. Схема реконструкции основных морфоструктур мел-палеогенового рельефа на юге Восточной Сибири (Рассказов, Чувашова, 2018; Рассказов и др., 2021). Для ориентировки черной штриховой линией показан контур современного оз. Байкал. Районы исследований: Селенгино-Витимский прогиб и фланги Южно-Байкальской впадины (ТТС – Танхойская тектоническая ступень, ПДПМ – палеодолина Пра-Манзурки).

Fig. 7. Scheme of reconstruction of the main morphostructures of the Cretaceous-Paleogene relief in the south of Eastern Siberia (Rasskazov, Chuvashova, 2018; Rasskazov et al., 2021). For orientation, the black dashed line shows the modern outline of Lake Baikal. Research areas of the South Baikal basin (TTC – Tankhoi tectonic step, ПДПМ – Pra-Manzurka paleovalley).

Итак, благодаря работам Н.А. Флоренсова и Н.А. Логачева впадины БРЗ были маркированы последовательностью отложений, включающей танхойскую, аносовскую и песчаную свиты неогена-квартера. Более поздние работы показали, что разрез впадин байкальского типа существенно отличается от разрезов Предбайкальского и Селенгино-Витимского прогибов, повсеместно включающих более древние отложения (до маастрихта), что придало БРЗ и ее фланговым прогибам смысл единой структуры, получившей развитие на новейшем геодинамическом этапе.

Закреплению за Байкальской системой впадин статуса впадин БРЗ способствовало определение механизмов очагов сильных землетрясений сбросового типа в коре под впадинами оз. Байкал и сбросо-сдвигового типа под впадинами северо-восточной части этой системы (Мишарина, 1967). Такой характер деформаций коры в целом подтверждался утонением коры под впадинами (Недра..., 1981), преимущественно сбросовым и сдвиго-сбросовым характером движений по рельефообразующим разломам впадин (Геология..., 1984) и расхождением бортов впадин по данным спутниковой геодезии

(Sankov et al., 2000; Лухнев и др., 2003; Саньков и др., 2004; Ашурков и др., 2010).

Определение палеоценовых отложений в Байкальской системе впадин

Одним из основных вопросов, требующий решения, был вопрос о начале рифтогенеза. На Ахаликском буроугольном месторождении (Еловский отрог в Тункинской долине) скважинами была вскрыта 60-метровая вулканогенно-осадочная толща, датированная, предположительно, палеоценом по признаку латеритного выветривания материала (Хлыстов, Дехтярева, 1970). Ахаликская находка отложений, предположительно, палеоценовой коры выветривания служила аргументом для утверждения присутствия во впадинах байкальского типа палеоценового литостратиграфического комплекса (Логачев, 1974). Подобным образом предполагался палеоценовый возраст фрагментов красноцветных кор выветривания на о-ве Ольхон оз. Байкал (Мац и др., 2001), но в этом случае какое-либо подтверждение высокой степени преобразования материала или палеонтологическое обоснование возраста отсутствовало.

Сравнительное изучение красноцветных отложений в разных регионах Азии показало, что, несмотря на образование в условиях климатического оптимума, палеоценовые красноцветы Тянь-Шаня, юга Монголии и других территорий Центральной Азии не обнаруживают признаков латеритного выветривания с обогащением глиноземом. Химический анализ, предположительно, палеоценовой коры выветривания на м. Харалган о-ва Ольхон также не показал обогащения глиноземом. В Предбайкальском прогибе высокоглиноземистые породы залегают на красноцветных породах верхоленской свиты верхнего кембрия и, по-видимому, наследуют литологические характеристики этих пород в результате их местного размыва. Подобным образом, с отложениями верхнего кембрия пространственно связана осадочно-вулканогенная толща Еловского отрога.

Идентификация палеоценовых отложений только по признаку обогащения глиноземом вызывает сомнения (Рассказов и др., 2016).

В скважине Степной Дворец дельты Селенги на глубине 3100 м были вскрыты эоценовые отложения (Замараев, Самсонов, 1959; Файзулина, Козлова, 1966) (рис. 8). Предполагалось, что палеоценовые отложения могут находиться в нижележащей части разреза, поэтому для Южно-Байкальской впадины допускалось палеоценовое начало осадконакопления (Логачев, 1974, 2003). На побережье Байкала, однако, отложений древнее эоценовых по-прежнему не известно. По материалу коры выветривания северо-западного берега оз. Байкал М.М. Аракелянц было определено соотношение радиогенного аргона и радиоактивного ^{40}K , соответствующее эоцену. Эоценовый возраст самых древних отложений в геологической структуре Южного Байкала подтвержден в Мишихинском разрезе Танхойской тектонической ступени (Аль Хамуд и др., 2019, 2022).

Датировка 72 млн лет, полученная К–Аг методом для базальтов ложа оз. Хобок на Еловском отроге (Рассказов, 1993), нуждается в подтверждении дополнительным радиоизотопным датированием.

Палеоценовая датировка коры выветривания 59 ± 5 млн лет была получена по кристаллам вермикулита размером 1–2 см из зоны выветривания в Задойском щелочно-ультраосновном массиве Присяня. Проводился ступенчатый нагрев кристаллов с вычленением из общего ^{40}Ar порции радиогенного аргона, накопившейся после нарушения К–Аг-изотопной системы палеоценовыми гипергенными процессами (Логачев и др., 2002). Эта находка коры выветривания пространственно соответствует юго-западному продолжению Предбайкальского прогиба и может маркировать палеоценовое поднятие ложа этой структуры с выведением пород из зоны латеритного выветривания.

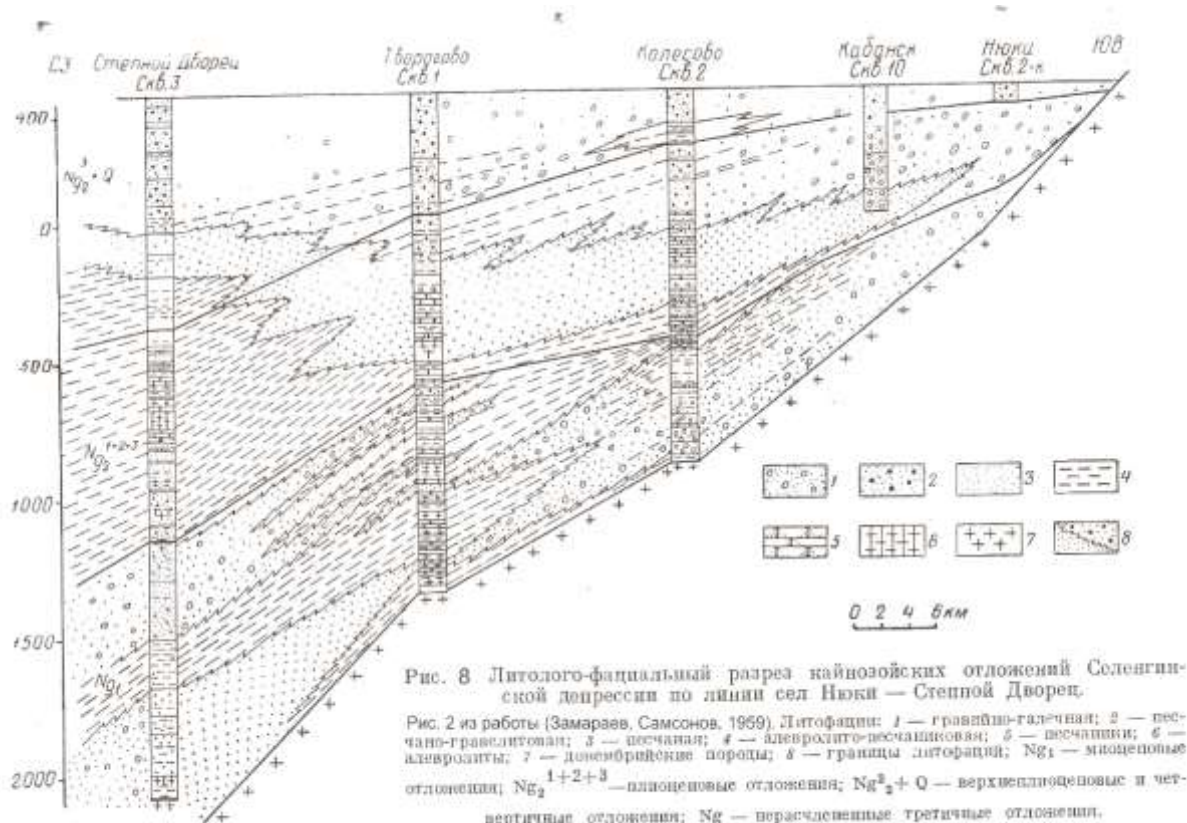


Fig. 8. Lithological-facial section of the Cenozoic sediments of the Selenga depression along the line of the villages Nyuki - Stepnoy Dvoretz. Fig. 2 from (Zamaraev, Samsonov, 1959). Lithological facies: 1 – gravel-pebble; 2 – sand-gravelite; 3 – sandy; 4 – siltstone-sandstone; 5 – sandstone; 6 – siltstone; 7 – Precambrian rocks; 8 – boundaries of lithological facies. Ng_1 – Miocene deposits; Ng_2^{1+2+3} – Pliocene deposits; Ng_2^3+Q – Upper Pliocene and Quaternary deposits; Ng – undivided Tertiary deposits

Омоложение БРЗ от ее центральной части на северо-восток

Идея о разрастании БРЗ к северо-востоку была положена в основу монографии «Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья» (Солоненко и др., 1966). В качестве показателя такого разрастания рассматривалось развитие малых впадин (Лурбунской, Ингамакитской и др.), названных эмбриональными, и проявление молодых вулканических извержений на хр. Удокан, предположительно, в плейстоцене и голоцене.

В настоящее время Южно-Байкальское звено Байкальской системы впадин может рассматриваться как ее часть, получившая развитие начиная с эоцена. В юго-западной части Баргузинской долины скважинами вскрыты олигоценые отложения (Хассан и др., 2022), а в Чарской впадине – среднемиоценовые (Еникеев, 1999). Следователь-

но, наиболее ранние отложения во впадинах омолаживались от Южного Байкала через Баргузинскую долину к Чарской впадине, что, в общем, подтверждает идею В.П. Солоненко о разрастании БРЗ к северо-востоку. Однако время разрастания определяется не плейстоценом и голоценом, как предполагал В.П. Солоненко, а эоценом, олигоценом и средним миоценом.

Заключительная серия извержений была датирована радиоуглеродным методом интервалом 14.4–2.04 тыс. лет (пересчитанный календарный возраст из работ (Девирц и др., 1981; Рассказов, 1999)). Однако более ранние вулканические события оказались плейстоценовыми только в западной части Удоканского вулканического поля. В его северной части извержения начались в среднем миоцене, около 14 млн лет назад, и с перерывами продолжались до голоцена (Рассказов и др., 2000). Со среднего миоцена вулка-

низм развивался импульсно в противофазе относительно извержений, происходивших на Витимском плоскогорье (Рассказов, Чувашова, 2018).

Унаследованное развитие впадин оз. Байкал от структуры докайнозойского фундамента

Образование Байкальской впадины сначала связывалось с выходами метаморфических пород фундамента по границе Сибирской платформы (рис. 9). В 1960-х гг. все породы гранулитовой фации метаморфизма считались архейскими. Между тем, в более поздних работах обращалось внимание на то, что в метаморфических породах Шарыжальского блока находятся тела высоко-

железистых гипербазитов (коматиитоподобных пород), а в метаморфических породах Приольхонья и о. Ольхон – тела более магнезиальных альпинотипных гипербазитов (Грудинин, Меньшагин, 1987; Байкал..., 2011). Коматиитоподобные породы рассматривались как маркирующие для выходов пород фундамента Сибирского палеоконтинента. Находки тел коматиитоподобного состава на м. Хадарта (Малое Море) и п-ове Святой Нос свидетельствовали о тектоническом отторжении фрагментов фундамента и вовлечении их в тектонический меланж аккретированных раннепалеозойских террейнов (Чувашова, Рассказов, 2014).

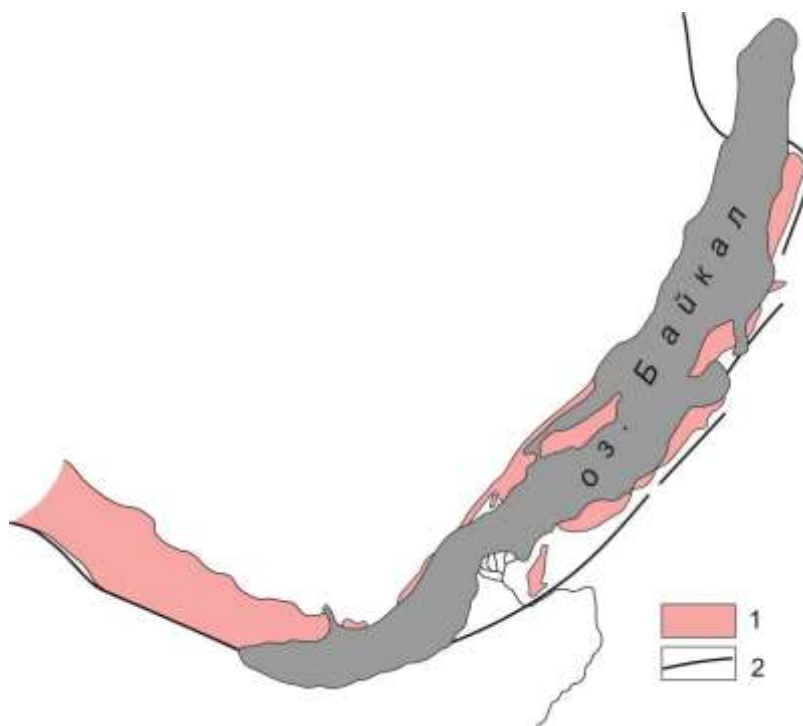


Рис. 9. Ранняя интерпретация структурного положения впадины оз. Байкал ((Ламакин, 1968) с упрощениями). 1 – глыбы метаморфических (архейских) пород; 2 – основные разломы, ограничивающие фундамент Сибирской платформы.

Fig. 9. Early interpretation of structural setting of the Lake Baikal basin. Simplified after (Lamakin, 1968). 1 – blocks of metamorphic (Archean) rocks; 2 – main faults that limit the basement of the Siberian platform.

Следовательно, идея унаследованного развития впадины от зоны распространения метаморфических пород, связанных с фундаментом палеоконтинента в общем подтверждается. Хотя граница южного края фундамента Сибирской платформы трассирована выступами палеопротерозойских осадочных и вулканогенно-осадочных обра-

зований, расположенных севернее Байкальской впадины, она, по-видимому, имеет в целом рассеянный характер и представляет собой широкую тектоническую зону распространения пород Ольхонского метаморфического террейна.

Раннеорогенный (добайкальский) и позднеорогенный (необайкальский) этапы развития БРЗ

Поскольку в БРЗ поднятия по площади существенно преобладают над впадинами, развитие этой структуры связывалось с орогенными процессами (горообразованием). Такое восприятие БРЗ отличалось от разделения орогенеза как процесса, развивающегося в результате сжатия коры, и рифтогенеза (тафрогенеза) как процесса ее растяжения. Например, в Тибетско-Гималайском орогене, имеющем 74-километровую кору, обозначаются рифты (Шенгёр, Натальин, 2009).

По характеру осадконакопления во впадинах БРЗ различалось два этапа тектонического развития территории: раннеорогенный (добайкальский) и позднеорогенный (необайкальский). Предполагалось, что на раннеорогенном этапе накапливалась угленосная (танхойская) свита при спокойном опускании впадин в условиях влажного и теплого климата. На позднеорогенном этапе накапливалась «охристая» (аносовская) свита при резком поднятии горных хребтов и опускании впадин в условиях аридизации и похолодания климата (Логачев, 1974).

Необайкальский этап обозначен образованием глубокого Байкала. О быстром опускании котловины Байкала свидетельствует состав отложений центральных частей Северного и Среднего Байкала, в которых под 2–3-метровым слоем пелитовых илов залегает песок и гравий. Вскрытая мощность грубозернистых отложений достигает 7 м. Следовательно, в недавнем геологическом прошлом осадки, вскрытые ныне на глубине 1000 м и более, накопились на мелководье вблизи суши – источника грубозернистого материала. Медленное накопление осадков не компенсировало быстрое погружение ложа котловины Байкала (Логачев, 1974).

Морфология подводной части Байкальской впадины зависела от соотношения опускания дна и привноса осадочного материала. Первые подсчеты осадконакопления в Байкале для удаленных от берегов участков дали оценку скорости 4.2 см за 1000 лет (Вотинцев и др., 1965). По палеомагнитным данным были получены оценки скорости

накопления осадков в Северном Байкале на порядок меньше – 0.2–0.7 см за 1000 лет (Кравчинский и др., 1971).

О времени образования озера и глубоководной Байкальской впадины выдвигались разные предположения. По скорости отложения осадков время накопления дельтовых толщ рек Верхняя Ангара и Кичера оценивалась в 560 тыс. лет (Гурулев, 1959). Позже предполагалось ее образование на границе среднего и верхнего плейстоцена (Аносов, 1964) (т.е. около 126 тыс. лет назад). По палеогеографической реконструкции позднего плейстоцена делался подобный вывод о том, что единый глубоководный бассейн, резко отличавшийся от олигоценовых, миоценовых и плиоценовых палеоводоемов, образовался около 100 тыс. лет назад (Лопатин, Томилов, 2004).

В дискуссии о возрасте глубокого Байкала (Логачев, 1974; Лопатин, Томилов, 1977, 2004; Лопатин, 2016; Кононов, Хлыстов, 2017) привлекались данные по интерпретации происхождения и возраста древних палеодолин Пра-Манзурки и Пра-Анги на Ангара-Ленском междуречье северо-западного побережья Байкала. Высказывалась крайняя точка зрения, в которых делался упор на находке аллювия Пра-Мазурки у мыса Роговик, вблизи устья р. Голоустной, на высоте 350 м над уровнем озера, и допускалось отсутствие оз. Байкал в манзурское время. В сухоходольный этап развития Южно-Байкальской впадины верховья Пра-Манзурки относились к Пра-Селенге (Лопатин, Томилов, 1977, 2004; Лопатин, 2016).

Таким молодым оценкам времени образования глубокого Байкала противоречат биостратиграфические, геологические и биологические факты.

В биостратиграфическом подходе по распространению глин больших мощностей и вмещающих их диатомитов намечены контуры раннеплиоценового озерного бассейна, охватывающего среднюю и северную части акватории Малого моря и протягивающегося почти в субширотном направлении до Баргузинского залива. На юго-восточном побережье Байкала обозначается обширный раннеплиоценовый озерный водоем (Лут и др., 1984).

В antecedentном отрезке долины р. Селенги, между хребтами Хамар-Дабан и Улан-Бургасы, отсутствовали отложения древнее эоплейстоценовых (Логачев, 1974). «Возраст мергелей Посольской банки на глубине 600 м от вершинной поверхности по палинологическим данным оказался не древнее начала раннего плейстоцена (2.58–1.8 млн лет), а возраст аргиллитов Кукуйской гривы на горизонте 450 м ниже вершины – середина раннего плейстоцена (1.8–1.5 млн лет). Таким образом, полученные данные убедительно показывают наличие древней дельты р. Селенги, что предполагает существование озерного принимающего бассейна, достаточно глубокого и обширного, соответствующего масштабу впадающей реки, и отрицают возможность существования транзитной реки через Байкальскую впадину» (Кононов, Хлыстов, 2017, с. 122).

Скоростной разрез авандельты р. Селенги интерпретировался, исходя из средней скорости накопления отложений 17 см за 1000 лет. Клиноформные пачки перемежаемости отложений авандельты с пелагическими осадками были идентифицированы в верхней 2-километровой части разреза. Сделан вывод о том, что депоцентр авандельты развивался в последние 3–2 млн лет (Scholz, Hutchinson, 2000). Эти построения не противоречат выводу об эоплейстоценовом образовании прорези долины р. Селенги (Логачев, 1974). К этому следует добавить результаты бурения 600-метровой скважины ВДР-98 на подводном Академическом хребте, пройденной по сравнительно монотонной озерной осадочной толще, содержащей планктонные диатомовые водоросли. Возраст вскрытых озерных отложений составляет около 8 млн лет (Кузьмин и др., 2014; Kravchinsky, 2017).

Данные, приведенные в настоящем разделе, согласуются с выводом о едином развитии аллювиального осадконакопления на Танхойской тектонической ступени с эоцена до начала плиоцена и последующем резком изменении характера тектонических деформаций в Южно-Байкальской впадине, которые привели к образованию высоких горных хребтов и глубокого Байкала (Аль Хамуд и др., 2021). Имеющиеся факты противоречат

предположению о сухоходольном этапе развития Южно-Байкальской впадины с существованием единой долины от Пра-Селенги к Пра-Манзурке (Лопатин, Томилов, 1977, 2004; Лопатин, 2016), хотя нельзя исключить возможность длительного существования речных водотоков, пересекавших будущий Байкал от Мишихинско-Клюевской и/или Осиновской палеодолин, обозначенных в работе (Рассказов и др., 2014). Такая реконструкция требует конкретной аргументации с представлением данных о единстве аллювиального материала Мишихинско-Клюевской (и/или Осиновской) палеодолин с одновозрастным аллювиальным материалом Манзурской палеодолины и/или других вероятных палеодолин на северо-западном побережье Байкала.

В донных отложениях озера определены остатки рода *Lamprodrilus wagneri*, который появился на оз. Байкале 4.3–3.3 млн лет назад. Большинство видов этого рода обитает только в холодной воде и на глубинах от 400 до 900 м (Kaugorodova et al., 2007). По данным молекулярно-биологических исследований эндемичные виды хирономид (Baikolian) *Sergentia* восходят к времени существования озерного бассейна порядка 25–26 млн лет назад (цитируется по работе (Кононов, Хлыстов, 2017)).

Биологические оценки дают ограничения возраста глубокого Байкала, независимые от геологических оценок. Определяющее значение остается за геологическими данными, свидетельствующими о том, что в окружении Байкала раннеорогенный (добайкальский) этап сменяется позднеорогенным (необайкальским) (Логачев, 1974).

Влияние Индо-Азиатской конвергенции на образование БРЗ

Предположение о влиянии Гималайско-Тибетской области сжатия на орогенез в Азии было выдвинуто Эмилем Арганом на Геологическом конгрессе в Париже в 1923 г. (Хаин, Яблонская, 1979). Эта гипотеза получила новое звучание в статьях о четвертичной тектонике Азии П. Молнара и Ж. Таппонье (Molnar, Tarronnier, 1975; Tarronnier, Molnar, 1979). Большую популярность приобрели построения, основанные на предпо-

ложении о развитии деформаций в литосфере Внутренней Азии, включая Байкальскую систему впадин, вследствие распространения процессов коллизии, произошедшей в раннем кайнозое между Индостаном и Азией. До сих пор эта точка зрения часто принимается без какой-либо аргументации, хотя один из авторов гипотезы (П. Молнар) признал в более поздних работах факт кардинальной смены современного напряженно-деформированного состояния коры на территориях, с одной стороны, Гималаев и Тибета, с другой – Монголии и Байкала (England, Molnar, 1997).

Согласованное развитие Тибетско-Гималайской структуры и структур юго-западной части Байкальской рифтовой системы получило аргументацию через сходство пространственно-временного развития вулканизма (Рассказов и др., 2012).

Сдвиговые смещения в БРЗ

В интерпретациях структуры Байкальской рифтовой системы допускалось (в порядке появления): 1) образование Байкальской впадины при крупномасштабных левосторонних сдвиговых смещениях по западно-северо-западному Зыркузунскому (Главному Саянскому) разлому и субширотному разлому на Среднем Байкале (Ламакин, 1968), 2) поперечное сдвиговое смещение в рифтовой зоне по северо-западным и субмеридиональ-

ным разломам (Хренов и др., 1975; Уфимцев, 1987), 3) левостороннее смещение в северо-восточной части Байкальской рифтовой зоны (Molnar, Tapponnier, 1975), 4) смещения по продольным (субширотным) разломам в северо-восточной и юго-западной частях рифтовой зоны (Шерман, Леви, 1977, 1978; Шерман, 2014).

Оценка амплитуды левосторонних движений порядка 15 км по Главному Саянскому разлому основывалась на смещении русла р. Иркут в Зыркузунской петле (Ламакин, 1968) (рис. 10). По сходной (левосдвиговой) современной кинематике смещений в субширотных плоскостях разрывов, установленных по фокальным механизмам сильных землетрясений, Култукская (западная) половина Южно-Байкальской впадины, относилась вместе с Тункинской долиной к широтной подвижной зоне (Мельникова и др., 2012), несмотря на существование в восточной части этой долины области сейсмического затишья. Очевидно, что для определения истинной амплитуды кайнозойских боковых движений в Главном Саянском разломе и Тункинской долине необходимо использовать сдвинутые геологические реперы в крыльях этих структур. В качестве реперов могут использоваться вулканические породы.

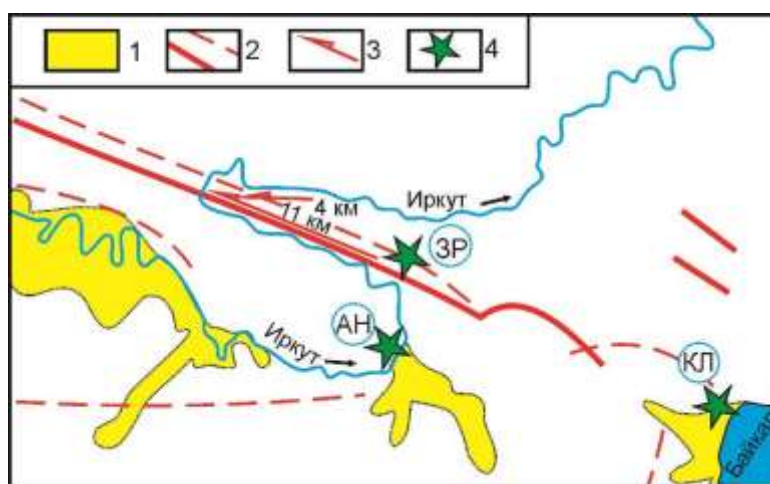


Рис. 10. Кажущийся Зыркузунский (Главный Саянский) «левосторонний сдвиг» с предположительной амплитудой 15 км. 1 – четвертичные отложения; 2 – древние разломы; 3 – «молодые сдвиги»; 4 – местоположение среднемиоценовых Култукского (КЛ), Анчукского (АН) и Зыркузунского (ЗР) вулканов, не смещенных предполагаемым сдвигом. На территории между Зыркузунской петлей и Байкалом разлом не имеет ясного выражения в рельефе. Схема из книги В.В. Ламакина (1968) с дополнениями местоположения ранне-среднемиоценовых вулканов.

Fig. 10. Apparent Zyrkuzun (Main Sayan) "left lateral shift" with the proposed amplitude of 15 km. 1 – Quaternary sediments; 2 – ancient faults; 3 – "young shifts"; 4 – locations of the Middle Miocene Kultuk (КЛ), Anchuk (АН), and Zyrkuzun (ЗР) volcanoes, not consistent with the expected shift. In the area between the Zyrkuzun loop and Baikal rift, the fault shows no clear expression in relief. The scheme is after (Lamakin, 1968) with additions showing locations of the Early-Middle Miocene volcanoes.

При изучении Култукского вулкана эти оценки, однако, не подтвердились. Вулкан расположен в области сочленения Обручевского и Главного Саянского разломов. Первый разлом ограничивает с севера Южно-Байкальскую впадину, второй – отделяет архейский Шарыжалгайский выступ фундамента Сибирской платформы от сопредельного раннепалеозойского Хамардабанского составного террейна. Предполагалось, что в кайнозое Обручевский разлом был сбросом, а Главный Саянский – левосторонним сдвигом.

Крупноамплитудному Зыркузунскому сдвигу (или сдвигу Главного Саянского разлома) на изгибе долины р. Иркут придавалось в кайнозое значение «расщеления Южной котловины Байкала в северном направлении» (Ламакин, 1968; с. 128). Позже это же допущение было положено в основу палинспастических реконструкций ее раскрытия (Балла и др., 1990). В модели трансформных разломов Байкальской рифтовой зоны также предполагались сдвиговые смещения, но не по Главному Саянскому разлому, а вдоль Тункинской рифтовой долины (Шерман, Леви, 1977). В обеих схемах образования южно-байкальской части Байкальской рифтовой зоны придавалось решающее значение крупноамплитудным сдвигам.

Между тем, изгиб р. Иркут в Зыркузунском ущелье мог унаследовать неоднородности пород фундамента, на что в свое время указывал И.Д. Черский. Предполагаемые сдвиговые смещения на кайнозойском этапе в этом случае не играли никакой роли в изгибании речного русла. И действительно, линейная конфигурация вулканических зон и разнесенных по высоте фрагментов вулканических и субвулканических тел свидетельствует об отсутствии боковых смещений. Кулисное расположение Камарской и Становой зон интерпретируется как свидетельство трансенсии в субмеридиональной системе Камарской и Становой зон, суще-

ствовавшей во временном интервале 18–12 млн лет назад.

В то же время вертикальные движения по Обручевскому сбросу подтверждаются геологическими реперами. Суммарную амплитуду сброса дает оценка мощности кайнозойских отложений до 4 км и водная линза толщиной 1 км в западной части Южно-Байкальской впадины (Logatchev, Zorin, 1992). Култукский вулкан находится на ветви Обручевского разлома, вырождающейся по его простирацию. Быстрое затухание амплитуды вертикальных смещений вдоль разлома с востока на запад, сопровождающееся наклоном поверхности блока вулкана к востоку, свидетельствует о шарнирной кинематике движений (Рассказов и др., 2013).

Поперечное сдвиговое смещение в рифтовой зоне отмечались по локальным северо-западным и субмеридиональным разломам (Хренов и др., 1975; Уфимцев, 1987). Какое значение имели поперечные разломы для развития Байкальской системы впадин, осталось неясным.

В качестве зоны левосторонних смещений интерпретировалась кулисообразная система впадин северо-восточной части БРЗ (Molnar, Tapponnier, 1975). П. Таппонье проводил эксперименты с глинистой пастой и поэтому интерпретировал кулисообразный характер проявления активных разломов в рельефе как показатель левосторонней сдвиговой зоны. Эта интерпретация нашла отклик в более поздних работах разных авторов по северо-восточной части БРЗ.

Кроме северо-восточной части БРЗ и Среднего Байкала, левосторонние смещения обозначались вдоль Тункинской долины и Болнайского разлома в Северной Монголии. Сочетанию четырех зон сдвиговых смещений придавалось значение «трансформных разломов» межплитной границы. Предполагалось, что сочетание рифт–трансформный разлом–рифт должно играть такую же роль как сочетание этих структурных элементов в срединных хребтах океанов. Механизм,

включающий относительное боковое смещение сегментов океанического дна по трансформному разлому, был предложен канадским геофизиком Тузо Вилсоном (Wilson, 1965) для объяснения разной скорости спрединга с заполнением раздвигающейся океанической коры базальтовыми расплавами. Мог ли подобный процесс иметь место в Байкальской системе впадин?

Зоны современного межплитного наращивания океанической коры трассируются низкокальциевыми базальтами обедненного геохимического типа (базальты срединно-океанических хребтов – Mid-Ocean Ridge Basalts, MORB), а активные конвергентные межплитные границы – зональными надсубдукционными вулканическими комплексами (андезитами). На трансформных межплитных границах регистрируются различные проявления магматизма из мантийных и коровых источников без определенной специфики. Вольное использование термина «трансформный разлом» отразило начало кризиса тектоники литосферных плит с их делением на «микроплиты», появившаяся в работах 1970–1990-х гг. Такие работы появились вследствие несоблюдения постулата плитной тектоники о жесткости литосферных плит. Однако идея «микроплит» не получила обоснования с точки зрения магматической геодинамики в той мере как тектоника литосферных плит. «Микроплиты» не разделяются между собой спрединговыми зонами и не обозначаются специфическими надсубдукционными магматическими комплексами. Иными словами, границы «микроплит» не имеют такого же значения как принятые границы литосферных плит.

На территории Азии термин «микроплита» и другие термины тектоники литосферных плит использовались в работах некоторых авторов для объектов, обозначенных термином «геоблок». Современная территория Забайкалья, относящаяся, например, к «Амурской микроплите» и отличающаяся полем скоростей от стабильной Азии, имеет сейсмотектоническую границу на севере, соответствующую Байкальской рифтовой зоне. Западная, южная и восточная границы этой «микроплиты» проводятся произвольно и большей частью не имеют современного

структурного выражения. Внутренняя часть «Амурской микроплиты» характеризуется сейсмичностью, высокой подвижностью и вулканическими проявлениями (например, в ней находятся Витимское и Дариганское вулканические поля). Очевидно, что в этих конкретных и подобных случаях термины «микроплита» и «граница между микроплитами» не отражают содержание, которое имеют термины «литосферная плита» и «межплитная граница». Литосфера Азии подвижна в системах, таких как Байкальская, Центрально-Азиатская, Циркум-Ордосская и др., разделяющих относительно стабильные геоблоки. Соответственно, границы таких подвижных систем определяются пространственной сменой конвергентного, дивергентного или смешанного деформационных режимов.

Вращение в БРЗ

В БРЗ предлагалось два взаимоисключающих варианта относительного вращения Сибирского и Забайкальского геоблоков: 1) с полюсом Эйлера, расположенным на плато Путорана и 2) с полюсом Эйлера на северо-восточном окончании.

По первому варианту предполагалась передача движений между раздвиговыми Северо-Байкальской и Чарской впадинами по единой системе кулис Муйско-Чарского разлома. Образование Баргузинской и Ципа-Баунтовской впадин связывалось с активностью другого (Байкало-Чарского) разлома. Соответственно, такие же движения распространялись на Тункинскую долину и Болнайский разлом (Шерман, Леви, 1977, 1978). Механизмы очагов землетрясений не учитывались.

По второму варианту, вращение в БРЗ определялось при статистическом анализе ориентировок осей растяжения в очагах землетрясений в ее центральной и северо-восточных частях и на ее юго-западную часть не распространялось (Зоненшайн и др., 1978). Приблизительно там же предполагался полюс вращения при оценке относительного расхождения в БРЗ блоков Сибирской платформы и Забайкалья по гравиметрическим аномалиям (Зорин, Кордел, 1991) и по модели неравномерной сегментации БРС,

отразившейся в пространственно-временном распространении вулканизма (рис. 11) (Rasskazov, 1994; Рассказов, 1996). Затем поло-

жение полюса вращения приблизительно в том же месте БРЗ подтвердилось результатами спутниковой геодезии (рис. 12).

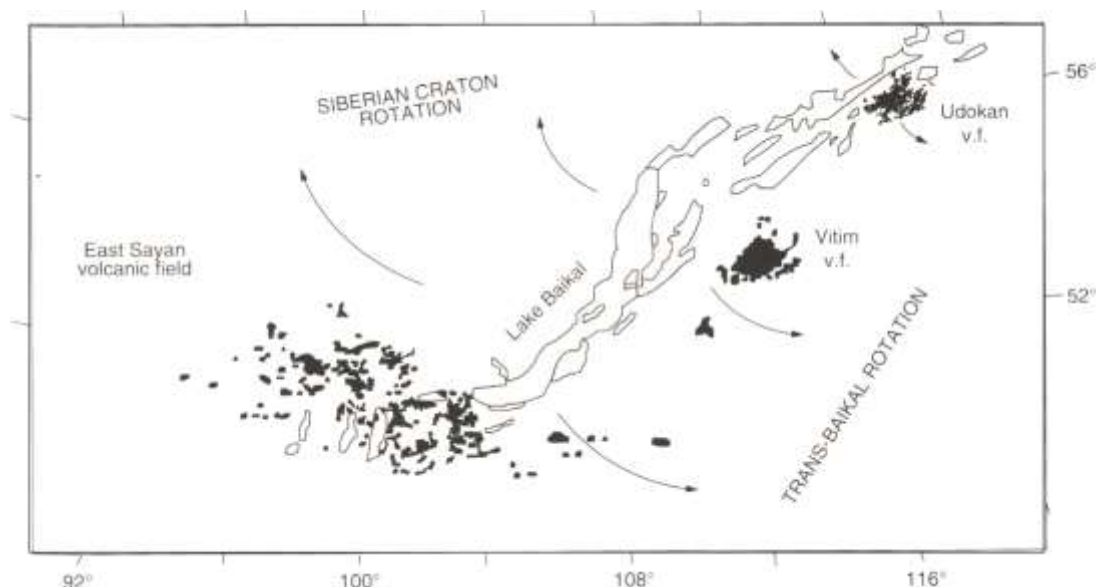


Рис. 11. Схема относительного вращения Сибирского кратона и Забайкалья на основе решений фокальных механизмов очагов землетрясений (Зоненшайн и др., 1981), гравиметрических данных (Зорин, Корделл, 1991) и распределения вулканизма. Из работы (Rasskazov, 1994).

Fig. 11. Scheme of the relative rotation of the Siberian craton and Trans-Baikal based on focal-mechanism solutions (Zonenshain et al., 1978), gravity data (Zorin & Cordell, 1991), and volcanism distribution. After (Rasskazov, 1994).

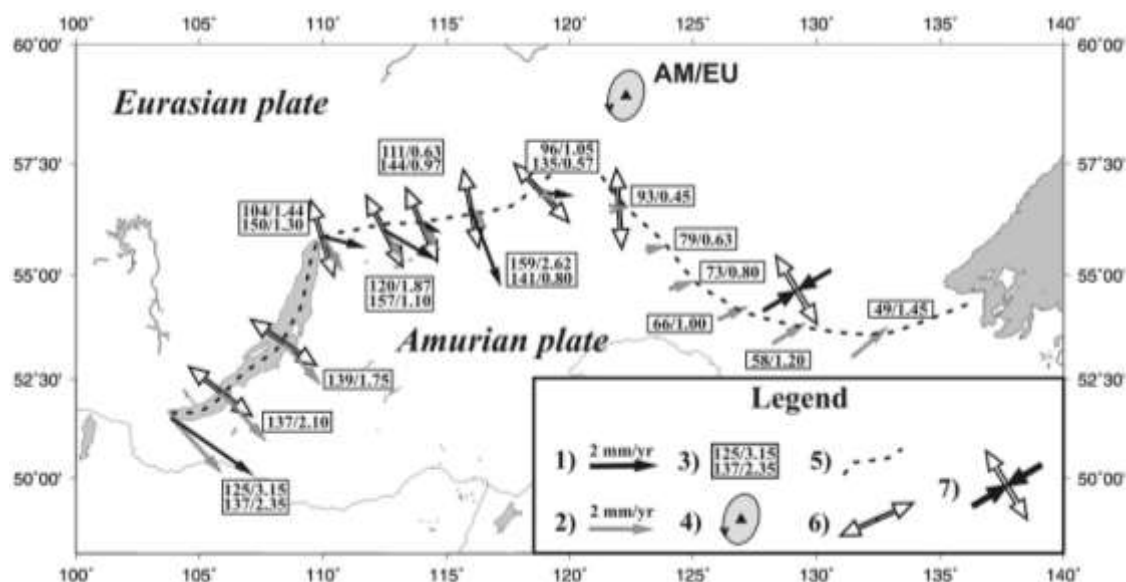


Рис. 12. Скорости дивергенции и конвергенции на межплитной границе Евразийской и Амурской плит. 1 – векторы дивергенции по геологическим данным (Саньков и др., 2004 с изменениями; Sankov et al., 2000); 2 – теоретические векторы движений по данным GPS-измерений; 3 – азимут/скорость в мм/год (сверху – по геологическим данным, снизу – по данным GPS); 4 – полюс вращения Амурской плиты относительно Евразийской (эллипс – ошибка определения полюса, стрелка указывает на вращение против часовой стрелки); 5 – межплитная граница; 6 – ориентация минимального горизонтального сжимающего напряжения Sh (Petit et al., 1996); 7 – ориентация максимального (SH – черные стрелки) и минимального (Sh – белые стрелки) сжимающего напряжения (Barth, Wenzel, 2009).

Fig. 12. Divergence and convergence velocities within Eurasian and Amurian interplates boundary. 1 – vectors of divergence from geological data (Sankov et al., 2004 with editions; Sankov et al., 2000); 2 – theoretical vectors of movements from GPS data; 3 – azimuth/velocity mm/yr (top – for geology data, bottom – for GPS data); 4 – rotation pole of Amurian plate relative to Eurasian one (ellipse – pole error, arrow shows counterclockwise rotation); 5 – interplate boundary; 6 – orientations of minimal horizontal compression stress Sh (Petit et al., 1996); 7 – orientations of maximum (SH – black arrows) and minimum (Sh – white arrows) horizontal compressional stress (Barth, Wenzel, 2009) Divergence and convergence velocities within Eurasian and Amurian plates boundary.

Как видим, вращение в центральной и северо-восточных частях БРЗ, происходящее с полюсом Эйлера на ее северо-восточном окончании, аргументировано независимыми данными. В этой гипотезе отражается современное растяжение коры. Она согласуется с данными об омоложении структур от Южно-Байкальской впадины к северо-востоку и не противоречит развитию долговременных процессов, обозначенных более ранним вулканизмом на юго-западе БРС и несколько запаздывающим – на северо-востоке (соответственно, с началом в позднем олигоцене и в среднем миоцене). Нужно добавить смену источников вулканизма, от рассредоточенных на большой территории литосферных на юго-западе к концентрированным подлитосферным (Витимское поле) и литосферным (Удоканское поле) – на северо-востоке (Рассказов, Чувашова, 2018).

Фактор вращения в БРЗ, однако, не объясняет происхождение Витимской расплавной аномалии.

Сегментное строение БРС

Наличие Витимской расплавной аномалии и проявление не только пространственной, но и временной смены деформаций объясняется гипотезой сегментного строения рифтовой системы (Логачев и др., 1996; Рассказов, 1996).

Сегменты БРС различаются по типу преобладающих деформаций. Часть из них имеет преимущественно раздвиговое происхождение. В таких деформационных сегментах впадины ориентированы перпендикулярно по отношению к направлению их боковой «трансляции». В других сегментах растяжение сопровождалось боковыми смещениями с образованием кулисообразных совокупностей субпараллельных впадин, составляющих зоны трансенсии.

Структурные окончания Байкальской рифтовой системы существенно различают-

ся между собой по строению сегментов растяжения и их соотношениям с вулканическими полями. Вулканизм контролируется трансенсионными сегментами в Западном и Северном Забайкалье, в Центральной Монголии и Юго-Западном Прибайкалье. В юго-западной части основным структурным элементом является Восточно-Саянское параболическое поднятие, пространственно подчеркивающее контур Саяно-Хамардабанской расплавной аномалии (Рассказов, 1994). Признаки трансенсионных сегментов здесь отсутствуют.

В северо-восточной части Байкальской рифтовой системы сочетаются сегменты: Ципа-Муяканский, Рель-Верхнеангарский и Муя-Удоканский. Правосторонний трансенсионный Ципа-Муяканский сегмент простирается субмеридионально с небольшим отклонением на северо-северо-восток. Левосторонние трансенсионные Рель-Верхнеангарский и Муя-Удоканский сегменты протягиваются в субширотном направлении. Удоканский и Витимский вулканические поля находятся на окончаниях, соответственно, Муя-Удоканского и Ципа-Муяканского сегментов. Впадины Баргузин-Северо-Байкальского сегмента образовались в обстановке преобладающих раздвиговых деформаций.

На профиле, пересекающем впадины раздвигового Баргузин-Северо-Байкальского сегмента (профиль А–Б на рис. 13) обозначилась асимметрия, характерная для впадин байкальского типа, – крутой западный борт и пологий восточный. На профиле, пересекающем впадины трансенсионного Ципа-Муяканского сегмента (профиль В–Г) наметилась противоположная асимметрия с пологими северными бортами впадин и более крутыми южными. Асимметрия малых впадин Витимского плоскогорья, заполненных лавами и осадками, согласуется с асиммет-

рией впадин транстенсионного Ципа-Муяканского сегмента. Эти впадины были выявлены в результате бурения на территории Витимского плоскогорья, после чего

стало ясно, что структура Витимского вулканического поля сформировалась как часть транстенсионного Ципа-Муяканского сегмента.

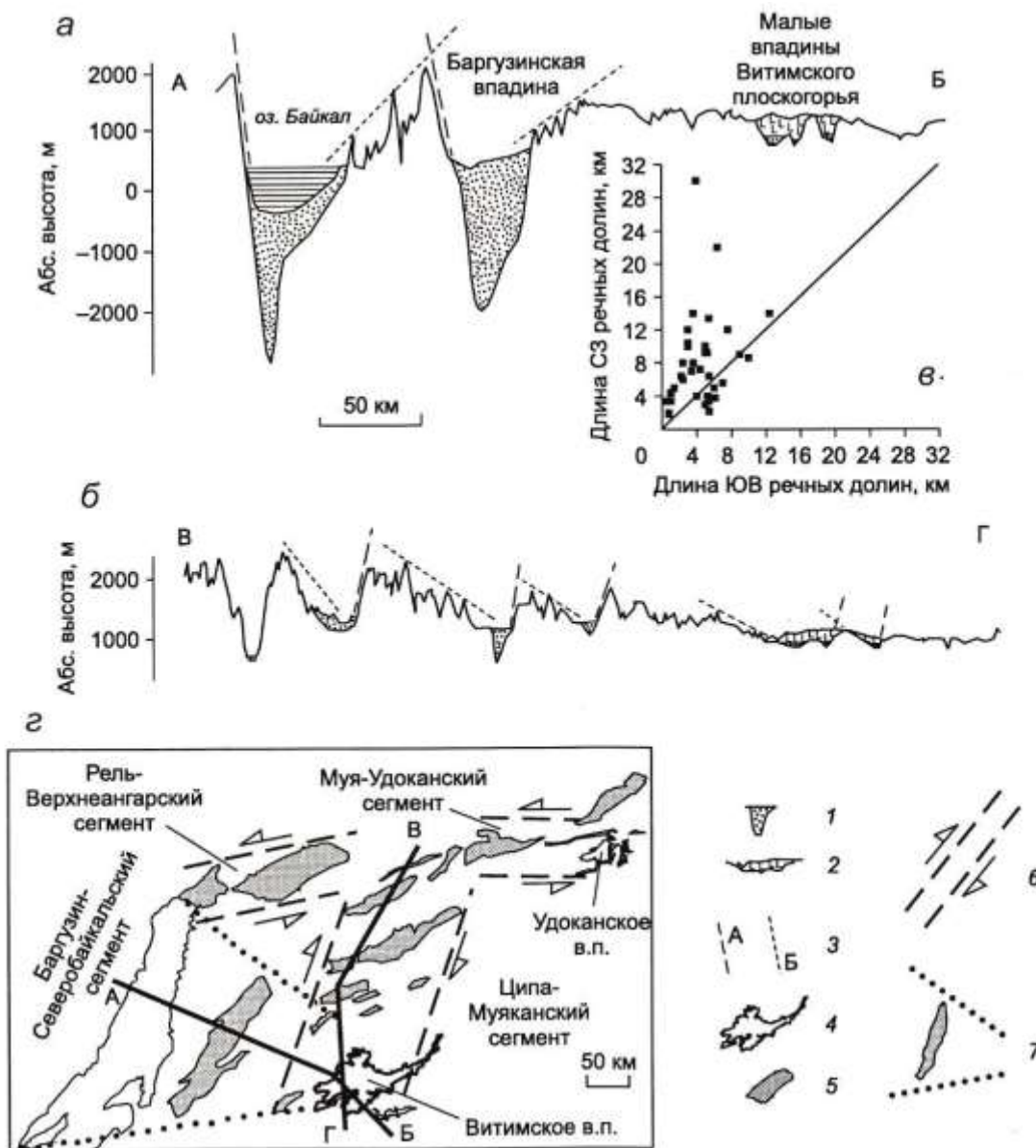


Рис. 13. Пространственные соотношения малых впадин Витимского плоскогорья с впадинами Байкальской рифтовой зоны (Рассказов и др., 2007). На профилях А–Б (а) и В–Г (б): 1 – впадина; 2 – лавы; 3 – крутой (А) и пологий (Б) борта впадины. График в показывает соотношения длин северо-западных и юго-восточных погребенных речных долин вулканического плато. На схеме г: 4 – контур вулканического поля; 5 – впадина; 6 – транстензионный сегмент; 7 – раздвиговой сегмент.

Fig. 13. Spatial relations between small basins of the Vitim volcanic field and basins of the Baikal rift zone (Rasskazov et al., 2007). On profiles А–Б (а) and В–Г (б): 1 – basin; 2 – lavas; 3 – steep (А) and flat (Б) sides of a basin. The plot в shows ratios of the lengths of the buried north-western and south-eastern river valleys in the volcanic plateau. In scheme г: 4 – contour of a volcanic field; 5 – basin; 6 – transtension segment; 7 – spreading segment.

Реконструкции пространственно-временного распределения кайнозойского вулканизма и осадконакопления на Витимском плоскогорье, приведенные в работе

(Расказов и др., 2007), свидетельствуют о временном чередовании сдвигового и раздвигового режимов. Погружение системы впадин Еравнинской депрессии началось в конце мела (кампан-маастрихт), а вулканическая деятельность проявилась здесь в начале палеогена (60–50 млн лет назад). В это время пока трудно судить о характере деформаций коры. В середине – второй половине олигоцена (около 29 млн лет назад) тектонические и вулканические процессы распространились вдоль северо-северо-восточной зоны, протянувшейся на 230 км от Еравнинской депрессии до северо-западной части будущего Витимского вулканического поля (до ключа Куларикта). Кулисообразное расположение впадин вдоль зоны магмопроницаемости свидетельствует о ее активности как правосторонней зоны трансенсии.

В начале миоцена (около 21 млн лет назад) обстановка изменилась. Лавы и осадки распространились на территории Амалатского плато и юго-восточнее его, в Хушиндинской и, возможно, других палеодолинах (к примеру, Джидотойской). Характер смещения вулканизма 21–18 млн лет назад отражал фазу растяжения коры в раздвиговом Баргузин-Северобайкальском сегменте. Растяжение было рассредоточено на обширной территории. В интервале 16–15 млн лет назад образовался свод Антасе и резко активизировалась глубинная эрозия в его окружении. Эволюция вулканизма на Витимском поле в диапазоне 16.0–0.6 млн лет назад была обусловлена активностью субмеридионального трансенсионного Ципа-Муяканского сегмента в противофазе с эво-

люцией вулканизма на Удоканском поле в последние 14 млн лет, которая контролировалась развитием субширотного трансенсионного Муя-Удоканского сегмента. Рель-Верхнеангарский трансенсионный сегмент, сочленяющийся с Северо-Байкальской впадиной, был авулканичным.

Гипотеза о сегментном строении БРС служила базисом для гипотезы о Японско-Байкальском геодинамическом коридоре (Chuvashova et al., 2017).

Поперечная зональность в БРЗ

О поперечной зональности строения Байкальской полосы поднятий и впадин писали Е.В. Павловский (1948а) и Н.А. Флоренсов (1960). Позже поперечная зональность была дополнена А.Г. Золотаревым предрифтовыми прогибами. Эта гипотеза нашла выражение в схеме неотектонического районирования БРЗ (рис. 14).

Вслед за Е.В. Павловским (1948а), который рассматривал сводовые поднятия и прогибы как антиклинальные и синклинальные складки, Н.А. Флоренсов (1960) дал такую же интерпретацию переходу от зоны опускания Тункинской долины к поднятию Хамар-Дабана. При изучении глубинных включений из лав Юго-Западного Прибайкалья, расположенным по латерали Тункинской долины на ее южном фланге, в трех местонахождениях хр. Хамар-Дабан (р. Марта, Маргасанская сопка и вулкан Тумусун) были охарактеризованы акцессорные полевые шпаты, представленные непрерывным спектром от плагиоклаза An₅₀ до калиевого щелочного полевого шпата Or₆₅.

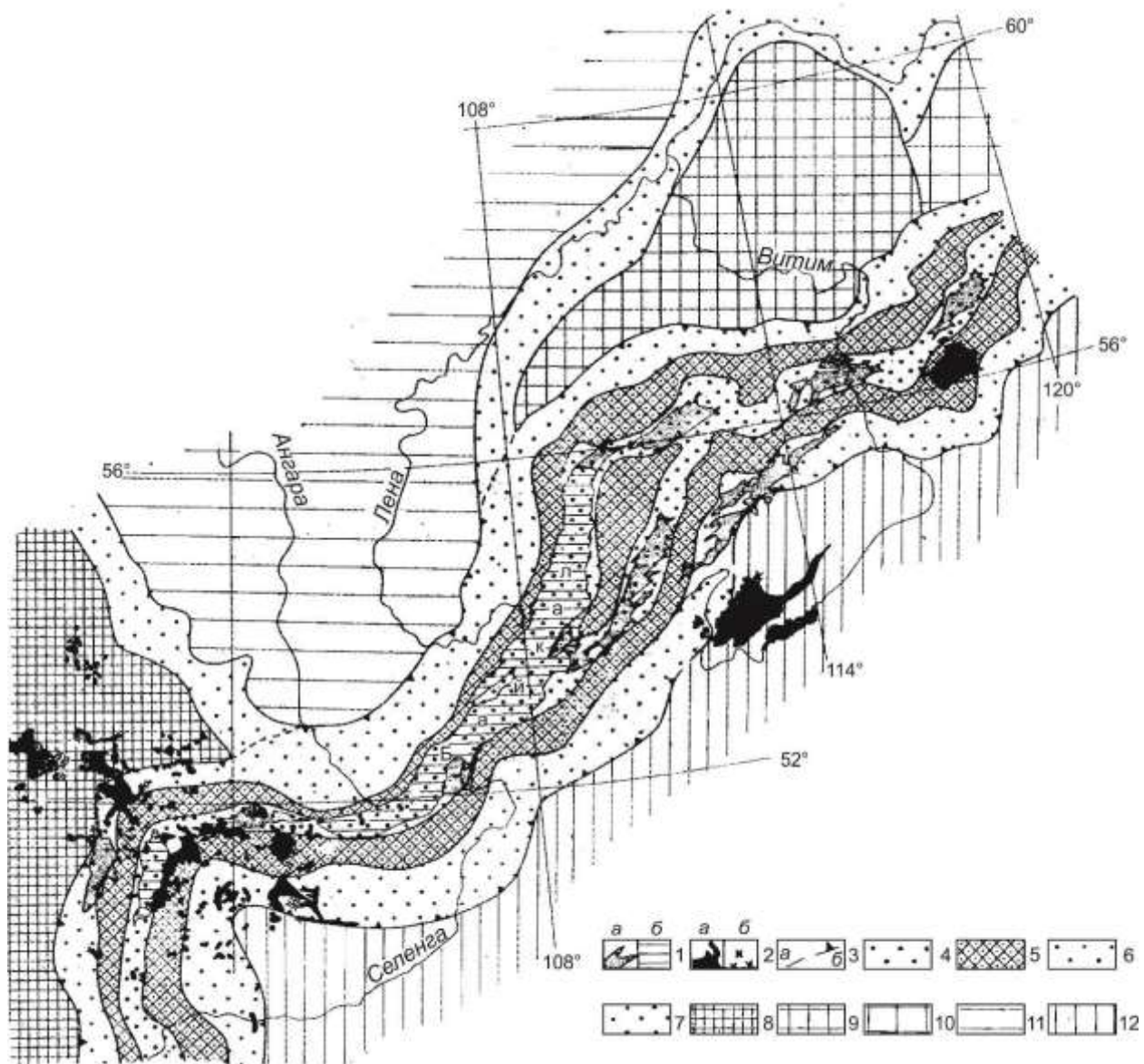


Рис. 14. Неотектоническое районирование БРЗ (Геология..., 1984). 1 – сухопутные (а) и озерные (б) рифтогенные впадины; 2 – кайнозойские базальтовые покровы (а) и вулканы (б); 3 – границы неоструктурных районов (а) и БРЗ (б); 4 – рифтогенный желоб; 5 – пред- и внутририфтовые поднятия; 6 – предрифтовые прогибы; 7 – предгорные прогибы; 8 – система поднятий Восточного Саяна; 9 – Байкало-Патомское поднятие; 10 – неотектонические структуры на древнем Алданском щите; 11 – низкая Сибирская кайнозойская «плита»; 12 – высокая Забайкальская кайнозойская «плита». Схема составлена К.Г. Леви.

Fig. 14. Neotectonic zoning of the Baikal rift zone (Geology..., 1984). 1 – land (a) and lake (b) rift basins; 2 – Cenozoic basaltic covers (a) and volcanoes (b); 3 – boundaries of the neotectonic regions (a) and the Baikal rift zone (b); 4 – riftogenic trough; 5 – pre- and intrarift elevations; 6 – pre-rift foredeep; 7 – foot-mountain foredeep; 8 – system of uplifts in Eastern Sayans; 9 – Baikal-Patom uplift; 10 – neotectonic structures on the ancient Aldan Shield; 11 – low Siberian Cenozoic «plate»; 12 – high Trans-Baikal Cenozoic «plate». The scheme was compiled by K.G. Levy.

В южных отрогах хр. Хамар-Дабан гранат-содержащие включения распространены на четвертичных вулканических конусах и в лавовых потоках бассейна р. Джиды. В ксе-

нолитах зеленых лерцолитов обнаружено обрастание ортопироксена каемками новообразованного граната. Подобно вулканическим породам осевой Тункинской долины, в

вулканических породах этой территории находятся преимущественно черные глубинные включения, сложенные Fe–Mg-минералами.

Указанная субмеридиональная смена состава глубинных включений свидетельствует о развитии процессов в породах литосферы под осевой Тункинской долиной, сопредельным Хамардабанским поднятием и периферическим Джидинским прогибом в

единой структуре БРЗ. Опускание в осевой долине связано с наличием в коре базит–гипербазитовых тел, сложенных тяжелыми Fe–Mg-минералами, поднятие – с разуплотнением малоглубинных мантийных пород с новообразованием легкого полевого шпата, а прогибание периферии рифтовой зоны – с уплотнением мантийных пород, обусловленным новообразованием граната и эффектом тяжелых Fe–Mg-минералов (рис. 15).

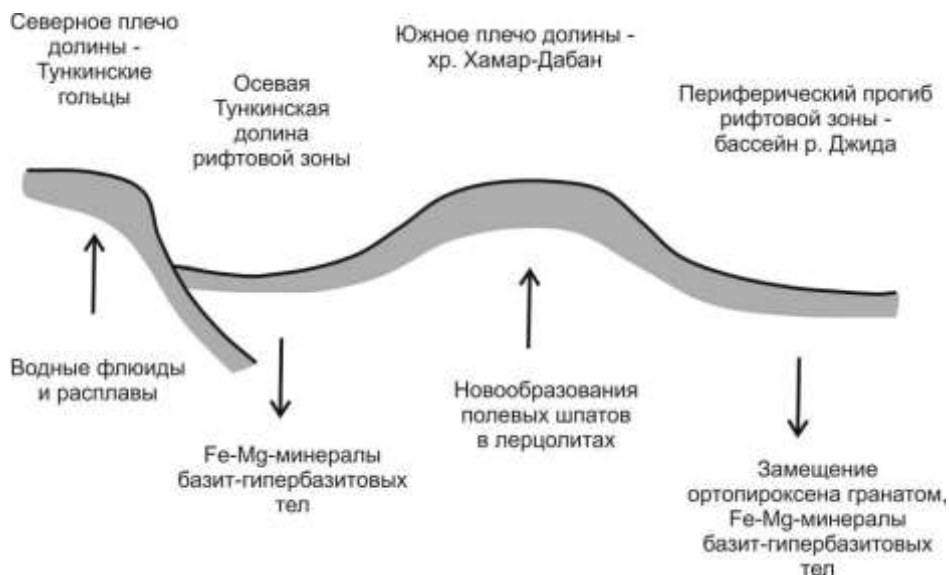


Рис. 15. Схема распределения новообразованных минералов коры и подкоровой мантии, обеспечивающих разуплотнение с поднятием горного сооружения и, наоборот, уплотнение с образованием зоны опускания в структуре Тункинского сегмента (Юго-Западное Прибайкалье) (Чувашова, Рассказов, 2014).

Fig. 15. Distribution pattern of newly formed minerals of the crust and sub-crustal mantle, ensuring decompression with uplift of the mountain structure and, conversely, compaction with the formation of a subsidence zone in the structure of the Tunka segment (Southwestern Baikal region) (Chuvashova, Rasskazov, 2014).

Определение Байкальской рифтовой системы

По результатам бурения на Витимском плоскогорье были трассированы погребенные речные долины глубиной до 500 м, заполненные осадочными отложениями и вулканическими породами, одновозрастными накоплениям танхойской и ановской свит во впадинах байкальского типа. Территория за структурно-геоморфологической границей БРЗ оказалась глубоко расчлененной речными долинами одновременно с эрозийным расчленением территории БРЗ. Предположение о медленных вертикальных движениях на территории БРЗ в танхойское время и ускоренных движениях в ановское время (Логачев, 1974) не подтвердилось. По

распределению датированных вулканических пород в вершинных ярусах рельефа эрозионные палеодолины реконструировались начиная с интервала 20–18 млн лет назад. Обозначился импульсный характер поднятия и эрозионного расчленения территории БРЗ и сопредельных районов Витимского плоскогорья и Восточного Саяна.

Стало ясно, что территории Витимского плоскогорья и Восточного Саяна были активизированы так же, как территория БРЗ, но находились за ее пределами, поэтому автоматическое включение этих территорий в БРЗ внесло бы путаницу. Распространение вулканизма и осадконакопления в эрозионном рельефе и впадинах за принятыми в 1960–1980-х гг. структурно-

геоморфологическими границами БРЗ привели к необходимости обозначения более обширной территории под новым названием «Байкальская рифтовая система». Эта структура включала БРЗ в качестве осевой структуры и сопредельные с ней районы, охваченные вулканизмом и новейшими тектоническими движениями (Рассказов, 1993). В последующих работах по датированию вулканических пород было выявлено импульсное и разновременное поднятие горных хребтов БРС (Рассказов и др., 2000, 2007).

Установленные коренные различия в характере компонентного состава вулканических пород северо-восточной и юго-западной частей БРС приводят к выводу о разном характере развития структуры в северо-восточной, центральной и юго-западной частях БРС. По согласованному развитию вулканизма Витимского и Удоканского полей северо-восточная и центральная части БРС рассматриваются как собственно Байкальская рифтовая зона. Развитие юго-западной части БРС, на которой сосредоточены многочисленные вулканические поля, лишь частично согласуется с развитием центральной и северо-восточной частей БРС. Эта часть характеризуется как отдельная составляющая БРС – Хангай-Бельская орогенная зона с рифтовыми сегментами (Рассказов, Чувашова, 2018).

Зоны аккомодации в БРС

Хотя на Земле нельзя найти какие-либо две похожие между собой континентальные рифтовые зоны, они характеризуются общими чертами: образованием сбросов по бортовым разломам впадин с подчиненной ролью сдвигов, утонением литосферы под впадинами, сопровождающимся растягиванием коры, различной степенью проявления щелочного и толеитового вулканизма и повышенным тепловым потоком.

Одним из показателей континентальных рифтовых зон как единого класса структур служит сходство их внутреннего строения. После модели симметричного рифта (чистого сдвига) (McKenzie, 1978), на примере провинции Бассейнов и Хребтов, была вве-

дена в употребление модель асимметричного рифта (простого сдвига) (Wernicke, 1985). Структурная асимметрия выражается в максимальном утонении коры непосредственно под осевой рифтовой долиной и смещении зоны максимального утонения литосферы от осевой долины по направлению погружения детэчмента основного рельефообразующего разлома. Модель предполагает ведущую роль в образовании асимметричных рифтовых впадин листрических разломов со сменной их полярности в зонах аккомодации. Наряду со структурными признаками смены полярности рифтовых сегментов в системе Рио-Гранде, такие же признаки были выявлены в Восточно-Африканской и Байкальской рифтовых системах (Bosworth, 1987; Рассказов, 1993).

Рифты приобретают асимметрию вследствие особой роли в геометрии краевых разломов впадин пологих тектонических срывов. При смещениях по листрическим разломам и разломам типа домино блоки испытывают вращение. Изменение в асимметрии соседних рифтовых сегментов предполагает смену полярности в системе пологопадающих разрывов в зонах аккомодации (рис. 16). Закономерное чередование асимметрии впадин вдоль рифтовых зон указывает на латеральную ограниченность проникновения листрических разломов и частично определяет латеральные пределы активного развития зон аккомодации по латерали рифтов (Bosworth, 1985). Последняя закономерность ярко проявлена в Западной рифтовой ветви Восточно-Африканской рифтовой системы, но имеет второстепенное значение в рифте Рио-Гранде. В нем зоны аккомодации часто наследуют долгоживущие, контролировавшие рудогенез поперечные зоны разломов (устное сообщение Ч.Е. Чэпина в 1988 г., Университет Сокорро, США). Подобным образом Хубсугул-Бельская зона, образовавшаяся по краевому шву Тувино-Монгольского массива с рифейским фундаментом, отделила в Байкальской рифтовой системе западную часть со свойственными ей структурами растяжения.

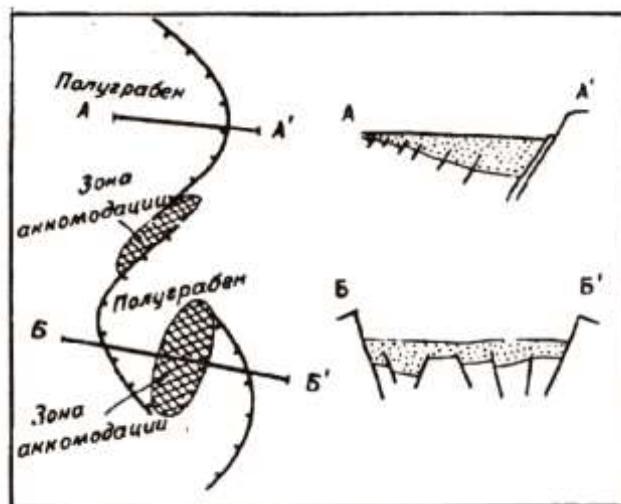


Рис. 16. Два типа зон аккомодации в Западной ветви Восточно-Африканской рифтовой системы, по С. Сандер, Б.Р. Розендалю и Т.Д. Спект, Б.Р. Розендалю (Delvaux, 1990).

Fig. 16. Two types of accommodation zones in the Western branch of the East African Rift system, after S. Sander, B.R. Rosendahl and T.D. Specht, B.R. Rosendahl (Delvaux, 1990).

Подобно другим рифтовым системам, Байкальская разделяется зонами аккомодации на чередующиеся сегменты. Если в системах Восточной Африки и Рио-Гранде сегменты с меняющейся полярностью приблизительно равнозначны, в Байкальской преимущественно выражена структурная асимметрия с крутым северным, северо-западным или западным бортом и, соответственно, пологим южным, юго-восточным или восточным (сегменты Хубсугул-Тункинский, Окинский, Баргузин-Северобайкальский, Чарский). В разделяющих их сегментах либо слабо показана обратная асимметрия (сегменты Ципа-Муяканский, Верхнеокинский, Тоджинский), либо асимметрия не имеет явного выражения (сегменты Южно-Байкальский, Рель-Верхнеангарский, Муя-Удоканский). Последние два сегмента образуют вместе с Ципа-Муяканским сегментом сопряженную трансензионную группу структур (Расказов, 1996).

Действие механизма простого сдвига модели Б. Верника обосновывалось в Байкальской рифтовой зоне на примере центральной части Тункинской долины (Расказов, 1993; Чувашова, Расказов, 2014). Она простирается субширотно и отделена от поднятия Тункинских гольцов на севере главным рельефообразующим разломом с одноимен-

ным названием. Максимальное утонение коры отражается в смещении депоцентра Тункинской впадины (~2.5 км) к ее северному борту, а максимальное утонение литосферы – в проявлении толеитовых базальтов в ее южном борту. Возраст базальтов этого типа 16–15 млн лет свидетельствует о заложении структуры простого сдвига в начале среднего миоцена.

Развитие структуры Тункинской долины не было стационарным. Уже 13 млн лет назад в ее южном борту изливались щелочно-базальтовые лавы. Детэчмент Тункинского разлома оказался отчетливо выраженным в последовательном увеличении глубинности ксеногенного материала из щелочно-базальтовых лав от северного борта к южному со сменой черных коровых ксенолитов с авгитом зелеными ксенолитами с хромдиопсидом, которые могут относиться к переходу от верхней мантии к нижней коре. Лавы с ксенолитами излились во временном интервале 11–9 млн лет назад, поэтому можно считать, что деформационный режим простого сдвига сохранялся в структуре Тункинской долины не менее 7 млн лет. Инверсия движений, начавшаяся во временном интервале второй половины позднего миоцена (8–5 млн лет назад), привела к образованию сложной системы перемычек между впадинами рифтовой долины.

В Западной ветви Восточно-Африканской системы различаются два типа зон аккомодации: между рифтовыми долинами, сочетающимися по дистали, и между долинами, частично перекрывающимися по латерали (Рассказов, 1993). Предложенная структурная интерпретация западной части Байкальской рифтовой системы включает оба типа (рис. 17). Кроме зоны аккомодации между Тункинским и Верхнеокинским сегментами, зоны первого типа выделяются между Окинской и Тоджинской котловинами, а также между Верхнеокинским сегментом и Тод-

жинской котловиной. Зона аккомодации второго типа расположена между северо-западным окончанием Верхнеокинского сегмента и восточным – Окинской впадины.

В качестве зоны аккомодации рассматривалась дельта Селенги (Scholz, Hutchinson, 2000). Однако употребление этого термина в данном случае не пояснялось. Тектонического смысла смены полярности разломов в бортах соседних впадин в этом случае не наблюдалось, поскольку эта территория находится в центральной части единой Южно-Байкальской впадины.

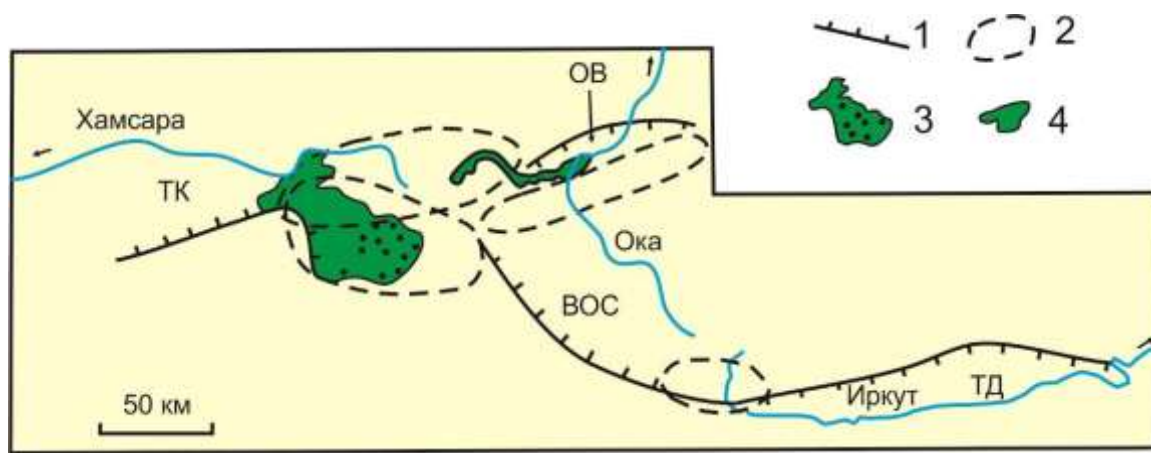


Рис. 17. Зоны аккомодации и вулканические поля в западной части Байкальской рифтовой системы (Рассказов, 1993). 1 – крутой борт полуграбена; 2 – зона аккомодации; 3 – Восточно-Тувинское вулканическое поле и распределение плиоцен-четвертичных вулканов; 4 – голоценовый Жомболковский поток. Обозначения структур: ТК – Тоджинская котловина; ОБ – Окинская впадина; ВОС – Верхнеокинский рифтовый сегмент; ТД – Тункинская долина.

Fig. 17. Accommodation zones and volcanic fields in the western part of the Baikal rift system (Rasskazov, 1993). 1 – steep slope of half-graben; 2 – accommodation zone; 3 – East Tuva volcanic field and distribution of the Pliocene-Quaternary volcanoes; 4 – Holocene Zhombolok flow. Designations of structures: ТК – Todzha basin; ОБ – Oka basin; ВОС – Upper Oka rift segment; ТД – Tunka valley.

Гипотезы нового тысячелетия

Новейшие гипотезы пока не ушли в историю. Текущий прогресс в понимании условий образования Байкальской системы впадин в значительной мере связан с изучением вулканизма (Чувашова, Рассказов, 2023). Поддерживая общее изложение истории развития представлений о строении БРС, мы подчеркиваем здесь значение гипотез 1) об образовании радиальных впадин Хубсугульского сегмента во фронте Хангайского орогена (2012 г.) и 2) о Японско-Байкальском геодинамическом коридоре (ЯБГК) (2017 г.). Кроме того, для понимания современного состояния впадины Южного Байкала пер-

спективна разработка гипотез 1) о миграции глубинной воды Южно-Байкальского резервуара под побережье оз. Байкал (2020 г.) и 2) о проявлении сейсмогеодинамической цикличности сжатия и растяжения в центральной части БРС (2022 г.).

Образование радиальных впадин Хубсугульского сегмента во фронте Хангайского орогена

Сходство неотектонических условий в орогенах Центральной Азии с условиями в Гималайско-Тибетском орогене вытекает из анализа данных о глубинном строении этих структур. Территории Гималайско-Тибетской и восточной части Центрально-

Азиатской орогенных систем характеризуются утолщенной корой (соответственно, до 74 и 60 км). Область орогенеза отделена от области растяжения континентальной окраины востока Азии с утоненной корой (<40 км) переходной зоной с нормальной толщиной коры (40–45 км). К переходной зоне относятся Ордосский и Сычуанский блоки, а также западная часть Амурского блока (Чувашова, Рассказов, 2014).

В качестве радиальных (по отношению к сопредельному орогену) рассматриваются Хубсугульский, Дархатский и Бусийн-Гольский рифты Северной Монголии. Рифтам соответствуют впадины, названные Н.А. Флоренсовым (1960) «впадинами-подвесками». Они располагаются по северному фронту поднятия Хангайского нагорья, восточнее которого протягивается поднятие хр. Восточный Хангай и опускание Орхон-Селенгинского среднегорья. Последнее разделяет поднятия Хамар-Дабана и Восточного Хангая. В среднегорье формировалась Центрально-Монгольская система впадин, к которой относятся и впадины субмеридиональной Чулутынской зоны, отделяющей Хангайское нагорье от хр. Восточный Хангай и Орхон-Селенгинского среднегорья. Кулисное расположение хребтов и межгорных впадин между Центральным и Восточным Хангаем свидетельствует о правосторонних смещениях вдоль Чулутынской зоны. Сопряженный характер деформаций коры Восточного Хангая и Хубсугул-Бусийнгольского рифтового сегмента проявляется в импульсах противофазного проявления вулканизма этих структур (Рассказов и др., 2012; Рассказов, Чувашова, 2018; Чувашова, Рассказов, 2023).

Японско-Байкальский геодинамический коридор

Для расшифровки сил и процессов, проявившихся в расплавных аномалиях литосферы и подлитосферной мантии Азии в результате ее взаимодействия с литосферными плитами Тихого океана на новейшем геодинамическом этапе было введено понятие «Японско-Байкальский геодинамический коридор», под которым понимается ограниченная по латерали подвижная полоса лито-

сферы и подлитосферной мантии Центральной и Восточной Азии, подверженная воздействию сил и процессов новейшего геодинамического этапа и характеризующаяся действием силы затягивания материала от периферии коридора к его оси (Chuvashova et al., 2017).

В терминах флюидной механики силы астеносферной части геодинамического коридора описываются слоем флюида в канале (Turcotte, Schubert, 2014). В понятие геодинамического коридора включаются расплавленные аномалии, производные слоев астеносферы и литосферы его внутренних частей.

Геодинамический коридор протягивается от зоны задугового спрединга Японского моря во внутреннюю часть Азии и характеризуется латеральными ограничениями, за которыми скорость движений вдоль него равна нулю. Максимальная скорость движения материала создается вдоль оси коридора. К краям коридора и вдоль него скорость движения уменьшается. По встречному движению стабильной Азии и Тихоокеанской плиты (азимут 300°) основное направление геодинамического коридора определяется как запад-северо-западное – восток-северо-восточное. Относительное увеличение скорости движения материала выражается в возникновении сил его затягивания от периферии к оси. При запад-северо-западном простирании коридора такие силы приводят к образованию субмеридиональных и субширотных зон трансенсии в литосфере. Разрывы растяжения в зонах трансенсии ориентируются в целом по направлению минимального тектонического напряжения, создающегося силой затягивания, и должны простираться в идеальном случае на северо-северо-восточном фланге коридора – на северо-восток и на юго-юго-западном фланге – на северо-запад.

Через ЯБГК обеспечивается связь новейшей геологической эволюции Байкальского региона с эволюцией Япономорского задугового бассейна и движениями литосферы и подлитосферной мантии в Тихоокеанском регионе. Латеральное изменение скорости движения литосферных плит и оценки потоков плавучести мантии, полученные по скоростям, свидетельствуют о том, что обшир-

ная Тихоокеанская плита и сопредельные малые литосферные плиты не обладают жесткостью и подвергаются деформациям. Максимальная скорость движения Тихоокеанской плиты ($7\text{--}8\text{ см год}^{-1}$) обеспечивается мантийной конвекцией в полосе, пространственно соответствующей горячим пятнам с высокой плавучестью (Гавайскому, Самуа, Каролинской, Маркизскому, Таити, Питкэрн, Макдональд и Истер). К северному и южному краям Тихоокеанской плиты скорость ее движения снижается.

Подобная связь между процессами глубокой мантии и деформациями литосферы наблюдается в ЯБГК. Наиболее существенное (встречное по отношению к Тихоокеанской плите) смещение на 300 км в осевой части этого геодинамического коридора за последние 15 млн лет устанавливается по соотношению Шкотово-Шуфанского и Витимского вулканических полей и корневых частей расплавных аномалий, обозначенных локальным снижением скоростей S-волн на глубине 250–300 км (рис. 18).

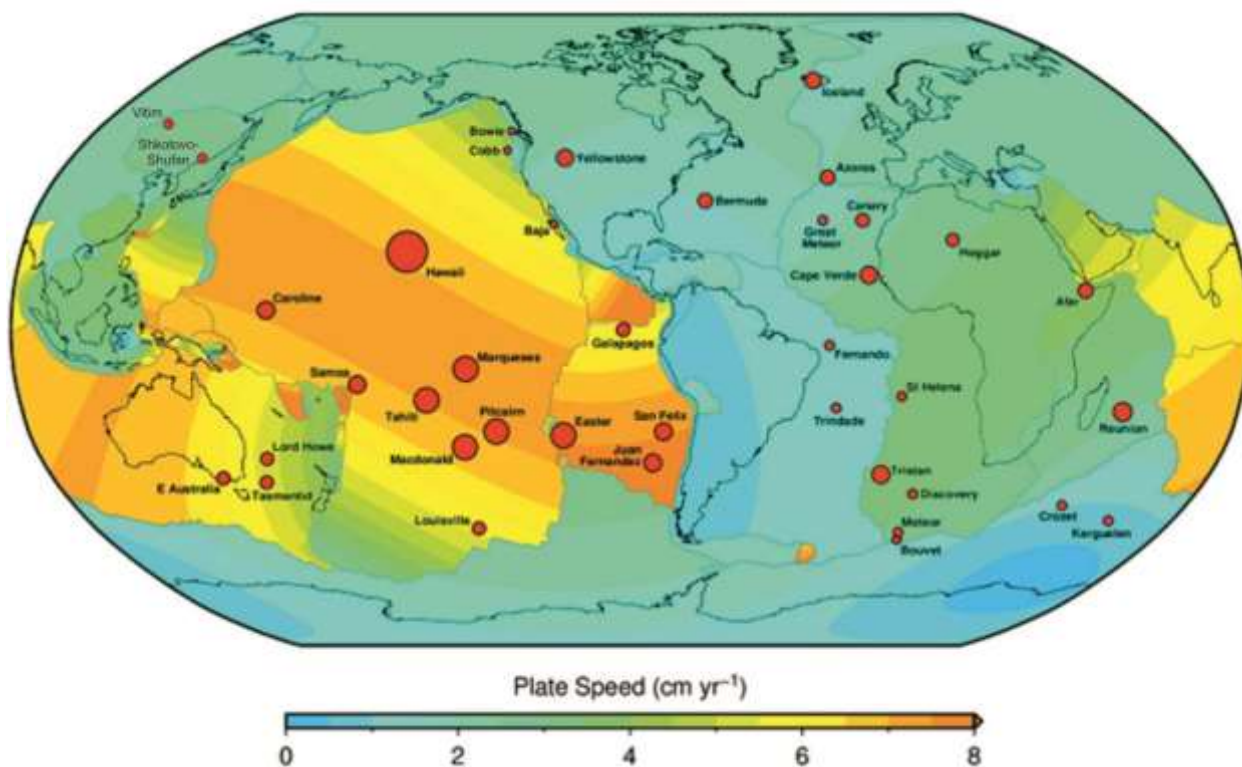


Рис. 18. Модель движения плит NNR-MORVEL56 (Argus et al., 2011). Красные круги (37 горячих пятен) масштабируются в соответствии с потоками плавучести по скоростям движения плит. Приведена схема из работы (Hoggard et al., 2020) с дополнением Шкотово-Шуфанской и Витимской расплавных аномалий, трассирующих осевую часть ЯБГК (без оценок плавучести), пространственно соответствующую максимальной скорости смещения Тихоокеанской плиты ($7\text{--}8\text{ см год}^{-1}$).

Fig. 18. Plate motion model NNR-MORVEL56 (Argus et al., 2011). Red circles (37 hot spots) are scaled according to buoyancy fluxes across plate velocities. Scheme is adopted from (Hoggard et al., 2020) with the addition of the Shkotovo-Shufan and Vitim melting anomalies tracing the axial part of the JBGK (without estimates of buoyancy fluxes), spatially corresponding to the maximum displacement rate of the Pacific plate ($7\text{--}8\text{ см year}^{-1}$).

Миграция глубинной воды Южно-Байкальского резервуара под побережье Байкала

При исследованиях подземного стока в оз. Байкал было установлено, что сток с окружающих территорий имеет место до

глубины 250 м. На больших глубинах подземный сток в озеро предотвращается гидростатическим давлением (Пиннекер и др., 1968). Если это так, то вода более глубокой части озера может, наоборот, проникать под прибрежные территории. Чтобы определить

эффект обратного движения вод из озера под побережье, нужен маркер.

Для глубинной воды Южно-Байкальского резервуара (ЮБР) определены характерные значения ОА4/8 и концентрации U (соответственно, 1.95–1.99 и 44–46 $\mu\text{дм}^3$), которые использовались в качестве маркеров глубинного водообмена озера с территорией его побережья со стороны Сибирского палеоконтинента. Гидрогеохимические признаки глубинной южно-байкальской воды выявлены в зонах разломов, ослабленных при рифтогенезе. Вода ЮБР проникала по пологим разрывам Ангарского надвига в береговые породы фундамента Листвянской и

Большекотовской зон и юрские отложения Ангарских Хуторов, а также в юрские отложения гидрогеохимических зон Большереченской и Радищево. Возможно, компонент ЮБР входил также вдоль зоны Ангарского надвига в породы платформенного фундамента Огоньковской зоны. Наряду с берегами, проводящими глубинные воды ЮБР, установлены берега, не проницаемые для глубинных вод оз. Байкал. В таких берегах трещины испытывают сжатие, поэтому компонент глубинной байкальской воды не примешивается к подземным водам (рис. 19).

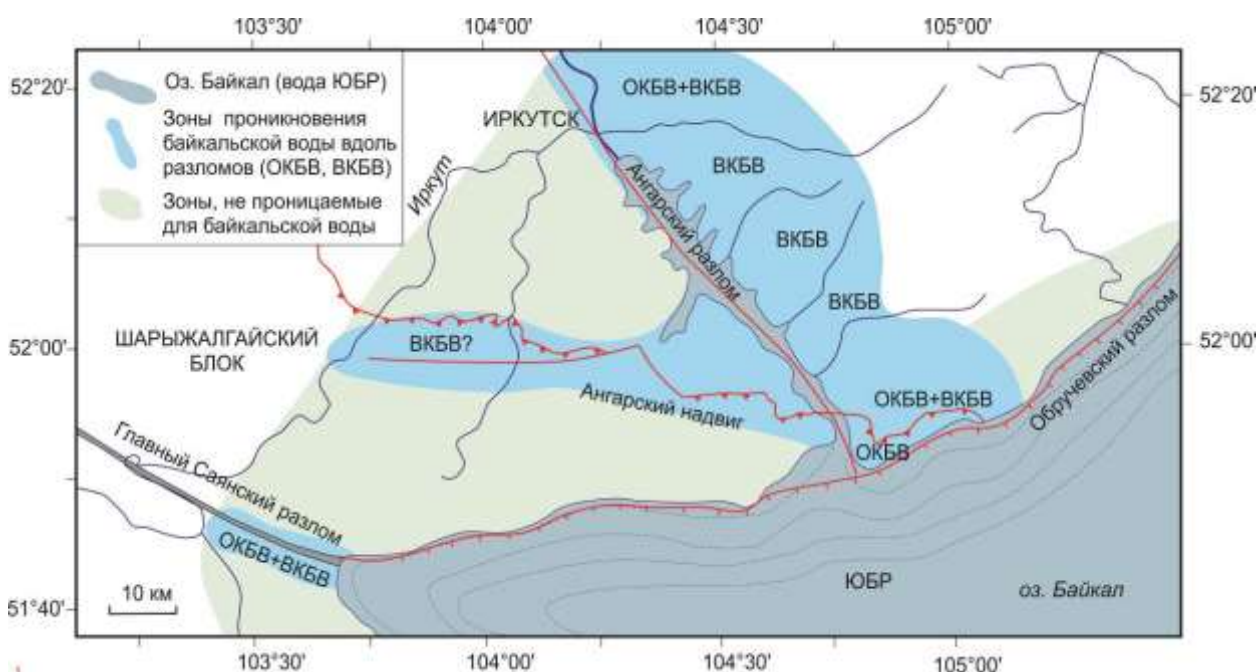


Рис. 19. Схема проникновения воды ЮБР вдоль разломов Иркутского Предбайкалья (Расказов и др., 2020). ЮБР – Южно-Байкальский резервуар. VKBB – восстановленный компонент байкальской воды (с низкой концентрацией U). ОКБВ – окисленный компонент байкальской воды (с высокой концентрацией U).

Fig. 19. The scheme of the ЮБР water penetration along faults of the Irkutsk Prebaikalia (Rasskazov et al., 2020). ЮБР – South Baikal reservoir. VKBB – reduced component of Baikal water (with a low concentration of U). ОКБВ – oxidized component of Baikal water (with a high concentration of U).

Выявление маркера ЮБР открывает возможность исследования гидрогеодинамики берегов оз. Байкал по всему периметру с определением прибрежных зон растяжения и сжатия.

Сейсмогеодинамическая цикличность сжатия и растяжения коры в центральной части БРС

Важнейшее направление текущих работ в БРС – поиск путей прогноза современных сейсмогенных деформаций с определением времени и места сильных землетрясений. Квазипериодичность сейсмических активизаций, выводящих на сильные землетрясе-

ния, установлена в западной части Южно-Байкальской впадины по пространственно-временному распределению эпицентров землетрясений. Наиболее сильные землетрясения произошли в 1999 г. (Южно-Байкальское, $M_w = 6.0$), в 2008 г. (Култукское, $M_w = 6.3$) и в 2020 г. (Кударинское, $M_w = 5.4$). С 2013 г. на Култукском полигоне проводился мониторинг отношения активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (A4/8) и активности ^{234}U (A4) в подземных водах как показателя раскрытия/закрытия трещин, способствующего/препятствующего циркуляции воды в активных разломах впадины. По результатам мониторинга определен полный сейсмогеодинамический цикл смены сжатия коры растяжением с последовательным возрастанием уровней сейсмической опасности (рис. 20) (Rasskazov et al., 2022).

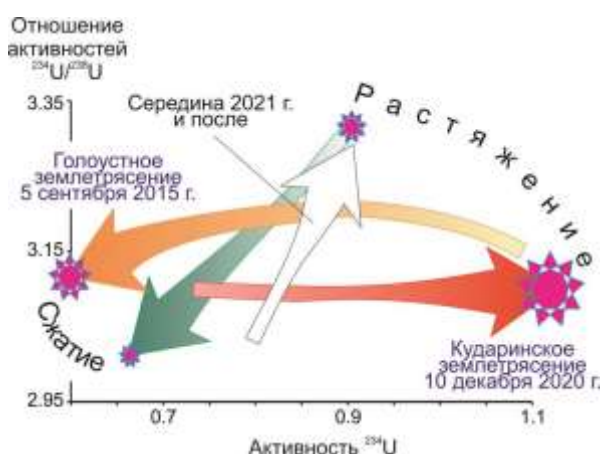


Рис. 20. Реконструкция полного сейсмогеодинамического цикла по результатам мониторинга подземных вод ст. 27 Култукского полигона (Rasskazov et al., 2022). Сейсмическим стадиям соответствуют тренды последовательного изменения $OA4/8$ и $A4$ в подземных водах с выходом на экстремальные значения, соответствующие сильным сейсмическим событиям. Слабые неопасные землетрясения 2013–2014 гг. (зеленый уровень) сменялись нарастанием опасности желто-оранжевого уровня в 2015 г. при сжатии и красным уровнем сейсмической опасности в конце 2020 г. при растяжении с последующим выходом в новый сейсмогеодинамический цикл (к состоянию 2013 г.).

Fig. 20. Reconstruction of the complete seismogeodynamic cycle in the crust from monitoring results in the station 27 of the Kultuk polygon (Rasskazov et al., 2022). Seismic stages correspond to trends in successive change in $OA4/8$ and $A4$ in groundwater

that reach extreme values corresponding to strong seismic events. Weak non-hazardous earthquakes in 2013–2014 (green level) were followed by an increase of danger in 2015 in a yellow-orange level under compression and by the further development of hazardous state in late 2020 – early 2021 in a red level under extension with subsequent exit to the new seismogeodynamic cycle (to the state of 2013).

В 2013–2014 гг. происходили слабые землетрясения зеленого уровня сейсмической опасности. Снижение $OA4/8$ и $A4$ в подземных водах свидетельствовало об относительном снижении роли фактора растяжения коры и возрастании роли сжатия. Резкое возрастание $A4$ 28 мая 2014 г. перешло в тренд последовательного снижения этого параметра, на минимуме которого 5 сентября 2015 г. случилось Голоустное землетрясение средней силы. Также, как в 2013–2014 гг. сейсмогенерирующие растягивающие напряжения коры снижались, но в реализации Голоустного землетрясения в ходе сейсмогеодинамического цикла достигалось минимальное растяжение коры.

В дальнейшем характер подготовки землетрясений изменился. 2 декабря 2015 года значения $OA4/8$ и $A4$ в подземных водах еще оставались на минимуме. Но в течение последующих 5 лет после Голоустного землетрясения оба параметра последовательно возрастали. Тренд соответствовал красному уровню сейсмической опасности. 9 декабря 2020 г. в дельте Селенги произошло сильное Кударинское землетрясение, которому предшествовало (в качестве спускового механизма) Быстринское землетрясение 22 сентября 2020 г., и за которым последовало сильное Хубсугульское землетрясение 12 января 2021 г.

Кударинское землетрясение 9 декабря 2020 г. завершило сейсмогеодинамический цикл, начавшийся с реализации Култукского землетрясения 27 августа 2008 г. Установившиеся высокие значения $OA4/8$ и $A4$ в подземных водах свидетельствуют о выходе на максимум растягивающих усилий в коре осевой части Японско-Байкальского геодинамического коридора. Последующие (спровоцированные) хубсугульские сейсмические события обозначили включение сжимающего механизма компенсации кударинского

растяжения коры. К 24 декабря 2020 г. значения ОА4/8 и А4 в подземных водах Култукского полигона снизились до средних уровней. С 15 июня 2021 г. проявилась тенденция возрастания обоих параметров, которая свидетельствовала об усилении фактора растяжения коры. Также, как перед Кударинским событием, сейсмогенерирующие растягивающие напряжения коры возрастали, но по тренду существенного смещения значений А4. Нарастал импульс растяжения коры, не похожий на экстремальную кударинскую фазу. Направленность к началу зеленого тренда 2013-2014 гг. может интерпретироваться как свидетельство перехода к развитию нового сейсмогеодинамического цикла.

Обсуждение

Прежде чем новая гипотеза принимается геологами, проходит ее тестирование с разных точек зрения. Если она удовлетворяет независимым фактам, то используется как само собой разумеющееся знание. Байкальская система поднятий и впадин (Павловский, 1948а) вошла в мировую геологическую литературу как Байкальская рифтовая зона в ее структурно-геоморфологических границах с атрибутами растяжения и утонения коры (Логачев, 1977; Florensov, Logatchev, 1978; Logatchev, Zorin, 1992). Благодаря сравнительному изучению рифтовых зон международными исследовательскими группами она получила статус одной из классических кайнозойских рифтовых зон, развитых на континентах. При изучении вулканизма стало очевидным, однако, более широкое распространение структур Байкальской полосы поднятий и впадин за пределы ее геоморфологических очертаний, поэтому был введен новый термин «Байкальская рифтовая система» (Расказов, 1993). Прогресс в изучении БРЗ, а затем БРС, был достигнут благодаря систематическим разноплановым работам Иркутской научной школы Н.А. Логачева «Кайнозойский континентальный рифтогенез».

Взгляд иностранных геологов на состояние изученности БРЗ в отчете по международной программе «Литосфера» в виде компилятивной главы (Keller et al., 1995) пока-

зал ограниченные представления, основанные на списке статей, опубликованных на английском языке. В основу главы отчета о БРЗ было положено сообщение первого автора Рэнди Келлера, которое он сделал на научной сессии в Университете Сокорро (штат Нью-Мексико, США) во время экскурсионной поездки советской делегации по рифту Рио-Гранде в 1988 г. в рамках дискуссии о сходстве и отличиях рифтовых структур Рио-Гранде и Байкальской. Из других авторов этой главы, только Пол Морган был участником совместных работ (Intracontinental rift..., 1989). Поверхностное изложение материалов главы Р. Келлером и др. дополнялось вольной трактовкой границ новейших структур и другой сомнительной информацией.

Систематические исследования вулканизма новейшего геодинамического этапа и его источников в БРС и на сопредельных территориях способствовали пониманию процессов, развивающихся в ЯБГК, и открыли возможность оценки степени влияния на процессы Внутренней Азии Индо-Азиатской конвергенции (Чувашова, Расказов, 2023). Общая идея о таком влиянии была высказана Эмилем Арганом в 1923 г., представлялась как новая гипотеза П. Молнар и П. Таппонье (Molnar, Tarponier, 1975) и к настоящему времени получила всестороннюю аргументацию.

Объем новой информации по Байкальской системе впадин постоянно растет, однако, для того чтобы этот рост привел к новым гипотезам и открыл новые грани характера новейших геологических процессов, необходимо понимание истоков существующих ныне представлений и степень их аргументации с тем, чтобы определить в дальнейших исследованиях подходы, которые действительно могут обеспечить качественно новые выводы. Гипотеза о ЯБГК как факторе геодинамического контроля процессов, происходящих в литосфере и подлитосферной мантии Внутренней Азии со стороны Тихого океана, существенно расширяет возможности получения качественно новой интерпретации новейших структур, включая БРС. Создается новая синтетическая теория сложной пространственно-временной де-

формации литосферы Азии под действием нескольких силовых факторов, которые в целом регулируются силами, генерирующимися вследствие орбитального вращения Земли (рис. 21).

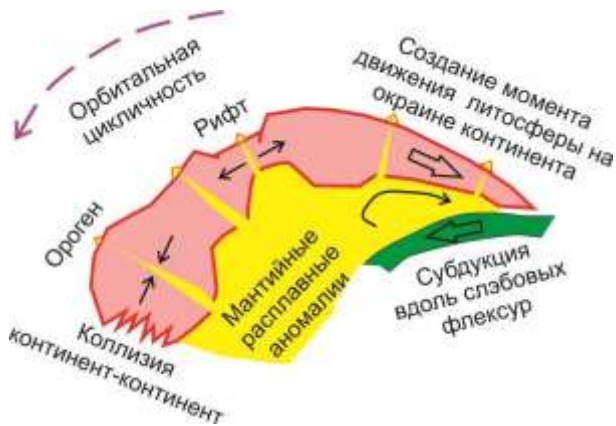


Рис. 21. Главные силовые факторы, воздействовавшие на литосферу Азии на новейшем геодинамическом этапе.

Fig. 21. The major force factors affected the lithosphere of Asia in the latest geodynamic stage.

Заключение

Первоначальное геоморфологическое трассирование структуры в виде Байкальской системы впадин, которые рассматривались на фоне горных сооружений как результат сжатия коры (Павловский, 1948а,б), сменилось гипотезой геоморфологического определения полосы поднятий и впадин как рифтовой зоны, явившейся результатом ее растяжения (Флоренсов, 1960; Логачев, 1974, 1977), и было дополнено гипотезой о более обширном развитии кайнозойских деформаций коры в БРС, включающей территории за структурно-геоморфологическими границами БРЗ (Рассказов, 1993). Следующий существенный шаг был сделан, когда были представлены факты, свидетельствующие об интеграции БРС в структуру ЯБГК (Chuvashova et al., 2017), которой обеспечивается связь новейшей геологической эволюции Байкальского региона с эволюцией Япономорского задугового бассейна и движениями литосферы и подлитосферной мантии в Тихоокеанском регионе.

При систематических исследованиях кайнозойского континентального рифтогенеза и связанных с ним расплавных аномалий представления о рифтогенезе менялись от

его упрощенного восприятия как корового процесса к восприятию как процесса, протекающего в континентальной литосфере и под ней с многовариантной эволюцией в зависимости от строения фундамента, проявления, наряду с растяжением, сжатия литосферы, создания условий для реализации простого или чистого сдвига.

В настоящее время БРС воспринимается как классическая внутриконтинентальная рифтовая структура, состоящая из трансформационных и раздвиговых сегментов, контролирующей вулканическую деятельность. Развитие БРС не было монотонным. Разнообразные осложнения структуры обозначились в гипотезах, часть из которых не выдержала испытания временем, а другая часть поддерживается, но не исключено, что в будущем гипотезы, которые в настоящее время поддаются логике, будут переосмыслены и заменены новыми гипотезами, лучше объясняющими полученные фактические материалы.

Благодарности

Исторический обзор гипотез проводится в связи с разработкой курса «Геология и стратиграфия кайнозоя Сибири».

Литература

Аль Хамуд А., Рассказов С.В., Чувашова И.С., Трегуб Т.Ф., Волков М.А., Кулагина Н.В., Коломиец В.Л., Будаев Р.Ц. Временные вариации состава кайнозойских отложений на Танхойской тектонической ступени Южного Байкала // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 30. С. 108–129. doi.org/10.26516/2073-3402.2019.30.108

Аль Хамуд А., Рассказов С.В., Чувашова И.С., Трегуб Т.Ф., Рубцова М.Н., Коломиец В.Л., Будаев Р.Ц., Хассан А., Волков М.А. Опрокинутая эоцен-нижнеплиоценовая аллювиальная толща на южном берегу оз. Байкал и ее неотектоническое значение // Геодинамика и тектонофизика. 2021. Т. 12, № 1. С. 139–156.

Аносов В.С. Некоторые данные о древней речной сети в Юго-Западном и Центральном Прибайкалье // Новые данные по геологии, нефтегазоносности и полезным ископаемым Иркутской области. М.: Недра. 1964. С. 247–251.

Ашурков С.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И. Мгновенные скорости дивергенции Евразийской и Амурской плит на байкальской межплитной границе // Кайнозойский континентальный рифтогенез. Мат-лы симпозиума, посвященного 80-летию со дня рождения академика Н.А. Логачева. Т. 1. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2010. С. 53–56.

Байкал. Геология. Человек / М.И. Грудинин, И.С. Чувашова (составители). Иркутск: Изд-во ИГУ, 2011. 239 с.

Балла З., Кузьмин М.И., Леви К.Г. Кинематика раскрытия Байкала // Геотектоника, 1990. № 2. С. 80–91.

Белов И.В. Трахибазальтовая формация Прибайкалья. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 371 с.

Вотинцев К.К., Глазунов И.В., Толмачева А.П. Гидрохимия рек бассейна озера Байкал. М., Наука, 1965. 495 с.

Грудинин М.И., Меньшагин Ю.В. Ультрабазит–базитовые ассоциации раннего докембрия. Новосибирск: Наука, 1987. 157 с.

Гурулев С.А. О возрасте оледенения в Северном Прибайкалье // Труды Вост.-Сиб. геол. ин-та ВСФ АН СССР. Иркутск, 1959. Вып. 2. С. 175–186.

Девирц А.Л., Рассказов С.В., Поляков А.И., Добкина Э.И. Радиоуглеродный возраст молодых вулканов хребта Удокан (Северо-Восточное Прибайкалье) // Геохимия. 1981. № 8. С. 1250–1253.

Замараев С.М., Самсонов В.В. Геологическое строение и нефтегазоносность Селенгинской депрессии // Геология и нефтегазоносность Восточной Сибири. М.: Гостоптехиздат. 1959. С. 435–475.

Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А., Мишарина Л.А., Солоненко Н. Тектоника плит Байкальской горной области и Станового хребта. Доклады АН СССР. 1978. Т. 240, № 3. С. 669–672.

Зорин Ю.А., Корделл Л. Растяжение земной коры в Байкальской рифтовой зоне по гравиметрическим данным // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1991. № 5. С. 3–11.

Еникеев Ф.И., Потемкина В.И. Поздний кайнозой Чарской впадины // Актуальные проблемы палинологии на рубеже третьего тысячелетия. М.: ИГиРГИ, 1999. С. 105–112.

Коломиец В. Л. Седиментогенез плейстоценового аквального комплекса и условия форми-

рования нерудного сырья суходольных впадин Байкальской рифтовой зоны.: дисс. канд. геол.-мин. наук. Иркутск. 2010. 278 С.

Кононов Е.Е., Хлыстов О.М. О возрасте глубоководного Байкала // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2017. Т. 40. № 4. С. 11 8–1 29. DOI: 10.21285/2541-9455-2017-40-4-11 8-129

Кравчинский А.Я., Давыдов В.Ф., Болдырев Г.С. Опыт палеомагнитной стратификации донных осадков оз. Байкал // Хронология ледникового века. Л.: Недра, 1971. С. 48–56.

Кузьмин М. И., Бычинский В. А., Кербер Е. В. Ошепкова А. В., Горегляд А. В., Иванов Е. В. Химический состав осадков глубоководных байкальских скважин как основа реконструкции изменений климата и окружающей среды // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 1. С. 3–22.

Ламакин В.В. Неотектоника Байкальской впадины. М.: Наука, 1968. 247 с. (Труды Геологического института, вып. 187)

Логачев Н.А. Кайнозойские континентальные отложения впадин байкальского типа // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1958. № 4. С. 18–29.

Логачев Н. А. Осадочные и вулканогенные формации Байкальской рифтовой зоны // Байкальский рифт. Новосибирск: Наука. 1968. С. 72–101.

Логачев Н. А. Саяно-Байкальское и Становое нагорья // Нагорья Прибайкалья и Забайкалья / Ред. Н.А. Флоренсов. М.: Наука. 1974. С. 16–162.

Логачев Н.А. Вулканогенные и осадочные формации рифтовых зон Восточной Африки. М.: Наука, 1977. 183 с.

Логачев Н.А. История и геодинамика Байкальского рифта // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 5. С. 391–406.

Логачев Н.А., Брандт И.С., Рассказов С.В., Иванов А.В., Брандт С.Б., Конев А.А., Ильясова А.М. Определение К–Аг-возраста палеоценовой коры выветривания Прибайкалья // Доклады АН. 2002. Т. 385, № 6. С. 797–799.

Логачев Н.А., Рассказов С.В., Иванов А.В., Леви К.Г., Бухаров А.А., Кашик С.А., Шерман С.И. Кайнозойский рифтогенез в континентальной литосфере // Литосфера Центральной Азии. Ред. Н.А. Логачев. Новосибирск: Наука, 1996. С. 57–80.

Лопатин Д.В. Трансбайкальская гидросистема плейстоцена // Геоморфология. 2016. № 2. С. 113–119.

Лопатин Д.В., Томилов Б.В. Древние долины Западного Прибайкалья в связи с проблемой образования Байкала // Речные системы и мелиорация. Новосибирск, 1977. Ч.2. С. 101–103.

Лопатин Д.В., Томилов Б.В. Возраст Байкала // Вестник СПбГУ. Сер. 7, 2004, вып. 1. С. 58–67.

Лут Б.Ф., Власова Л.К., Фиалков В.А., Лещиков Ф.Н., Мирошниченко А.П., Галкин В.И., Карабанов Е.Б., Мизандронцев И.Б., Белова В.А., Логинова Л.П., Хурсевич Г.К., Компанец В.Х. Литодинамика и осадкообразование Северного Байкала. Новосибирск: Наука, 1984. 290 с.

Лухнев А.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Леви К.Г., Башкуев Ю.Б., Дембелов М.Г., Залуцкий В.Т., Кале Э., Девершер Ж., Верноль М., Бехтур Б., Амаржаргал Ш. Новые данные о современных тектонических деформациях южного горного обрамления Сибирской платформы // Доклады АН. 2003. Т. 389, № 1. С.100–103.

Мац В.Д., Уфимцев Г.Ф., Мандельбаум М.М., Алакшин А.М., Поспеев А.В., Шимараев М.Н., Хлыстов О.М. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: строение и геологическая история. Новосибирск: Изд-во СО РАН. Филиал ГЕО, 2001. 252 с.

Мельникова В.И., Гилева Н.А., Арефьев С.С. и др. Култукское землетрясение 2008 г. с $M_w = 6.3$ на юге Байкала: пространственно-временной анализ сейсмической активации // Известия физики твердой Земли. 2012. Т. 48, № 7–8. С. 594–614.

Мишарина Л.А. Напряжения в земной коре в рифтовых зонах. М.: Наука, 1967. 135 с.

Мордвинова В.В., Кобелев М.М., Хритова М.А. и др. Скоростное строение южной окраины Сибирского кратона и его складчатого окружения по объемным волнам далеких землетрясений // 2017. Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2017. Т. 4, № 1. С. 37–41.

Недра Байкала по сейсмическим данным / Под ред. Н.Н. Пузырева. Новосибирск: Наука. Сиб. отд.-ние, 1981. 105 с.

Геология и сейсмичность зоны БАМ. Неотектоника / Шерман С.И., Леви К.Г., Ружич В.В., Саньков В.А., Днепровский Ю.И., Рассказов С.В. Новосибирск: Наука, 1984. 207 с.

Павловский Е. В. Геологическая история и геологическая структура Байкальской горной области. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1948. 175 с.

Павловский Е.В., Фролова Н.В. Древние долины Лено-Ангаро-Байкальского водораздела // Бюллетень МОИП. Отд. геол. 1941. Т. XIX (1). С. 65–79.

Пальшин Г.Б. Кайнозойские отложения юго-восточного побережья Байкала. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 201 с.

Пиннекер Е.В., Писарский Б.И., Ломоносов И.С., Колдышева Р.Я., Диденко А.А., Шерман С.И. Гидрогеология Прибайкалья. Москва: изд-во Наука, 1968. 170 с.

Рассказов С.В. Плиоцен-четвертичный надвиг на юге Окинского плоскогорья (Восточный Саян) // Геология и геофизика. 1990. № 5. С. 134–138.

Рассказов С.В. Магматизм Байкальской рифтовой системы. Новосибирск: ВО "Наука". Сибирская издательская фирма, 1993. 288 с.

Рассказов С.В. Сопоставление вулканизма и новейших структур горячих пятен Йеллоустоуна и Восточного Саяна // Геология и геофизика. 1994. № 10. С. 67–75.

Рассказов С.В. Вулканизм и структура северо-восточного фланга Байкальской рифтовой системы // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 4. С. 60–70.

Рассказов С.В. Среднеголоценовое изменение тектонических напряжений в вулканической зоне хребта Удокан, Восточная Сибирь // Вулканология и сейсмология. 1999. № 2. С. 70–74.

Рассказов С.В., Чувашова И.С. Новейшая мантийная геодинамика Центральной Азии. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. 308 с.

Рассказов С.В., Чувашова И.С. Вулканизм и трансенсия на северо-востоке Байкальской рифтовой системы. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2018. 383 с. ISBN 978-5-6041446-3-3

Рассказов С.В., Ильясова А.М., Чувашова И.С., Борняков С.А., Оргильянов А.И., Коваленко С.Н., Семинский А.К., Попов Е.П., Чебыкин Е.П. Гидрогеохимическая зональность изотопов урана ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) на юге Сибирского палеоконтинента: роль резервуара Южного Байкала в формировании подземных вод. Геодинамика и тектонофизика. 2020;11(3):632–650. <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-3-0496>

- Рассказов С.В., Логачев Н.А., Брандт И.С., Брандт С.Б., Иванов А.В. Геохронология и геодинамика позднего кайнозоя (Южная Сибирь – Южная и Восточная Азия). Новосибирск: Наука, 2000. 288 с.
- Рассказов С. В., Лямина Н. А., Лузина И. В., Черняева Г. П., Чувашова И. С., Усольцева М. В. Отложения Танхойского третичного поля, Южно-Байкальская впадина: стратиграфия, корреляции и структурные перестройки в Байкальском регионе // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2014. Vol. 5, No. 4. P. 993–1032.
- Рассказов С. В., Лямина Н. А., Черняева Г. П., Лузина И. В., Руднев А. Ф., Резанов И. Н. Стратиграфия кайнозоя Витимского плоскогорья: феномен длительного рифтогенеза на юге Восточной Сибири. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео». 2007. 193 с.
- Рассказов С.В., Коломиец В.Л., Будаев Р.Ц., Чувашова И.С., Аль-хамуд А., Хассан А., Алокла Р. Новейшая активизация шовной зоны Сибирского кратона под Южным Байкалом: от мелпалеогенового орогена к неоген-четвертичному рифту // *Геология и окружающая среда*. 2021. Т. 1, № 1. С. 7–15.
- Рассказов С.В., Миколайчук А.В., Коломиец В.Л., Будаев Р.Ц., Усольцева М.В., Сунь Йиминь, Сие Чжэньхуа, Янг Чэнь, Чувашова И.С., Чикишева Т.А., Хассан А., Хамуд А. Аль, Алокла Р. Кайнозойские красноцветные осадочные отложения Внутренней Азии: литогенетическое значение вариаций содержаний Al_2O_3 и CO_2 // *Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)*. Материалы совещания. Выпуск 14. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2016. С. 233–235.
- Рассказов С.В., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А., Фефелов Н.Н., Саранина Е.В. Калиевая и калинатровая вулканические серии в кайнозое Азии. Новосибирск: Академическое изд-во «ГЕО». 2012. 351 с. (Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Yasnigina T.A., Fefelov N.N., Saranina E.V. Potassic and potassic-sodic volcanic series in the Cenozoic of Asia. Novosibirsk: Academic Publishing House “GEO”. 2012. 351 p.)
- Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Чувашова И.С., Михеева Е.А., Снопков С.В. Култукский вулкан: пространственно–временная смена магматических источников на западном окончании Южно-Байкальской впадины в интервале 18–12 млн лет назад // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2013. Vol. 4, No. 2. P. 135–168. doi:10.5800/GT2013420095.
- Решения Третьего Межведомственного регионального стратиграфического совещания по мезозою и кайнозою Средней Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. 91 с.
- Ружич В.В., Шерман С.И., Тарасевич С.И. Новые данные о надвигах в юго-западной части Байкальской рифтовой зоны // *Докл. АН СССР*. 1972. Т. 205, № 4. С. 920–923.
- Саньков В.А., Чипизубов А.В., Лухнев А.В., Смекалин О.П., Мирошниченко А.И., Кале Э., Девершер Ж. Подход к оценке опасности сильного землетрясения в зоне Главного Саянского разлома по данным GPS-геодезии и палеосейсмологии // *Геология и геофизика*. 2004. № 11. С. 1369–1376.
- Скобло В.М., Лямина Н.А., Лузина И.В., Руднев А.Ф. Континентальный верхний мезозой Прибайкалья и Забайкалья. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 332 с.
- Солоненко В.П., Тресков А.А., Курушин Р.А. и др. Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья. М.: Наука, 1966. 231 с.
- Уфимцев Г.Ф. О структуре Байкальской рифтовой зоны // *Геотектоника*. 1987. № 1. С. 93–106.
- Файзулина З. Х., Козлова Е. П. Результаты палинологического изучения третичных отложений, вскрытых глубоким бурением // *Геология и нефтегазоносность Восточной Сибири*. М.: Недра. 1966. С. 362–366.
- Флоренсов Н.А. Геоморфология и новейшая тектоника Забайкалья // *Известия АН СССР. Сер. геол.* 1948. № 2. С. 3–16.
- Флоренсов Н.А. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. М.–Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. 258 с.
- Хаин В.Е., Яблонская Н.А. Тектоника Азии: 75 лет после Эмиля Аргана // *Геотектоника*. 1997. № 6. С. 3–15.
- Хассан А.И., Рассказов С.В., Чувашова И.С., Решетова С.А., Рубцова М.Н., Ясныгина Т.А., Будаев Р.Ц., Аль Хамуд А., Титова Л.А., Родионова Е.В., Усольцева М.В. Кайнозойские осадочные отложения Селенгино-Витимского прогиба и Байкальской рифтовой зоны, пространственно совмещенные в разрезе Уро // *Литосфера*. 2022. Т. 22, № 6. С. 796–817. DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-6-796-817

- Хлыстов П.А., Дехтярева Л.В. Основные этапы мезо-кайнозойского выравнивания и корообразования в Западном Забайкалье // Мат-лы по геол. и полезн. ископ. Бурятской АССР. Вып. XIII. Улан-Удэ: Бурят. Кн. изд-во, 1970. С. 50–57.
- Хренов П.М., Демин А.Н., Таскин А.Н. и др. Влияние «скрытых» поперечных разломов на формирование Байкальской рифтовой зоны // Проблемы рифтогенеза. Иркутск, Воет. Сиб. филиал СО АН СССР. 1975. С. 37–39.
- Чувашова И.С., Рассказов С.В. Источники магматизма в мантии эволюционирующей Земли. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2014. 291 с.
- Чувашова И.С., Рассказов С.В. Прорыв в изучении и датировании новейшего вулканизма Байкальской рифтовой системы и его значение для понимания новейшей геодинамики Азии // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 3. С.
- Чувашова И.С., Рассказов С.В., Йи-минь Сунь. Новейшая геодинамика Центральной Азии: первичные и вторичные мантийные расплавные аномалии в контексте орогенеза, рифтогенеза и движения–взаимодействия литосферных плит // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8, № 1. С. 45–80. doi:10.5800/GT-2017-8-1-0232.
- Шенгёр А.М.С., Натальин Б.А. Рифты мира. Учебно-справочное пособие. Пер. с англ. М.: Геокарт, 2009. 188 с.
- Шерман С.И. Сейсмический процесс и прогноз землетрясений: тектонофизическая концепция. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2014. 359 с.
- Шерман С.И., Леви К.Г. Трансформные разломы Байкальской рифтовой зоны // Доклады АН СССР. 1977. Т. 233, № 2. С. 461–464.
- Шерман С.И., Леви К.Г. Трансформные разломы Байкальской рифтовой зоны и сейсмичность ее флангов // Тектоника и сейсмичность континентальных рифтовых зон. М.: Наука, 1978. С. 7–18.
- Argus, D.F., Gordon, R.G., Demets, C., 2011. Geologically current motion of 56 plates relative to the no-net-rotation reference frame. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 12. <https://doi.org/10.1029/2011GC003751>.
- Barth A., Wenzel F. New constraints on the intraplate stress field of the Amurian plate deduced from light earthquake focal mechanisms // *Tectonophysics*. 2009. doi:10.1016/j.tecto.2009.01.029.
- Bosworth W. Geometry of propagating continental rifts // *Nature*. 1985. Vol. 316, N 6029. P. 625–627.
- Bosworth W. Off-axis volcanism in the Gregory rift, East Africa // *Geology*. 1987. Vol. 15. P. 397–400.
- Chuvashova I., Rasskazov S., Sun Yi-min, Yang Chen Origin of melting anomalies in the Japan-Baikal corridor of Asia at the latest geodynamic stage: evolution from the mantle transition layer and generation by lithospheric transtension // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017. Vol. 8. No. 3. P. 435–440. Doi.org/10.5800/GT-2017-8-3-0256.
- Delvaux D. The karroo to recent rifting in the western brunch of the East-African rift system: a bibliographical synthesis // Royal Museum for Central Africa, Belgium, Annual report, 1989–1990. 24 p.
- England P., Molnar P. Active deformation of Asia: from kinematics to dynamics // *Science*. 1997. Vol. 278. P. 647–650.
- Florensov N.A., Logatchev N.A. The Baikal system of rift valleys // *Tectonophysics*. 1978. Vol. 45, N 1. P. 1–13.
- Gregory J.W. Contributions to the physical geography of British East Africa // *Geographical. J.* 1984. Vol. 4. P. 293–297.
- Hoggard M.J., Parnell-Turner R., White N. Hotspots and mantle plumes revisited: Towards reconciling the mantle heat transfer discrepancy // *Earth and Planetary Science Letters*. 2020. Vol. 542. P. 116317. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116317>
- Intracontinental rift comparison: Baikal and Rio Grande Rift systems // *EOS*. 1989. Vol. 70. P. 578–579, 586–588.
- Kaygorodova I.A., Sherbakov D.Yu., Martin P. Molecular phylogeny of Baikalian Lumbriculidae (Oligochaeta): evidence for recent explosive speciation // *Comparative Cytogenetics*. 2007. Vol. 1, No. 1. P. 71–84.
- Keller G.R., Bott M.H.P., Wendlandt R.F. et al. The Baikal Rift System // *Continental rifts: Evolution, structure, tectonics* / K.H. Olsen (Ed.) Publication No. 264 of the International Lithosphere Program. Elsevier: Amsterdam–Lausanne–New York–Oxford–Shannon–Tokyo, 1995. P. 3–26.

Kravchinsky V.A. Magnetostratigraphy of the Lake Baikal sediments: A unique record of 8.4 Ma of continuous sedimentation in the continental environment // *Global and Planetary Change*. 2017. Vol.152. P. 209–226. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.04.002>.

Le Pichon X., Şengör A.M.C., İmren C. Pangea and the lower mantle // *Tectonics*. 38,10.1029/2018TC005445

Levi K.G., Miroshnichenko A.I., San'kov V.A., Babushkin S.M., Larkin G.V., Badardinov A.A., Wong H.K., Coleman S. & Delvaux. D. Active faults of the Baikal basin // *Bull. Centre rech. Elf explor. Prod.* 1997. Vol. 21, No. 2. P. 399–434.

Logatchev N.A., Zorin Y.A. Baikal rift zone: structure and geodynamics // *Tectonophysics*, 1992. Vol. 208. P. 273–286.

McKenzie D.P. Some remarks on the development of sedimentary basins // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1978. Vol. 40. P. 25–32.

McArthur J.M., Howarth R.J., Bailey T.R., 2001. Strontium isotope stratigraphy: LOWESS version 3: best fit to the marine Sr-isotope curve for 0–509 Ma and accompanying look-up table for deriving numerical age. *J. Geol.* 109, 155–170.

McArthur J.M., Howarth R.J., Shields G.A., 2012. Chapter 7. Strontium Isotope Stratigraphy. *The Geologic Time Scale 2012*. In: Gradstein F., Ogg J., Schmitz M., Ogg G. (Eds.), Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-444-59425-9.00007-X

Molnar P., Tapponier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision // *Science*. 1975. Vol. 189, No. 4201. P. 419–426.

Petit C., Deverchere J., Houdry F., Sankov V.A., Mel'nikov V.I., Delvaux D. Present-day stress field changes along the Baikal rift and tectonic implication // *Tectonics*. 1996. Vol. 15, No. 6. P. 1171–1191.

Rasskazov S.V. Magmatism related to the East Siberia rift system and the geodynamics // *Bull. Centres Rech. Explor.–Prod. Elf. Aquitaine*. 1994. Vol. 18. No. 2. P. 437–452.

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. The latest geodynamics in Asia: Synthesis of data on volcanic evolution, lithosphere motion, and mantle velocities in the Baikal-Mongolian region // *Geoscience Frontiers*. 2017. Vol. 8. P. 733–752. Doi:10.1016/j.gsf.2016.06.009.

Rasskazov S.V., Chebykin E.P., Ilyasova A.M., Snopkov S.V., Bornyakov S.A., Chuvashova I.S. Change of seismic hazard levels in complete 12-

year seismogeodynamic cycle of the South Baikal Basin: Results of hydroisotopic ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) monitoring // *Geology and Environment*. 2022. Vol. 2, No. 2. P. 7–21. DOI 10.26516/2541-9641.2022.2.7

Sankov V., Deverchere J., Gaudemer Y., Houdry F., Filippov A. Geometry and rate in the North Baikal rift, Siberia // *Tectonics*. 2000. Vol. 19, No. 4. P. 707–722.

Scholz C.A., Hutchinson D. R. Stratigraphic and structural evolution of the Selenga delta accommodation zone, Lake Baikal, Siberia // *Int. J. Earth Sci.* 2000. Vol. 89. P. 212–228.

Tapponier P., Molnar P. Active faulting and Cenozoic tectonics of the Tien-Shan, Mongolia and Baikal region // *J. Geophys. Res.* 1979. Vol. 84, NB7. P. 3425–3459.

Turcotte D.L., Schubert G. *Geodynamics*. Third edition. Cambridge University Press, 2014. 423 p.

Wernicke B. Uniform sense normal simple shear of the continental lithosphere // *Can. J. Earth Sci.* 1985. Vol. 22. P. 108–125.

Wilson J.T. A new class of faults and their bearing on continental drift // *Nature*. 1965. No. 4995. P. 343–347.

References

Al Hamoud A., Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Tregub T.F., Kulagina N.V., Kolomiets V.L., Budaev R.Ts. Temporal compositional variations of Cenozoic sediments on the Tankhoi tectonic step, the Southern Baikal. *Irkutsk State University Bulletin. Earth Science Series*. Vol. 30. P. 108–129.

Al Hamoud A., Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Tregub T.F., Rubtsova M.N., Kolomiyets V.L., Budaev R.Ts., Hassan A., Volkov M.A., 2021. Overturned Eocene – Lower Pliocene alluvial stratum on the southern coast of Lake Baikal and its neotectonic significance. *Geodynamics & Tectonophysics* 12 (1), 139–156. doi:10.5800/GT-2021-12-1-0518

Anosov V.S. Some data on the old river network in the South-Western and Central Baikal region // *New data on geology, oil and gas content and minerals of the Irkutsk region*. Moscow: Nedra. 1964. P. 247–251.

Ashurkov S.V., Sankov V.A., Miroshnichenko A.I. Instantaneous rates of divergence of the Eurasian and Amur plates at the Baikal interplate boundary // *Cenozoic continental rifting. Proceedings of the symposium dedicated to the 80th anniversary of the birth of Academician N.A. Logatchev*. Vol. 1.

Irkutsk: Institute of the Earth's Crust SB RAS, 2010. P. 53–56.

Baikal. Geology. Human being / Grudin M.I., Chuvashova I.S. (Eds). Irkutsk State University Publishers, 2011. 239 p.

Balla Z., Kuzmin M.I., Levi K.G. Kinematics of the Baikal opening // *Geotectonics*. 1990. No. 2. P. 80–91.

Belov I.V. Trachybasalt formation of the Baikal region. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1963. 371 p.

Chuvashova I.S., Rasskazov S.V. Sources of magmatism in the mantle of the evolving Earth. Irkutsk State University Publisher, Irkutsk, 2014. 291 p.

Chuvashova I.S., Rasskazov S.V. Breakthrough in research and dating of latest volcanism in the Baikal Rift System and its significance for understanding latest geodynamics of Asia // *Geology and Environment*. 2023. Vol. 3, No. 3. P.

Chuvashova I.S., Rasskazov S.V., Yi-min Sun The latest geodynamics in Central Asia: primary and secondary mantle melting anomalies in the context of orogenesis, rifting, and lithospheric plate motions and interactions // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017. Vol. 8, No. 1. P. 45–80. doi:10.5800/GT-2017-8-1-0232.

Decisions of the Third Interdepartmental Regional Stratigraphic Meeting on the Mesozoic and Cenozoic of Central Siberia. Novosibirsk: Science. Sib. department, 1981. 91 p.

Devirts A.L., Rasskazov S.V., Polyakov A.I., Dobkina E.I. Radiocarbon age of young volcanoes of the Udokan Ridge (North-Eastern Baikal region) // *Geochemistry*. 1981. No. 8. P. 1250–1253.

Enikeev F.I., Potemkina V.I. Late Cenozoic of the Chara depression // *Current problems of palynology at the turn of the third millennium*. Moscow: IGI, 1999. P. 105–112.

Fayzulina Z. Kh., Kozlova E. P. Results of palynological study of tertiary deposits exposed by deep drilling // *Geology and oil and gas potential of Eastern Siberia*. Moscow: Nedra. 1966. P. 362–366.

Florensov N.A. Geomorphology and recent tectonics of Transbaikalia // *Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Ser. geol.* 1948. No. 2. P. 3–16.

Florensov N.A. Mesozoic and Cenozoic depressions of the Baikal region. M.–L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1960. 258 p.

Geology and seismicity of the BAM zone. Neotectonics / Sherman S.I., Levi K.G., Ruzhich V.V., Sankov V.A., Dneprovsky Yu.I., Rasskazov S.V. Novosibirsk: Nauka, 1984. 207 p.

Grudin M.I., Menshagin Yu.V. Ultramafic–mafic associations of the Early Precambrian. Novosibirsk: Nauka, 1987. 157 p.

Gurulev S.A. On the age of glaciation in the Northern Baikal region // *Proceedings of Vost.-Sib. geol. Institute of the WSF AS USSR*. Irkutsk, 1959. Issue. 2. P. 175–186.

Hassan A.I., Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Reshetova S.A., Rubtsova M.N., Yasnygina T.A., Budaev R.Ts., Al Hamud A., Titova L. A., Rodionova E.V., Usoltseva M.V. Cenozoic sedimentary deposits of the Selenga-Vitim trough and the Baikal rift zone, spatially combined in the Uro section // *Lithosphere*. 2022. Vol. 22, No. 6. P. 796–817. DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-6-796-817

Interior of Baikal according to seismic data / Ed. N.N. Puzyreva. Novosibirsk: Science. Sib. department, 1981. 105 p.

Khain V.E., Yablonskaya N.A. Tectonics of Asia: 75 years after Emile Argan // *Geotectonics*. 1997. No. 6. P. 3–15.

Khlystov P.A., Dekhtyareva L.V. The main stages of Meso-Cenozoic leveling and crust formation in Western Transbaikalia // *Materials on geol. and useful fossil Buryat Autonomous Soviet Socialist Republic*. Vol. XIII. Ulan-Ude: Buryat. Book publishing house, 1970. P. 50–57.

Khrenov P.M., Demin A.N., Taskin A.N. and others. The influence of “hidden” transverse faults on the formation of the Baikal rift zone // *Problems of rifting*. Irkutsk, Voet. Sib. branch of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. 1975. P. 37–39.

Kolomiets V.L. Sedimentogenesis of the Pleistocene aquatic complex and the conditions for the formation of non-metallic raw materials in the dry valleys of the Baikal rift zone. Diss. Ph.D. geol.-min. sci. Irkutsk, 2010. 278 p.

Kononov E.E., Khlystov O.M. On the age of deep-sea Baikal // *News of the Siberian Branch of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, exploration and development of mineral deposits*. 2017. Vol. 40. No. 4. P. 11 8–1 29. DOI: 10.21285/2541-9455-2017-40-4-11 8-129

Kravchinsky A.Ya., Davydov V.F., Boldyrev G.S. Experience of paleomagnetic stratification of

lake bottom sediments. Baikal // Chronology of the Ice Age. Leningrad: Nedra, 1971. P. 48–56.

Kuzmin M.I., Bychinsky V.A., Kerber E.V., Oshepkova A.V., Goreglyad A.V., Ivanov E.V. Chemical composition of sediments from deep-water Baikal wells as a basis for reconstructing climate and environmental changes // Geology and geophysics. 2014. Vol. 55. No. 1. P. 3–22.

Lamakin V.V. Neotectonics of the Baikal depression. Moscow: Nauka, 1968. 247 p. (Proceedings of the Geological Institute, issue 187)

Logatchev N.A. Cenozoic continental deposits of Baikal-type depressions // Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Geological series. 1958. No. 4. P. 18–29.

Logatchev N.A. Sedimentary and volcanogenic formations of the Baikal rift zone // Baikal Rift. Novosibirsk: Science. 1968. P. 72–101.

Logatchev N.A. Sayan-Baikal and Stanovoe highlands // Highlands of the Baikal region and Transbaikalia / Ed. N.A. Florensov. Moscow: Science. 1974. P. 16–162.

Logatchev N.A. Volcanogenic and sedimentary formations of the rift zones of East Africa. Moscow: Nauka, 1977. 183 p.

Logatchev N.A. History and geodynamics of the Baikal rift // Geology and Geophysics. 2003. Vol. 44, No. 5. P. 391–406.

Logatchev N.A., Brandt I.S., Rasskazov S.V., Ivanov A.V., Brandt S.B., Konev A.A., Ilyasova A.M. Determination of the K–Ar age of the Paleocene weathering crust of the Baikal region // Reports of the Academy of Sciences. 2002. Vol. 385, No. 6. P. 797–799.

Logatchev N.A., Rasskazov S.V., Ivanov A.V., Levi K.G., Bukharov A.A., Kashik S.A., Sherman S.I. Cenozoic rifting in the continental lithosphere // Lithosphere of Central Asia. Ed. N.A. Logatchev. Novosibirsk: Nauka, 1996. P. 57–80.

Lopatin D.V. Transbaikalian hydraulic system of the Pleistocene // Geomorphology. 2016. No. 2. P. 113–119.

Lopatin D.V., Tomilov B.V. Ancient valleys of the Western Baikal region in connection with the problem of the formation of Baikal // River systems and reclamation. Novosibirsk, 1977. Part 2. P. 101–103.

Lopatin D.V., Tomilov B.V. Age of Baikal // Bulletin of St. Petersburg State University. Ser. 7, 2004, issue. 1. P. 58–67.

Lut B.F., Vlasova L.K., Fialkov V.A., Leshchikov F.N., Miroshnichenko A.P., Galkin V.I., Karabanov E.B., Mizandroutsev I.B., Belova V.A., Loginova L.P., Khursevich G.K., Kompanets V.Kh. Lithodynamics and sedimentation of Northern Baikal. Novosibirsk: Nauka, 1984. 290 p.

Lukhnev A.V., Sankov V.A., Miroshnichenko A.I., Levi K.G., Bashkuev Yu.B., Dembelov M.G., Zalutsky V.T., Kale E., Deverscher J., Vernol M., Bekhtur B., Amarzhargal Sh. New data on modern tectonic deformations of the southern mountain frame of the Siberian Platform // Reports of the Academy of Sciences. 2003. Vol. 389, No. 1. P.100–103.

Mats V.D., Ufimtsev G.F., Mandelbaum M.M., Alakshin A.M., Pospeev A.V., Shimaraev M.N., Khlystov O.M. Cenozoic Baikal rift basin: structure and geological history. Novosibirsk: Publishing house SB RAS. Branch of GEO, 2001. 252 p.

Melnikova V.I., Gileva N.A., Arefiev S.S. et al. Kultuk earthquake of 2008 with $M_w = 6.3$ in the south of Lake Baikal: spatiotemporal analysis of seismic activation // News of Solid Earth Physics. 2012. Vol. 48, No. 7–8. P. 594–614.

Misharina L.A. Stresses in the earth's crust in rift zones. Moscow: Nauka, 1967. 135 p.

Mordvinova V.V., Kobelev M.M., Khritova M.A. and others. Velocity structure of the southern margin of the Siberian craton and its folded environment based on body waves of distant earthquakes // 2017. Interexpo GEO-Siberia. 2017. Vol. 4, No. 1. P. 37–41.

Pavlovsky E.V. Geological history and geological structure of the Baikal mountain region. Moscow: Publishing house Acad. Sciences USSR, 1948. 175 p.

Pavlovsky E.V., Frolova N.V. Ancient valleys of the Lena-Angara-Baikal watershed // Bulletin of MOIP. Dept. geol. 1941. Vol. XIX (1). P. 65–79.

Palshin G.B. Cenozoic deposits of the southeastern coast of Lake Baikal. M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1955. 201 p.

Pinneker E.V., Pisarsky B.I., Lomonosov I.S., Koldysheva R.Ya., Didenko A.A., Sherman S.I., 1968. Hydrogeology of the Baikal region. Moscow: Science Publishing House, 1968.170 p.

Rasskazov S.V. Pliocene-Quaternary thrust in the south of the Oka Plateau (Eastern Sayan) // Geology and Geophysics. 1990. No. 5. P. 134–138.

- Rasskazov S.V. Magmatism of the Baikal rift system. Novosibirsk: Nauka Siberian Publishing Company, 1993. 288 p.
- Rasskazov S.V. Comparison of volcanism and recent structures of hot spots of Yellowstone and Eastern Sayan // *Geology and Geophysics*. 1994. No. 10. P. 67–75.
- Rasskazov S.V. Volcanism and structure of the northeastern flank of the Baikal rift system // *Geology and Geophysics*. 1996. Vol. 37, No. 4. P. 60–70.
- Rasskazov S.V. Mid-Holocene change in tectonic stresses in the volcanic zone of the Udokan ridge, Eastern Siberia // *Volcanology and Seismology*. 1999. No. 2. P. 70–74.
- Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. Recent mantle geodynamics of Central Asia. Irkutsk: ISU Publishing House, 2013. 308 p.
- Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. Volcanism and transtension in the northeastern Baikal Rift System. Novosibirsk, Academic Publishing House «GEO», 2018. 384 p.. doi: 10.21782/B978-5-6041446-3-3
- Rasskazov S.V., Ilyasova A.M., Chuvashova I.S., Bornyakov S.A., Orgilyanov A.I., Kovalenko S.N., Seminsky A.K., Popov E.P., Chebykin E.P. Hydrogeochemical zoning of uranium isotopes ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) in the Southern Siberian paleocontinent: the role of the South Baikal reservoir in the groundwater formation. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2020;11(3):632–650. <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-3-0496>
- Rasskazov S.V., Lyamina N.A., Chernyaeva G.P., Luzina I.V., Rudnev A.F., Rezanov I.N. Cenozoic stratigraphy of the Vitim Plateau: the phenomenon of long-term rifting in the south of Eastern Siberia. Novosibirsk: Academic Publishing House "Geo". 2007. 193 p.
- Rasskazov S.V., Kolomiets V.L., Budaev R.Ts., Chuvashova I.S., Al-hamud A., Hassan A., Alokla R. Recent activation of the suture zone of the Siberian craton under Southern Baikal: from shallow-Paleogene orogen to the Neogene-Quaternary rift // *Geology and Environment*. 2021. Vol. 1, No. 1. P. 7–15.
- Rasskazov S.V., Mikolaichuk A.V., Kolomiets V.L., Budaev R.Ts., Usoltseva M.V., Sun Yi-min, Xie Zhenhua, Yang Chen, Chuvashova I.S., Chikishcheva T.A., Hassan A., Hamoud A. Al, Alokla R. Cenozoic red sedimentary deposits of Inner Asia: lithogenetic significance of variations in Al_2O_3 and CO_2 contents // *Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from ocean to continent)*. Meeting materials. Issue 14. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust SB RAS, 2016. P. 233–235.
- Rasskazov S.V., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S., Mikheeva E.A., Snopkov S.V. Kultuk volcano: spatiotemporal change of magmatic sources at the western end of the South Baikal depression in the interval 18–12 million years ago // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2013. Vol. 4, No. 2. P. 135–168. doi:10.5800/GT2013420095.
- Ruzhich V.V., Sherman S.I., Tarasevich S.I. New data on thrusts in the southwestern part of the Baikal rift zone // *Dokl. Academy of Sciences of the USSR*. 1972. Vol. 205, No. 4. P. 920–923.
- Sankov V.A., Chipizubov A.V., Likhnev A.V., Smekalin O.P., Miroshnichenko A.I., Kale E., Deverscher J. An approach to assessing the danger of a strong earthquake in the zone of the Main Sayan Fault based on data GPS geodesy and paleoseismology // *Geology and Geophysics*. 2004. No. 11. P. 1369–1376.
- Skoblo V.M., Lyamina N.A., Luzina I.V., Rudnev A.F. Continental Upper Mesozoic of the Baikal region and Transbaikalia. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 2001. 332 p.
- Solonenko V.P., Treskov A.A., Kurushin R.A. and others. Living tectonics, volcanoes and seismicity of the Stanovoy Highlands. Moscow: Nauka, 1966. 231 p.
- Şengör A.M.S., Natal'in B.A. Rifts of the world. Educational and reference manual. Translated from English. Moscow: Geokart, 2009. 188 p.
- Sherman S.I. Seismic process and earthquake forecast: tectonophysical concept. Novosibirsk: Academic Publishing House "Geo", 2014. 359 p.
- Sherman S.I., Levy K.G. Transform faults of the Baikal rift zone // *Reports of the USSR Academy of Sciences*. 1977. Vol. 233, No. 2. P. 461–464.
- Sherman S.I., Levy K.G. Transform faults of the Baikal rift zone and seismicity of its flanks // *Tectonics and seismicity of continental rift zones*. Moscow: Nauka, 1978. P. 7–18.
- Ufimtsev G.F. On the structure of the Baikal rift zone // *Geotectonics*. 1987. No. 1. P. 93–106.
- Votintsev K.K., Glazunov I.V., Tolmacheva A.P. Hydrochemistry of rivers in the Lake Baikal basin. M., Nauka, 1965. 495 p.
- Zamaraev S.M., Samsonov V.V. Geological structure and oil and gas potential of the Selenga depression // *Geology and oil and gas content of*

Eastern Siberia. Moscow: Gostoptekhizdat. 1959. P. 435–475.

Zonenshain L.P., Savostin L.A., Misharina L.A., Solonenko N. Plate tectonics of the Baikal mountain region and the Stanovoy Range. Reports of the USSR Academy of Sciences. 1978. Vol. 240, No. 3. P. 669–672.

Zorin Yu.A., Cordell L. Extension of the earth's crust in the Baikal rift zone according to gravimetric data // Izv. Academy of Sciences of the USSR. Ser. Physics of the Earth. 1991. No. 5. P. 3–11.

Рассказов Сергей Васильевич,

*доктор геолого-минералогических наук, профессор,
664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,*

*Иркутский государственный университет, геологический факультет,
заведующий кафедрой динамической геологии,*

*664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128, Институт земной коры СО РАН,
заведующий лабораторией изотопии и геохронологии,*

тел.: (3952) 51–16–59,

email: rassk@crust.irk.ru.

Rasskazov Sergei Vasilevich,

doctor of geological and mineralogical sciences, professor,

664003 Irkutsk, st. Lenina, 3,

Irkutsk State University, Faculty of Geology,

Head of Dynamic Geology Char,

664033 Irkutsk, st. Lermontova, 128, Institute of the Earth's Crust SB RAS,

Head of the Laboratory for Isotopic and Geochronological Studies,

tel.: (3952) 51–16–59,

email: rassk@crust.irk.ru.

Чувашова Ирина Сергеевна,

кандидат геолого-минералогических наук,

664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

*Иркутский государственный университет, геологический факультет,
доцент*

664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128, Институт земной коры СО РАН,

старший научный сотрудник,

тел.: (3952) 51–16–59,

email: chuvashova@crust.irk.ru.

Chuvashova Irina Sergeevna,

candidate of geological and mineralogical sciences,

664003 Irkutsk, st. Lenina, 3,

Irkutsk State University, Faculty of Geology,

assistant professor,

664033 Irkutsk, st. Lermontova, 128, Institute of the Earth's Crust SB RAS,

Senior Researcher,

tel.: (3952) 51–16–59,

email: chuvashova@crust.irk.ru.

Прорыв в изучении и датировании новейшего вулканизма Байкальской рифтовой системы и его значение для понимания новейшей геодинамики Азии

И.С. Чувашова^{1,2}, С.В. Рассказов^{1,2}

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск

² Иркутский государственный университет, Иркутск

Аннотация. История изучения и датирования новейшего вулканизма Байкальской рифтовой системы (БРС) условно разделяется на этапы: 1) до 1950-х гг. (открытие молодых вулканов), 2) 1950–1960-х гг. (первичное определение возраста кайнозойских вулканогенно-осадочных толщ по палеонтологическим данным), 3) 1970–1980-х гг. (определение последовательности образования вулканических толщ в развитии рельефа и получение первых радиоизотопных данных о возрасте вулканических пород), 4) 1980–2005-х гг. (накопление геохронометрических и геохимических данных по вулканическим территориям Азии) и 5) 2005–2023 гг. (синтез геохронометрических и геохимических данных). Результатом прорыва в изучении и датировании новейшего вулканизма БРС явилось обоснование обстановки развития мантийных расплавных аномалий в Японско-Байкальском геодинамическом коридоре (ЯБГК) и в его перекрытии областью Индо-Азиатской конвергенции. Прорыв в датировании вулканических пород, оформившийся к 2012 г., на территории Центральной Монголии был в основном подтвержден массовым $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ датированием 2018 г.

Ключевые слова: кайнозой, новейший геодинамический этап, Байкальская рифтовая система, Азия, вулканизм, K–Ar метод, $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ метод, ^{14}C метод, U–Th метод.

Breakthrough in Research and Dating of Latest Volcanism in the Baikal Rift System and its Significance for Understanding Latest Geodynamics of Asia

I.S. Chuvashova^{1,2}, S.V. Rasskazov^{1,2}

¹ Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk

² Irkutsk State University, Irkutsk

Abstract. The history of studying and dating the latest volcanism of the Baikal Rift System (BRS) is conventionally divided into stages: 1) until the 1950s (discovery of young volcanoes), 2) 1950–1960s (primary determination of the age of the Cenozoic volcanogenic-sedimentary sequences using paleontological data), 3) 1970–1980s (determination of sequence of volcanic strata in the development of relief and pioneering radioisotope dating of volcanic rocks), 4) 1980–2005 (growth of geochronological and geochemical data on volcanic areas of Asia), and 5) 2005–2023 (synthesis of geochronological and geochemical data). The breakthrough in studying and dating of latest volcanism in the BRS resulted in substantiation of the development of mantle melting anomalies in the Japan–Baikal Geodynamic Corridor (JBGC) and its overlap by the Indo-Asian Convergence Region. A breakthrough in studying and dating of volcanic rocks that occurred by 2012 was basically confirmed by mass $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ dating of 2018 in Central Mongolia.

Keywords: Cenozoic, recent geodynamic stage, Baikal Rift System, Asia, volcanism, K–Ar method, $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ method, ^{14}C method, U–Th method.

Введение

Байкальская рифтовая система (БРС) была выделена и получила всестороннее обоснование благодаря работам Иркутской геологической школы, в которой существенную роль играет изучение кайнозойского вулканизма (Рассказов и др., 2010; 2022; Лопатин, Томилев, 2011). Современное понимание роли вулканизма в БРС явилось результатом исследований нескольких поколений геологов. Ранние работы были описательными. С развитием геоморфологических, палеонтологических, а затем и радиоизотопных исследований появилась возможность датирования вулканических пород. С накоплением радиоизотопных датировок и геохимических данных произошел прорыв в понимании значения вулканизма для расшифровки новейшей геодинамики Азии.

Цель настоящей статьи – дать обзор работ по изучению вулканизма и определению возраста вулканических пород новейшего геодинамического этапа, опубликованных в разное время, которые в порядке дискуссии и разрешения противоречий и заблуждений способствовали развитию существующих ныне представлений о геодинамике БРС и других регионов Азии.

От палеонтологического и геоморфологического обоснования возраста вулканогенно-осадочных толщ к радиоизотопному датированию вулканических пород

История датирования новейшего вулканизма БРС условно разделяется на этапы: 1) до 1950-х гг., 2) 1950–1960-х гг., 3) 1970–1980-х гг., 4) 1990 – середина 2000-х гг. и 5) середина 2000-х гг. – настоящее время. На каждом этапе были достигнуты результаты, которые использовались в последующих исследованиях. На первом этапе были открыты молодые вулканы, на втором – дано первичное определение возраста кайнозойских вулканогенно-осадочных толщ по геоморфологическим и палеонтологическим данным, на третьем – определены последовательности образования вулканических толщ в развитии горного рельефа и получены первые радиоизотопные данные о возрасте вулканических

пород, на четвертом – накоплен большой массив геохронометрических и геохимических данных по вулканическим территориям Азии и на пятом – проведен синтез геохронометрических и геохимических данных с обоснованием модели развития БРС в структуре Японско-Байкальского геодинамического коридора (ЯБГК) и в его перекрытии областью Индо-Азиатской конвергенции.

Этап до 1950-х гг.: открытие молодых вулканов

Сначала изучение вулканизма имело описательный характер. В возрастном отношении вулканы рассматривались как наиболее молодые (кайнозойские) образования.

Самый доступный район Восточной Сибири с кайнозойскими вулканами – Тункинская впадина – привлек внимание путешественников уже в 18-м столетии. В 1855 г. Н.Г. Меглицкий описал в Тункинской котловине, около дер. Талой, две параллельные гряды лавовых холмов, назвав их вулканами, и обратил внимание своих современников на возможность употребления базальтов в качестве порошкообразного гидравлического цемента. Первые сообщения о результатах изучения петрографического состава пород тункинских вулканов были опубликованы в Трудах Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей Е.О. Романовским, который дал микроскопическое описание базальтов (1876 г.), и В.В. Голубцовой, которая привела два первых химических анализа пород (1887 г.).

Серия работ по тункинским вулканам была опубликована в первой половине 20-го столетия. Так, А.В. Львовым (1924) были охарактеризованы отдельные вулканы (Хобокский и Култукский). В статье, посвященной микроскопическому изучению тункинских лав, В.Н. Лодочников (1938) сделал вывод об увеличении количества вулканического стекла одновременно с уменьшением количества моноклинного пироксена и титанистого магнетита. В другой статье (Лодочников, 1941) он отметил, что «в базальтах Юго-Западного Прибайкалья мы имеем перед собой не трещинные излияния и уже, во всяком случае, не главным образом трещинные излияния, а продукты из-

вержений однородных лавовых вулканов типа Гавайи». В 1930-х и 1940-х гг. проводилось государственное геологическое картирование территории Юго-Западного Прибайкалья и Восточного Саяна в масштабе 1:200 000. О буднях геологов-съёмщиков тех лет опубликованы воспоминания Н.А. Флоренсова (2009) к 100-летию со дня его рождения.

В 1865 году началось изучение вулканов Восточного Саяна П.А. Кропоткиным (1867). На Витимском плоскогорье, вблизи дороги Романовка–Багдарин, А.П. Герасимовым в 1905 г. были открыты вулканы Мушкетова и Обручева, П.И. Преображенским в 1915 г. – вулкан Лопатина. В предвоенное время молодые вулканические породы были отмечены на других территориях юга Сибири и Монголии (Окнова, 1940). Появились первые сведения о кайнозойском вулканизме хр. Удокан Северного Забайкалья (Арсеньев, 1940).

Этап 1950–1960-х гг.: первичное определение возраста кайнозойских вулканогенно-

осадочных толщ по геоморфологическим и палеонтологическим данным

В это время началось систематическое изучение кайнозойских вулканических и осадочных пород юга Сибири и сопредельных территорий. Породы датировались исходя из их соотношений с фаунистически или флористически охарактеризованными осадочными отложениями.

Важнейшее геологическое значение имели разработки стратиграфических схем кайнозоя. В 1952 г. Н.А. Логачевым под руководством Н.А. Флоренсова было выполнено геологическое картирование Тункинской впадины и Еловского отрога в масштабе 1:100 000. В осадочных отложениях была найдена третичная и четвертичная фауна и флора с соответствующим обоснованием третичного и четвертичного возраста закартированных вулканов и лавовых покровов (рис. 1).

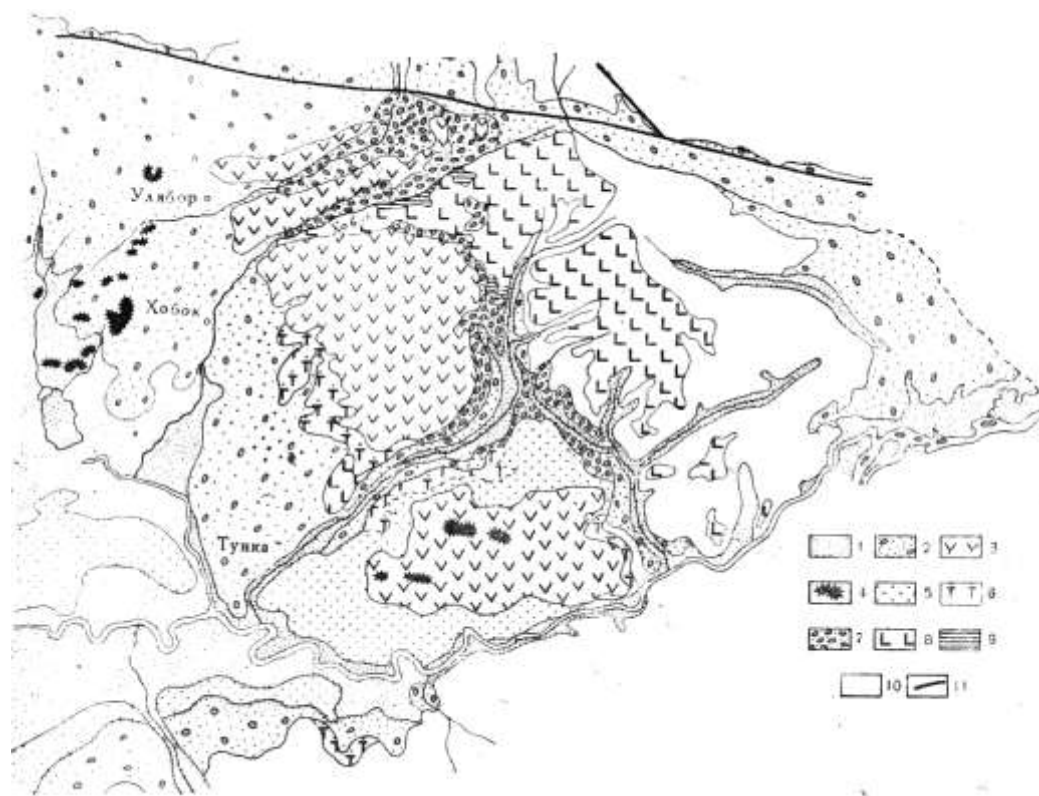


Рис. 1. Схема распространения базальтов в Тункинской впадине и на Еловском отроге, по Н.А. Флоренсову и др. (1952 г.). 1 – пески, супеси, галечники; 2 – пески, галечники и флювиогляциальные отложения; 3 – оливинитовые базальты (четвертичные); 4 – вулканические шлаки и вулканы; 5 – озёрные и дельтовые пески; 6 – туфогенно-осадочная серия пород; 7 – конгломераты, пески, супеси и глины; 8

– оливиновые базальты (третичные); 9 – алевролиты, глины, бурые угли; 10 – породы древнего основания; 11 – тектонические зоны. Из работы (Белов, 1963).

Fig. 1. Scheme of distribution of basalts in the Tunka Basin and on the Elovka spur after N.A. Florensov et al. (compiled in 1952). 1 – sands, sandy loam, pebbles; 2 – sands, pebbles and fluvioglacial sediments; 3 – olivine basalts (Quaternary); 4 – volcanic slag and volcanoes; 5 – lacustrine and deltaic sands; 6 – tuffaceous-sedimentary series of rocks; 7 – conglomerates, sands, sandy loams, and clays; 8 – olivine basalts (tertiary); 9 – siltstones, clays, brown coals; 10 – basement rocks; 11 – tectonic zones. The scheme was published by Belov (1963).

Представления о геологии и стратиграфии Тункинской впадины и Еловского отрога, сложившиеся к середине 1950-х гг., отражены в двух статьях Н.А. Логачева (1954, 1956), а также совместной статье Н.А. Логачева и Е.В. Кравченко (1955). В результате работ, проведенных в 1950-х гг., в Тункинской впадине и Еловском отроге выявлена стратиграфическая последовательность лав и осадочных отложений, характеризующих в целом осадочное наполнение впадин байкальского типа в рамках свит: 1) угленосной (позднее получившей название танхойской свиты) – миоцен и нижний плиоцен, 2) охристой (позднее получившей название ановской свиты) – верхний плиоцен, 3) туфогенно-осадочной (ахаликской) – верхний плиоцен и постплиоцен, 4) песчаной (средний? и верхний плейстоцен) (Логачев, 1958).

Важнейшим следствием датирования вулканогенно-осадочных толщ явилось отделение плиоцен-четвертичной полосы поднятий и впадин, протягивающейся на 1800 км вдоль южного края Сибирской платформы, от мезозойских впадин Забайкалья. Эта новейшая морфоструктура была обозначена как Байкальская рифтовая зона (БРЗ) (Флоренсов, 1960).

Кайнозойские базальты были охарактеризованы не только в БРЗ, но и за ее пределами: в междуречья Ии и Уды (центральная часть Восточного Саяна) (Бураков, Федоров, 1954), на Окинском плоскогорье (юго-восток Восточного Саяна), в Восточной Туве и в Центральной Монголии (Обручев, 1950; Обручев, Лурье, 1954).

На Окинском плоскогорье С.В. Обручевым (1950) были обследованы и опробованы на палинологический анализ миоценовые осадочные отложения из линзы в основании обнажения г. Дозорой-Урда-Хирписа. Группа крупных щитовых вулканов, расположенных в междуречье Бий-Хема (Большого Енисея) и Хамсары исследовалась при государственном геологическом картировании масштаба 1:200000. Результаты изучения ледниковых и вулканогенных образований

наиболее полно отражены в монографии М.Г. Гросвальда (1965). Вулканогенный комплекс был разделен на две толщи: нижнюю – вулканокластическую и верхнюю – лавовую. В разрезе вулканокластической толщи были обнаружены валунные туфы со штрихами, образовавшимися при движении ледника. Был сделан вывод об их формировании при подледных извержениях. Вулканизм сопредельной территории Окинское плоскогорья изучался М.Г. Гросвальдом (Гросвальд и др., 1959, Гросвальд, 1965), а также А.И. Киселевым и М.Е. Медведевым (1969). В это время неоднократно посещались и подробно характеризовались голоценовые вулканические конусы и лавовые потоки пади Хикушка и долины Жом-Болока (Адамович и др., 1959; Гросвальд, 1965; и др.).

Обращалось внимание на пространственную разобщенность рифтогенеза и вулканизма. Эти процессы рассматривались как парагенетические, имеющие общую первопричину в недрах Земли (Флоренсов и др., 1968).

Этап 1970–1980-х гг.: определение последовательности образования вулканических толщ в развитии горного рельефа и получение первых радиоизотопных данных о возрасте вулканических пород

С наступлением этого этапа исследований, с одной стороны, было продолжено изучение последовательностей вулканических пород с обозначением их возрастных соотношений по положению в горном рельефе (Тектоника ..., 1973; Логачев, 1974; Антощенко-Оленев, 1975), с другой стороны, был сделан акцент на изучение петрохимии кайнозойских вулканических пород и их глубинных включений в БРЗ и на сопредельных территориях, часто без определения возраста вулканических пород (Кеpezинскас, 1979; Гладких и др., 1980; Кеpezинскас и др., 1987; и др.). Накопление в осевых впадинах БРЗ преимущественно тонкообломочных (угленосных) отложений миоцена – нижнего плиоцена, отнесенных к угленосной

(танхойской) свите, связывалось с раннеорогенным этапом неотектонического развития территории, а накопление грубообломочных молассоидов верхнего плиоцена – эоплейстоцена в осевых впадинах БРЗ, выделенных в аносовскую свиту, – с поднятием обрамляющих их высоких горных хребтов (Тектоника ..., 1973; Логачев, 1974).

При общем анализе характера толщ вулканических пород БРЗ и сопредельных территорий был сделан вывод о том, что «...во всех вулканических районах Байкальского рифта и за его пределами базальтовые породы имеют непрерывный спектр химических составов от сильно щелочных до толеитовых. Колебание уровня щелочности не приурочено к какому-то определенному периоду вулканической активности, оно наблюдается на протяжении всей истории вулканизма этого региона» (Киселев и др., 1979; стр. 163). Геохронологическая основа для такого вывода в цитируемой монографии, однако, еще не была создана, хотя в стратиграфических исследованиях вулканогенно-осадочных толщ БРЗ, сопровождавшихся геоморфологическими и неотектоническими построениями, вулканические породы уже подразделялись на ранние (миоцен-нижнеплиоценовые) и поздние (верхнеплиоценовые-четвертичные) (Тектоника ..., 1973; Логачев, 1974). Первые, расположенные в вершинном поясе гор, рассматривались как «вершинные базальты», вторые, располагавшиеся в современных речных долинах, объединялись под общим названием «долинные базальты». «Вершинные» и «долинные» базальты отчетливо разделялись между собой в бассейне р. Джиды Западного Забайкалья (Антощенко-Оленев, 1975) и в Восточном Саяне (Киселев и др., 1979).

Были сделаны выводы о сложных неотектонических движениях фундамента в кайнозое Джидинского района Западного Забайкалья. Предполагалось, что поднятие территории и расчленение фундамента эрозией на глубину до 400 м произошло здесь после излияний покровных миоценовых базальтов. Во время излияний «долинных» потоков район вулканизма был вновь вовлечен в нисходящие движения. В долинах определены вулканогенно-осадочные отложения мощностью до 150 м (Антощенко-Оленев, 1975). Этот район оказался вовлеченным в нисходящие движения периферического прогиба БРЗ (Рассказов, 1985).

В конце 1960-х и в 1970–1980-х гг. были получены первые К–Аг датировки вулканических пород Байкало-Монгольского региона (Габуня, Рубинштейн, 1968; Mellet, 1968; Габуня и др., 1975; Девяткин, Смелов, 1978; Девяткин, 1981; Багдасарьян и др., 1981; Логачев и др., 1982; Базаров и др., 1984; Шувалов, Николаева, 1985; Рассказов и др., 1985, 1989; Самойлов и др., 1988а,б) и первые радиоуглеродные датировки голоценовых вулканических извержений (Девирц и др., 1981).

На этом этапе исследований позднекайнозойского вулканизма Восточного Саяна проводилось государственное геологическое картирование масштаба 1:50000 (Курганьков, 1986; 1988; Курганьков, Мацера, 1987; Мацера, Рассказов, 1990; Рассказов и др., 1989; Рассказов, 1993). В ходе этих работ были определены три разновозрастные генерации вулканических пород: 1) ранне-среднемиоценовая (около 17 млн лет), 2) позднемиоценовая (около 8 млн лет) и 3) плиоцен-четвертичная (последние 2 млн лет). Позже по новым результатам К–Аг датирования В.В. Ярмолук и др. (1999) разделили интервал последних 2.2 млн лет на девять этапов вулканизма. Используя опубликованные и новые К–Аг и ^{40}Ar – ^{39}Ar данные, С.В. Рассказов и др. (2000), охарактеризовали вулканическую деятельность Восточно-Тувинского поля в рамках трех интервалов, проявленных в Восточном Саяне и отраженных в основных стратонах Окинского плоскогорья: сорокской, хирписинской и хирбэсинской свит.

Химический состав лав Восточно-Тувинского поля охарактеризован в работах (Гладких и др., 1980; Кепежинская и др., 1987; Курганьков, 1988; Рассказов и др., 1988; 1989). В работах С.В. Рассказова и др. (1988, 1989) установлено заметное отличие химического состава ранне-среднемиоценовых и четвертичных лав. Более радиогенный состав стронция в лавах ранне-среднемиоценового возраста связывался с вовлечением в плавление материала нижней коры. Показано преобладание на Восточно-Тувинском поле пород умеренно-щелочного состава. В западной части вулканического ареала Восточной Тувы, в бассейне р. Улуг-О установлены высокощелочные (тефритовые) лавы. В.В. Кепежинская с соавторами (1987) отметили тефритовые лавы в вулканической постройке Дерби-Тайга Восточно-Тувинского вулканического поля.

При корреляции датировок (рис. 2) в конце этапа первичного накопления геохронометрических данных в работе (Расказов, 1990) обращалось внимание на:

– различающиеся обстановки развития мел-палеогенового вулканизма в Забайкалье и Восточном Саяне – Тункинской долине. На первой территории масштабные базальтовые излияния сменяли юрский калиевый щелочной эффузивно-интрузивный магматизм среднего и кислого состава; на второй территории более локальные вулканические извержения проявлялись в конце мела – начале палеогена без признаков непосредственно предшествующего средне-позднемезозойского магматизма;

– проявление в послераннемиоценовое время тенденции к пространственному сокращению базальтовых излияний в Забайкалье и, наоборот, тенденции к расширению масштабов вулканизма в Восточном Саяне;

– асинхронное развитие позднекайнозойского вулканизма на окончаниях Байкальской рифтовой зоны;

– значительные изменения в напряженном состоянии литосферы с масштабным пространственным перераспределением вулканической деятельности в юго-западной части Байкальской рифтовой зоны 16 и 8 млн лет назад.

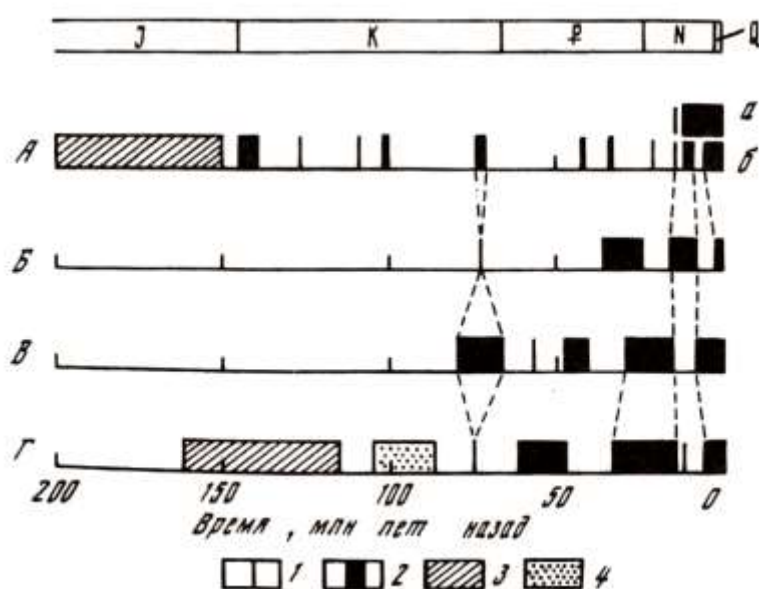


Рис. 2. Корреляция вулканических событий в Забайкалье (А, неоген-четвертичные базальты Удокана (а) и бассейнов рек Витим и Джиды (б)); Тункинской долине (Б), Восточном Саяне (В) и Южной-Центральной Монголии (Г) (Расказов, 1990). 1 – одиночные К–Аг-определения; 2 – серии К–Аг-датировок; 3 – возрастные интервалы калиевого щелочного вулканизма среднего и кислого составов (Геохимия..., 1984; Самойлов и др., 1988а,б); 4 – интервал излияний умеренно щелочных базальтов в Южной Монголии (Самойлов и др., 1988а,б).

Fig. 2. Correlation of volcanic events in Transbaikalia (A, Neogene-Quaternary basalts of Udokan (a) and basins of the Vitim and Dzghida (b) rivers); Tunka Valley (Б), Eastern Sayans (В), and Southern-Central Mongolia (Г) (Расказов, 1990). 1 – single K–Ar determinations; 2 – series of K–Ar dates; 3 – age intervals of potassic alkaline volcanism of intermediate and silicic compositions (Геохимия ..., 1984; Самойлов и др., 1988а,б); 4 – eruption interval of moderate alkaline basalts in Southern Mongolia (Самойлов и др., 1988а,б).

Этап 1990 – середина 2000-х гг.: накопление геохронометрических и геохимических данных по вулканическим территориям Азии

На этом этапе радиоизотопное датирование вулканических пород в детально задокументированных разрезах вулканических и

вулканогенно-осадочных толщ приобрело определяющее значение. С одной стороны, вулканические и вулканогенно-осадочные толщи нередко идентифицировались в нескольких ярусах «вершинного» пояса гор. С другой стороны, вулканические толщи были вскрыты скважинами, пройденными в Тун-

кинской впадине и на слабо расчлененных территориях Витимского и Окинского плоскогорий, на которых было установлено заполнение ими глубоких эрозионных форм рельефа.

Была получена представительная геохронометрическая информация об эволюции вулканизма в юго-восточной части БРС (Рассказов, 1993). За структурно-геоморфологическими границами БРЗ было выявлено залегание базальтовых слоев во впадинах в переслаивании с миоценовыми и плиоцен-четвертичными осадочными слоями, одновозрастными осадочным отложениям танхойской и аносковской свит осевых впадин БРЗ. Распространение таких вулканических и вулканогенно-осадочных толщ связывалось с более широким развитием рифтогенеза в структуре Байкальской рифтовой системы (БРС). Рифтовая зона под таким же названием характеризовалась как осевая структура БРС, к которой присоединялись периферические впадины и межгорные понижения, заполненные миоценовыми и плиоцен-четвертичными слоями осадочных отложений и базальтов на Витимском плоскогорье, в Восточном Саяне и Центральной Монголии. К–Аг датирование проводилось в лаборатории изотопии и геохронологии ИЗК СО РАН с параллельными К–Аг и ^{40}Ar – ^{39}Ar определениями возраста в лабораториях Дагестана, США и Бельгии (Рассказов, 1993; Рассказов и др., 1996а,б, 1997, 2000). Проводилось К–Аг датирование кайнозойских вулканических пород в ИГХ СО РАН и ИГЕМ РАН (Ярмолук и др., 1994), а также в ИГиГ СО РАН (Есин и др., 1994). При совместных российско-американских исследованиях в конце 1980-х – начале 1990-х гг. были получены первые данные о концентрациях широкого спектра микроэлементов и изотопных отношениях Sr, Nd и Pb в вулканических породах разных вулканических полей юга Сибири (Harris, 1998; Rasskazov et al., 1999).

В результате выполненного датирования на рубеже 20-го и 21-го столетий в эволюции вулканизма наметились пространственно-временные закономерности (Рассказов и др., 2000). В ярусном рельефе БРС было определено импульсное поднятие хребтов и

эрозионное расчленение территории около 20–18, 16–15, 8–5 и 0.7 млн лет назад. В сущности, послезэрозионные лавовые накопления обозначились не только в современных речных долинах, но и в палеодолинах, сформировавшихся в каждый из таких эпизодов. При систематическом датировании вулканических пород БРС в К–Аг изотопной системе (К–Аг и ^{40}Ar – ^{39}Ar методами) был определен квазипериодический характер эволюции вулканизма. Полученные радиоизотопные данные показали существование тонкого механизма, обеспечившего регулярность вулканических извержений в иерархии с продолжительностью вулканических интервалов от 5 до 0.1 млн лет и проявлением в этой иерархии юных вулканических извержений последних 15 тыс. лет.

БРС рассматривалась как позднекайнозойская горячая подвижная система Азии, получившая развитие одновременно с другими горячими внутриконтинентальными рифтовыми системами (Цркум-Ордосской и Восточно-Китайской), внутриконтинентальными орогенными системами Центрально-Азиатской и Олекмо-Становой, а также Индо-Азиатской коллизииной зоной и Япономорской зоной задугового рифтогенеза, развитие которых было связано с взаимодействием литосферных плит (Евразийской, Северо-Американской, Индийской, Филиппино-Морской и Тихоокеанской) (рис. 3). В последней подвижной зоне рифтогенез, переросший в спрединг, получил мощное развитие в раннем-среднем миоцене и был подавлен процессами сжатия коры, начавшимися после столкновения Идзу-Бонинской дуги с дугой Хонсю 14–12 млн лет назад. Эволюция вулканизма БРС в общем сопоставлялась с эволюцией вулканизма в Япономорской подвижной системе. К началу 2000-х годов были опубликованы представительные геохронометрические данные по большинству позднекайнозойских вулканических полей Азии. В областях рифтогенеза Центральной и Восточной Азии были определены вулканические интервалы: 25–24 млн лет назад (поздний олигоцен), 21–19 млн лет назад (ранний миоцен), 16–14 млн лет назад (средний миоцен), 11–9 млн лет назад (поздний миоцен), 5–3 млн лет назад

(ранний плиоцен) и в последние 2 млн лет (квартер) (рис. 4).

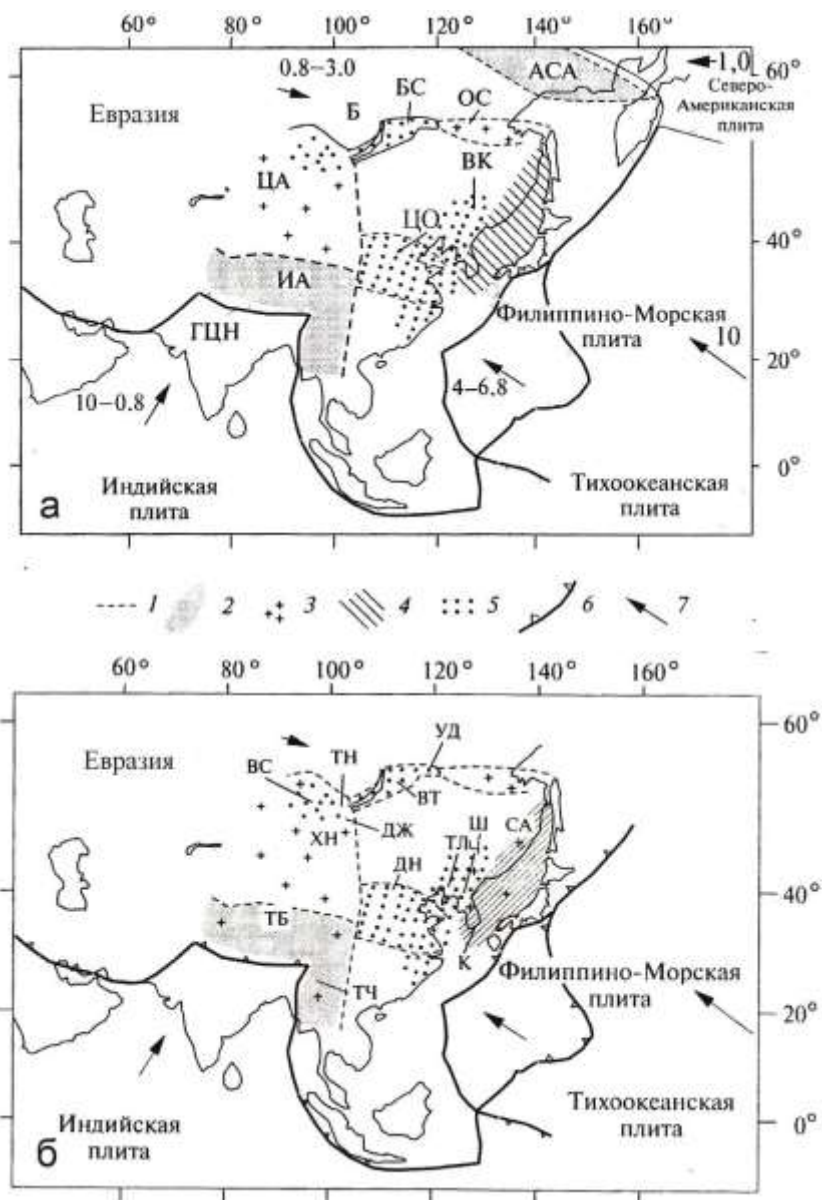


Рис. 3. Позднекайнозойские подвижные системы юго-восточной части Евразии (а) и местоположение позднекайнозойских вулканических полей (б) (Рассказов и др., 2000). На панели (а): 1 – границы районов с высокой сейсмической активностью; 2 – коллизийные зоны (ИА – Индо-Азиатская, АСА – Азиатско-Североамериканская); 3 – орогенные системы (ЦА – Центрально-Азиатская, ОС – Олекмо-Становая); 4 – Японо-Морская зона задугового спрединга и рифтогенеза; 5 – рифтовые системы (БС – Байкальская, ЦО – Циркум-Ордосская, ВК – Восточно-Китайская); 6 – межплитные границы (ГЦН – Главный Центральный надвиг в зоне Индо-Азиатской коллизии); 7 – направления абсолютного движения плит и интервалы изменения скоростей (см/год) с миоцена до настоящего времени (скорость смещения Тихоокеанской плиты остается постоянной. Для западного края Северо-Американской плиты приведено значение современной скорости. Локальная скорость абсолютного движения юга Сибири показана для позднего кайнозоя по смещению вулканизма, а для настоящего времени – по данным GPS Иркутской станции (Rothacher et al., 1996)). На панели (б): 1 – границы районов с высокой сейсмической активностью; 2 – Индо-Азиатская коллизийная зона (ТЧ, ТБ – соответственно, вулканические поля районов Тенгченга и Тибета); 3 – Япономорская зона задугового рифтогенеза (К, СА – соответственно, вулканические поля Южной Кореи и Восточного Сихотэ-Алиня); 4 – области растяжения (ВТ – Витимское поле юго-восточной части Байкальской рифтовой системы, ДН – вулканические поля впадины Датун и сопредельных районов северо-восточной части Циркумордосской

рифтовой системы, ТЛ, Ч – соответственно, вулканические поля зоны разломов Танлу и хребта Чанг-башан Восточно-Китайской рифтовой системы); 5 – области сочетания сжатия с растяжением (ХН – вулканические поля района Хангая в восточной части Центрально-Азиатской орогенной системы; УД – Удоканское поле на границе Байкальской рифтовой и Олекмо-Становой орогенной систем). В области наложения Центрально-Азиатской орогенной системы на юго-западную часть Байкальской находятся поля Восточного Саяна (ВС), Тункинской впадины (ТН) и бассейна Джиды (ДЖ). Рифтогенез в Восточно-Китайской системе и в Японском море (поля СА, К, Ч, ТЛ) в последние 12 млн лет осложнен коллизией Идзу-Бонинской дуги (расположенной между Тихоокеанской и Филиппино-Морской плитами) с дугой Хонсю (Япония); 6 – межплитные границы; 7 – направления современного движения литосферных плит и стабильной Азии. Усл. обозн. как на панели (а).

Fig. 3. Late Cenozoic mobile systems of the southeastern Eurasian plate (a) and location of geochronologically studied Late Cenozoic volcanic fields in the mobile systems of the southeastern Eurasian plate (b) (Рассказов и др., 2000). On panel (a): 1 – boundaries of areas with high seismic activity; 2 – collision zones (ИА – India – Asia, АСА – Asia – North America); 3 – orogenic systems (ЦА – Central Asian, ОС – Olekma – Stanovoi); 4 – Japan Sea zone of back-arc spreading and rifting; 5 – rift systems (БС – Baikal, ПО – Peri-Ordos, ВК – East China); 6 – interplate boundaries (ГЦН – Main Central Thrust in Indo-Asian collision zone); 7 – directions of plate motions and motion rates (cm/yr) from Miocene to the Present. Rate of the Pacific plate motion is constant. The present rate is shown for the western margin of the North American plate. Local velocities of the Southern Siberia absolute motion are based on volcanic migration during the Late Cenozoic and on the GPS data of the Irkutsk station at the Present (Rothacher et al., 1996). On panel (b): Indo-Asian collision zone. ТЧ, ТБ – Tengcheng and Tibet volcanic fields respectively. Japan Sea back-arc mobile system: К, СА – South Korea and East Sikhote-Alin volcanic fields respectively. Extension regions: ВТ, ДН, ТЛ, Ш – Vitim, Datong, Tanlu, and Changbaishan volcanic fields, respectively. Regions of combined extension and compression: ХН, УД, ВС, ТН, ДЖ – Udokan, Hangay, East Sayan, Tunka, and Dzhida volcanic fields, respectively. The East China and Japan Sea regions of rifting (volcanic fields СА, К, Ш, ТЛ, УД) were encompassed by compression due to collision of the Izu-Bonin and Honshu arcs during the last 12–10 Myr. Legend is as in panel (a).

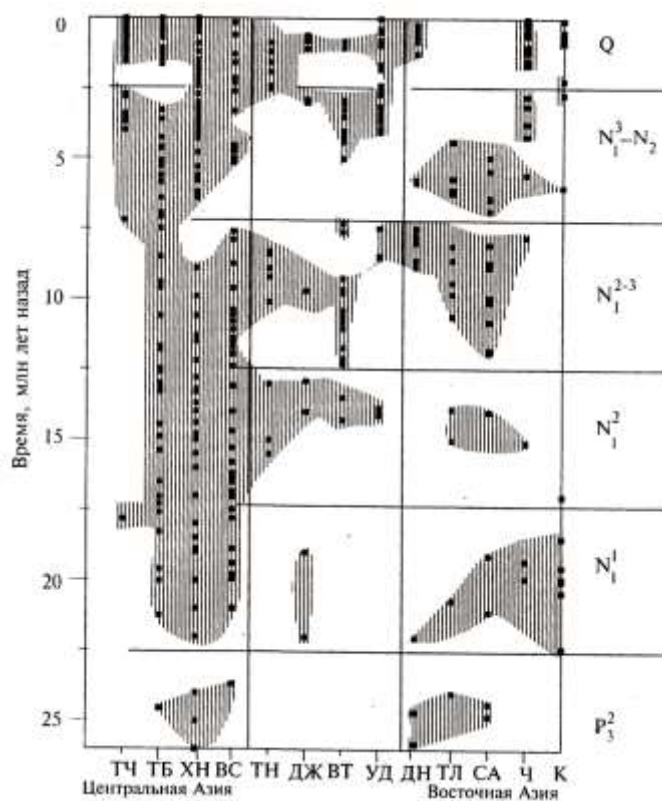


Рис. 4. Интервалы позднекайнозойского вулканизма Центральной и Восточной Азии. Показаны отдельные датировки (малые черные квадраты), объединенные в вулканические интервалы (вертикальная штриховка). Принятые сокращения названий территорий вулканических полей от ТЧ до К см. на

рис. 3. Используются данные авторов и опубликованные радиоизотопные датировки (Рассказов и др., 2000 и ссылки в этой работе).

Fig. 4. Time intervals of Late Cenozoic volcanism in Central and East Asia. Individual ages (small black squares) are comprised to volcanic intervals (vertical hatching). Labels of volcanic areas from ТЧ to К are as in Fig. 3. Used are the published data and data of authors (Рассказов и др., 2000 and references therein).

Исследования вулканических полей Токинского Становика, Приморья, Приамурья и о. Сахалин (Рассказов и др., 2000, 2003а,б, 2005) показали эволюцию вулканизма, в целом сходную с эволюцией вулканизма БРС. К середине 2000-х гг. был получен значительный объем геохронометрических и геохимических данных по вулканическим территориям БРС и других районов Азии, но часть территорий оставалась по-прежнему слабо изученной. Для постановки дальнейших исследований требовалось обобщение имеющихся данных с использованием ключевых геохронометрических и геохимических характеристик вулканических пород.

Этап середины 2000-х гг. – настоящего времени: синтез геохронометрических и геохимических данных

После определения принадлежности вулканических полей к новейшим структурам Азии геохронологические работы по выяснению закономерностей эволюции вулканизма были переведены в плоскость выяснения характера пространственно-временных вариаций изотопно-геохимических характеристик пород на вулканических полях как показателей проявления источников мантийных расплавных аномалий, которые получили подтверждение в моделях сейсмической томографии (Рассказов и др., 2003а,б, 2012; Rasskazov, Taniguchi, 2006; Чувашова и др., 2022а).

Наряду с датированием, проведенным в лаборатории изотопии и геохронологии ИЗК СО РАН по разным территориям Центральной и Восточной Азии (Рассказов и др., 2007; Брандт и др., 2009; Рассказов и др., 2010), существенный объем К–Аг датировок был получен по вулканическим породам Центральной Монголии в ИГЕМе РАН (Ярмолук и др., 2003а,б, 2008; Суторакова и др., 2003; Кудряшова и др., 2006, 2007; Саватенков и др., 2010).

Важнейшее значение имело обоснование сквозной стратиграфии вулканогенно-

осадочных и осадочных толщ Витимского плоскогорья комплексом палеонтологических и радиоизотопных методов от пограничных слоев мела-палеогена (мохейская свита) до заключительных лавовых слоев и вулканов эоплейстоцена – начала неоплейстоцена (береинская толща). По керну скважин, пройденных в вулканогенно-осадочных толщах, были реконструированы погребенные долины за структурно-геоморфологической границей БРЗ, в пределах Селенгино-Витимского прогиба (Рассказов и др., 2007). В более поздней монографии (Рассказов, Чувашова, 2018) был выполнен синтез геохронометрических и геохимических данных по Витимскому и Удоканскому вулканическим полям, который показал резкий петрогенетический контраст вулканических пород Витимской и Удоканской расплавных аномалий. Через изучение пространственно-временного распространения вулканических извержений и их сопоставление с глубинными моделями сейсмической томографии пришло понимание БРС как составляющей общих процессов активизации Центральной и Восточной Азии в ЯБГК и в его перекрытии областью Индо-Азиатской конвергенции (Chuvashova et al., 2017а).

Обстановка развития вулканизма в структуре ЯБГК

Японско-Байкальский геодинамический коридор был выделен как структура, протягивающаяся от зоны задугового спрединга в Японском море к центральной части БРС и характеризующаяся максимальной скоростью движения мантийного материала вдоль его оси при латеральных ограничениях, за которыми скорость движений материала литосферы и подлитосферной мантии вдоль коридора снижается до нуля (Chuvashova et al., 2017а; Рассказов, Чувашова, 2018). В качестве ЯБГК принята ограниченная по латерали подвижная полоса литосферы и подли-

тосферной мантии Центральной и Восточной Азии, подверженная воздействию сил и процессов новейшего геодинамического этапа и характеризующаяся действием силы затягивания мантийного материала от периферии коридора к его оси (рис. 5). В терми-

нах флюидной механики силы астеносферной части геодинамического коридора описываются поведением слоя флюида в канале (Turcotte, Schubert, 2014). В ЯБГК в движение вовлекается не только подлитосферная мантия, но и литосфера.

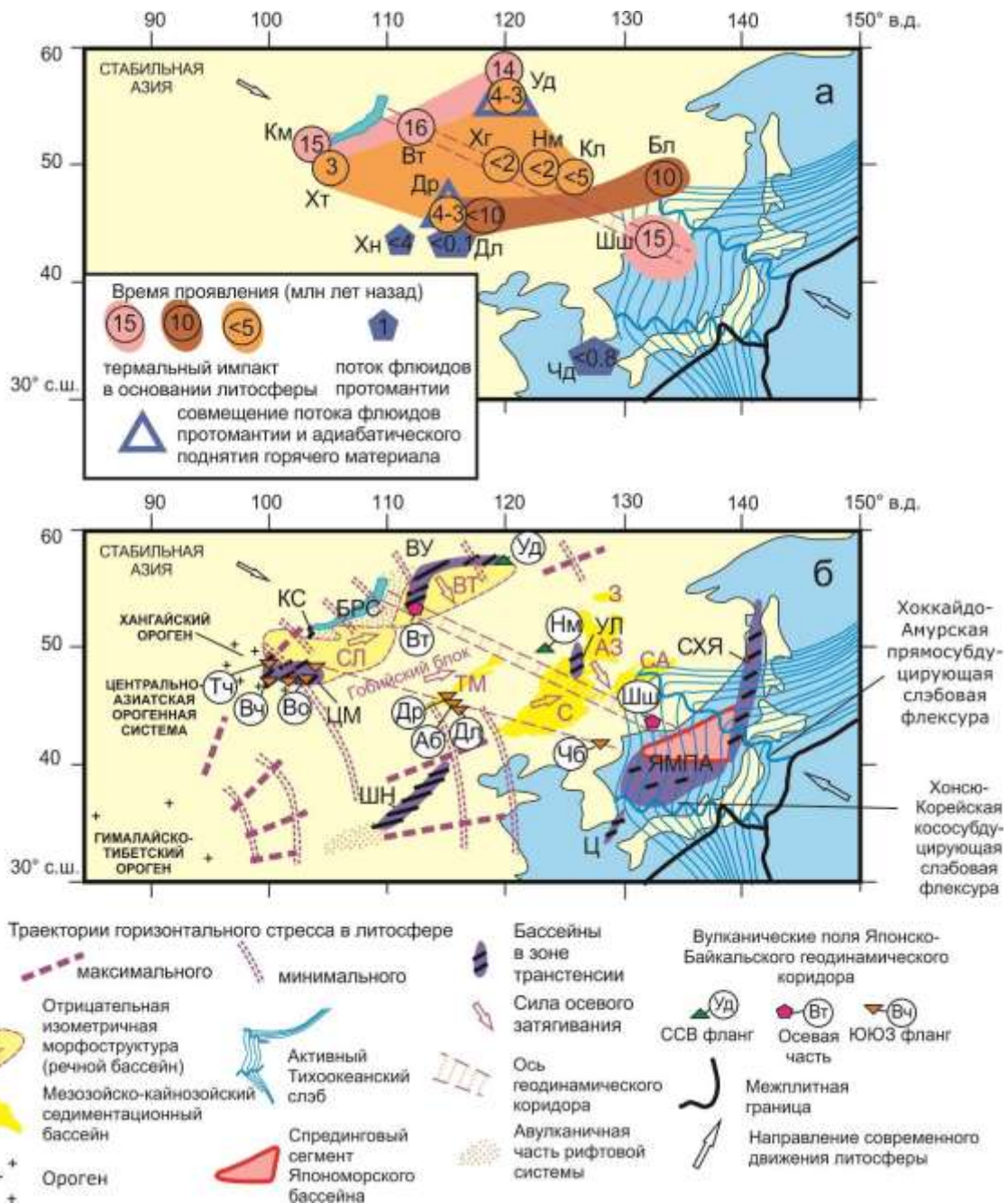


Рис. 5. Схемы проявления адиабатического поднятия горячего материала и потоков флюидов протомантии (а) и пространственного распределения горячих зон трансенсии относительно оси ЯБГК и области тектонического стресса, распространяющегося в литосфере от зоны Индо-Азиатской конвергенции (б). Панель а: Вулканические поля, обозначающие термальный импакт и/или поток флюидов протомантии: Др – Дариганга, Дл – Далайнор, Хн – Ханнуоба, Хт – Хэнтэй, Хг – Халхин-Гол, Нм – Нуоминхе, Кл – Келуо, Бл – Болонь, Чд – Чеджу, Шш – Шкотово-Шуфан, Вт – Витим, Уд – Удокан, Км – Камар. Панель б: Япономорский пулл-апарт (ЯМПА) и его зоны трансенсии: СХЯ – Сахалин-Хоккайдо-Япономорская, Ц – Цусимская. Байкальская рифтовая система (БРС) и ее зоны трансенсии: ВУ – Витимо-Удоканская, КС – Камарско-Становая, ЦМ – Центрально-Монгольская. Зоны

транстенсии в центральной части ЯБГК: УЛ – Удаляньчи, ШН – Шанси. Вулканические поля (в кружках): ось ЯБГК (ВТ – Витимское, Ш – Шкотовское, Шуфанское), его ЮЮЗ фланг (Вч – Верхне-Чулутынское, Тч – Тарят-Чулутынское, Во – Верхнеорхонское, Др – Даригангское, Аб – Абага, Дл – Далайнор, Чб – Чангбай), его ССВ фланг (Уд – Удоканское, Ул – Удаляньчи, НМ – Нуоминхе). Крупные отрицательные морфоструктуры БРС: СЛ – Селенгинский, ВТ – Витимский. Седиментационные бассейны Восточной Азии: С – Сунляо, АЗ – Амурско-Зейский, З – Зейский, СА – Средне-Амурский, ТМ – Тамцагский (кайнозойский). Для схемы *a* использованы данные (Chuvashova et al., 2017b; Рассказов, Чувашова, 2018; ссылки в этих работах). Схема панели *b* из работы (Chuvashova et al., 2017a) с изменениями. Структуры Японского моря и Татарского пролива показаны по работе (Jolivet et al., 1994), траектории горизонтального стресса в литосфере Центральной и Восточной Азии – по работам (Xu et al., 1992; Саньков и др., 2011).

Fig. 5. Schemes of displaying adiabatic upwelling of hot material and protomantle fluid fluxes (*a*) and spatial distribution of hot transtension zones relative to the axis of the Japan-Baikal Geodynamic Corridor and spatial overlap of the Indo-Asian convergence tectonic stress on its SSW flank (*b*). On panel (*a*): Volcanic fields indicating a thermal impact and/or protomantle fluid flux: Др – Dariganga, Дл – Dalinuoer, Хн – Hannuoba, Хт – Hentei, Хг – Khalkhin-Gol, Нм – Nuominhe, Кл – Keluo, Бл – Bologne, Чд – Jeju, Шш – Shkotovo-Shufan, Вт – Vitim, Уд – Udokan, Км – Kamar. On panel (*b*): Transtension structures: ВУ – Vitim-Udokan, КС – Kamar-Stanovoi, ЦМ – Central Mongolia, УЛ – Wudalianchi, ШН – Shanxi. Volcanic fields (in circles): the axis of the JBGC (ВТ – Vitim, Ш – Shkotov-Shufan), its SSW flank (Вч – Verkhne-Chulutyn, Тч – Taryat-Chulutyn, Во – Verkhneorkhon, Др – Dariganga, Аб – Abaga, Дл – Dalinuoer, Чб – Changbai), its NNE flank (Уд – Udokan, Ул – Wudalianchi, Нм – Nuominhe). Large negative morphostructures of BRS: СЛ – Selenga, ВТ – Vitim. Sedimentary basins of East Asia: С – Songliao, АЗ – Amur-Zeya, З – Zeya, СА – Middle Amur, ТМ – Tamtsag (Cenozoic). For scheme *a*, data were used (Chuvashova et al., 2017b; Рассказов, Чувашова, 2018; references in these works). Scheme in panel *b* is modified after (Chuvashova et al., 2017a). Pull-apart structures of the Sea of Japan and Tatar Strait are shown after (Jolivet et al., 1994). Horizontal stress trajectories in the lithosphere of Central and East Asia are indicated after (Xu et al., 1992; Саньков и др., 2011).

Магмообразование и магмопроницаемость литосферы контролируется структурами растяжения, которые могут относиться к зоне раздвига, зоне пулл-апарт, зоне аккомодации или зоне транстенсии. Для литосферы ЯБГК характерно развитие зон транстенсии. На северо-востоке БРС вулканизм контролировался Витимо-Удоканской зоной угловой горячей транстенсии. На юго-западе БРС вулканизм контролировался сочетанием зон транстенсии и транспрессии.

На рис. 6а показана теоретическая деформация упруго-пластичного литосферного блока, которая должна реализоваться в движениях по разломам, соответствующих касательным напряжениям. Образуется симметричный узел активных пересекающихся структур с попарными секторами растяжения и сжатия. На рис. 6б показан другой теоретически возможный случай приложения силы к основанию деформируемого блока, которое может привести к нарушению симметрии до полной концентрации движений в пределах одного сектора, ограниченного активными разломами. Сектор

растяжения ограничивается разломами с косым растяжением. На рис. 6в упруго-пластичный литосферный блок деформируется с движениями по зонам разломов, в которых образуются эшелонированные разрывы растяжения. Этот случай соответствует маркированной впадинами и вулканическими полями структуре верхней части коры, деформированной в результате затягивания мантийного материала с периферии к оси ЯБГК в Витимо-Удоканской зоне горячей транстенсии (рис. 7). Подобным контролем вулканизма зонами угловой горячей транстенсии характеризуется вся структура ЯБГК вдоль ее простираения от задугового Японо-Морского бассейна до впадин оз. Байкал (рис. 8).

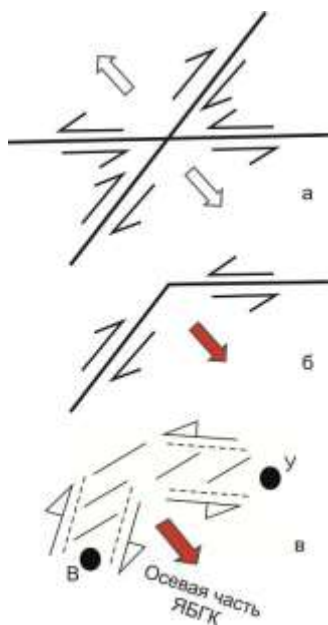


Рис. 6. Иллюстрации образования разрывов: *a* – теоретическая общая деформация упруго-пластичного литосферного блока в условиях его растяжения, *б* – теоретическая деформация в

условиях преимущественного действия силы в квадранте растяжения и *в* – наблюдаемые деформационные эффекты ассиметричной угловой горячей транстенсии упруго-пластичной литосферы северо-восточной части БРС при затягивании ее материала с периферии к оси ЯБГК. На панели *в* схематично показаны эшелонированные разрывы растяжения, маркированные впадинами, и местоположение Витимской (В) и Удоканской (У) расплавных аномалий.

Fig. 6. Illustrations of rupture formation: *a* – theoretical general deformation of an elastic-plastic lithospheric block under extension, *б* – theoretical deformation under predominant force in an extension quadrant, and *в* – observed deformation effects of asymmetric angular hot transtension of an elastic-plastic lithosphere in the northeastern parts of the BRS with pool-to-axis material from the periphery of the JPGC. Panel *в* schematically shows echeloned tensile faults, marked by basins, and the location of the Vitim (B) and Udokan (Y) melting anomalies.

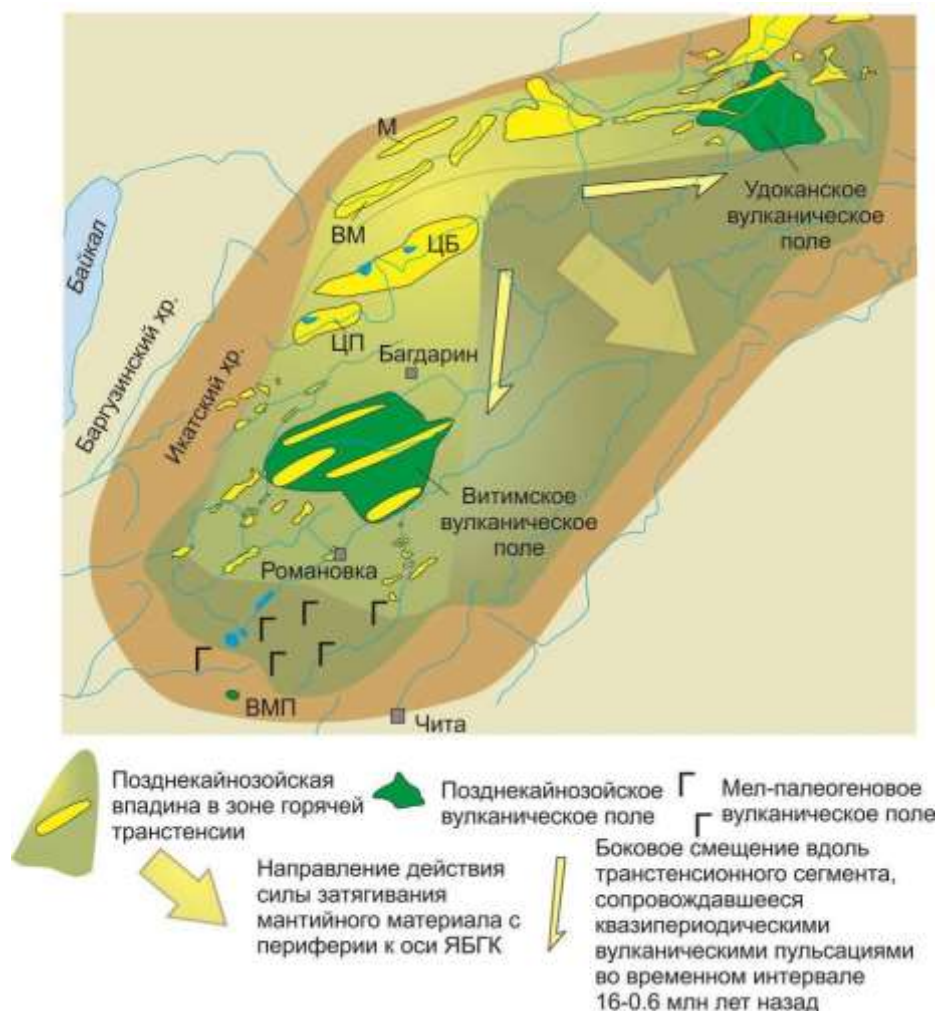


Рис. 7. Положение Витимского и Удоканского вулканических полей в морфоструктуре Витимского бассейна. На юго-западном замыкании бассейна находится плиоценовое Верхнемохейское вулкани-

ческое поле (ВМП). Южную часть субмеридионального Ципа-Муяканского трансензионного сегмента составляют погребенные палеодолины Витимского вулканического поля, центральную часть сегмента – Ципа-Баунтовская (ЦБ), Ципиканская (ЦП), входящие в контур Витимской морфоструктуры, и северное окончание сегмента – Верхнемуйская (ВМ) и Муяканская (М) впадины, расположенные в северном горном обрамлении Витимской морфоструктуры. Эту часть ее обрамления образуют структуры субширотного Муя-Удоканского трансензионного сегмента.

Fig. 7. The position of the Vitim and Udokan volcanic fields (ВП, УП) in the morphostructure of the Vitim Basin. The Pliocene Upper Mokhei volcanic field (ВМП) occurs in the southwestern terminus of the basin. The southern part of the north-south Tsipa-Muyakan transtensional segment consists of the buried paleovalleys of the Vitim volcanic field: Northern (С), Central (Ц), Southern (Ю), and Vitim (В). The central part of the segment is formed by the Tsipa-Baunt (ЦБ) and Tsipikan (ЦП) basins that are included into the contour of the morphostructure of the Vitim Basin. The northern end of the segment is created by the Upper Muya (ВМ) and Muyakan (М) basins that are located in the mountain frame of the morphostructure of the Vitim Basin. The northern part of the latter is framed by the structures of the west-east Muya-Udokan transtensional segment.

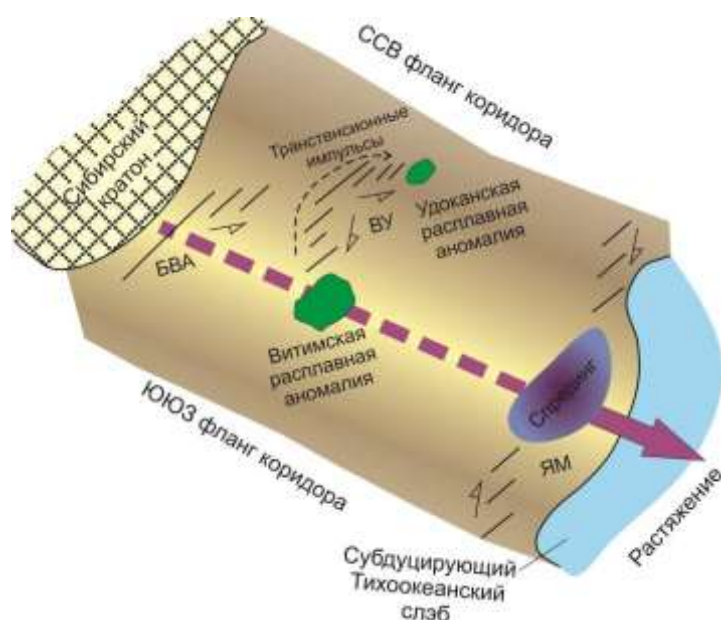


Рис. 8. Схема осевого растяжения в ЯБГК, выраженного в задуговом образовании структуры пулл-апарт со спредингом в Япономорском бассейне (ЯМ), горячего Витимо-Удоканского сочетания трансензионных сегментов (ВУ) и холодного Байкал-Верхнеангарского сочетания раздвигового и трансензионного сегментов (БВА).

Fig. 8. Scheme of axial extension along the JBGC expressed by the back-arc development of the Sea of Japan pull-apart structure with spreading (ЯМ), the Vitim-Udokan hot combination of transtensional segments (ВУ), and the Baikal-Upper Angara cold combination of the extensional and transtensional segments (БВА).

Геодинамическая сущность Витимо-Удоканской угловой трансензионной структуры выявляется через сравнительный анализ ее вулканических (горячих) частей: юго-западной (витимской) и северо-восточной (удоканской) (табл. 1). Почти по каждому параметру, указанному в таблице, наблюдаются различия расплавных аномалий при главенствующем значении Витимской и подчиненном – Удоканской. Такие

соотношения обусловлены положением первой в оси Японско-Байкальского геодинамического коридора, второй – на его северо-северо-восточном фланге (рис. 8). На Витимском плоскогорье позднекайнозойскому вулканизму предшествовал вулканизм позднего мела и раннего-среднего кайнозоя, в районе хр. Удокан до позднего кайнозоя вулканизм отсутствовал.

Соотношения параметров Витимской и Удоканской расплавных аномалий в Витимо-Удоканской угловой горячей трансенсионной структуре

Расплавная аномалия	Витимская	Удоканская
Транстенсия в ЯБГК	Осевая	Фланговая
Структурный сегмент: прости- рание, протяженность	Ципа-Муяканский: субмеридиональный, 300 км	Муя-Удоканский: субширотный, 250 км
Морфоструктура: морфоструктурный элемент, отражающийся в вулканизме	Витимский бассейн: литосфер- ный резургентный купол вул- каноструктуры Антасе	Хребты северного обрамления Витимского бассейна, новооб- разованный хр. Удокан
Вулканизм, предшествующий позднему кайнозою	Эпизодические извержения в палеогене	Отсутствует
Позднекайнозойское вулкани- ческое поле: площадь и объем продуктов извержений	Витимское, 10 тыс. км ² , 7–8 тыс. км ³	Удоканское, 3 тыс. км ² , 5–7 тыс. км ³
Начальный позднекайнозой- ский импульс: время и состав вулканических пород	Береинский и Амундинский вулканические центры: 16–13 млн лет назад, высоко- Mg базаниты и пикробазальты, андезибазальты	Северная вулканоструктура: 14 млн лет назад, высоко-Mg оливиновые лейци- титы
Последующие импульсы вулка- ноструктур и состав вулканиче- ских пород	Вулканоструктура Антасе, средне-позднемиоценовый, 14– 9 млн лет назад, Вулканоструктура Антасе, плиоцен-эоплейстоценовый, 5.2–1.8 млн лет назад, Вулканоструктура Ингур- Малоамалатская, неоплейсто- цен-голоценовый, 1.1–0.6 млн лет назад, базальты, базаниты, фоно- тефриты	Вулканоструктура Восточная, Позднемиоценовый, 8.9–7.4 млн лет назад, Вулканоструктуры Централь- ная, Северная и Западная, 4.0– 1.7 млн лет назад, Вулканоструктура Западная, <0.7 млн лет назад, высоко щелочная серия база- нит–фонотефрит, умеренно щелочная серия щелочной оли- виновый базальт–трахит
Родственные включения, глубины кристаллизации	Мегакристаллы, мантийные уровни гранатовой и шпинеле- вой фаций, в основном 100–60 км	Полиминеральные кумуляты, мегакристаллы, подкоровая мантия, кора <60 км
Чужеродные включения, глубины отторжения	Коровые и мантийные породы, <100 км	Коровые и мантийные породы шпинелевой фации, <60 км
Глубины плавления, км: гранатсодержащие породы (включения), высоко-Mg лавы возрастом 16–14 млн лет, андезибазальты возрастом 14– 13 млн лет, последующие лавы (динамоме- таморфическая сегрегация)	270–250 км, 150–115 км, ~60 км, 60–100 км	Нет, ~100 км, нет, <100 км
Время гомогенизации мантий- ных источников вулканизма, изотопная система	Распад суперконтинента Роди- ния в рифее, 660–640 млн лет назад, Sm–Nd, U–Pb	Становление ранней литосфер- ной мантии и коры в гадее, ~4.51 млрд. лет назад, U–Pb

Докайнозойский фундамент	Коллаж террейнов позднего докембрия и палеозоя, Ангаро-Витимский батолит и последующие гранитоиды, активные мезозойские структуры	Край Алданского щита фундамента Сибирской платформы, край Ангаро-Витимского батолита, мезозойский Чукчудинский грабен
--------------------------	---	---

В качестве отправного пункта позднекайнозойской эволюции вулканизма Витимского поля служили начальные извержения высоко-Mg базанитов и пикробазальтов Берейнского центра, сменившиеся извержениями андезибазальтов (Chuvashova et al., 2017b). С течением времени литосфера смещалась относительно корневой подлитосферной части

расплавной аномалии в направлении на восток-юго-восток. В результате такого движения активность подлитосферной термальной аномалии сместилась в интервале 16–13 млн лет назад, приблизительно, на 40 км от Берейнского вулканического центра на Амундинский (рис. 9).

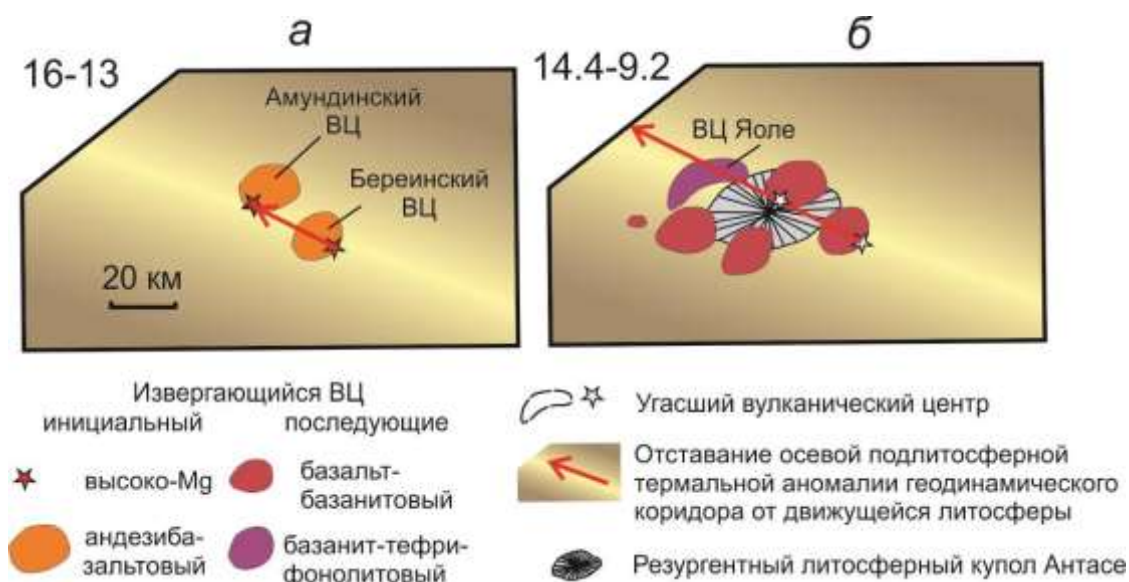


Рис. 9. Распределение начального (а) и последующего (б) вулканизма на Витимском поле как следствие смещения литосферы от подлитосферной горячей аномалии.

Fig. 9. Distribution of initial (a) and subsequent (б) volcanism in the Vitim field as a consequence of the lithosphere shift from a sub-lithospheric hot anomaly.

Инициальные высоко-Mg извержения Берейнского вулканического центра сопровождалось началом эрозионного расчленения территории. Термальное воздействие на движущуюся литосферу повлекло за собой формирование литосферного резургентного купола Антасе с его глубоким эрозионным расчленением. Высоко-Mg (пикробазальтовые) и умеренно-Mg (андезибазальтовые) лавы Амундинского центра излились около 14–13 млн лет назад в сформировавшийся каньон, частично заполненный осадками. В отличие от Берейнского вулканического центра, в котором сначала извергались высоко-Mg базаниты и пикробазальты, а затем – андезибазальты, на Амундинском вулка-

ническом центре лавы пикробазальтов залегают в разрезе выше андезибазальтов в переслаивании с умеренно-Mg базанитовыми лавами.

Смещение литосферы привело к тому, что через 2–3 млн лет после первого проявления инициального вулканизма на Берейнском центре подлитосферная термальная аномалия находилась уже под центральной частью структуры Антасе, а еще через 3–4 млн лет – за северо-западной границей Витимского поля. В дальнейшем магматизм инициального типа на Витимском поле не возобновлялся. Около 9.2 млн лет назад, на вулканическом центре Яоле (северо-западная граница поля) проявилась дифференцированная се-

рия базанит–тефрифолит, обозначившая финал вулканических извержений временного интервала 14.4–9.2 млн лет назад.

Сохранившийся фрагмент щелочно-оливин-базальтового лавового потока возрастом около 13.7 млн лет, фиксирующий эродированное днище погребенного каньона на Мухальском вулканическом центре, имеет небольшую мощность (первые метры). Его наличие свидетельствует о щелочно-оливин-базальтовых извержениях, синхронных с инициальными пикробазальт-андезибазальтовыми извержениями Береинского и Амундинского центров.

Оливин-лейцититовый вулканизм Северной вулканоструктуры Удоканской расплавленной аномалии проявился позже начальной фазы высоко-Mg вулканизма Береинского центра Витимской аномалии и предшествовал ее андезибазальтовой фазе.

После запуска трансензионного импульса во временном интервале 16–13 млн лет назад в Витимской расплавленной аномалии возобновлялись импульсы продолжительного вулканизма 14.4–9.2, 5.2–2.9 и эпизоды сокращенного по времени вулканизма 6.7–6.3 и 1.8–1.7 млн лет назад в окружении литосферного резургентного купола Антасе. Максимальный вулканизм временного интервала 12–9 млн лет назад характеризовался образованием четырех новых крупных вулканических центров: Амундинского, Яоле, Намару и Количиканского. Мощные извержения проявились и на небольшом Мухальском вулканическом центре. После 9 млн лет назад интенсивность вулканической деятельности снизилась. В интервале 6.7–6.3 млн лет назад был активным только центр Намару. Новый импульс вулканизма 5.2–2.9 млн лет назад выразился резким расширением ареала вулканических центров, действовавших в окружении литосферного резур-

гентного купола. Затем вновь последовал перерыв в вулканической деятельности, продолжавшийся около 1 млн лет. Около 1.8–1.7 млн лет назад был активным только Амундинский центр. На рубеже эоплейстоцена и неоплейстоцена, в интервале 1.1–0.6 млн лет назад, вулканизм проявился вдоль субмеридиональной Ингур-Малоамалатской зоны, расположенной по касательной к литосферному резургентному куполу восточнее его. В последние 0.6 млн лет вулканическая деятельность не возобновлялась.

Термальный импакт начального высоко-температурного материала, поднявшегося адиабатически в мантии под Витимским полем, повредил литосферу под Береинским вулканическим центром. Хотя литосфера сместилась относительно начальной термальной аномалии и в дальнейшем не испытывала ее влияния, в поврежденном участке литосферы вулканизм неоднократно возобновлялся. Такое же начальное повреждение литосферы случилось около 14 млн лет назад под северной частью Удоканского поля. Между поврежденными участками литосферы двух полей образовалась ослабленная трансензионная зона, через которую осуществлялась передача импульсов от Витимской расплавленной аномалии к Удоканской.

После начальной фазы последовали три передачи: от витимского интервала 14.4–9.2 млн лет назад к удоканскому интервалу 8.9–8.5 млн лет назад; вновь от витимского интервала 5.0–2.9 млн лет назад к удоканскому интервалу 4.0–2.4 млн лет назад и, наконец, от витимского интервала 1.1–0.6 млн лет назад к удоканскому интервалу 0.7–0.002 млн лет назад. Наряду с запаздыванием, проявились два коротких эпизода синхронизации вулканизма Витимского и Удоканского полей около 7.5 и 1.8–1.7 млн лет назад (рис. 10).

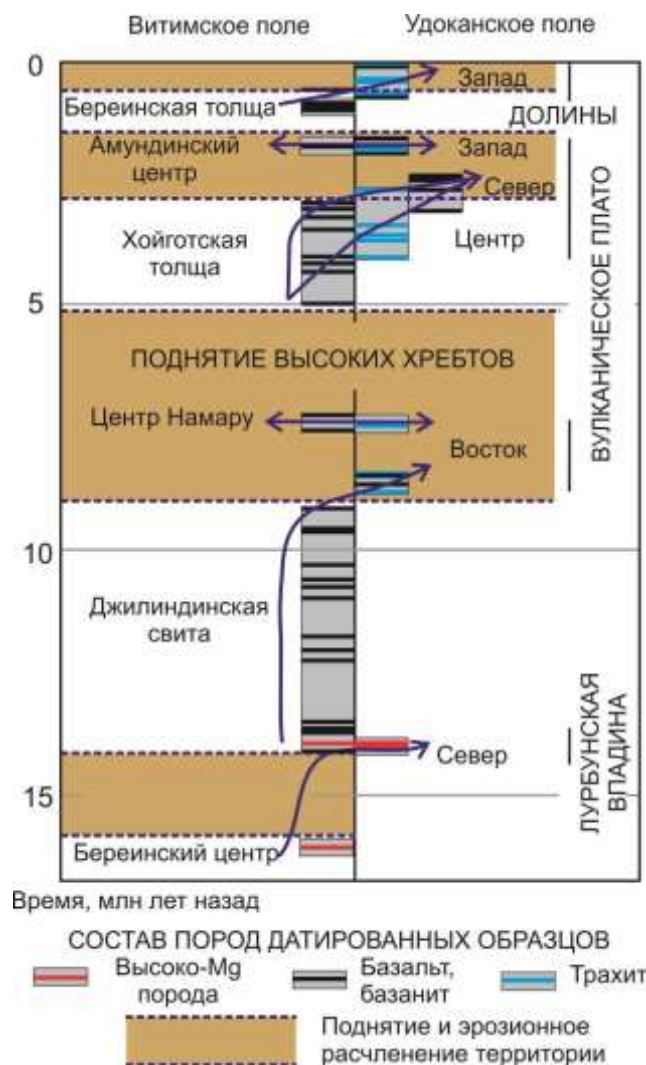


Рис. 10. Распространение деформационных импульсов в Витимо-Удоканской зоне транстенсии от Витимской расплавной аномалии, расположенной в осевой части Японско-Байкальского геодинамического коридора, к Удоканской расплавной аномалии, проявившейся в его периферической части. Стрелки показывают запаздывание вулканических эпизодов Удоканского поля относительно эпизодов Витимского поля. Двусторонние стрелки обозначают синхронные вулканические эпизоды.

Fig. 10. Propagation of deformation impulses in the Vitim-Udokan transtension zone from the Vitim melting anomaly, located at the axial part of the Japan-Baikal geodynamic corridor, to the Udokan melting anomaly, displayed in its peripheral part. Arrows show lags of volcanic episodes of the Udokan field relative to the ones of the Vitim field. Two-sided arrows indicate synchronous volcanic episodes.

Обстановка развития БРС в перекрытии ЯБГК областью Индо-Азиатской конвергенции

Хубсугульский, Дархатский и Бусийн-Гольский рифты Северной Монголии, располагающиеся по северному фронту поднятия Хангайского нагорья, связаны с ним кинематически как приорогенные радиальные структуры поперечного растяжения (Расказов и др., 2012). Рифтам соответствуют впадины, названные Н.А. Флоренсовым «впа-

динами-подвесками». Восточнее Хангайского нагорья протягивается поднятие хр. Восточный Хангай и опускание Орхон-Селенгинского среднегорья. Последнее разделяет поднятия Хамар-Дабана и Восточного Хангая. В среднегорье формировалась Центрально-Монгольская система впадин, к которой относятся впадины субмеридиональной Чулутынской зоны, отделяющей Хангайское нагорье от хр. Восточный Хангай, и впадины Орхон-Селенгинского среднегорья (рис. 11).

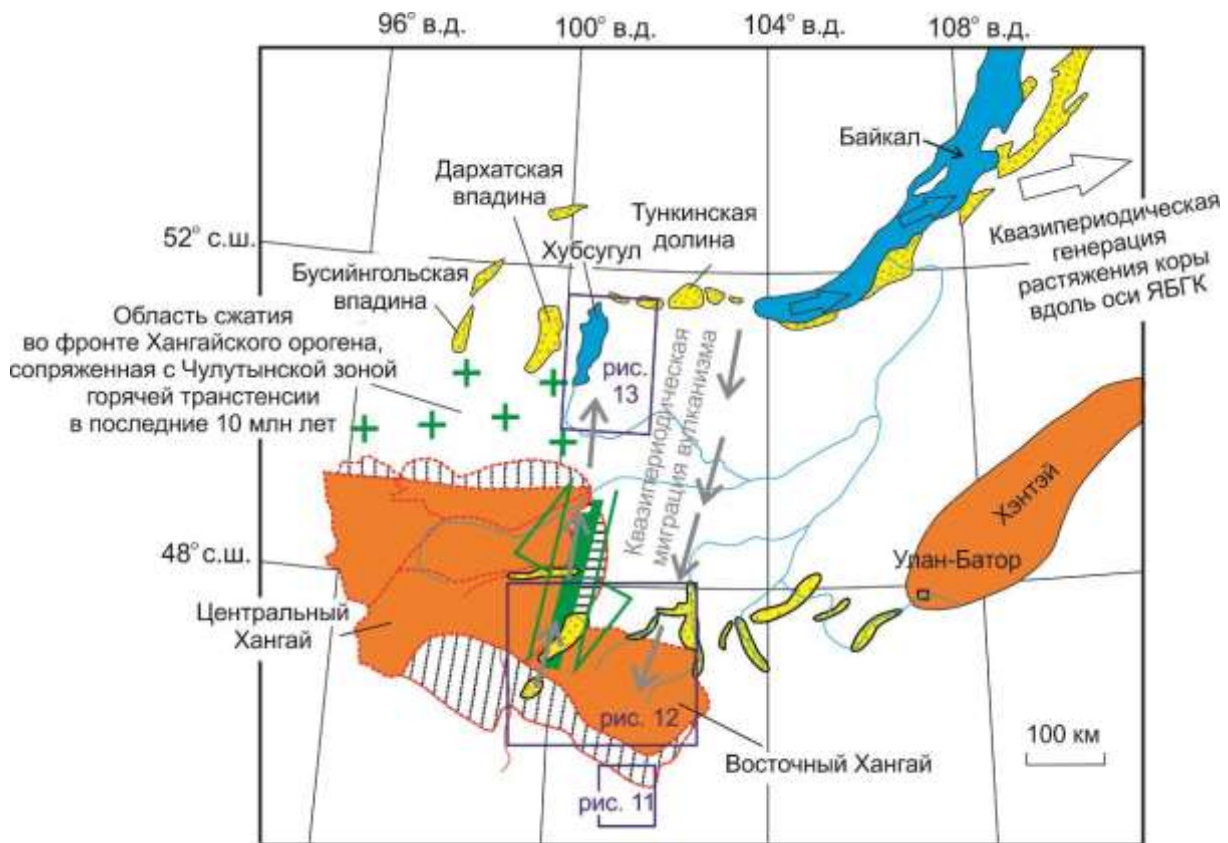


Рис. 11. Схема орогенных и рифтовых структур юго-западной части БРС. Показаны впадины рифтовых сегментов и контуры орогенных провинций Хангая. Для хангайских морфоструктур использована геоморфологическая схема из работы (Корина, 1982). Темно-синими прямоугольниками показаны территории рис. 11–13.

Fig. 11. Scheme of orogenic and rift structures in the southwestern BRS. Depressions of rift segments and contours of orogenic provinces of Hangay are shown. For the Hangay morphostructures, the geomorphological scheme from (Корина, 1982) was used. Dark blue rectangles outline the areas shown in Figs 11–13.

Тектоническая и магматическая активизация Хангайского орогена и сопредельных территорий началась в середине олигоцена в Долине Озер, ограничивающей ороген с юга. Базальты Долино-Озерского вулканического поля располагаются на площади между южными отрогами Восточного Хангая на севере и горными сооружениями Гобийского Алтая на юге. Площадь, занятая вулканическими и субвулканическими телами, составляет несколько сотен квадратных километров. Базальты слагают потоки и покровы, реже – неки и дайки. Основные выходы лавовых потоков приурочены к междуречью Туин-Гол и Тацийн-Гол. Вулканические центры сильно эродированы, пирокластические отложения отсутствуют (Геншафт и др., 1990).

Центры излияний в Долине Озер были пространственно связаны с активизацией разломов Баянхонгорской зоны. У северного

борта долины находится Тацийнгольский щитовой вулкан (рис. 12). Его лавы протягиваются в юго-западном направлении к центральной части долины на 25 км при ширине до 12 км. Центральная и юго-восточная части вулкана хорошо обнажены вдоль р. Тацийн-Гол. Лавы перемежаются с красноцветными осадочными отложениями свиты шандгол. В основании лавового пакета находится покров массивных толстоплитчатых пепельно-серых базальтов мощностью до 25 м. Породы повсеместно брекчированы и пронизаны мельчайшей трещиноватостью. Трещины заполнены карбонатом. Покров прорван телами стекловатых неизмененных базальтов с комковатой отдельностью, переходящих в лавовые потоки, перекрывающие покров. Вдоль юго-восточного и северо-западного краев Тацийнгольского вулкана в северо-восточном направлении протягивает-

ся серия субвулканических тел, обозначивших локальную зону магмопроницаемости. По датировкам методом $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ базальты

имеют возраст около 31.5 млн лет (Höck et al., 1999).

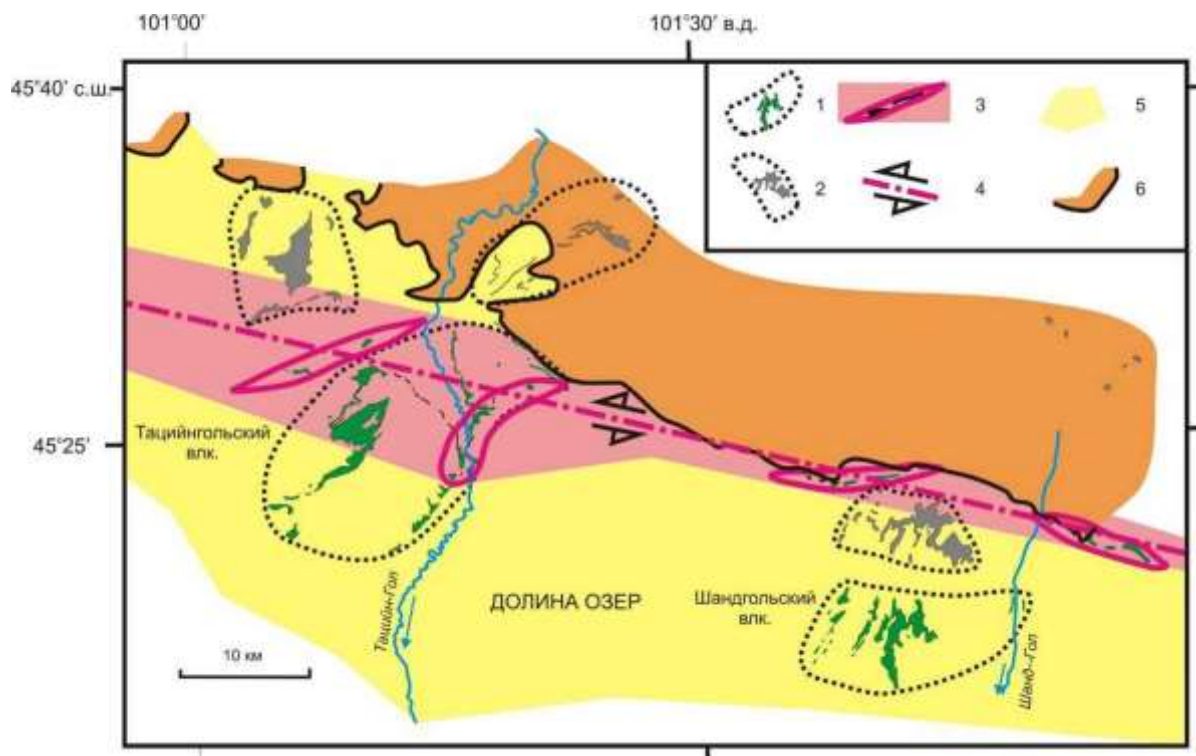


Рис. 12. Пространственное распределение среднеолигоценовых вулканических пород в Долине Озер. 1–2 – щитовые вулканические постройки возрастом, соответственно, ~31.5 и 29–27 млн лет; 3 – локальные участки концентрации субвулканических тел, составляющих левосторонние кулисы крупной западно-северо-западной сдвиговой зоны; 4 – осевая часть сдвиговой зоны; 5 – территория среднепозднекайнозойской седиментации (<35 млн лет); 6 – северный борт Долины Озер – фундамент, сложенный архейскими кристаллическими породами, перекрытыми осадочными отложениями от пермского до мелового возраста. Базальты среднемиоценового возрастного интервала 15.6–12.2 млн лет не показаны. Схема составлена по результатам полевых исследований авторов с использованием данных из работы (Höck et al., 1999).

Fig. 12. Spatial distribution of Middle Oligocene volcanic rocks in Valley of Lakes. 1–2 – shield volcanic edifices of ~31.5 and ~29–27 Ma, respectively; 3 – local areas of concentration of subvolcanic bodies that belong to a large left-lateral WNW–ESE shear zone; 4 – axis of the shear zone; 5 – area of Middle-Late Cenozoic sedimentation (<35 Ma); 6 – the northern side of Valley of Lakes – a basement that is composed of Archean crystalline rocks overlain by the Permian to Cretaceous sediments. The Middle Miocene basalts of 15.6–12.2 Ma are not shown. The scheme was compiled on basis of field observations with using data of (Höck et al., 1999).

Другой щитовой вулкан такого же возраста (Шандгольский) расположен на левобережье р. Шанд-Гол, в 40 км юго-юго-восточнее Тацйингольского, в 15 км от северного борта Долины Озер. Выходы лав протягиваются в субширотном направлении на расстояние 15 км при ширине до 8 км. В западной части постройки выделяется серия северо-северо-восточных базальтовых хребтиков (азимут простираения 30°). Они представляют собой останцы трещинных кана-

лов, подобных каналам, прорывающим нижний покров Тацйингольского вулкана. Нижняя часть лавовой последовательности Шандгольского вулкана не обнажена. В видимой части разреза лавовой толщи вулкана деформации выражены несущественно.

Севернее и северо-восточнее Шандгольского вулкана получили развитие две серии трещинных базальтовых тел, внедрившихся вдоль северного борта долины. Тела имеют мощность до 500 м, протяженность – первые

километры. Они испытывали брекчирование и катаклиз по продольным сдвиговым субвертикальным разрывам, служившим каналами для более позднего проникновения магматических расплавов. Образовавшиеся поздние дайковые тела не затронуты какими-либо деформациями. Западная серия субвулканических тел имеет общую западно-северо-западную ориентировку, а восточная – восточно-северо-восточную. Последняя является одной из левосторонних кулис. Другие кулисы выделяются на Тацийнгольском вулкане. Они свидетельствуют об активности трещинных каналов при левосторонних сдвиговых смещениях в крупном сдвиговом разломе, совпадавшем с ориентировкой Дзобхан-Долино-Озерской вулканической зоны. На западном окончании последней для базальтов получена К–Аг датировка 31.5 ± 1.2 млн лет (Девяткин, 2004), соответствующая возрасту охарактеризованных вулканических и субвулканических пород Долины Озер.

Более поздняя фаза среднеолигоценовых извержений в Долине Озер, соответствовавшая накоплению свиты лоо, датирована методом $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ временным интервалом 28–27 млн лет (Höck et al., 1999). При лавовых извержениях сформировались новые вулканические постройки, две из которых с поперечником около 10 км располагаются севернее сдвигового разлома (севернее Тацийнгольского вулкана), а еще одна приблизительно таких же размеров – южнее его (между северным бортом Долины Озер и Шандгольским вулканом).

Кулисное расположение хребтов и впадин между Центральным и Восточным Хангаем свидетельствует о правосторонних смещениях вдоль Чулутынской зоны (рис. 13).

По результатам К–Аг и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования (Иваненко и др., 1989; Rasskazov et al., 2003; Ярмолюк и др., 2003а,б), в Центральном Прихубсугулье различаются вулканические интервалы 22–17 и 10.2–7.8 млн лет назад, а в районах северной и южной оконечностей впадины – промежуточные вулканические эпизоды ~16.4, 14–11 млн лет

назад (на юге – ~5.4 млн лет назад). Лавы начального вулканизма Восточного Хангая извергались на Цэцэрлэгском поле в интервале 17.0–9.7 млн лет назад, а Верхне-Орхонского поля – в интервале 9.6–2.1 млн лет назад. Около 9.7–9.6 млн лет назад вулканизм перераспределился из Цэцэрлэгского поля на Верхне-Чулутынское.

Начало вертикальных движений в Байкальской рифтовой зоне сопровождалось вулканизмом обширных территорий интервала 22–17 млн лет назад. Завершение этого вулканизма в Центральном Прихубсугулье совпало с началом вулканизма Цэцэрлэгского поля Восточного Хангая, а начало вулканического интервала 10.2–7.8 млн лет назад Центрального Прихубсугулья – с пространственным перераспределением вулканизма из Цэцэрлэгского поля на Верхне-Чулутынское.

Миграция вулканизма территорий в субмеридиональном направлении была асинхронной. В вулканической миграции на территории Южной Гоби – Восточного Хангая различаются импульсы высококалийевого магматизма в интервалах 41–21 и <20 млн лет назад. Средняя скорость вулканической миграции составляла около $1 \text{ см} \times \text{год}^{-1}$. В качестве исходной точки пространственно-временного смещения извержений в Прихубсугулье служило Мурэнское вулканическое поле с интервалом К–Аг датировок 27–25 млн лет. Вулканизм смещался через центральную часть будущей впадины оз. Хубсугул (интервал 21.5–17.5 млн лет назад) в Северное Прихубсугулье (интервал 16.5–14.0 млн лет назад) со средней скоростью около $2 \text{ см} \times \text{год}^{-1}$. Еще один вулканический импульс был инициирован около 17.5 млн лет назад в 70 км западнее Мурэнского вулканического поля со смещением извержений в юго-восточное Прихубсугулье около 14 млн лет назад с более высокой скоростью ($4\text{--}5 \text{ см} \times \text{год}^{-1}$). Позже, в интервале 10.2–7.8 млн лет назад, вулканизм сосредоточился в субмеридиональной зоне, простиравшейся вдоль всей Хубсугульской впадины (рис. 14).

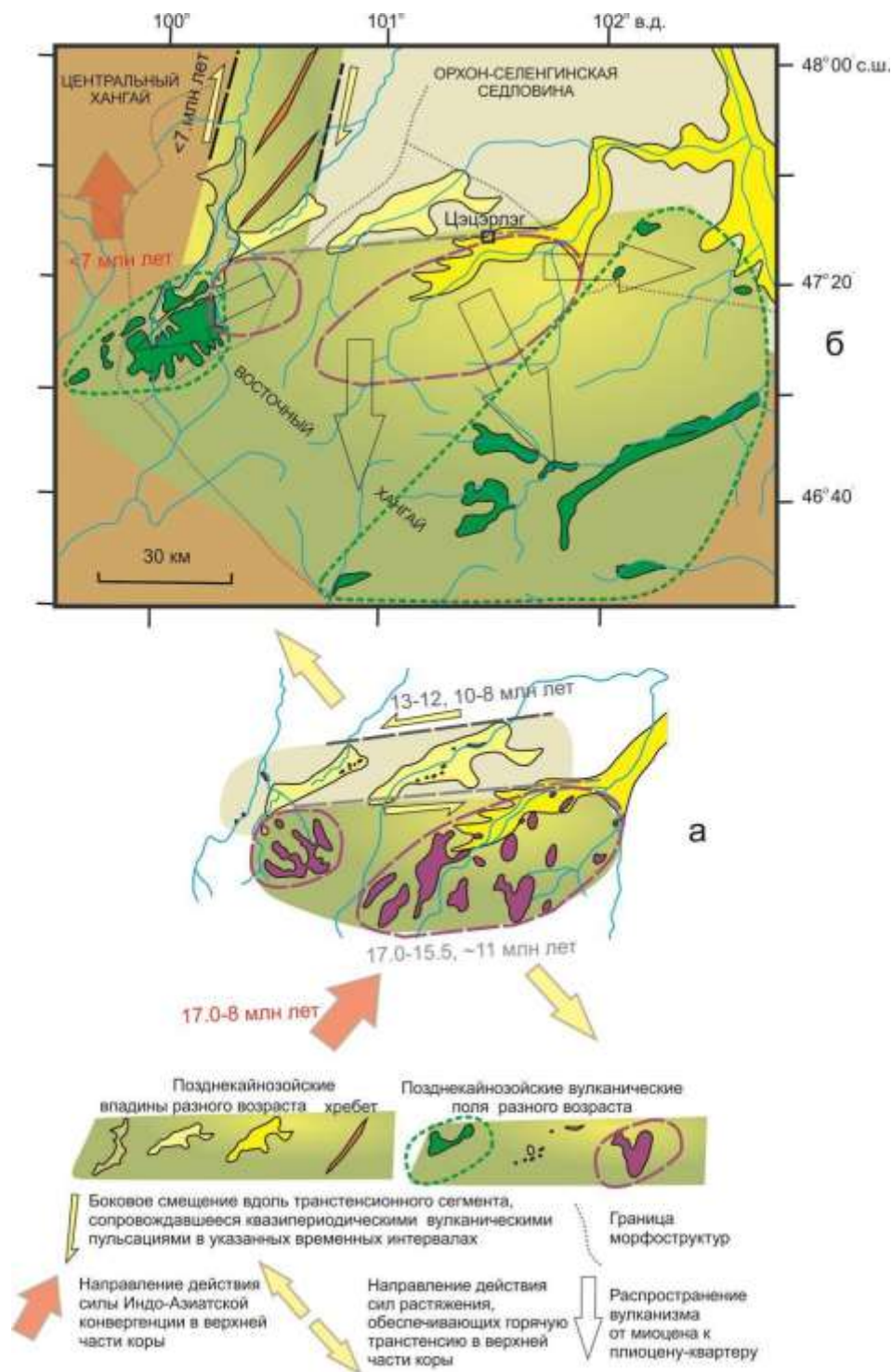


Рис. 13. Структурный контроль разновозрастными сдвиговыми зонами вулканических полей центральной и западной частей Восточного Хангая.

1 – базальты возрастом 17.0–15.5 и ~11 млн лет и одновозрастная Урд-Тамирская впадина, штриховые овалы – кулисообразные зоны Цэцэрлэгского (ЦВП) и Верхне-Чулутынского (ВЧВП) вулканических полей; 2 – базальты Хойт-Тамирского (ХТВП), Верхне-Хануйского (ВХВП) и Верхне-Чулутынского полей возрастом 13–12 и 10–8 млн лет в кулисообразных межгорных понижениях; 3 – базальты Верхне-Чулутынского поля возрастом 5.5–2.1 млн лет и одноименная впадина; 4 – кулисообразные горные отроги Чулутынской сдвиговой зоны; 5 – направление смещения в сдвиговой зоне; 6 – населенный пункт.

Fig. 13. Structural control by shear zones with different ages for volcanic fields in the central and western parts of East Hangay. 1 – basalts of 17.0–15.5 and ~ 11 Ma and the coeval Urd-Tamir basin, dashed ovals mark echelon zones of Tsetserleg (ЦВП) and Upper Chulutyn (ВЧВП) volcanic fields; 2 – basalts of 12–13 and 10–8 Ma within echelon intermountain depressions that used to flooded with lavas of the Hoyt Tamir (ХТВП), Upper Hanui (ВХВП), and Upper Chulutyn fields; 3 – basalt of the Upper Chulutyn field of 5.5–2.1 Ma and the basin with the same name; 4 – mountain spurs of the Chulutyn echelon shear zone; 5 – direction of motion in a shear zone; 6 – a settlement.

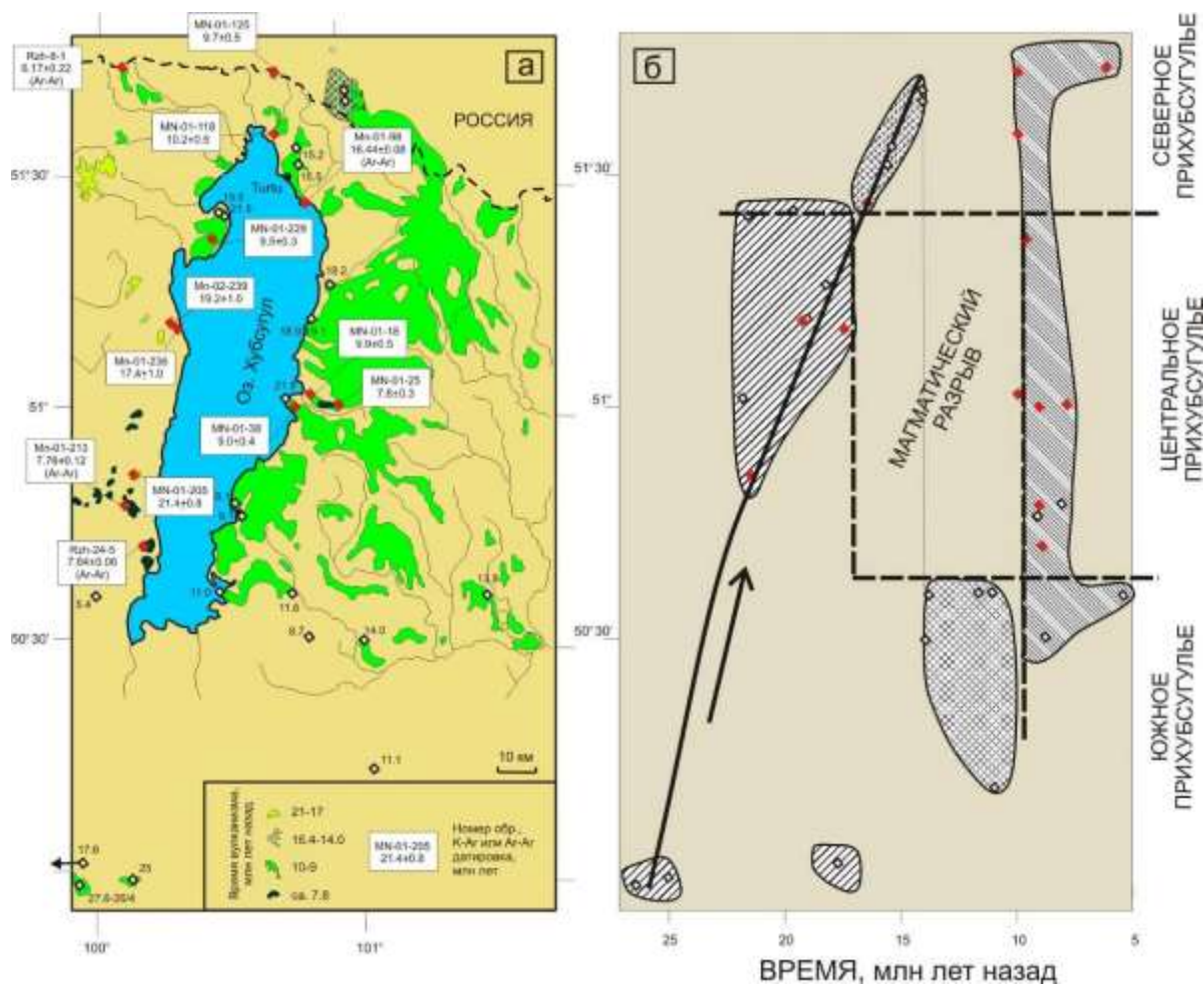


Рис. 14. Местоположение К–Ar и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировок вулканических пород Прихубсугулья (а) и пространственно-временное смещение вулканизма с перерывом извержений в центральной части побережья оз. Хубсугул во временном интервале 17–10 млн лет назад (б).

Fig. 14. Location of K–Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dates of volcanic rocks in the Khubsugul area (a) and spatial-temporal shift of volcanic eruptions with a magmatic hiatus in the middle part of the lake shore in the time interval of 17–10 Ma (b).

Смена магматических источников под Цэцэрлэгским и другими полями Восточно-Хангайского ареала интерпретируется как следствие Индо-Азиатской постколлизонной конвергенции. Угасание вулканизма Центрального Прихубсугулья во временном интервале 17–10 млн лет назад может рассматриваться как следствие противоположного эффекта постколлизонных конвергентных процессов.

Впадина оз. Хубсугул формировалась с 10 млн лет назад, одновременно с правосторонними смещениями в Чулутынской зоне, обеспечившими продвижение Хангайского нагорья к северу относительно хр. Восточный Хангай и Орхон–Селенгинского среднегорья. Эти смещения сопровождалась вулканической деятельностью Верхне-Чулутынского и Тарят-Чулутынского полей, которые по временным вариациям калия в диапазоне от 0.8 до 4.8 мас. % разделяются

на три временных интервала: 9.6–7.4, 7.1–4.0 и 4.8–2.1 млн лет назад. В течение первого интервала вулканизм отсутствовал на Тарят-Чулутынском поле, но получил развитие в Центральном Прихубсугулье. Этот интервал соответствовал обстановке структурной перестройки и либо сопровождал начало движений в Чулутынской зоне, либо предшествовал этим движениям. Два других интервала были обозначены отчетливыми чередующимися фазами конвергентного и рифтового вулканизма. В Центральном Прихубсугулье вулканизм отсутствовал.

Принимая во внимание противофазные соотношения извержений в Восточном Хангае и Центральном Прихубсугулье во временном интервале 22–8 млн лет назад, мы рассматриваем эти территории как типичные для орогенной и радиально-рифтовой структурных обстановок, связанных с Индо-Азиатской конвергенцией. Движение Хангайского нагорья к северу сопровождалось сжатием в его фронтальной части. Хубсугульский и Дархатский субмеридиональные рифты оформились в последние 10 млн лет как радиальные структуры этого орогена, испытывающие поперечное растяжение, подобно Верхне-Рейнскому рифту и другим субмеридиональным структурам растяжения Западно-Европейской рифтовой системы, сформировавшимся во фронте Альпийского орогена. Преобладание субмеридионального сжатия при субширотном растяжении выражается в распространении серий даек субмеридионального простираения (Abratis et al., 2007). Сходная обстановка этих рифтовых систем подчеркивается авулканичностью центральных частей их впадин и распределением вулканизма в виде поперечных (субширотных) зон, проходящих через структурные окончания впадин (Расказов и др., 2012).

Импульсная миграция позднекайнозойского вулканизма в юго-западной части БРС

На территории Селенгинского бассейна и сопредельной юго-западной части БРС вул-

канизм начался около 27 млн лет назад (Расказов и др., 2012). Связь с развитием ЯБГК отчетливо проявилась в распространении полосы вулканических извержений от Японии до Саян во временном интервале 22–17 млн лет назад (Расказов, Чувашова, 2018).

Наиболее близко к оси ЯБГК, в восточной части Тункинской долины, расположена Камарская группа вулканических полей. Еловское поле смещено к западу, в центральную часть Тункинской долины, а Джидинская группа полей – через хр. Хамар-Дабан, к югу. Эти вулканические проявления относятся к восточной части Трансхамардабанского сегмента. В Центральной Монголии восточную часть Трансхангайского сегмента образуют Восточно-Хангайская и Долиноозерская группы полей, а его западную часть Верхне-Чулутынское и Тарят-Чулутынское поля. На трассе от восточной части трансхамардабанских расплавных аномалий к восточной части трансхангайских расплавных аномалий, в центре Селенгинского бассейна, находятся Угей-Нурское, Нижнеорхонское, Селенгинское и Хануйское поля. Хубсугульская группа полей северо-западной границы Селенгинского бассейна пространственно соотносится с Тарят-Чулутынским и Верхнечулутынским полями его западной и юго-западной границ так же, как поля Трансхамардабанского сегмента соотносятся с полями центра Селенгинского бассейна и востока Трансхангайского сегмента (Угей-Нурское, Долиноозерское поля и Восточно-Хангайская группа полей).

Специфика пространственно-временного распределения вулканизма Селенгинского бассейна проявляется через его сопоставление с шестью эпизодами Витимского бассейна. Для удобства сравнительного анализа вулканические импульсы расплавных аномалий юго-западной части БРС обозначены на рис. 15 в сравнении с импульсами Витимского бассейна (см. рис. 9).

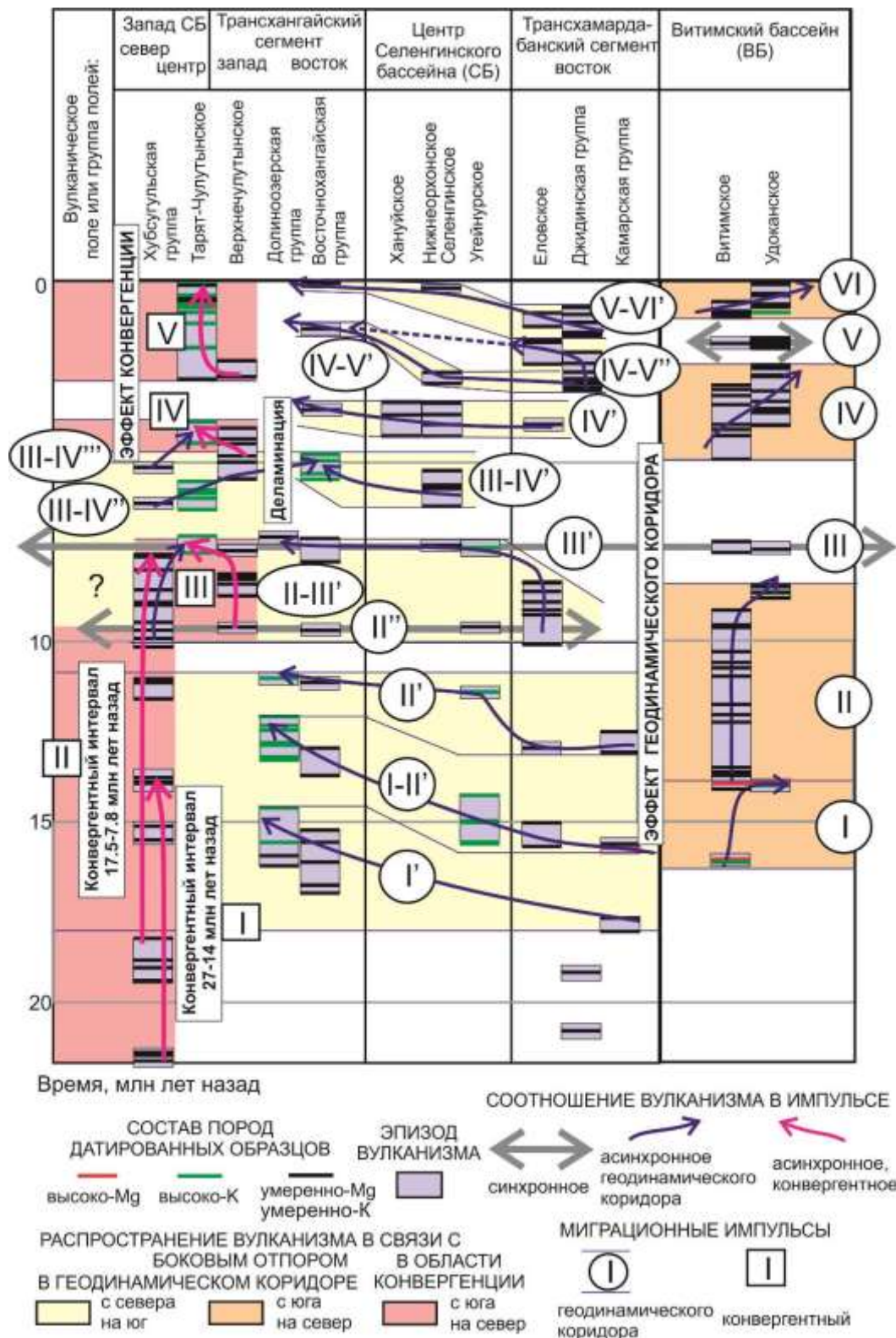


Рис. 15. Сопоставление миграционных импульсов вулканизма северо-востока БРС (Витимский бассейн, ВБ) и юго-запада БРС (Хубсугульский сегмент, Селенгинский бассейн, СБ и Трансхамардабанский сегмент). Знак вопроса (?) указывает на неопределенность условий проявления вулканизма (предположительно, геодинамические условия коридора) в интервале 10.0–7.8 млн лет назад в области Хубсугульской группы полей. Стрелки обозначают запаздывание вулканических эпизодов, двусторонние стрелки обозначают синхронность вулканизма (объяснения в тексте).

Fig. 15. Comparison of propagated volcanic impulses in the northeastern BRS (Vitim Basin, ВБ) and southwestern BRS (Khubsugul segment, Selenga Basin, СБ and Transkhamardaban segment). The question mark (?) indicates the uncertainty of the conditions for the displaying volcanism (presumably, the geodynamic conditions of the corridor) in the interval of 10.0–7.8 Ma in the Khubsugul group of fields. Arrows indicate a delay of volcanic episodes, double-sided arrows indicate a synchronism of volcanism (explanations in the text).

Обратимся сначала к восточной трассе расплавных аномалий Селенгинского бассейна, которая в целом характеризуется импульсами вулканизма, мигрировавшего с севера на юг, от Трансхамардабанского сегмента через центр Селенгинского бассейна к Трансхангайскому сегменту. Миграционный проход, обозначенный как импульс I', был инициирован извержениями в Камарской группе полей 18.1–17.5 млн лет назад и завершился извержениями в Долине Озер около 15 млн лет назад. Подобным образом проявились два последующих вулканических импульса (I–II' и II'), соответственно, во временных интервалах 16–12 и 13–11 млн лет назад. Около 9.6 млн лет назад вулканизм проявился одновременно почти на всех рассматриваемых полях Селенгинского бассейна (импульс II''), а затем, около 7.5 млн лет назад, и в Селенгинском, и в Витимском бассейнах (соответственно, импульсы III' и III). Пространственное смещение обозначилось в относительно широком временном интервале извержений Еловского поля (10–8.4 млн лет назад) и последующем концентрированном импульсе около 7.5 млн лет назад в центре Селенгинского бассейна и на его трансхангайской границе. В интервале последних 6 млн лет в восточной трассе расплавных аномалий Селенгинского бассейна намечается еще 4 миграционных вулканических импульса: III–IV'' – 6.0–4.8 млн лет назад, IV'' – 4.0–3.4 млн лет назад, IV–V'' (IV–V') – 3.0–1.3 млн лет назад, V–VI' – 1.1–0.035 млн лет назад.

Рассмотрим теперь импульсы вулканизма западной трассы расплавных аномалий Селенгинского бассейна. По результатам K–Ar и ⁴⁰Ar/³⁹Ar датирования (Иваненко и др., 1989; Rasskazov et al., 2003; Ярмолюк и др., 2003а,б), в Центральном Прихубсугулье различаются вулканические интервалы 22–17 и 10.2–7.8 млн лет назад, а в районах северной и южной оконечностей впадины – промежуточные вулканические эпизоды ~16.4, 14–11

млн лет назад (на севере – ~6.2 млн лет назад, на юге – ~5.4 млн лет назад). Лавы начального вулканизма Восточного Хангая извергались на Цэцэрлэгском поле в интервале 17.0–9.7 млн лет назад, а Верхне-Орхонского поля – в интервале 9.6–2.1 млн лет назад. Около 9.7–9.6 млн лет назад вулканизм перераспределился с Цэцэрлэгского поля на Верхне-Чулутынское.

В Прихубсугулье вулканизм мигрировал с юга на север в интервалах 27–14 и 14–7 млн лет назад (рис. 13). Начальные извержения Южного Прихубсугулья 27–25 млн лет назад сменялись извержениями Центрального Прихубсугулья 21.4–17.4 млн лет назад и продвигались в Северное Прихубсугулье в интервале 16.4–14.0 млн лет назад. Еще один импульс был инициирован в Южном Прихубсугулье около 17.5 млн лет назад. Затем, вулканизм сместился к южной оконечности оз. Хубсугул в интервале 14–11 млн лет назад и далее в Центральное и Северное Прихубсугулье в интервале 10.0–7.7 млн лет назад. Направленная к северу миграция вулканизма дважды маркировала конвергентный контроль распространения магморазрывов литосферы.

В интервале 9.6–7.5 млн лет назад обозначился также конвергентный тип вулканической миграции с юга на север от Верхне-чулутынского поля к Тарят-Чулутынскому. Одновременное смещение вулканизма от Хубсугула к Тарят-Чулутынскому и Верхне-чулутынскому полям может свидетельствовать о сочетании растяжения литосферы, обусловленного динамикой Японско-Байкальского коридора, с действием механизма конвергенции.

В коротком интервале от 6.2 до ~5.0 млн лет назад (импульс III–IV') преобладала динамика Японско-Байкальского коридора, повлекшая смещение вулканизма к Тарят-Чулутынскому и далее к Верхнечулутынскому полю. В интервале 5.4–3.8 млн лет назад (импульс IV') вновь действовал и ме-

ханизм коридора, и конвергентный механизм.

Наконец, в смещении вулканизма от Верхнечулутынского поля к Тарят-Чулутынскому в последние 2.6 млн лет явно главенствовал конвергентный контроль магмопроницаемости литосферы.

Обсуждение

Квазипериодичность вулканизма и осадко-накопления, вулканизм как показатель запуска и развития процессов новейшего геодинамического этапа в Азии

К 1996 г. были получены представительные K–Ar и Ar–Ar датировки вулканических пород разных территорий БРС и в результате их сопоставлений отчетливо выявился импульсный характер проявления вулканизма во временных диапазонах позднего мела – кайнозоя, позднего кайнозоя, четвертичного периода и конца плейстоцена–голоцена.

Синтез данных 2010-х гг. показал, что в вулканизме позднего мела – кайнозоя отразился новейший геодинамический этап Земли, длившийся около 90 млн лет. Предшествующий временной интервал 160–90 млн лет назад был нестабильным и обозначал переход от ранне-среднефанерозойской эволюции Земли к ее позднефанерозойской эволюции (Чувашова и др., 2010; Рассказов и др., 2012; Рассказов, Чувашова, 2013, 2018). В течение новейшего геодинамического этапа квазипериодичность менялась. С использованием в качестве меняющегося параметра содержания K_2O вулканических пород в палеогене определены квазипериоды 20 и 10 млн лет, в неогене – квазипериоды 2.5 млн лет и в квартере – квазипериоды 100–400 тыс. лет. Смена квазипериодичности вулканизма связывалась с последовательным усилением эндогенных магматиче-

ских процессов в течение новейшего геодинамического этапа (Чувашова и др., 2017). В недавно опубликованной работе (Ma et al., 2017) определен нижний предел единообразной седиментационной ритмики орбитальных реконструкций по меловым осадочным толщам малоглубинного морского бассейна Северной Америки. Сделан вывод о резком изменении вращения Земли во временном интервале 87–85 млн лет назад из-за резонансного взаимодействия ее орбиты с орбитой Марса. Это определение совпало с оценкой начала новейшего геодинамического этапа в Азии (Рассказов, Чувашова, 2013).

Причины вулканической квазипериодичности 2.5 млн лет оставались неясными, пока в начале 2000-х гг. не появились работы, в которых циклы Миланковича 405 тыс. лет были объединены в великие циклы наклона оси вращения Земли 1.2 млн лет и великие циклы эксцентриситета вращения Земли 2.4 млн лет (Laskar et al., 2004, 2011; Hinnov, 2013). Таким образом, импульсы вулканизма с квазипериодичностью 2.5 млн лет позднего кайнозоя БРС оказались согласованными с великими циклами эксцентриситета.

Иерархическая система квазипериодичности вулканизма

Установленная согласованность квазипериодичности вулканизма разных районов Азии с циклами орбитального вращения Земли, в сущности, означает определение планетарного контроля вулканических процессов. Систематика временных рядов вулканических событий Азии включает иерархические уровни от интервала 30 млн лет, охватывающего весь поздний кайнозой, до интервала последних 15 тыс. лет конца плейстоцена и голоцена (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Квазипериодичность вулканизма Азии

Длительность квазипериода	Характеристика квазипериода	
	Первая половина квазипериода	Вторая половина квазипериода

Около 30 млн лет	С 30 до 15 млн лет назад вулканическая деятельность распространялась в ЮЗ части БРС	В последние 15 млн лет вулканическая деятельность распространилась в ЮЗ и СВ частях БРС
Около 5 млн лет	Извержения недифференцированных щелочно-базальтовых лав	Извержения дифференцированных лавовых серий
	Последовательное смещение извержений в пределах вулканических полей	
0.6–0.24 млн лет (последние 2 млн лет)	Повторяемость вулканических максимумов через равные промежутки времени с длительностью от 0.3 до 0.1 млн лет Тройные максимумы внутриплитного вулканизма Соответствие извержений дифференцированных серий центральным максимумам внутриплитного вулканизма	
0.3–0.1 млн лет (последние 2 млн лет)	Повторяющиеся вулканические максимумы в пределах интервалов с длительностью от 0.6 до 0.24 млн лет	
Последние 15 тыс. лет (Удоканское поле)	В интервале 12–7.9 тыс. лет назад извержения из трещин СЗ простирания	В интервале 4.6–2.1 тыс. лет назад извержения из трещин СВ простирания

Интервал 30 млн лет и квазипериоды 5 млн лет разделяются на две половины (стадии А и Б), характеризующиеся различными признаками. С 30 до 14 млн лет назад вулканизм охватывал только ЮЗ часть БРС. Начиная с 15 млн лет, вулканизм распространился также в ее СВ части. В 30 млн лет вписываются вулканические интервалы с квазипериодичностью 5 млн лет.

Вулканические поля Восточного Саяна расположены севернее осевых рифтовых впадин БРС. Во время интервалов длительностью 5 млн лет вулканизм последовательно смещается либо по направлению к осевым рифтовым структурам (к югу), либо вдоль них. На расположенных южнее осевых рифтовых впадин Витимском и Удоканском вулканических полях вулканизм также смещается во время 5-миллионных интервалов к осевым рифтовым структурам (к северу), либо вдоль них. Такой характер смещения отражает периодически возникающую адвекцию горячего мантийного материала. Его движение направлено от районов с большей

толщиной литосферы к районам с утоненной литосферой, свойственной осевым рифтовым структурам.

На стадии А 5-миллионных интервалов изливались щелочно-базальтовые лавы недифференцированного состава. Дифференцированные лавы в общем характерны для стадии Б. Исключение составляет вулканизм последних 2 млн лет. Хотя лавы этого временного интервала относятся к стадии А 5-миллионных интервалов, они представлены дифференцированными сериями.

В этой связи необходимо отметить различные условия формирования неогеновых и четвертичных дифференциатов Удоканского поля. В частности, при изучении родственных кристаллических включений из лав установлено, что в неогене дифференциация происходила в сравнительно глубинной обстановке (на границе кора – мантия), а в четвертичное время сместилась на малые глубины. Соответственно, в неогене формировалась непрерывная серия лав щелочной оливиновый базальт–гавайит–муджиерит–

бенморейт–трахит, а в четвертичное время изливались только начальные и конечные члены этой серии (Расказов, 1985).

В последние 20 млн лет по пространственно-временному перераспределению вулканизма различаются последовательные изменения вступления вулканических импульсов, согласующихся с циклами орбитального вращения Земли (рис. 15). Основная геодинамическая перестройка приходится на 8–6 млн лет назад. До этой перестройки на северо-востоке и юго-западе БРС (в Витимском и Селенгинском бассейнах) устойчиво проявлялась вулканическая квазипериодичность 2.5 млн лет, соответствующий великому циклу эксцентриситета

(тренд I). В интервале 20–14 млн лет назад на восточной трассе Селенгинского бассейна (см. рис. 14) обозначился также более продолжительный интервал около 3.6 млн лет, включающий великий цикл эксцентриситета и великий цикл наклона орбиты, в Витимском бассейне – 2 великих цикла эксцентриситета (тренд II), а в интервале 10–7 млн лет назад короткие импульсы (тренд III). После геодинамической перестройки в вулканических импульсах наиболее последовательно проявился великий цикл наклона орбиты (тренд VI), но продолжала поддерживаться также вулканическая квазипериодичность великого цикла эксцентриситета (тренд IV) и коротких импульсов (тренд V) (рис. 16).

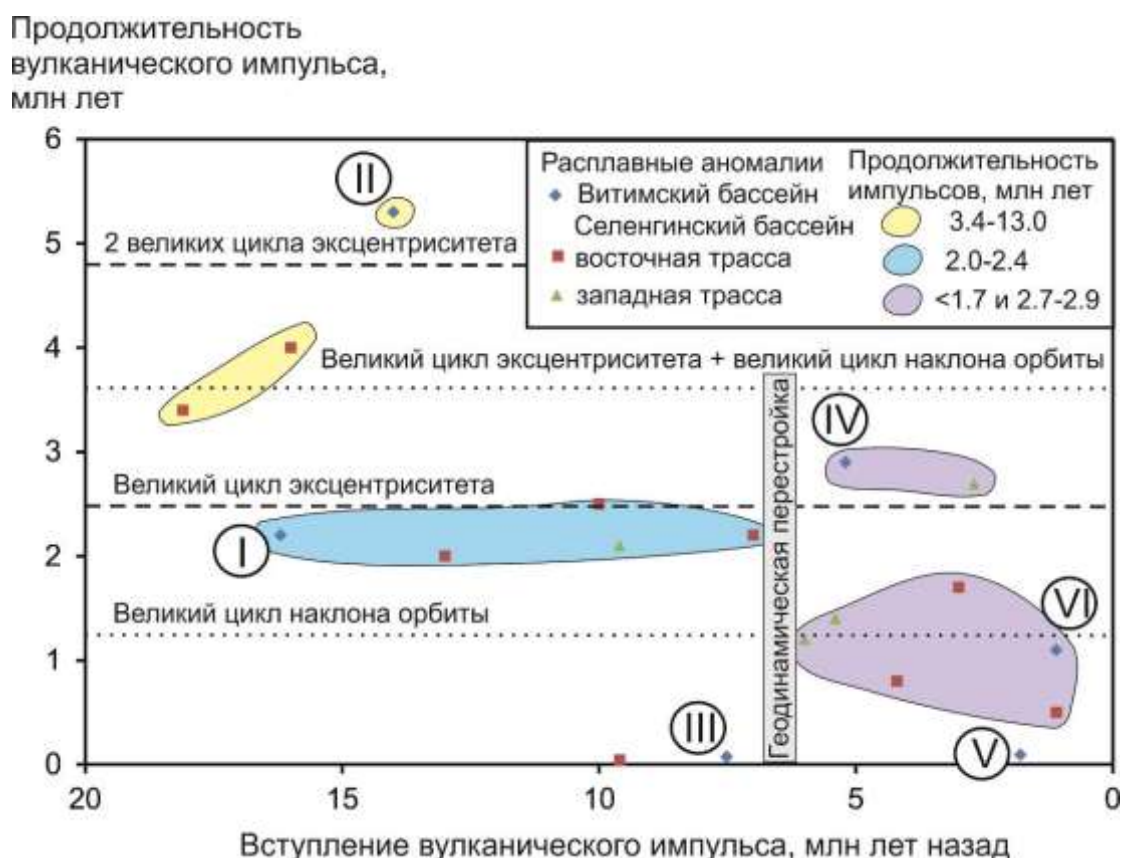


Рис. 16. Диаграмма изменения продолжительности импульсов мигрирующего вулканизма на северо-востоке и юго-западе БРС. Диаграмма составлена на основе рис. 15 (объяснение в тексте).

Fig. 16. Diagram of changes in duration of impulses of migrating volcanism in the northeast and southwest of the BRS. The diagram is based on Fig. 15 (explanation in the text).

Четвертичные вулканические импульсы связывались с астрономической цикличностью, отражающейся в седиментации (циклы Миланковича). Вулканические импульсы конца плейстоцена и голоцена сопоставлялись с седиментационной регулярностью

порядка 10–14 тыс. лет, выявленной А.А. Кульчицким в Муйско-Куандинской впадине. Эпизоды смены осадконакопления, обусловленные прерывистым поднятием Северо-Муйского хребта, были датированы интервалами: 58.0–56.5; 39.0–36.5; 24.0–22.3

и 13.5–12.9 тыс. лет назад (некалиброванные датировки ^{14}C). По результатам радиоуглеродного датирования древесных остатков, захороненных в шлаках или погребенных под лавовыми потоками вулканические извержения последних 15 тыс. лет были охарактеризованы как регулярные процессы, происходившие в масштабе Азии с квазипериодичностью порядка 2–3 тыс. лет (Рассказов, 1999; Чувашова и др., 2007).

Вопрос о проявлении цикличности в донных отложениях оз. Байкал обсуждался по материалу скважины BDP–96, пройденной на подводном Академическом хребте (Williams et al., 1997). Продолжительные орбитальные циклы в седиментационных летописях донных осадков оз. Байкал не определялись. В интервале от 1.8 до 0.8 млн лет назад была обозначена цикличность 41 тыс. лет (период наклона оси вращения Земли), а в течение последующих 0.8 млн лет – цикличность 100 тыс. лет (период эксцентриситета). В интервале последних 400 тыс. лет, предположительно, регистрировалась цикличность 23 тыс. лет (период прецессии).

Массовое ^{40}Ar – ^{39}Ar датирование вулканических пород Центральной Монголии: соотношение новых возрастных оценок с прежде полученными радиоизотопными датировками

Итак, вулканизм Байкальской рифтовой системы в 2000–2010-х гг. получил интерпретацию как планетарный квазипериодический процесс. В 2018 г. была опубликована статья (Ancuta et al., 2018), в которой приведено массовое Ar – Ar датирование вулканических пород Центральной Монголии. По 235 новым датировкам валовых составов вулканических пород сделан вывод о том, что вулканическая активность на этой территории начала возрастать в начале миоцена, достигнув своего пика в среднем миоцене с постепенным уменьшением объема к голоцену.

Ar – Ar способ датирования в K – Ar изотопной системе дает внутренний контроль правильности измерений по анализу соотношений температурных ступеней и меньшую погрешность, чем классический способ расчета возраста по измеренному содержанию калия в породе и измеренной

фракции выделенного из нее радиогенного ^{40}Ar . Возникает вопрос об информативности новых датировок для понимания геологического строения вулканических полей и эволюции вулканизма территорий. В какой мере новые данные дополняют или корректируют построения, выполненные прежде Е.В. Девяткиным (1981), группой В.В. Ярмолюка (1994, 2007) и представленные в монографической сводке радиоизотопных датировок (Рассказов и др., 2012).

Сопоставление радиоизотопных данных о возрасте вулканических пород побережья оз. Хубсугул и Прихубсугулья (табл. 3) свидетельствует о воспроизведении в работе 2018 г. возрастного диапазона вулканических пород, имевшегося в 2012 г. Из нового датирования выпали породы двух довольно продолжительных интервалов, представленных сериями датировок: 9.1–6.17 млн лет (интервал продолжительностью около 3 млн лет) и 19.5–13.8 млн лет (интервал продолжительностью 6.3 млн лет). Хорошее соответствие датировок 2012 и 2018 гг. получено в начале диапазона (26–24 млн лет) и в его конце (10.2–9.5 и 5.4 млн лет). В середине диапазона (от 21.4 до 10.5 млн лет) датировки 2012 и 2018 гг. расходятся между собой на 0.5–1.5 млн лет. Сходство датировок свидетельствует о датировании коротких вулканических импульсов в начале и в конце вулканизма. Расхождение датировок может отражать образование вулканических сооружений промежуточного возрастного интервала 21.4–10.5 млн лет в результате неоднократных вулканических извержений и вовлечение в опробование разными авторами разновозрастных частей таких построек.

На Тарят-Чулутынском вулканическом поле (табл. 4) в датирование 2018 г. не включены породы двух возрастных интервалов 2012 г.: 5.6–0.6 и 7.1–5.9 млн лет. Интервал наиболее молодых извержений (0.05–0.009 млн лет назад) также не обозначен, но приведена ссылка на результаты датирования голоценовых извержений радиоуглеродным методом. Достижением нового датирования явилось получение пяти датировок в интервале 0.3–0.08 млн лет: 0.08, 0.16, 0.21, 0.24 и 0.3 млн лет. С учетом имеющихся дат 0.009 и 0.05 млн лет (соответственно, ^{14}C и

U–Th датировки), интервалы между событиями составляют (в ретроспективе, т.е. от настоящего времени к геологическому прошлому): 41, 30, 80, 50, 30 и 60 тыс. лет. После события 0.4 млн лет (извержение вулкана Шаварын-Царам) до следующего датированного события прошло 100 тыс. лет, а перед событием 0.4 млн лет был перерыв 50 тыс. лет, а еще раньше – 150 тыс. лет. Событие 0.6 млн лет назад отделено от предшествующего события более длительным интервалом (600 тыс. лет). Следовательно, в интервале последних 0.6 млн лет на Тарят-Чулутынском вулканическом поле извержения происходили через интервалы от 30 до 150 тыс. лет. Квазипериоды между извержениями в основном не превышали 100 тыс. лет (цикл Миланковича). До 0.6 млн лет назад извержения происходили не так часто. Новые данные датирования, таким образом, высветили значение рубежа 0.6 млн лет для эволюции вулканизма Тарят-Чулутынского поля. Прежде, это время было определено как основной заключительный рубеж перераспределения вулканизма в БРС (Расказов и др., 2000).

На Верхне-Чулутынском вулканическом поле (табл. 5) диапазон вулканизма, благодаря новому датированию, расширен от 9.6 млн лет (2012 г.) до 12.88 млн лет (2018 г.). По вариациям содержания K_2O активность вулканизма этого поля вместе с вулканизмом Тарят-Чулутынского поля характеризуется тремя квазипериодами 2.5 млн лет (Чувашова и др., 2010; Расказов и др., 2012). По результатам дополнительного датирования 2018 г. добавляется еще один квазипериод 12.88–10.0 млн лет назад. Дополнительно определяются также интервалы: 6.37–6.81 млн лет в начале квазипериода 7.1–4.0 млн лет назад и 8.88–9.4 млн лет в начале квазипериода 9.6–8.0 млн лет назад. Однако в датировании 2018 г. на Верхне-

Чулутынском вулканическом поле пропущены интервалы 4.3–5.0 и 8.2–8.75 млн лет.

В верховьях Орхона новые датировки (Ancuta et al., 2018) не соответствуют опубликованным датам (Расказов и др., 2012), что требует пояснения. В монографии 2012 г. образцы имеют привязку к картам–схемам и разрезам с указанием координат GPS. Из-за ограниченного объема статьи 2018 г. привязка датированных образцов дана только координатами GPS. Суждение о геологическом значении образцов, в этом случае, может составить только геолог, побывавший на местности. Из сопоставления координат, приведенных в работах 2012 и 2018 гг., следует, что прямое сопоставление полученных геохронометрических данных невозможно, поскольку опробовались и датировались разные обнажения (табл. 6).

Лавовые потоки, заполнившие днище долины, имеющие хорошо сохранившуюся поверхностную морфологию, дали нулевой возраст и 0.25 млн лет. При малых концентрациях радиогенного аргона достоверность датирования в K–Ar изотопной системе низкая в связи с возможным присутствием избыточного аргона. По двум сериям образцов здесь получены U–Th-изохронные оценки возраста 35 и 38 тыс. лет (Расказов и др., 2012).

Более ранние «долинные» потоки верховьев Орхона датированы единым плиоцен-эоплейстоценовым интервалом 3.27–2.13 млн лет (Ancuta et al., 2018). В этом интервале находятся многочисленные датировки пород, полученные на значительной протяженности речной долины в субширотной зоне трансенсии. Этот интервал слегка превышает K–Ar датировка 3.63 ± 0.19 млн лет (Расказов и др., 2012). Она получена для потока умеренно калиевых базальтов из верхней пачки обнажения, опробованного выше устья р. Улясатайн-Гол (рис. 17).

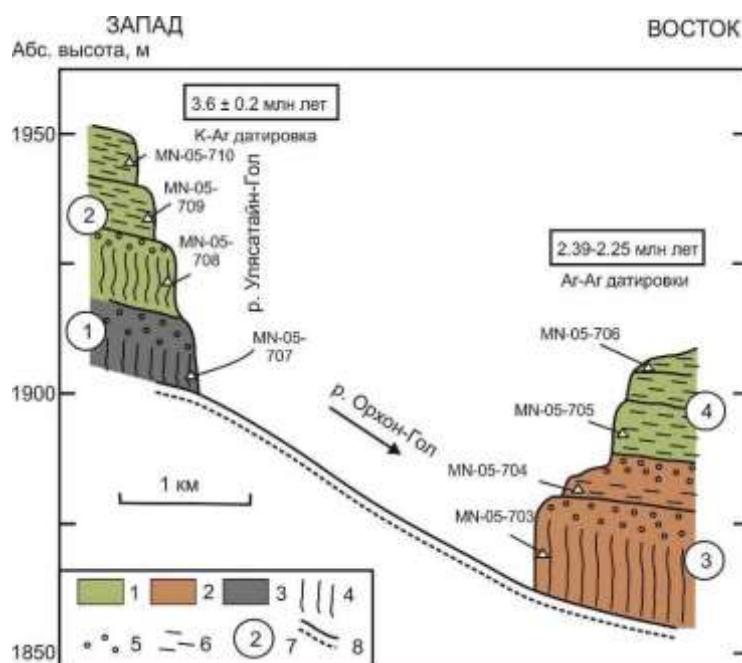


Рис. 17. Последовательность лавовых извержений в верховьях р. Орхон вблизи устья р. Улясатайн. Приведен разрез рис. 3.14 из монографии (Рассказов и др., 2012) с дополнением в нем интервала Ar–Ar датировок 2.39–2.25 млн лет, приведенных в статье (Ancuta et al., 2018) для серии образцов из двух вулканических останков, расположенных в долине р. Орхон ниже устья р. Улясатайн-Гол. 1–3 – состав лавовых пачек: 1 – умеренно-K базальты (пачки 2 и 4), 2 – высоко-K базальты (пачка 3), 3 – Na-трахиандезиты (пачка 1); 4 – столбчатая отдельность; 5 – пористость границы потока; 6 – толстоплитчатая отдельность; 7 – номер лавовой пачки; 8 – тальвег речной долины. Вертикальный масштаб в ~40 раз превышает горизонтальный.

Fig. 17. Sequence of lava eruptions in the upper current of the Orkhon River near the mouth of the Ulyasatayn River. The section of Fig. 3.14 from the monograph (Рассказов и др., 2012) with the addition of the Ar–Ar dating interval of 2.39–2.25 Ma given in the paper (Ancuta et al., 2018) for a series of samples from two volcanic remnants located in the valley of the Orkhon River in its lower current. 1–3 – composition of lava members: 1 – moderate-K basalts (packages 2 and 4), 2 – high-K basalts (package 3), 3 – Na-trachyandesites (package 1); 4 – columnar joints; 5 – porosity of flow boundary; 6 – thick-plate joints; 7 – lava package number; 8 – river valley thalweg. The vertical scale is ~40 times larger than the horizontal one.

В разрезе, представленном в монографии, ниже базальта возрастом 3.6 млн лет залегает поток трещиноватых Na-трахиандезитов. Трахиандезиты сильно деформированы, базальты деформациям не подвержены. Ниже по течению р. Орхон пачка умеренно-K базальтов перекрывает пачку высоко-K базальтов, обнажающуюся на урезе реки. Признаков деформаций пород не отмечено. В 11 км выше по течению р. Орхон (в левом борту ее притока – р. Тонгорын-Гол) умеренно-K базальты отсутствуют. Здесь пачка высоко-K базальтов находится выше пачки Na-трахиандезитов, подобных по составу породам основания разреза в приустьевой части р. Улясатайн-Гол (разрез рис. 3.28 в монографии Рассказова и др. (2012)).

Умеренно-K состав имеют верхнеплиоценовые лавы днища долины, поэтому для временного интервала последних 3.6 млн лет предполагался общий умеренно-K состав базальтов. Породы устья р. Улясатайн-Гол с Na-трахиандезитами не датировались Ar–Ar методом. Между тем, в двух обнажениях, расположенных ниже по р. Орхон, получен узкий интервал Ar–Ar датировок 2.39–2.25 млн лет (Ancuta et al., 2018), который свидетельствует о едином вулканическом импульсе со сменой высоко-K базальтов базальтами умеренно-K состава. Поскольку пачка высоко-K базальтов прослеживается на уровне тальвега долины Орхона выше по течению реки, породы этой пачки, по-видимому, в основном и составили интервал Ar–Ar датировок 3.27–2.13 млн лет.

Из перехода от высоко-К базальтов к базальтам умеренно-К состава в обнажениях пород с интервалом Ar–Ar датировок 2.39–2.25 млн лет следует, что в извержениях узкого временного интервала высоко-К лавы сменились лавами умеренно-К состава. Умеренно-К лавы приустьевой части р. Улясатин-Гол могут представлять собой более раннее извержение лав этого типа. Получается последовательность четырех лавовых пачек (рис. 17).

На вулкане Алтаг-Толгой-Ула для высоко-К базальтов получены K–Ar датировки 5.5 ± 0.3 млн лет и 5.4 ± 0.2 млн лет. Ar–Ar датирование этого вулкана не проводилось, но был датирован тектонически-наклоненный поток левого борта Орхона, распложенный в 4–6 км ниже по течению от вулкана Алтаг-Толгой-Ула. Датировка 7.59 млн лет, полученная методом ^{40}Ar – ^{39}Ar (Ancuta et al., 2018), обозначает начало вулканической активности на Верхне-Орхонском поле в позднем миоцене.

Новые Ar–Ar датировки показывают пространственно-совмещенные в верховьях Орхона вулканические породы плиоцен-эоплейстоценового интервала 3.27–2.13 млн лет и олигоцен-раннемиоценового интервала

32.38–18.98 млн лет. Самые молодые даты плиоцен-эоплейстоценового интервала 2.16–2.13 млн лет в верховьях р. Улясатин-Гол ассоциируются с датировками 22.56–21.89 и 18.98 млн лет. В северо-западной части бассейна Орхона датировка 3.04 млн лет плиоцен-эоплейстоценового интервала ассоциируется с датой 32.38 млн лет и интервалом 22.24–20.29 млн лет.

Датировка 7.59 млн лет начинает события Верхне-Орхонского вулканического поля с квазипериодичностью 2.5 млн лет, соответствующей великим циклам эксцентриситета орбитального вращения Земли. На вулканических полях Восточного Хангая и Орхон-Селенгинской седловины обозначается смена фаз извержений около 7.5 млн лет назад, от согласованных временных вариаций калия к противофазным и смещенным по фазе извержениям (рис. 18).

Не рассматривая далее данные (Ancuta et al., 2018) по другим вулканическим полям Центральной Монголии, обратим внимание только на три Ar–Ar датировки вулканических пород района самона Их-Тамир: 13.88, 13.92 и 13.99 млн лет. Они древнее прежде опубликованной даты 9.7 млн лет.

Т а б л и ц а 3

Сопоставление радиоизотопных датировок побережья оз. Хубсугул и Прихубсугуля, имевшихся к 2012 г., и новых датировок, опубликованных в 2018 г.

Совпадающие датировки, млн лет		Несовпадающие датировки, млн лет	
Рассказов и др., 2012	Ancuta et al., 2018	Рассказов и др., 2012	Ancuta et al., 2018
5.4	5.69–5.33		
		9.1–6.17	
9.5–9.7	9.66–9.5		
9.9	9.92		
10.2	10.22		
			10.49
		11.6–11.0	
			12.59–12.31
		19.5–13.8	
			20.95–20.83
		21.4–21.8	
24.4	24.46–23.04		
25.0	25.04		
26.4	26.1		
		27.6	

Примечание: Жирным шрифтом здесь и далее обозначены продолжительные интервалы, представленные сериями датировок, имевшимися к 2012 г. и не воспроизведенными в 2018 г.

Т а б л и ц а 4

Сопоставление радиоизотопных датировок Тарят-Чулутынского вулканического поля, имевшихся к 2012 г., и новых датировок, опубликованных в 2018 г.

Совпадающие датировки, млн лет		Несовпадающие датировки, млн лет	
Рассказов и др., 2012	Ancuta et al., 2018	Рассказов и др., 2012	Ancuta et al., 2018
		0.05–0.009	
			0.3–0.08
0.4	0.4		
			0.45
		5.6–0.6	
5.8	5.86		
		5.9–7.1	

Примечание: Шрифтом жирный италик здесь и далее обозначены интервалы, представленные сериями новых датировок 2018 г., отсутствующие в 2012 г.

Т а б л и ц а 5

Сопоставление радиоизотопных датировок Верхне-Чулутынского вулканического поля, имевшихся к 2012 г., и новых датировок, опубликованных в 2018 г.

Совпадающие датировки, млн лет		Несовпадающие датировки, млн лет	
Рассказов и др., 2012	Ancuta et al., 2018	Рассказов и др., 2012	Ancuta et al., 2018
		2.1	
2.7	2.61–2.56		
4.0	4.14–3.96		
4.3	4.26–4.2		
		5.0–4.3	
			5.18
		5.5	
			6.81–6.37
7.4	7.49–7.45		
			7.65
8.1–8.0	8.08–7.95		
		8.75–8.2	
			9.4–8.88
9.6	9.75–9.59		
			12.88–9.99

Т а б л и ц а 6

Сопоставление радиоизотопных датировок Верхне-Орхонского вулканического поля, имевшихся к 2012 г., и новых датировок, опубликованных в 2018 г.

Совпадающие датировки, млн лет		Несовпадающие датировки, млн лет	
Рассказов и др., 2012	Ancuta et al., 2018	Рассказов и др., 2012	Ancuta et al., 2018
		0.038–0.035 (U–Th)	
			0.25–0.0
			2.39–2.25
			3.27–2.13
		3.6	
		5.4–5.5	
			7.59
			18.98
			22.56–20.29
			32.38

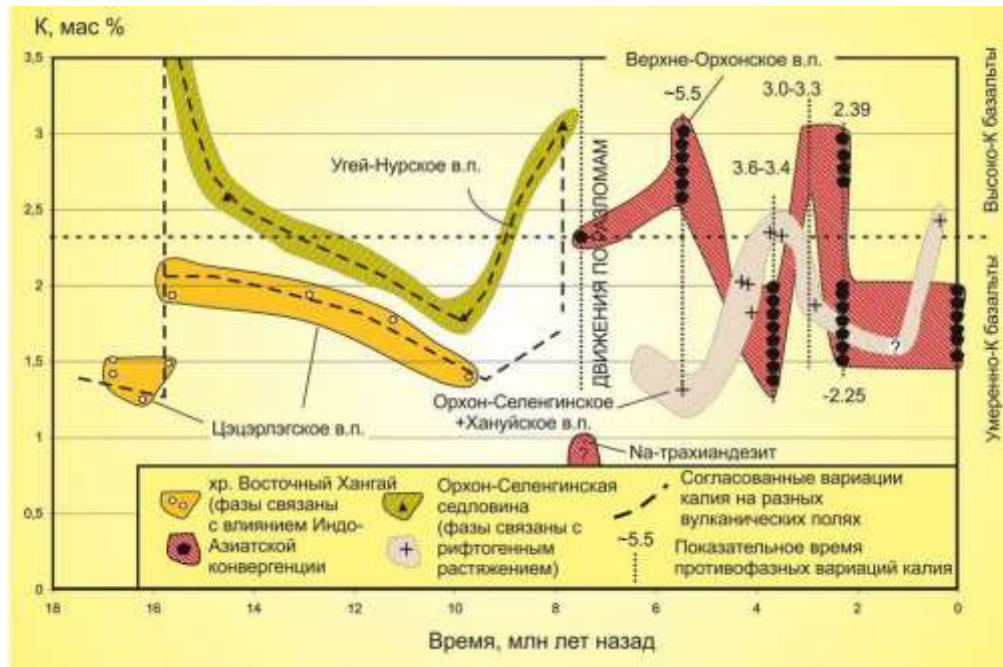


Рис. 18. Смена фаз извержений на вулканических полях Восточного Хангая и Орхон-Селенгинской седловины около 7.5 млн лет назад: от согласованных временных вариаций калия к противофазным и смещенным по фазе. Данные (Рассказов и др., 2012). Для Верхне-Орхонского вулканического поля (в.п.) использованы также новые Ar–Ar датировки (Ancuta et al., 2018). Na-трахиандезит не датировался. Извержение лав этого состава коррелируется по начальным сильным деформациям с наклоненным лавовым потоком возрастом 7.59 млн лет.

Fig. 18. Change of eruption phases in volcanic fields of East Hangay and Orkhon-Selenga Saddle about 7.5 million years ago: from consistent temporal variations of potassium to antiphase and phase-shifted. Data from (Рассказов и др., 2012). New Ar–Ar dates were also used for the Upper Orkhon volcanic field (в.п.) (Ancuta et al., 2018). Na-trachyandesite has not been dated. Lavas of this specific composition are correlated due to initial strong deformations with a tilted lava flow aged 7.59 Ma.

По новым Ar–Ar датировкам (Ancuta et al., 2018) в верховьях Орхона обозначился раннемиоценовый интервал 22.56–18.98 млн лет, который соответствует интервалу датировок, характерных для вулканической полосы Восточной и Центральной Азии, образовавшейся при запуске режима роллбэк в Япономорской подвижной системе (Rasskazov, Chuvashova, 2017). Дифференциальный сдвиг литосферы вдоль северного края Сино-Корейского кратона обеспечил обратный поток астеносферы под этой поло-

сой, ставший причиной инициации локальной субдукции Тихоокеанского слэба. Около 23 млн лет назад базальтовые вулканические извержения локализовались вдоль северного края Сино-Корейского кратона и вследствие импульса растяжения в интервале 22–17 млн лет назад распространились на обширной территории от Японии до Саян (рис. 19). Механизм роллбэк ярко проявился около 15 млн лет в развороте Юго-Западной Японии по часовой стрелке на 30 градусов с раскрытием Японского моря (Otofujii, 1996).

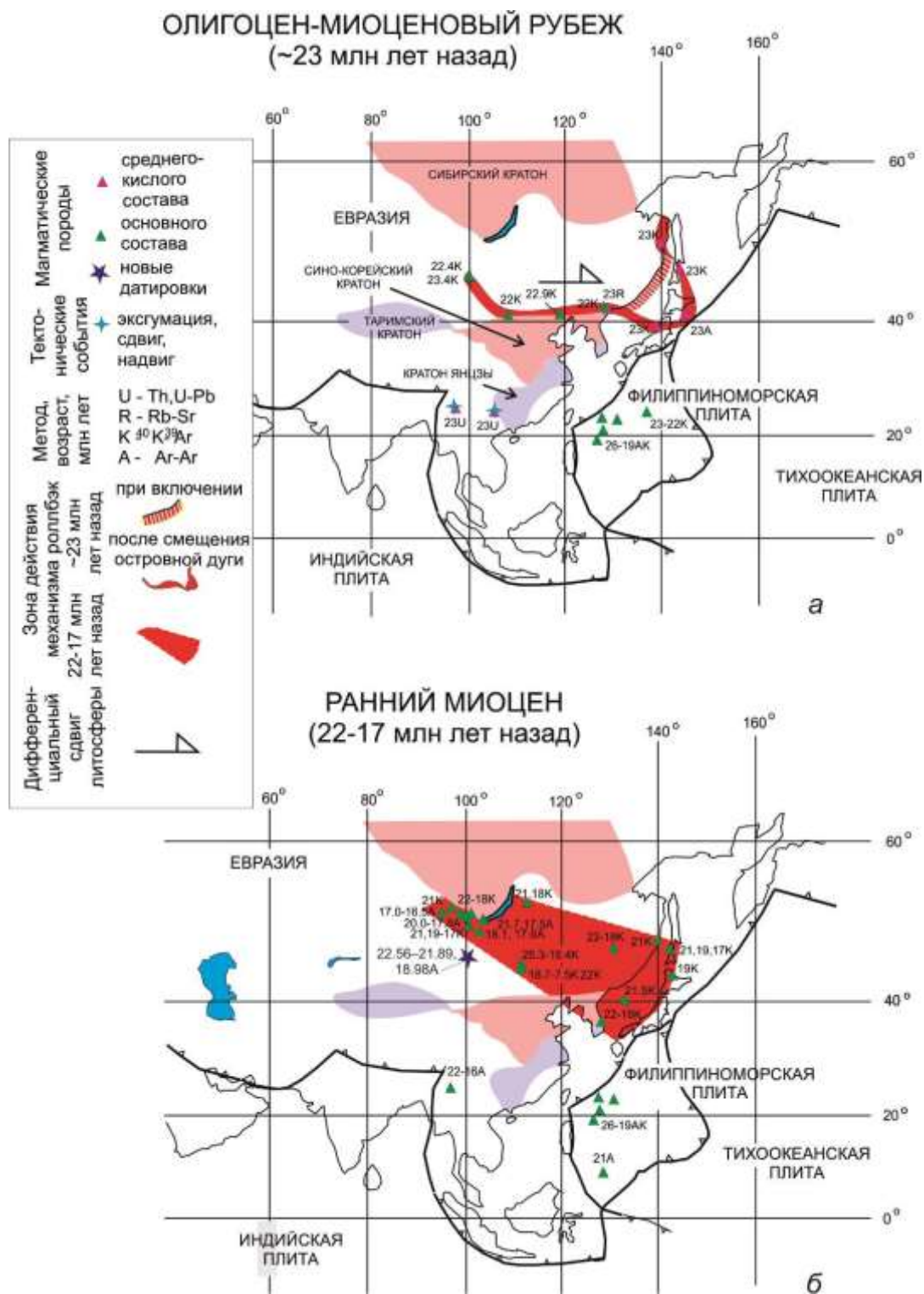


Рис. 19. Пространственное соотношение нового датированного вулканического интервала в Восточном Хангае (Ancuta et al., 2018) с пространственно-временным распределением вулканизма Восточной и Центральной Азии при запуске режима роллбэк в Япономорской подвижной системе (Rasskazov, Chuvashova, 2017).

Fig. 19. Spatial relationship of the new dated volcanic interval in Eastern Hangay (Ancuta et al., 2018) with the spatial-temporal distribution of volcanism in East and Central Asia during the launch of the rollback regime in the Sea of Japan mobile system (Rasskazov, Chuvashova, 2017).

В целом, из сопоставления датировок в настоящем разделе следует, что прорыв в радиоизотопном датировании вулканических пород Центральной Монголии с оформлением к 2012 г. гипотезы об иерархической систематике вулканических импульсов Азии, в основном нашел подтверждение при массовым $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ датировании, выполненном к 2018 г.

Источники вулканизма ЯБГК во времени и пространстве

Позднефанерозойские вулканические породы Азии маркируют Эволюционированные ПротоМантийные Источники (МЭПИ) и КОмплементарные КороМантийные Источники (КОМКИ) (рис. 20). Материал МЭПИ подобен материалу источников базальтов океанических островов (ОИВ) и, сле-

довательно, может относиться к глубокой мантии Земли. Материал КОМКИ отличается от материала источников ОИВ и обозначает протолиты коромантийного перехода, которые могут характеризовать в целом верхнюю хрупкую (литосферную) оболочку Земли в геофизическом понимании, но с добавлением подстилающей литосферу вязкой части мантии, не фиксируемой геофизическими методами в составе литосферы. По ОИВ-подобным магматическим источникам глубокой мантии и источникам, отличающимся от ОИВ, определяются зоны структурного несогласия, которые могут играть роль границ существенного разноглубинного смещения слоев МЭПИ относительно слоев КОМКИ.

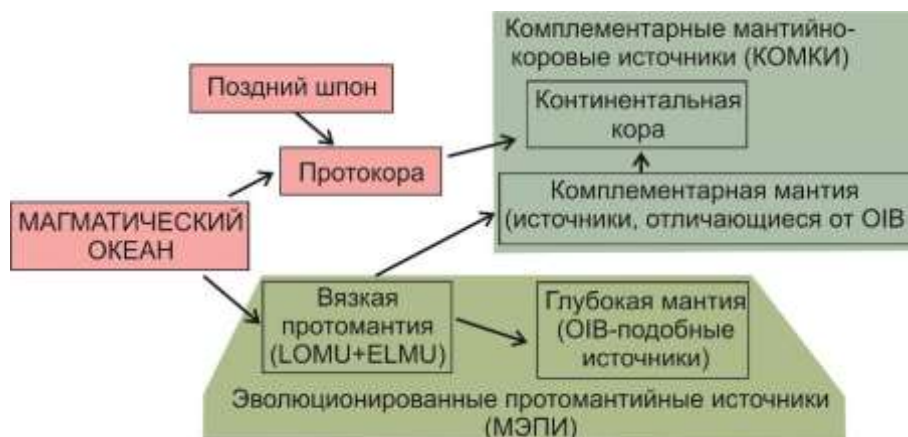


Рис. 20. Блок-диаграмма образования источников позднефанерозойских вулканических пород Азии (Чувашова и др., 2022б).

Fig. 20. Flow-chart for generation of sources for Late Phanerozoic volcanic rocks in Asia (Chuvashova et al., 2022b).

Вдоль Японско-Байкальского геодинамического коридора реализуется движение верхней части коры с современной скоростью 3 см/год (данные GPS-геодезии) относительно Северо-Байкальской и Шкотовско-Шуфанской низкоскоростных аномалий по относительно малоглубинной зоне структурного несогласия МЭПИ и КОМКИ, не нарушившей корневых частей расплавных аномалий. Широкая и протяженная Восточно-Монгольская низкоскоростная аномалия распространяется от оси геодинамического коридора до Уланхада-Ханнуобинской расплавной аномалии в связи с более глубокой

(150–300 км) активизацией зоны структурного несогласия МЭПИ и КОМКИ.

Материал МЭПИ геодинамических центров Витимской, Шкотовско-Шуфанской и Ханнуоба-Даригангской расплавных аномалий поднимался из глубокой мантии в связи с повышенной мел-палеогеновой активностью юго-западного крыла Японско-Байкальского геодинамического коридора, выраженной вулканическими извержениями временного интервала 90–25 млн лет назад. Подъем материала МЭПИ геодинамических центров резко обозначился в раннем-среднем миоцене во время раскрытия задугового Япономорского бассейна около 15

млн лет назад в связи с вращением Юго-Западной Японии по часовой стрелке. В Витимской расплавной аномалии плавился только материал протомантийного источника LOMU и его производных, тогда как в Ханнуоба-Даригангской расплавной аномалии латерально сменялись протомантийные источники LOMU–ELMU и их производные. Геодинамические центры Витимской и Шкотовско-Шуфанской расплавных аномалий проявляли активность в оси Японско-Байкальского геодинамического коридора на фоне малоглубинных смещений в зоне структурного несогласия МЭПИ–КОМКИ, тогда как геодинамический центр Ханнуоба-Даригангской расплавной аномалии активизировался в условиях относительного погружения зоны структурного несогласия в его юго-западном крыле.

Движение литосферы относительно низкоскоростных (расплавных) аномалий вдоль оси Японско-Байкальского геодинамического коридора и его юго-западного фланга различается. Витимское поле и Шкотовско-Шуфанская группа вулканических полей смещались вдоль оси одинаково с закрепленной в литосфере вулканической активностью в последние 15 млн лет по отношению к соответствующим верхнемантийным низкоскоростным аномалиям. Проникновение магматических расплавов от них в перекрывающую литосферу прекращалось. Южно-Гобийская группа вулканических полей потеряла активность в конце палеогена и оказалась смещенной относительно низкоскоростной аномалии переходного слоя приблизительно на 600 км без проникновения магматических расплавов в перекрывающую литосферу (Rasskazov, Chuvashova, 2017). Приблизительно на такое же расстояние сместилось вулканическое поле Чифенг с K–Ar датировками пород в интервале от 97 до 86 млн лет (Zheng et al., 2002; Zhao et al., 2004) относительно ядра Восточно-Монгольской низкоскоростной аномалии (рис. 21).

В отличие от Южно-Гобийской расплавной аномалии, обозначившейся вулканизмом только в начале вулканизма, горячий след выражен в позднекайнозойском вулканизме на всем его протяжении от Чифенга

до Дариганги (вулканические поля Чифенг, Далинуор, Абага и Дариганга). Другое отличие этого горячего следа заключается в его простирании на юго-восток – северо-запад. Расплавные аномалии осевой части ЯБГК имеют общее простирание на юго-юго-восток – северо-северо-запад, совпадающее с современным встречным движением Азии и Тихоокеанской плиты. Отклонение Чифенг-Даригангского горячего следа от этой траектории объясняется выдвиганием тектонических блоков юго-восточной Азии к югу на новейшем геодинамическом этапе.

Заключение

История изучения и датирования новейшего вулканизма БРС условно разделяется на пять этапов, обеспечивших прорыв в изучении и датировании новейшего вулканизма БРС. В результате была предложена гипотеза о развитии мантийных расплавных аномалий в Японско-Байкальском геодинамическом коридоре и в его перекрытии областью Индо-Азиатской конвергенции. В гипотезе ЯБГК данные по вулканизму были согласованы с моделями сейсмической томографии. В результате геохимических исследований вулканических пород на геохронометрической основе была установлена пространственно-временная смена мантийных источников Азии на новейшем геодинамическом этапе ее движения в направлении на восток-юго-восток.

В северо-восточной части БРС, под Витимским бассейном Забайкалья, базальтовые выплавки генерировались на глубинах верхней мантии (300–250 км) в осевой части ЯБГК (в Витимской расплавной аномалии) и в целом на меньших глубинах на его северо-северо-восточном фланге (в Удоканской расплавной аномалии). Деформации литосферы, согласованные в ее нижней упругопластичной и верхней хрупкой частях, передавались в последние 16 млн лет с противofазным проникновением базальтовых расплавов сквозь литосферу от Витимской расплавной аномалии к Удоканской вдоль Витимо-Удоканской зоны горячей трансформации.

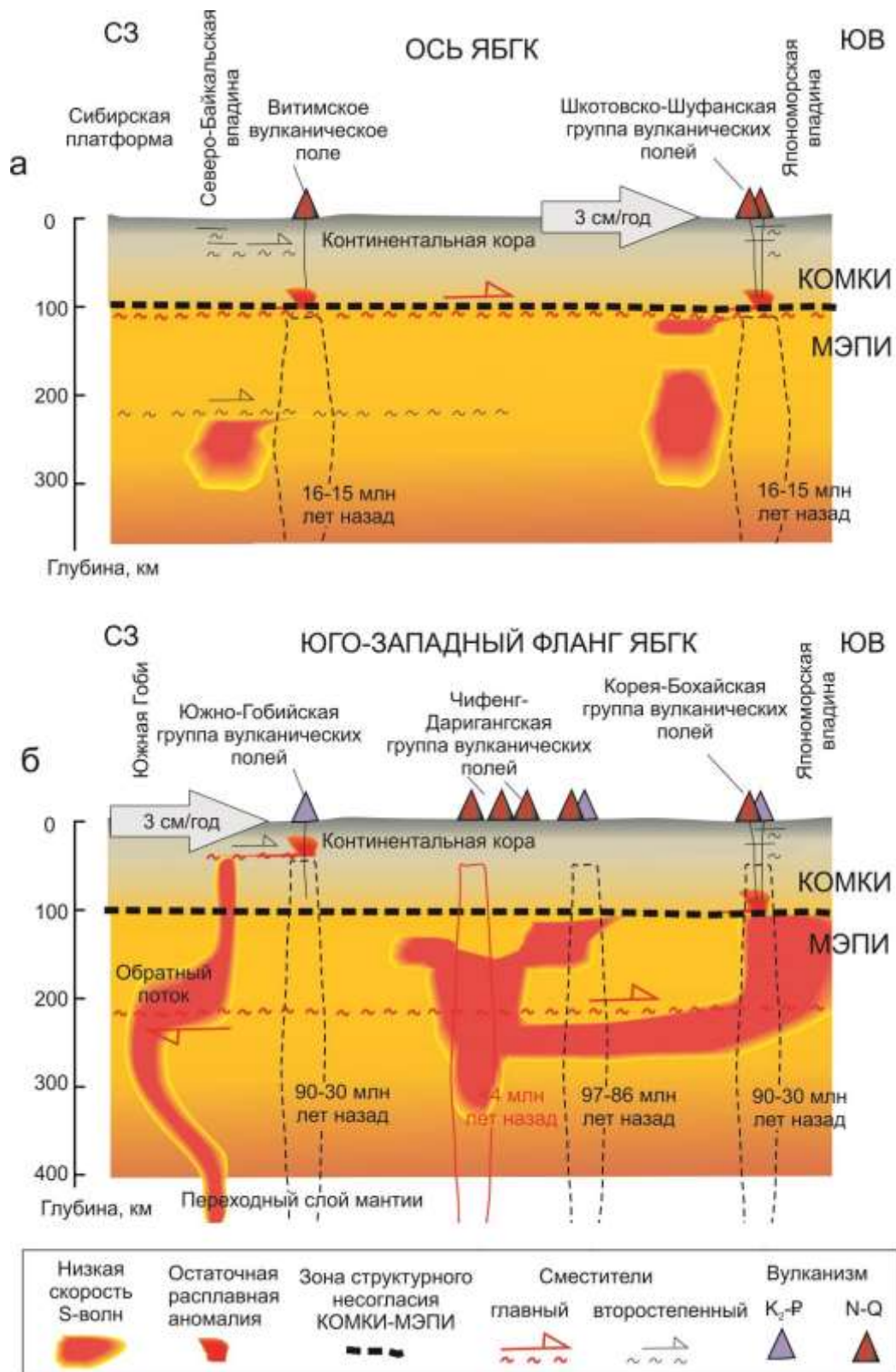


Рис. 21. Схематичные профили распределения низкоскоростных аномалий в верхней мантии в оси Японско-Байкальского геодинамического коридора (а) и на его юго-западном фланге (б) (Чувашова и др., 2022б с изменениями).

Fig. 21. Schematic profiles showing low-velocity anomalies in the upper mantle along the axis of the Japan-Baikal geodynamic corridor (а) and on its southwestern flank (б) (explanation in the text). Modified after Chuvashova et al. (2022b).

В юго-восточной части БРС, под Хангайским орогеном и сопредельным Селенгинским бассейном Центральной Монголии, базальтовые выплавки генерировались на глубинах верхней мантии – нижней коры (220–40 км). Нижняя упруго-пластичная часть литосферы деформировалась с проникновением базальтовых расплавов в условиях трансенсии, вызванной затягиванием мантийного материала с периферии в осевую часть ЯБГК, а верхняя хрупкая часть – в условиях транспрессии, производной Индо-Азиатской конвергенции.

Транстенсинно-транспрессионная геодинамика проявилась во временном интервале 32–8 млн лет назад с преобладанием фактора затягивания мантийного материала с периферии в осевую часть ЯБГК. Во временном интервале 7–2 млн лет назад включался фактор правостороннего скольжения Центрального Хангая относительно Восточного Хангая и Селенгинского бассейна вдоль субмеридиональной Чулутынской зоны.

Выполненное радиоизотопное датирование позднекайнозойских вулканических пород Азии свидетельствует о существовании в иерархии вулканических извержений не менее четырех уровней квазипериодичности: 1) 30, 2) 5, 3) 0.6–0.24, 4) 0.4–0.1 млн лет. Геологическая квазипериодичность 30 млн лет имеет наиболее общее значение в развитии вулканизма ЮВ Азии. Она выражена в разделении пространственно-временного развития позднекайнозойского вулканизма на две половины. В олигоцене – раннем миоцене вулканизм был распространен на территориях между зоной Индо-Азиатской коллизии и Японским морем и между этой зоной и юго-западной частью БРС. Возросшая эндогенная активность во время среднемиоценового магматического интервала (около 16–14 млн лет назад) способствовала активизации вулканической деятельности в СВ части БРС. Вулканическая квазипериодичность длительностью 5 млн лет вписывается в квазипериодичность 30 млн лет. Вулканические максимумы квазипериодов 5 млн лет отчетливо выражены в интервалах 25–24, 21–19, 16–14, 11–9, 6–3 и <2 млн лет назад в Восточной Азии, охваченной рифтогенезом. Слабее она проявлена в более не-

прерывных вулканических последовательностях территории Центральной Азии, протянувшейся от Тибета до Восточного Саяна во фронте Индо-Азиатской конвергенции. Квазипериодичность отражена в миграции вулканизма в пределах вулканических полей, в вариациях состава лав и сочетается с импульсным поднятием горных хребтов. В течение четвертичного периода выделяются вулканические интервалы длительностью от 0.6 до 0.24 млн лет. Каждый из интервалов характеризуется своей повторяемостью вулканических максимумов, варьирующей от 0.3 до 0.1 млн лет. Пока остается неясным, характеризует ли квазипериодичность с длительностью 0.6–0.24 и 0.3–0.1 млн лет только четвертичный период или распространяется и на более ранние вулканические интервалы позднего кайнозоя.

Прорыв в датировании вулканических пород на территории Центральной Монголии, оформившийся к 2012 г., в общем, подтверждается массовым $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ датированием, выполненным в 2018 г.

Литература

Антощенко-Оленев И.В. Кайнозой Джидинского района Забайкалья. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. 127 с.

Арсеньев А.А. Геология правобережья Витима. Труды ИГН АН СССР, 1940. Вып. 27, № 7. 43 с.

Багдасарьян Г.П., Герасимовский В.И., Поляков А.И., Гукасян Р.Х. Новые данные по абсолютному возрасту и химическому составу вулканических пород Байкальской рифтовой зоны // Геохимия. 1981. № 3. С. 342–350.

Базаров Д.-Д.Б., Савинова В.В., Рассказов С.В., Резанов И.Н., Будаев Р.Ц. О стратиграфии и палинкомплексах раннекайнозойских отложений Витимского плоскогорья // Морфоструктура и статиграфия кайнозойских отложений Прибайкалья. Улан-Удэ: Геологический институт БФ СО АН СССР. 1984. С. 67–88.

Белов И.В. Трахибазальтовая формация Прибайкалья. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 371 с.

Брандт И.С., Рассказов С.В., Попов В.К., Брандт С.Б. Калиевая специфика базальтов Синеутесовской впадины: геохимические корреляции и проблемы калий–аргонового датирования (Южное Приморье) // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28, № 4. С. 75–89.

Бураков М. И., Федоров Э. И. Базальты междуречья Ии и Уды (Восточный Саян) // Вопросы геологии Азии. Т. I. М., Изд-во АН СССР. 1954. С. 359–382.

Габуня Л.К., Девяткин Е.В., Рубинштейн М.М. Данные об абсолютном возрасте кайнозойских образований Азии и их биостратиграфическое значение // Докл. АН СССР. 1975. № 4. С. 895–897.

Габуня Л.К., Рубинштейн М.М. О сопоставлении кайнозойских отложений Евразии и Сев. Америки на основании ископаемых млекопитающих и абсолютного возраста // Граница третичного и четвертичного периодов. М.: Наука. 1968. С. 90–97

Геншафт Ю.С., Салтыковский А.Я. Каталог включений глубинных пород и минералов в базальтах Монголии. М.: Наука, 1990. 71 с.

Геохимия мезозойских латитов Забайкалья / Л.В. Таусон, В.С. Антипин, М.Н. Захаров и др. Новосибирск: Наука, 1984. 215 с.

Гладких В.С., Конова Н.И., Соловьев В.А., Алтухов Е.Н. Петрохимические и геохимические особенности недифференцированных щелочных оливиновых базальтов северо-восточной Тувы // Геохимия. 1980. № 8. С. 1198–1206.

Гросвальд М.Г. Развитие рельефа Саяно-Тувинского нагорья. М., «Наука», 1965. 166 с.

Гросвальд М.Г., Станкевич Е.Н., Уфлянд А.К. Новые данные о базальтах Хамсара-Бийхемского междуречья в северо-восточной Туве // Материалы по региональной геологии. Всесоюзный аэрогеол. Трест. 1959. Вып. 5. С. 91–104.

Девирц А.Л., Рассказов С.В., Поляков А.И., Добкина Э.И. Радиоуглеродный возраст молодых вулканов хребта Удокан (Северо-Восточное Прибайкалье) // Геохимия. 1981. № 8. С. 1250–1253.

Девяткин Е.В. Кайнозой Внутренней Азии (стратиграфия, геохронология, корреляция). Тр. ССМГЭ, 1981. Вып. 27. 196 с.

Девяткин Е.В. Геохронология кайнозойских базальтов Монголии и их связь со структурами новейшего этапа // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2004. Т. 12, № 2. С. 102–114.

Девяткин Е.В., Смелов С.Б. Положение базальтов в разрезе осадочного кайнозоя Монголии // Изв. АН СССР. Сер. геологическая. 1978. № 1. С. 16–27.

Есин С.В., Пархоменко В.С., Травин А.В., Шестель Ю.Г. Петрогенезис Совгаванского толлит-щелочно-базальтового плато Восточного Сихотэ-Алиня: (К-Аг датирование возраста, петрохимическая и REE-характеристика) // Геология и геофизика. 1994. Т. 35, № 9. С. 21–33.

Иваненко В.В., Карпенко М.И., Яшина Р.М. и др. Новые данные о калий-аргоновом возрасте базальтов западного борта Хубсугульского рифта (МНР) // Докл. АН. 1989. Т. 309, № 4. С. 925–930.

Кепежинская В.В. Кайнозойские щелочные базальтоиды Монголии и их глубинные включения. Труды Совместной Советско-Монгольской научно-исследовательской геологической экспедиции. Вып. 25. М.: Изд-во «Наука», 1979. 312 с.

Кепежинская В.В., Гладких В.С., Зайков В.В., Курганьков П.П. Геохимия продуктов внутрилитного континентального вулканизма // Геохимия магматических пород современных и древних активных зон. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1987. С. 90–109.

Киселев А.И., Медведев М.Е. Кайнозойский вулканизм Окинского района (Восточный Саян) // Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья. 1969. Вып. 6, часть 4. С. 123–124.

Киселев А.И., Медведев М.Е., Головкин Г.А. Вулканизм Байкальской рифтовой зоны и проблемы глубинного магнезиообразования. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 197 с.

Корина Н.А. Хангайское нагорье // Геоморфология Монгольской Народной Республики: Труды Совместной Советско-Монгольской научно-исследовательской экспедиции. Вып. 28. М.: Наука. 1982. С. 87–108.

Кропоткин П.А. Поездка в Окинский караул // Записки Сибирского отдела Императорского Русского географического общества. Иркутск: Типография Окружного штаба. 1867. Книжки IX и X. С. 1–94.

Кудряшова Е.А., Ярмолюк В.В. Сравнительная характеристика Тарянского и Орхонского позднекайнозойских вулканических районов (Центральная Монголия): этапы формирования и состав вулканических продуктов // Геодинамика формирования подвижных поясов земли. Мат-лы международной научной конференции. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН. 2007. С. 169–174.

Кудряшова Е.А., Ярмолюк В.В., Лебедев В.А. и др. Геохронология и закономерности миграции вулканизма в пределах Хангайского позднекайнозойского вулканического ареала // Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма. Мат-лы III Российской конф. по изотопной геохронологии. Т. 1. М.: ГЕОС. 2006. С. 355–362.

Курганьков П.П. Особенности кайнозойского вулканизма Тувы // Тезисы докладов XII конференции молодых научных сотрудников по геологии и геофизики Восточной Сибири, Иркутск. 1986. С. 28–29.

Курганьков П.П. Кайнозойский вулканизм Тувы. Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 1988. 16 с.

Курганьков П.П., Мацера А.В. Структурно-геоморфологический анализ внутриконтинентального многофазного вулканизма // Геология и геофизика. 1987. № 8. С. 43–50.

Логачев Н.А. Кайнозойский вулканизм Тункинской впадины // Материалы по изучению производительных сил Бурятской АССР. Вып. 1. Улан-Удэ. 1954. С. 139–145.

Логачев Н.А. К геологии базальтов Юго-Западного Прибайкалья // Материалы по изучению производительных сил Бурятской АССР. Вып. 2. Улан-Удэ. 1956. С. 111–130.

Логачев Н.А. Кайнозойские континентальные отложения впадин байкальского типа // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1958. № 4. С. 18–29.

Логачев Н.А. Саяно-Байкальское становое нагорье // Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. М.: Наука. 1974. С. 7–163.

Логачев Н.А., Кравченко Е.В. Размещение базальтов в Тункинской впадине // Докл. АН СССР. 1955. Т. 104, № 3. С. 597–600.

Логачев Н.А., Девяткин Е.В., Малаева Е.М. и др. Кайнозойские отложения Тарятской впадины и долины р. Чулуту (Центральный Хангай) // Изв. АН СССР. Сер. геологическая. 1982. № 8. С. 76–86.

Лодочников В.Н. О базальтах Юго-Западного Прибайкалья // Советская геология. 1938. № 8. С. 92–103.

Лодочников В.Н. К геологии базальтов бассейна р. Иркутка // Изв. АН СССР. Серия геол. 1941. № 2. С. 84–102.

Лопатин Д.В., Томилов Б.В. Иркутские научные школы геологии, геоморфологии, палеогеографии и геодинамики кайнозоя. СПб.: НИКА, 2011. 144 с.

Львов А.В. Из геологического прошлого средней части долины реки Иркутка в пределах от Тункинской котловины до Зыркузунского хребта // Известия Вост.-Сиб. отд. Русск. геогр. о-ва. 1924. Т. 46, Вып. 3. С. 3–7.

Мацера А.В., Рассказов С.В. Палеогеоморфологические условия развития вулканизма в Хамсара-Бий-Хемском междуречье (Восточный Саян) // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1990. № 8. С. 23–30.

Обручев С.В. Молодые движения и излияния базальтов Тувино-Монгольского нагорья // Землеведение, нов. сер. 1950. Т. 3. С. 26–31.

Обручев С.В., Лурье М.Л. Вулканы Кропоткина и Перетолчина в Восточном Саяне // Труды

Лаборатории вулканов. Вып. 8. М.: Изд-во АН СССР. 1954. С. 210–225.

Окнова Т.Н. К петрографии базальтов Монголии и Тувы. Тр. Монгольск. комисс. АН СССР, 1940. № 37, Вып. 11. 32 с.

Рассказов С.В. Базальтоиды Удокана. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. 142 с.

Рассказов С.В. Пространственно-временное развитие мезо-кайнозойского базальтового вулканизма юга Сибири // Докл. АН СССР. 1990. Т. 311, № 5. С. 1201–1204.

Рассказов С.В. Магматизм Байкальской рифтовой системы. Новосибирск: ВО "Наука". Сибирская издательская фирма, 1993. 288 с.

Рассказов С.В. Среднеголоценовое изменение тектонических напряжений в вулканической зоне хребта Удокан, Восточная Сибирь // Вулканология и сейсмология. 1999. № 2. С. 70–74.

Рассказов С.В., Батырмурзаев А.С. Кайнозойские базальты Витимского плоскогорья и определение их возраста // Геология и геофизика. 1985. № 5. С. 20–28.

Рассказов С.В., Чувашова И.С. Глобальное и региональное выражение новейшего геодинамического этапа // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. 2013. Т. 88, № 4. С. 21–35.

Рассказов С.В., Бовен А., Андре Л. и др. Развитие магматизма на северо-востоке Байкальской рифтовой системы // Петрология. 1997. Т. 5, № 2. С. 115–136.

Рассказов С.В., Бовен А., Иванов А.В., Семенова В.Г. Среднечетвертичный вулканический импульс в Олекмо-Становой подвижной системе: $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ датирование вулканитов Токинского Становика // Тихоокеанская геология. 2000. № 4. С. 19–28.

Рассказов С.В., Кунк М.Дж., Лур Дж.Ф. и др. Эпизоды извержений и вариации состава четвертичных лав Байкальской рифтовой системы ($\text{Ar}-\text{Ar}$ и $\text{K}-\text{Ar}$ датирование вулканизма бассейна Джиды) // Геология и геофизика. 1996а. Т. 37, № 6. С. 3–15.

Рассказов С.В., Логачев Н.А., Брандт И.С., Брандт С.Б., Иванов А.В. Эпизодичность четвертичного вулканизма Байкальской рифтовой системы в приложении к геодинамике юго-восточной части Евразийской плиты // Геодинамика и эволюция Земли. Мат-лы к научной конференции РФФИ. Новосибирск: Из-во СО РАН. 1996б. С. 93–95.

Рассказов С.В., Масловская М.Н., Батырмурзаев А.С., Мацера А.В., Зеленков П.Я., Авдеев В.А., Омарова М.Р., Гаргацев И.О., Магомедов Ш.А. Состав, стронциевая изотопия и калий-аргоновое датирование новейших базальтов Тувы // Геология и геофизика. 1989. № 2. С. 77–85.

- Рассказов С.В., Мацера А.В., Курганьков П.П. Петрогенные элементы в позднекайнозойских базальтах Тувы // Советская геология. 1988. № 2. С. 84–89.
- Рассказов С.В., Мельников О.А., Рыбин А.В., Гурьянов В.А., Ясныгина Т.А., Брандт И.С., Брандт С.Б., Саранина Е.В., Масловская М.Н., Фефелов Н.Н., Жаров А.Э. Пространственная смена глубинных источников кайнозойских вулканических пород западного побережья Южного Сахалина // Тихоокеанская геология. 2005. Т. 24, № 2. С. 10–32.
- Рассказов С.В., Приходько В.С., Саранина Е.В., Брандт И.С., Брандт С.Б., Масловская М.Н., Ясныгина Т.А., Семенова В.Г., Травин А.В. Пространственно-временные вариации мантийных и коровых компонентов в позднекайнозойских вулканических породах Средне-Амурской впадины, Юго-Восток России // Тихоокеанская геология. 2003а. Т. 22, № 3. С. 3–27.
- Рассказов С.В., Приходько В.С., Ясныгина Т.А., Фефелов Н.Н., Саранина Е.В., Войнова И.П., Брандт С.Б. Мантийные источники кайнозойских вулканических пород района оз. Кизи (Восточный Сихотэ-Алинь) // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29, № 5. С. 94–121.
- Рассказов С.В., Саранина Е.В., Мартынов Ю.А., Чащин А.А., Максимов С.О., Брандт И.С., Брандт С.Б., Масловская М.Н., Коваленко С.В., 2003. Развитие позднекайнозойского магматизма активной континентальной окраины Южного Приморья // Тихоокеанская геология. 2003б. № 1. С. 92–109.
- Рассказов С.В., Симаненко В.П., Малиновский А.И., Ясныгина Т.А. Геохимическая эволюция позднеэоцен-олигоценевого магматизма п-ова Шмидта, Северный Сахалин // Геология и геофизика. 2007. № 3. С. 317–329.
- Рассказов С.В., Примина С.П., Чувашова И.С. История и методология геологических наук в Иркутском Госуниверситете: развитие гипотез о кайнозойском рифтогенезе, вулканизме и землетрясениях в Байкало-Монгольском регионе // Геология и окружающая среда. 2022. Т. 2, № 2. С. 139–157. DOI 10.26516/2541-9641.2022.2.139
- Рассказов С.В., Шерман С.И., Леви К.Г., Ружич В.В., Кожевников В.М., Саньков В.А. Академик Н.А. Логачев и его научная школа: вклад в изучение кайнозойского континентального рифтогенеза // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2010. Т. 1, № 3. С. 209–224.
- Рассказов С.В., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А., Фефелов Н.Н., Саранина Е.В. Калиевая и калинатровая вулканические серии в кайнозое Азии. Новосибирск: Академическое изд-во «ГЕО». 2012. 351 с.
- Рассказов С.В., Чувашова И.С. Вулканизм и трансенсия на северо-востоке Байкальской рифтовой системы. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2018. 383 с. ISBN 978-5-6041446-3-3
- Саватенков В.М., Ярмолюк В.В., Кудряшова Е.А. и др. Источники и геодинамика позднекайнозойского вулканизма Центральной Монголии по данным изотопно-геохимических исследований // *Петрология*. 2010. Т. 18, № 3. С. 297–327.
- Самойлов В.С., Иванов В.Г., Аракелянц М.М. и др. Позднемезозойский магматизм района хр. Арц-Богдо (Гобийский Алтай, МНР) // *Известия АН СССР. Сер. геол.* 1988а. № 11. С. 14–26.
- Самойлов В.С., Иванов В.Г., Смирнов В.Н. Позднемезозойский рифтогенный магматизм северо-восточной части пустыни Гоби (МНР) // *Геология и геофизика*. 1988б. № 10. С. 13–21.
- Саньков В.А., Парфеевец А.В., Лухнев А.В. и др. Позднекайнозойская геодинамика и механическая сопряженность деформаций земной коры и верхней мантии Монголо-Сибирской подвижной области // *Геотектоника*. 2011. № 5. С. 52–70.
- Сугоракова А.М., Ярмолюк В.В., Лебедев В.И. Кайнозойский вулканизм Тувы. Кызыл: ТувыИКОПР СО РАН, 2003. 92 с.
- Тектоника и вулканизм юго-западной части Байкальской рифтовой зоны / Шерман С.И., Медведев М.Е., Ружич В.В. и др. М.: Наука, 1973. 136 с.
- Флоренсов Н.А. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. Труды Вост.- Сиб. фил. СО АН СССР. Вып. 19. Серия геол. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 258 с.
- Флоренсов Н.А. Тропы моей памяти. Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2009. 215 с.
- Флоренсов Н.А., Солоненко В.П., Логачев Н.А. Кайнозойский вулканизм рифтовых зон // *Вулканизм и тектогенез*. М.: Наука. 1968. С. 146–151.
- Чувашова И.С., Рассказов С.В., Брандт С.Б. Циклические вариации калия в позднекайнозойских лавах Центральной Монголии // *Известия Иркутского гос. ун-та. Серия наук о Земле*. 2010. Т. 3, № 1. С. 159–176.
- Чувашова И.С., Рассказов С.В., Йи-минь Сунь. Новейшая геодинамика Центральной Азии: первичные и вторичные мантийные расплавы аномалии в контексте орогенеза, рифтогенеза и движения–взаимодействия литосферных плит // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017. V. 8, № 1. P. 45–80.
- Чувашова И.С., Рассказов С.В., Саранина Е.В. ^{207}Pb – ^{206}Pb возраст источников позднекайнозойских вулканических пород коро-мантийного пе-

рехода в соотношении с возрастом офиолитов и древних блоков, экспонированных на поверхности коры: трансект Китои–Байдраг Байкало-Монгольского региона // Геология и окружающая среда. 2022а. Т. 2, № 2. С. 61–90. DOI 10.26516/2541-9641.2022.2.61

Чувашова И.С., Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Саранина Е.В. Радиоизотопные исследования позднекайнозойских вулканических пород Азии и Северной Америки: источники вулканизма глобального, регионального и локального значения // Геология и окружающая среда. 2022б. Т. 2, № 3. С. 64–102. DOI 10.26516/2541-9641.2022.3.64

Чувашова И.С., Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Саранина Е.В., Фелелов Н.Н. Голоценовый вулканизм в Центральной Монголии и Северо-Восточном Китае: асинхронное декомпрессионное и флюидное плавление мантии // Вулканология и сейсмология. 2007. № 6. С. 19–45.

Шувалов В.Ф., Николаева Т.В. О возрасте и пространственном расположении кайнозойских базальтов на юге Монголии // Вестник ЛГУ. Геология. География. 1985. № 14. С. 52–59.

Ярмолук В.В., Лебедев В.И., Аракелянц М.М. и др. Новейший вулканизм Восточной Тувы: хронология вулканических событий на основе К–Аг датирования // Докл. АН. 1999. Т. 368, № 2. С. 244–249.

Ярмолук В.В., Аракелянц М.М., Лебедев В.А. и др. Хронология долинных излияний в Южно-Байкальской вулканической области (данные К–Аг-датирования) // Доклады РАН. 2003а. Т. 390, № 5. С. 657–662.

Ярмолук В.В., Иванов В.Г., Коваленко В.И., Самойлов В.С. Динамика формирования и магматизм позднемезозойско-кайнозойской Южно-Хангайской горячей точки мантии (Монголия) // Геотектоника. 1994. № 5. С. 28–45.

Ярмолук В.В., Иванов В.Г., Коваленко В.И. и др. Магматизм и геодинамика Южно-Байкальской вулканической области (горячей точки мантии) по результатам геохронологических, геохимических и изотопных (Sr, Nd, O) исследований // Петрология. 2003б. Т. 11, № 1. С. 3–34.

Ярмолук В.В., Кудряшова Е.А., Козловский А.М. и др. Позднемеловой – раннекайнозойский след Южно-Хангайской горячей точки мантии // Вулканология и сейсмология. 2007. № 1. С. 3–31.

Ярмолук В.В., Кудряшова Е.А., Козловский А.М. и др. Позднекайнозойский вулканизм Хангай (Центральная Монголия) и проблемы новейшего горообразования в Центральной Азии // Докл. АН. 2008. Т. 422, № 2. С. 223–228.

Abratis M., Mälder J., Hautman S. et al. Two distinct Miocene age ranges of basaltic rocks from Rhön and Heldburg areas (Germany) based on $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ step heating data // *Chemie der Erde*. 2007. V. 67. P. 133–150.

Ancuta L.D., Zeitler P.K., Idleman B.D., Jordan B.T. Whole-rock $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology, geochemistry, and stratigraphy of intraplate Cenozoic volcanic rocks, central Mongolia // *GSA Bulletin*. 2018. Vol. 130, No. 7/8. P. 1397–1408; <https://doi.org/10.1130/B31788.1>

Chuvashova I.S., Rasskazov S.V., Saranina E.V. ^{207}Pb – ^{206}Pb age of sources of Late Cenozoic volcanic rocks of the crust-mantle transition in relation to the age of ophiolites and ancient blocks exposed on the surface of the crust: the Kitoi–Baidrag transect of the Baikal-Mongolian region // *Geology and Environment*. 2022а. Vol. 2, No. 2. P. 61–90. DOI 10.26516/2541-9641.2022.2.61

Chuvashova I., Rasskazov S., Sun Yi-min, Yang Chen Origin of melting anomalies in the Japan-Baikal corridor of Asia at the latest geodynamic stage: evolution from the mantle transition layer and generation by lithospheric transtension // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017а. V. 8, № 3. P. 435–440. [Doi.org/10.5800/GT-2017-8-3-0256](https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-3-0256).

Chuvashova I., Rasskazov S., Yasnygina T. Mid-Miocene thermal impact on the lithosphere by sublithospheric convective mantle material: Transition from high- to moderate-Mg magmatism beneath Vitim Plateau, Siberia // *Geoscience Frontiers*. 2017b. V. 8. P. 753–774. [doi: 10.1016/j.gsf.2016.05.011](https://doi.org/10.1016/j.gsf.2016.05.011).

Chuvashova I.S., Rasskazov S.V., Yasnygina T.A., Saranina E.V. Radiogenic isotope studies of Late Cenozoic volcanic rocks from Asia and North America: Sources of volcanism of global, regional, and local significance // *Geology and Environment*. 2022b. Vol. 2, No. 3. P. 64–102. DOI 10.26516/2541-9641.2022.3.64

Harris N.B. Isotopic, geochemical and geochronological constraints on the origin and evolution of Cenozoic volcanism, Baikal Rift Zone, Siberia. Ph.D. thesis. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1998. 438 p.

Hinnov L.A. Cyclostratigraphy and its revolutionizing applications in the Earth and Planetary Sciences // *Geol. Soc. Am. Bull.* 2013. V. 125. P. 1703–1734.

Höck V., Daxner-Höck G., Schmid H.P., Badamgarav D., Frank W., Furtmüller G., Montag O., Barsbold R., Khand Y., Sodov J. Oligocene-Miocene sediments, fossils and basalts from the Valley of Lakes (Central Mongolia) – An integrated study // *Mitt. Österr. Geol. Ges.* 1999. V. 90. P. 83–125.

Jolivet L., Tamaki K., Fournier M. Japan Sea, opening history and mechanism: A synthesis // *J. Geophys. Res.* 1994. V. 99, № B11. P. 22.237–22.259.

Laskar J., Robutel P., Joutel F. et al. A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth // *Astron. Astrophys.* 2004. V. 428. P. 261–285.

Laskar J., Fienga A., Gastineau M. et al. La2010: a new orbital solution for the long-term motion of the Earth // *Astron. Astrophys.* 2011. V. 532. P. A89. doi: 10.1051/0004-6361/201116836

Ma C., Meyers S. R., Sageman B.B. Theory of chaotic orbital variations confirmed by Cretaceous geological evidence // *Nature.* 2017. V. 542. P. 448–470.

Mellett J.S. The Oligocene Hsanda Gol Formation, Mongolia: a revised faunal list II Amer // *Museum Novit.* 1968. No. 2318. P. 1–16.

Otofuji Y-I. Large tectonic movement of the Japan Arc in late Cenozoic times inferred from paleomagnetism: review and synthesis // *The Island Arc.* 1996. V. 5. P. 229–249.

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. The latest geodynamics in Asia: Synthesis of data on volcanic evolution, lithosphere motion, and mantle velocities in the Baikal-Mongolian region // *Geoscience Frontiers.* 2017. V. 8. P. 733–752. Doi:10.1016/j.gsf.2016.06.009

Rasskazov S., Taniguchi H. Magmatic response to the Late Phanerozoic plate subduction beneath East Asia / *CNEAS Monograph Series No. 21.* Tohoku University, Japan, 2006. 156 p.

Rasskazov S.V., Luhr J.F., Bowring S.A., Ivanov A.V., Brandt I.S., Brandt S.B., Demonterova E.I., Boven A.A., Kunk M., Housh T. & Dungan M.A. Late Cenozoic volcanism in the Baikal Rift system: evidence for formation of the Baikal and Khubsugul basins due to thermal impacts on the lithosphere and collision-derived tectonic stress // *Berliner paläobiologische abhandlungen.* 2003. B. 4. P. 33–48.

Rasskazov S.V., Bowring S.A., Harris N. et al. Rifting in intracontinental setting // *Int. Conf. Abs. Irkutsk, Russia.* 1999. P. 163–166.

Rothacher M., Springer T.A., Schaer S. et al. Annual report 1966 of the CODE Analysis Center of the IGS // *International GPS service for geodynamics 1996 annual report.* California Institute of Technology, Pasadena, USA. 1996. P. 201–219.

Turcotte D.L., Schubert G. *Geodynamics.* Third edition. Cambridge University Press, 2014. 423 p.

Xu Z., Wang S., Huang Y. et al. Tectonic stress field of China inferred from a large number of small earthquakes // *J. Geophys. Res.* 1992. V. 97, N B8. P. 11,867–11,877.

Williams D.F., Peck J., Karabanov E.Y. et al. Lake Baikal record of continental climate response to orbital insolation during the past 5 million years // *Science.* 1997. V. 278. P. 1114–1117.

Zhao X., Riisager J., Draeger U., Coe R., Zheng Z. New paleointensity results from Cretaceous basalts of Inner Mongolia, China // *Phys. Earth Planet. Interiors.* 2004. V. 141. P. 131–140.

Zheng Z., Tanaka H., Tatsumi Y., Kono M. Basalt platforms in Inner Mongolia and Hebei Province, northeast China: new K–Ar ages, geochemistry, and revision of palaeomagnetic results // *Geophys. J. Int.* 2002. V. 151. P. 654–662.

References

Adamovich A.F., Grosvald M.G., Zonenshain L.P. New data on the Kropotkin and Peretolchin volcanoes // *Materials on regional geology. M. : Gosgeoltekhizdat,* 1959. Issue 5. P. 79–90.

Antoshchenko-Olenev I.V. *Cenozoic of the Dzhida region of Transbaikalia.* Novosibirsk: Science. Sib. department, 1975. 127 p.

Arseniev A.A. Geology of the right bank of the Vitim // *Proceedings of the IGN AN USSR,* 1940. Issue. 27, No. 7. 43 p.

Bagdasaryan G.P., Gerasimovsky V.I., Polyakov A.I., Gukasyan R.Kh. New data on the absolute age and chemical composition of volcanic rocks in the Baikal Rift Zone // *Geochemistry.* 1981, No. 3. P. 342–350.

Bazarov D. D. B., Savinova V. V., Rasskazov S. V., Rezanov I. N., Budaev R. Ts. On stratigraphy and palinocomplexes of Early Cenozoic deposits of the Vitim Plateau // *Morphostructure and stratigraphy of Cenozoic deposits of the Baikal region.* Ulan Ude: Geological Institute of the Baltic Branch of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1984. P. 67–88.

Belov I.V. *Trachybasaltic formation of the Baikal region.* M.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1963. 371 p.

Brandt I.S., Rasskazov S.V., Popov V.K., Brandt S.B. Potassium Specificity of Basalts of the Sineutes Depression: Geochemical Correlations and Problems of Potassium–Argon Dating (Southern Primorye) // *Pacific Geology.* 2009. V. 28, No. 4. P. 75–89.

Burakov M. I., Fedorov E. I. Basalts of the Ii and Uda interfluvial (Eastern Sayan) / *Questions of Geology of Asia. T. I. M., Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR,* 1954. C. 359–382.

Chuvashova I.S., Rasskazov S.V., Brandt S.B. Cyclic variations of potassium in Late Cenozoic lavas of Central Mongolia // *Izvestiya Irkutsk State*

- University. university Earth Sciences Series. 2010. V. 3, No. 1. C. 159–176.
- Chuvashova I.S., Rasskazov S.V., Yi-ming Sun. Recent Geodynamics of Central Asia: Primary and Secondary Mantle Melt Anomalies in the Context of Orogeny, Rifting, and Motion-Interaction of Lithospheric Plates // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017a. V. 8, No. 1. P. 45–80.
- Chuvashova I.S., Rasskazov S.V., Saranina E.V. ²⁰⁷Pb–²⁰⁶Pb age of sources of Late Cenozoic volcanic rocks of the crust-mantle transition in relation to the age of ophiolites and ancient blocks exposed on the surface of the crust: the Kitoi–Baydrag transect of the Baikal-Mongolian region // *Geol.* 2022. V. 2, No. 2. P. 61–90. DOI 10.26516/2541-9641.2022.2.61
- Chuvashova I.S., Rasskazov S.V., Yasnygina T.A., Saranina E.V., Fefelov N.N. Holocene volcanism in Central Mongolia and Northeast China: asynchronous decompression and fluid melting of the mantle // *Volcanology and Seismology*. 2007. No. 6. P. 19–45.
- Devirts A.L., Rasskazov S.V., Polyakov A.I., Dobkina E.I. Radiocarbon age of young volcanoes of the Udokan Ridge (North-Eastern Baikal region) // *Geochemistry*. 1981. No. 8. P. 1250–1253.
- Devyatkin E.V. Cenozoic of Inner Asia (stratigraphy, geochronology, correlation) // *Tr. SSMGE*, 1981. Issue. 27. 196 p.
- Devyatkin E.V. Geochronology of the Cenozoic basalts of Mongolia and their connection with the structures of the latest stage // *Stratigraphy. geological correlation*. 2004. V. 12, No. 2. P. 102–114.
- Devyatkin E.V., Smelov S.B. Position of basalts in the sedimentary Cenozoic section of Mongolia // *Izv. Academy of Sciences of the USSR. Ser. geological*. 1978. No. 1. P. 16–27.
- Esin S.V., Parkhomenko V.S., Travin A.V., Shestel Yu.G. Petrogenesis of the Sovgavan tholeiite-alkaline-basalt plateau of the Eastern Sikhote-Alin: (K-Ar age dating, petrochemical and REE characterization) // *Geology and Geophysics*. 1994. T. 35. N 9. P. 21–33.
- Florensov N.A. Mesozoic and Cenozoic depressions of the Baikal region. *Trudy Vost. - Sib. Phil. SO AN USSR*. Issue. 19. Series geol. M.-L.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1960. 258 p.
- Florensov N.A. Paths of my memory. Irkutsk: Izd. IZK SO RAN, 2009. 215 p.
- Florensov N.A., Solonenko V.P., Logatchev N.A. Cenozoic volcanism of rift zones // *Volcanism and tectogenesis*. Moscow: Nauka, 1968, pp. 146–151.
- Gabunia L.K., Devyatkin E.V., Rubinstein M.M. Data on the absolute age of the Cenozoic formations in Asia and their biostratigraphic significance // *Dokl. Academy of Sciences of the USSR*. 1975. No. 4. P. 895–897.
- Genshaft Yu.S., Saltykovsky A.Ya. Catalog of inclusions of deep rocks and minerals in basalts of Mongolia. M.: Nauka, 1990. 71 p.
- Geochemistry of Mesozoic latites of Transbaikalia / L.V. Towson, V.S. Antipin, M.N. Zakharov et al. Novosibirsk: Nauka, 1984. 215 p.
- Gladkikh V.S., Konova N.I., Soloviev V.A., Altukhov E.N. Petrochemical and geochemical features of undifferentiated alkaline olivine basalts of northeastern Tuva // *Geochemistry*. 1980. No. 8. P. 1198–1206.
- Grosvald M. G. Development of the relief of the Sayano-Tuva highlands. M., "Nauka", 1965. 166 p.
- Grosvald M.G., New data on the latest volcanism in Tuva, *Bulletin Mosk. society of nature explorers*. 1957. T. 32. Issue. 3. S. 180.
- Grosvald M.G., East Tuva region of Quaternary volcanoes, *Dokl. Academy of Sciences of the USSR*. 1958. V. 122, No. 3. S. 449–452.
- Grosvald M. G. Development of the relief of the Sayano-Tuva highlands. M., "Nauka", 1965. 166 p.
- Grosvald M. G., Stankevich E. N., Uflyand A. K. New data on basalts of the Khamsara-Biykhem interfluvium in northeastern Tuva // *Materials on regional geology*. All-Union Aerogeol. trust, 1959. Issue 5. P. 91–104.
- Kepezhinskas V.V. Cenozoic alkaline basaltoids of Mongolia and their deep-seated inclusions. *Proceedings of the Joint Soviet-Mongolian Research Geological Expedition*. Issue. 25. M.: Publishing House "Nauka", 1979. 312 p.
- Kepezhinskas V.V., Gladkikh V.S., Zaikov V.V., Kurgankov P.P. Geochemistry of products of intraplate continental volcanism // *Geochemistry of igneous rocks of modern and ancient active zones*. Novosibirsk: Science. Sib. department, 1987, pp. 90–109.
- Kiselev A.I., Medvedev M.E., Golovko G.A. Volcanism of the Baikal rift zone and problems of deep magma formation. Novosibirsk: Science. Sib. department, 1979. 197 p.
- Korina N.A. Khangai Highlands // *Geomorphology of the Mongolian People's Republic: Proceedings of the Joint Soviet-Mongolian Research Expedition*. Issue. 28. Moscow: Nauka, 1982, pp. 87–108.
- Kropotkin P.A. A trip to the Okinsky Guard // *Notes of the Siberian Department of the Imperial Russian Geographical Society*. Irkutsk: Printing House of the District Headquarters, 1867. Books IX and X. P. 1–94.
- Kudryashova E.A., Yarmolyuk V.V. Comparative characteristics of the Taryat and Orkhon late

- Cenozoic volcanic regions (Central Mongolia): stages of formation and composition of volcanic products // *Geodynamics of the Formation of Mobile Belts of the Earth. Materials of the international scientific conference*. Yekaterinburg: Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007, pp. 169–174.
- Kudryashova E.A., Yarmolyuk V.V., Lebedev V.A. Geochronology and patterns of migration of volcanism within the Khangai Late Cenozoic volcanic area // *Isotope dating of ore formation and magmatism processes. Materials of the III Russian Conf. according to isotope geochronology*. T. 1. M.: GEOS, 2006. P. 355–362.
- Kurgankov P.P. Cenozoic volcanism of Tuva. Abstract diss. cand. geol.-min. sciences. Novosibirsk, 1988. 16 p.
- Kurgankov P.P. Peculiarities of the Cenozoic volcanism in Tuva / Abstracts of the XII Conference of Young Researchers on Geology and Geophysics of Eastern Siberia, Irkutsk, 1986. P. 28–29.
- Kurgankov P.P., Matcera A.V. Structural and geomorphological analysis of intracontinental multiphase volcanism // *Geology and Geophysics*. 1987. No. 8. P. 43–50.
- Logatchev N.A. Cenozoic volcanism of the Tunka depression // *Materials on the study of the productive forces of the Buryat ASSR*. Issue. 1. Ulan-Ude, 1954, p. 139–145.
- Logatchev N.A. On the geology of basalts in the Southwestern Baikal region // *Materials on the study of the productive forces of the Buryat ASSR*. Issue. 2. Ulan-Ude, 1956, p. 111–130.
- Logatchev N.A. Cenozoic continental deposits of the Baikal-type depressions // *Izvestiya AN SSSR. Geological series*. 1958. No. 4. pp. 18–29.
- Logatchev N.A. Sayano-Baikal Stanovoe Uplands // *Uplands of the Baikal and Transbaikalia*. M.: Nauka, 1974. P. 7-163.
- Logatchev, N.A. and Kravchenko, E.V., Basalt distribution in the Tunka depression, *Dokl. Academy of Sciences of the USSR*. 1955. V. 104, No. 3. P. 597–600.
- Logatchev N.A., Devyatkin E.V., Malaeva E.M. and others. Cenozoic deposits of the Taryat depression and the valley of the river. Chulutu (Central Khangai) // *Izv. Academy of Sciences of the USSR. Ser. Geologicheskaya*, 1982, No. 8, pp. 76–86.
- Lodochnikov V.N. On basalts of the Southwestern Baikal region // *Soviet Geology*. 1938. No. 8. P. 92–103.
- Lodochnikov V.N. To the geology of basalts of the river basin. Irkut // *Izv. Academy of Sciences of the USSR. Series geol.* 1941, No. 2, pp. 84–102.
- Lopatin D.V., Tomilov B.V. Irkutsk scientific schools of geology, geomorphology, paleogeography and geodynamics of the Cenozoic. St. Petersburg: NIKA, 2011. 144 p.
- Lvov A.V. From the geological past of the middle part of the Irkut river valley in the range from the Tunkinskaya basin to the Zyrkuzunsky ridge. *Izvestiya Vost.-Sib. otd. Russian geogr. islands*. T. 46, no. 3. 1924. p. 3–7.
- Matcera A.V., Rasskazov S.V. Paleogeomorphological conditions for the development of volcanism in the Khamsara-Biy-Khem interfluve (Eastern Sayan) // *Izvestiya universities. Geology and exploration*. 1990. No. 8. S. 23–30.
- Obruchev S.V. Young movements and outpourings of basalts of the Tuva-Mongolian highland // *Earth science, nov. ser.* 1950. V. 3. P. 26–31.
- Obruchev S.V., Lurie M.L. Volcanoes Kropotkin and Peretolchin in the Eastern Sayan. / *Proceedings of the Laboratory of Volcanoes*. Issue. 8. M.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1954. P. 210–225.
- Oknova T.N. On the petrography of basalts in Mongolia and Tuva, Tr. Mongolian. commission AN SSSR, 1940. 32 p. (No. 37, issue 11).
- Rasskazov S.V. Basaltoids of Udokan. Novosibirsk: Science. Sib. department, 1985. 142 p.
- Rasskazov S.V. Spatial and temporal development of the Meso-Cenozoic basaltic volcanism in southern Siberia // *Dokl. Academy of Sciences of the USSR*. 1990. V. 311, N 5. P. 1201–1204.
- Rasskazov S.V. Magmatism of the Baikal rift system. Novosibirsk: VO "Nauka". Siberian publishing company, 1993. 288 p.
- Rasskazov S.V. Comparison of volcanism and recent structures of the Yellowstone and East Sayan hot spots. // *Geology and Geophysics*, 1994. V. 35, No. 10. P. 67-75.
- Rasskazov S.V. Middle Holocene change in tectonic stresses in the volcanic zone of the Udokan Ridge, Eastern Siberia // *Volcanology and Seismology*. 1999. No. 2. P. 70–74.
- Rasskazov S.V., Batyrmurzaev A.S. Cenozoic basalts of the Vitim plateau and determination of their age // *Geology and Geophysics*. 1985. No. 5. P. 20–28.
- Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. Global and regional expression of the latest geodynamic stage // *Bul. Moscow islands of nature explorers. Dep. geol.* 2013a. T. 88, No. 4. P. 21–35.
- Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. Volcanism and transtension in the northeastern Baikal Rift System. Novosibirsk, Academic Publishing House «GEO», 2018. 384 p.]. doi: 10.21782/B978-5-6041446-3-3
- Rasskazov S.V., Boven A., Andre L. et al. Development of magmatism in the northeast of the Baikal rift system // *Petrology*. 1997. V. 5, No. 2. P. 115–136.

Rasskazov S.V., Boven A., Ivanov A.V., Semenova V.G. Middle Quaternary Volcanic Impulse in the Olekma-Stanovoi Mobile System: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating of the Tokinsky Stanovik Volcanic Rocks // *Pacific Geology*, 2000a, no. 4, pp. 19–28.

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Yasnygina T.A., Fefelov N.N., Saranina E.V. Potassic and potassic-sodic volcanic series in the Cenozoic of Asia. Novosibirsk: Academic Publishing House "GEO". 2012. 351 p.

Rasskazov S.V., Kunk M.J., Luhr J.F. et al. Eruptions and composition variations of Quaternary lavas of the Baikal Rift System (Ar–Ar and K–Ar dating of the Dzhida Basin volcanism) // *Geology and Geophysics*. 1996. V. 37, No. 6. P. 3–15.

Rasskazov S.V., Logatchev N.A., Brandt I.S., Brandt S.B., Ivanov A.V. Episodicity of Quaternary volcanism of the Baikal rift system in application to the geodynamics of the southeastern part of the Eurasian Plate // *Geodynamics and evolution of the Earth. Materials for the scientific conference of RFBR*. Novosibirsk: Iz-vo SO RAN, 1996. P. 93–95.

Rasskazov S.V., Maslovskaya M.N., Batyrmurzaev A.S., Macera A.V., Zelenkov P.Ya., Avdeev V.A., Omarova M.R., Gargatsev I.O., Magomedov Sh. A. Composition, strontium isotopy, and potassium–argon dating of the latest Tuva basalts // *Geology and Geophysics*. 1989. No. 2. P. 77–85.

Rasskazov S.V., Matcera A.V., Kurgankov P.P. Petrogenic elements in the Late Cenozoic basalts of Tuva // *Soviet Geology*. 1988. No. 2. P. 84–89.

Rasskazov S.V., Melnikov O.A., Rybin A.V., Guryanov V.A., Yasnygina T.A., Brandt I.S., Brandt S.B., Saranina E.V., Maslovskaya M. N., Fefelov N.N., Zharov A.E. Spatial change of deep sources of Cenozoic volcanic rocks of the western coast of South Sakhalin // *Pacific Geology*. 2005. V. 24, No. 2. P. 10–32.

Rasskazov S.V., Prikhodko V.S., Saranina E.V., Brandt I.S., Brandt S.B., Maslovskaya M.N., Yasnygina T.A., Semenova V.G., Travin A. IN. Spatio-temporal variations of mantle and crustal components in Late Cenozoic volcanic rocks of the Middle Amur Basin, South-East of Russia // *Pacific Geology*. 2003a. T. 22, No. 3. P. 3–27.

Rasskazov S.V., Prikhodko V.S., Yasnygina T.A., Fefelov N.N., Saranina E.V., Voinova I.P., Brandt S.B. Mantle sources of Cenozoic volcanic rocks in the Lake Kizi (Eastern Sikhote-Alin) // *Pacific Geology*. 2010. V. 29, No. 5. P. 94–121.

Rasskazov S.V., Saranina E.V., Martynov Yu.A., Chashchin A.A., Maksimov S.O., Brandt I.S., Brandt S.B., Maslovskaya M.N., Kovalenko S. V. Development of Late Cenozoic magmatism in the active continental margin of Southern Primorye // *Pacific Geology*. 2003b. No. 1, pp. 92–109.

Rasskazov S.V., Simanenko V.P., Malinovsky A.I., Yasnygina T.A. Geochemical evolution of late Eocene–Oligocene magmatism of the Schmidt Peninsula, Northern Sakhalin // *Geology and Geophysics*. 2007. No. 3. P. 317–329.

Rasskazov S.V., Primina S.P., Chuvashova I.S. History and methodology of geological sciences at Irkutsk State University: development of hypotheses about Cenozoic rifting, volcanism and earthquakes in the Baikal-Mongolian region // *Geology and Environment*. 2022. Vol. 2, No. 2. P. 139–157. DOI 10.26516/2541-9641.2022.2.139

Rasskazov S.V., Sherman S.I., Levi K.G., Ruzhich V.V., Kozhevnikov V.M., Sankov V.A. Academician N.A. Logatchev and his scientific school: contribution to the study of Cenozoic continental rifting // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2010. V. 1, No. 3. P. 209–224.

Savatenkov V.M., Yarmolyuk V.V., Kudryashova E.A. Sources and geodynamics of Late Cenozoic volcanism in Central Mongolia according to isotope-geochemical studies // *Petrology*. 2010. V. 18, No. 3. P. 297–327.

Samoilov V.S., Ivanov V.G., Arakelians M.M. and others. Late Mesozoic magmatism in the region of the ridge. Arts-Bogdo (Gobi Altai, Mongolian People's Republic) // *Izvestiya AN SSSR. Ser. geol.* 1988 a. No. 11, pp. 14–26.

Samoilov V.S., Ivanov V.G., Smirnov V.N. Late Mesozoic rift magmatism in the northeastern part of the Gobi Desert (MPR) // *Geology and Geophysics*. 1988 b. No. 10. P. 13–21.

Sankov V.A., Parfeevets A.V., Lukhnev A.V. et al., Late Cenozoic geodynamics and mechanical conjugation of deformations of the earth's crust and upper mantle of the Mongolian-Siberian mobile region, *Geotectonics*. 2011. No. 5. P. 52–70.

Shuvalov V.F., Nikolaeva T.V. On the age and spatial arrangement of Cenozoic basalts in the south of Mongolia // *Bulletin of Leningrad State University. Geology. Geography*. 1985. No. 14. P. 52–59.

Sugorakova A.M., Yarmolyuk V.V., Lebedev V.I. Cenozoic volcanism of Tuva. - Kyzyl: TuvI-KOPR SO RAN, 2003. 92 p.

Tectonics and volcanism of the southwestern part of the Baikal rift zone / Sherman S.I., Medvedev M.E., Ruzhich V.V. and others. M.: Nauka, 1973. 136 p.

Yarmolyuk V.V., Arakelians M.M., Lebedev V.A. Chronology of valley eruptions in the South Baikal volcanic region (K–Ar dating data) // *Doklady RAN*. 2003a. T. 390, No. 5. P. 657–662.

Yarmolyuk V.V., Ivanov V.G., Kovalenko V.I., Samoilov V.S. Formation dynamics and magmatism of the Late Mesozoic–Cenozoic South Khangai man-

tle hotspot (Mongolia) // *Geotectonics*. 1994. No. 5. P. 28–45.

Yarmolyuk V.V., Ivanov V.G., Kovalenko V.I. Magmatism and geodynamics of the South Baikal volcanic region (mantle hotspot) based on the results of geochronological, geochemical and isotopic (Sr, Nd, O) studies // *Petrology*. 20036. V. 11, No. 1. P. 3–34.

Yarmolyuk V.V., Kudryashova E.A., Kozlovsky A.M. et al., Late Cretaceous – Early Cenozoic footprint of the South Khangai mantle hotspot // *Vulkanology and Seismology*. 2007. No. 1. P. 3–31.

Чувашова Ирина Сергеевна

кандидат геолого-минералогических наук

664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

Иркутский государственный университет, геологический факультет, доцент

664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128, Институт земной коры СО РАН,

старший научный сотрудник

тел.: (3952) 51–16–59

email: chuvashova@crust.irk.ru

Chuvashova Irina Sergeevna

candidate of geological and mineralogical sciences

664003 Irkutsk, st. Lenina, 3,

Irkutsk State University, Faculty of Geology,

assistant professor

664033 Irkutsk, st. Lermontova, 128, Institute of the Earth's Crust SB RAS,

Senior Researcher

tel.: (3952) 51–16–59

email: chuvashova@crust.irk.ru

Рассказов Сергей Васильевич

доктор геолого-минералогических наук, профессор

664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

Иркутский государственный университет, геологический факультет,

заведующий кафедрой динамической геологии

664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128, Институт земной коры СО РАН

заведующий лабораторией изотопии и геохронологии

тел.: (3952) 51–16–59

email: rassk@crust.irk.ru

Rasskazov Sergei Vasilevich

doctor of geological and mineralogical sciences, professor

664003 Irkutsk, st. Lenina, 3,

Irkutsk State University, Faculty of Geology,

Head of Dynamic Geology Char

664033 Irkutsk, st. Lermontova, 128, Institute of the Earth's Crust SB RAS

Head of the Laboratory for Isotopic and Geochronological Studies

tel.: (3952) 51–16–59

email: rassk@crust.irk.ru

Yarmolyuk V.V., Kudryashova E.A., Kozlovsky A.M. et al., Late Cenozoic volcanism of Khangai (Central Mongolia) and problems of recent mountain building in Central Asia, *Dokl. AN*. 2008, vol. 422, no. 2, pp. 223–228.

Yarmolyuk V.V., Lebedev V.I., Arakelians M.M. et al. Recent volcanism in Eastern Tuva: Chronology of volcanic events based on K–Ar dating // *Dokl. AN*. 1999. Vol. 368, No. 2. P. 244–249.

Юбилей

УДК 553.98

<https://doi.org/10.26516/2541-9641.2023.3.198>

Виктор Давыдович Мац: геолог-байкаловед

Victor Davidovich Matz: geologist-baikalogist



10 августа 2023 г. – день рождения Виктора Давыдовича Маца (1927–2017) – крупного ученого-геолога, байкаловеда, доктора геолого-минералогических наук, профессора, Заслуженного деятеля науки РФ.

В этом году в день его рождения в Байкальском музее СО РАН прошёл межинститутский научный семинар, к которому была подготовлена очередная книга серии «Исследователи Байкала» «ВИКТОР

ДАВЫДОВИЧ МАЦ: MENTE ET MALEO – РАЗУМОМ И МОЛОТКОМ».

В семинаре приняли участие сотрудники Лимнологического института СОРАН, Института земной коры СО РАН, Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутского государственного университета, Иркутского национального исследовательского технического университета, Минералогического музея им. Сидорова, Территориального фонда геологической информа-

ции (Иркутский филиал)». Также в работе синара участвовала семья В.Д. Маца, приехавшая из Москвы: его сын Анатолий Викторович с супругой Людмилой Константиновной, внуки Артем Анатольевич (с супругой Ольгой Юрьевной) и Анастасия Анатольевна и правнуки Федор, Варвара и Петр. Также на семинар приехали ученики В.Д. Маца и дети и внуки его друзей, с которыми он прошел трудными геологическими тропами, преподавал в Иркутском госуниверситете и в Иркутском политехническом институте, работал в Иркутском геологическом управлении.

Вся профессиональная жизнь В.Д. Маца, более 60 лет, была связана с геологией Сибири, в основном с Байкальским регионом, где он стоял у истоков важнейшей для страны Государственной геологической съёмки территории СССР масштаба 1:200000. С разными геологическими заданиями он прошёл все пространства Приморского и Байкальского хребтов и примыкающие к ним предгорья, часть Аkitканского хребта, Олхинско-Голоустинское плато, склоны Баргузинского хребта, Святого Носа и предгорья Хамар-Дабана. Посетил с отдельными маршрутами Тункинские впадины. Проплыл на лодках вдоль всех берегов Байкала. Прошёл маршрутами по крупным рекам Приса-

янья. Обучая студентов-геологов навыкам полевой работы, ряд сезонов детально обследовал Приольхонье. Он без преувеличения стал героической личностью своего времени. В 1949 г. В.Д. Мац вместе со своей женой Ольгой Поликарповной Егоровой приехал по распределению в Иркутское геологическое управление (ИГУ) Министерства геологии СССР. С 1949 по 1957 гг. В.Д. Мац работал начальником, старшим геологом поисковых и геологосъёмочных партий Иркутского геологического управления.



Рис. 1. В.Д. Мац на первом рабочем месте. 1949 г. Фото из Архива сына А.В. Егорова.

Fig. 1. V.D. Matz at his first workplace. 1949. Photo from the Archive of A.V. Egorov's son.



а)



б)

Рис. 2. Полевые будни В.Д. Маца, 50-е годы (а), в экспедиции по Байкалу, 70-е годы (б).

Fig. 2. Field life of V.D. Matz, 50s (a), in the Baikal expedition, 70s (b).

Его главные профессиональные интересы были связаны с геологией докембрия Саяно-Байкальского нагорья. В это время по всей стране интенсивно проводится важнейшая для развития её экономики Государственная геологическая съёмка территории СССР масштаба 1:20000, составляются региональные геологические карты ранее практически неизученных территорий. Параллельно с геологическим картированием ведётся поиск и обнаружение месторождений полезных ископаемых. В результате этих целенаправленных работ молодым выпускником черновицкого госуниверситета и под его руководством создаётся серия среднемасштабных геологических листов Западного Прибайкалья, не утративших своей высокой актуальности до сегодняшнего дня.

Фундамент Сибирской платформы и её южный краевой выступ представлены высокометаморфизованными, сложно построенными метаморфическими комплексами докембрия. К началу 50-х гг. это были практически «немые», по сути, мало, а чаще совсем неизученные комплексы. Виктор Давыдович Мац, со всегда присущим ему азартом и упорством, берётся за их детальное изучение. На этом жизненном этапе важную роль в становлении молодого учёного играет совместная работа с таким неординарным человеком как А.С. Кульчицкий, подвижником-фанатом, старейшим иркутским геологом. Именно в совместных маршрутах с ним были обнаружены фосфаты Западного Прибайкалья. Образование, полученное у блестящих педагогов оказалось востребованным и оцененным профессионалами в полной мере.

Его самая ранняя значимая научная статья В.Д. Маца вышла в 1956 г. Она была представлена к публикации в один из наиболее престижных научных журналов «Доклады Академии наук СССР» известным мэтром научного мира, геологом-тектонистом, академиком Н.С. Шатским, которому на тот момент принадлежали первые теоретические представления о геологическом развитии территории Западного Прибайкалья. Он счёл высокопрофессиональными доказательства В.Д. Маца о выделении, так называемого,

байкальского трехчленного позднепротерозойского комплекса в составе карбонатно-терригенных голоуспенской, улунтуйской и песчано-алевритово-глинистой качергатской свит. Чрезвычайно важным представлялось обоснование их соотношения с постилающими высоко метаморфизованными, дислоцированными раннепротерозойскими комплексами и перекрывающими платформенными нижнекембрийскими полимиктовыми терригенными образованиями ушаковской свиты.

Изучение докембрийских толщ Байкальской горной области, кроме того, привело В.Д. Маца к неожиданному открытию древнейших стратиграфических несогласий и кор выветривания на обширных площадях Западного Прибайкалья и Присяянья, неизвестных ранее в этом регионе. Их детальное изучение позволило подойти к сравнительному анализу и корреляции докембрийских кор выветривания, выявленных им вдоль южной окраины Сибирской платформы, с аналогичными по возрасту корами в фундаменте Русской платформы. В.Д. Мацу удалось установить ряд общих закономерностей их образования, и тем самым существенно расширить теоретические представления о формировании и развитии древнейших кор выветривания в истории Земли в целом.

В 1962 г. В.Д. Мац перешёл на работу в Восточно-Сибирский геологический институт СО АН СССР (ныне Институт земной коры СО РАН) и проработал здесь в должности младшего научного сотрудника до 1965 г. Многолетнее планомерное изучение выходов (обнажений) докембрия вдоль южного горного обрамления Сибирской платформы позволило ему подойти к крупным научным обобщениям и по материалам исследований докембрийских комплексов Прибайкалья написать и защитить в Новосибирском государственном университете кандидатскую диссертацию «Верхний докембрий Западного Прибайкалья и западной окраины Северо-Байкальского нагорья (стратиграфия и история развития)».

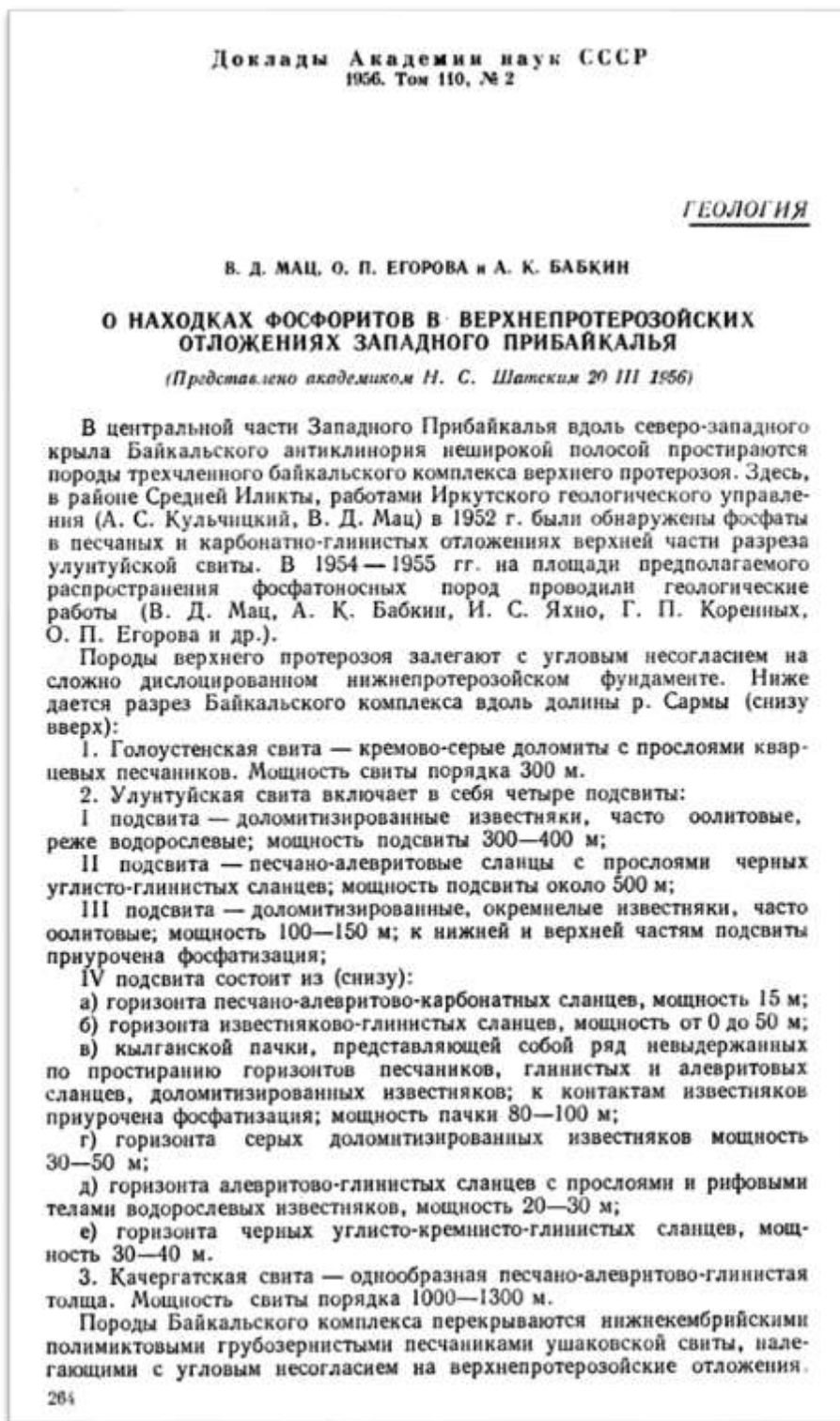


Рис. 3. Титул первой статьи В.Д. Маца (Мац В.Д., Егорова О.П., Бабкин А.К. О находках фосфоритов в верхне-протерозойских отложениях Западного Прибайкалья // Доклады АН СССР. — 1956. —Т. 110, № 2. — С. 264–266).

Fig. 3. Title of the first article by V.D. Matz (Matz V.D., Egorova O.P., Babkin A.K. On the findings of phospho-rites in the Upper Proterozoic sediments of the Western Pribaikalia // Reports of the USSR Academy of Sciences. — 1956. — T. 110, No. 2. — P. 264–266)

При стратификации верхнедокембрийских образований был впервые получен ряд новых, ранее неизвестных данных. В частности, доказан разный возраст эффузивов Актиканского и Байкальского хребтов, обосновано существование крупного несогласия, с которым верхний протерозой залегает на древних образованиях, проведены детальные палеотектонические реконструкции, существенно изменившие ранее существовавшие представления об истории геологического развития южного горного обрамления Сибирской платформы. Как следствие, В.Д. Мацу удалось выявить закономерности и осуществить зонирование комплексов полезных ископаемых, связанных с интрузивными, метасоматическими и метаморфическими образованиями, заложив базу дальнейших многолетних геологических исследований в этом регионе.

В 1963 г. была опубликована биографическая повесть о сибирских геологах советского журналиста и писателя Н.К. Волкова «Пленники гор». Его герои – сибирские геологи В.Д. Мац, А.А. Бухаров, И.М. Ширококов, П.И. Шамес и др.

В 1965 г. после защиты кандидатской диссертации В.Д. Мац в качестве доцента кафедры общей геологии начинает работу в Иркутском государственном университете. К умениям полевой, камеральной, научной работы добавляется необходимость овладения новыми для него педагогическими навыками. По свидетельству его последующих многочисленных учеников, он был прекрасным учителем, способным пробудить неподдельный интерес к геологии и в эту «хорошо взрыхленную почву» заложить ростки «разумного, доброго, вечного», что возшло, расцвело и осталось на долгие годы в памяти и делах геологов, продолжающих свою научную и практическую деятельность в Сибири и за ее пределами до сегодняшнего дня.

1970 г. стал переломным в личной и геологической судьбе В.Д. Маца. Он покидает университет и уходит на должность старшего научного сотрудника в Лимнологический институт СО АН СССР. Одновременно навсегда оставляет геологию докембрия и буквально с нуля начинает заниматься изу-

чением кайнозоя. Шаг для учёного поистине драматический судьбаностный. Ему потребовалось коренным образом поменять направление своей работы. Для этого нужно было освоить новый методологический подход в изучении рыхлых отложений, резко отличающийся от понимания специфики формирования метаморфических толщ. Переместившись во временном диапазоне почти в миллиард лет, он осваивает новую методику стратиграфических и литологических исследований, набирает практически с нуля мощный объем совершенно новых профессиональных знаний, изучает, как бы это не показалось странным, и новую научную терминологию, которой не приходилось пользоваться раньше.



Рис. 4. Титул книги Н.К. Волкова «Пленники гор».

Fig. 4. Title of N.K. Volkov's book "Prisoners of the Mountains".

Единственное, что остаётся в его жизни прежним – это неизменный регион, Прибайкалье. Объектом исследований для В.Д. Маца с этого момента и до конца жизни станет кайнозойская Байкальская рифтовая зона. При этом в течение всех последующих деся-

тилетий существенно расширялся круг научных интересов в изучении кайнозоя. Важно отметить, что в это время принципиально изменился подход к формулированию цели исследования и решению задач, направленных на ее достижение. Базой послужил многолетний опыт геологосъемочных работ, всегда опирающихся на труд большого коллектива, в котором каждый решает свои профессиональные задачи, а результаты складываются в одну общую копилку конечной цели.

С 1970 г. В.Д. Мац в течение ряда лет собирает один за другим научные коллективы из формально не связанных друг с другом специалистов: геологов, геофизиков, литологов, геоморфологов, палинологов, специалистов по малакофауне, палеонтологов, тектонистов разного профиля. Обобщает эти разнородные материалы и получает вместе со своими соратниками часто совершенно неожиданные, глубокие научные выводы. Эти результаты вылились в серии коллективных статей и написание нескольких фундаментальных многоплановых монографий. Следует особо отметить, что введенный В.Д. Мацем в 70-е годы подход к изучению сложных геологических объектов намного опередил время. Подобного рода междисциплинарные и мультидисциплинарные исследования в разных областях науки во всем мире начали практиковаться только с начала 2000-х годов.

В 1987 г. В.Д. Мац завершает написание докторской диссертации «Кайнозой Байкальской впадины», которую с успехом защищает в Диссертационном совете Института земной коры СО АН СССР. Его основными достижениями в изучении процессов рифтогенеза несомненно следует считать разработку новой детальной стратиграфической схемы кайнозоя и её корреляцию с общими стратиграфической и геологической шкалами и схемами Южной Сибири и Монголии, открытие и изучение местонахождения ископаемой фауны от верхнего миоцена до верхнего плейстоцена. В результате проведенных исследований впервые в Восточной Сибири изучен палеомагнитный разрез верхнемиоцен-четвертичных отложений, выделены ортозоны Брюнес, Матуяма,

Гаусс, Гилберт, скоррелированные с биостратиграфическими, впервые выделены мел-эоценовые отложения, пересмотрено традиционное расчленение и датировки грубообломочных отложений, введено в науку понятие о литостратиграфической асимметрии рифтовых впадин, выделена мел-палеогеновая формация кварц-каолиновой коры выветривания, создана серия палеоклиматических реконструкций. Этот далеко не полный список впервые полученных научных результатов позволил с новых позиций взглянуть на формирования Байкальской рифтовой зоны, характер ее разрастания, начиная с мел-палеогена до современности, и выделить принципиально отличные друг от друга тектонические этапы ее формирования. Скрупулёзность в сборе и обработке фактографического материала всегда была отличительной чертой исследований, которыми он занимался. Прирожденный лидер в науке он в 1990 г. возглавляет международный коллектив по изучению континентальных рифтовых зон и в августе 1991 года начинает со своими иркутскими и китайскими коллегами изучать континентальную рифтовую зону Фэн Вэй в центральном Китае. Он ставит перед этим международным коллективом глобальную задачу детального сравнительного анализа истории формирования рифтовых структур Азиатского континента.

Через четыре года была завершена работа над коллективной монографией «Сравнительный анализ континентальных рифтовых систем на примере рифтов Фэн Вэй и Байкальского», в которой было показано, что обе рифтовые структуры находятся на разных стадиях рифтогенеза – Фэн Вэй на ранней, Байкальская – на зрелой.

Монография была издана в Пекине на китайском языке с расширенной аннотацией на английском. Публикация работы на русском языке была отложена на некоторое время, но в итоге не осуществилась, поскольку перевод с китайского языка оказался непосильно дорогим.

Уход на пенсию и отъезд из России в Израиль отодвинул В.Д. Маца от непосредственных полевых исследований. Однако накопленного за многие десятилетия мате-

риала оказалось достаточным для углублённого анализа геологической истории Байкальской рифтовой зоны. Он в течение двадцати последних лет постоянно работал над статьями и научными докладами, неизменно посвященными Байкальской рифтовой зоне.

В.Д. Мац неоднократно участвовал в международных геологических конгрессах в Москве, Праге, Вашингтоне, Пекине, а также в Бельгии и Японии. Готовил объекты и был гидом экскурсии на Байкал конгресса международной организации по четвертичной геологии (INQVA). В течение десяти лет читал лекции в Китайском геологическом университете в Пекине и Ухане, выступал с докладами в Геологическом институте Сейсмологического бюро Китайской академии наук.

Широкий научный кругозор Виктора Давыдовича и весомые результаты его исследований позволили ему стать ведущим исследователем геологии Прибайкалья, широко известным не только в нашей стране, но и за её рубежами. Он был постоянным членом межведомственного стратиграфического комитета СССР (по секции докембрия и четвертичной системы).

Виктор Давыдович Мац более 20 лет проработал в техническом университете профессором, заведующим кафедрой общей геологии, а затем заведующим кафедрой геологической съёмки, поисков и разведки

месторождений полезных ископаемых, где читал курсы общей и региональной геологии, геотектоники и геодинамики, руководил геологическими практиками, дипломным проектированием, участвовал в работе Диссертационных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций ИрГТУ и Института земной коры СО РАН, активно участвовал в подготовке специалистов высшей квалификации, руководил аспирантурой. Под его руководством защищено несколько кандидатских диссертаций. Наряду с научно-педагогической деятельностью он постоянно занимался общественной работой и пропагандой научно-технических знаний.

В.Д. Мац автор и соавтор около 300 научных работ и карт. Его последняя статья «Геологическая история Байкала» вышла из печати в журнале «Природа» за несколько недель до его ухода из жизни, а фотография байкальского побережья – любви и дела всей его жизни, украсила обложку журнала.

Яркая, плодотворная, до предела насыщенная экспедициями, идеями, встречами с неординарными людьми, жизнь Виктора Давыдовича Маца навсегда останется в памяти его коллег и учеников, лучшим примером преданности науке, как в области геологии, так и в обеспечении экологической безопасности уникального природного объекта – озера Байкал.

Русинек Ольга Тимофеевна,
доктор биологических наук,
Иркутский государственный университет,
географический факультет,
профессор кафедры гидрологии и природопользования,
Байкальский музей СО РАН,
главный научный сотрудник.

Rusinek Olga Timofeevna,
Doctor of Biological Sciences,
Irkutsk State University, Faculty of Geography,
Professor of the Department of Hydrology and Environmental Management,
Baikal Museum SB RAS,
Major Researcher.

Правила для авторов

В журнале «Геология и окружающая среда» публикуются материалы научно-образовательного направления, отражающие теоретические, методические и практические результаты научной деятельности молодых и зрелых геологов и географов — научных сотрудников, преподавателей, аспирантов, студентов магистерской и бакалаврской подготовки. Кроме научных статей, в журнале помещаются рецензии и отзывы на монографии, учебники, учебные пособия, сборники научных трудов. Важное место отводится тематическим обзорам и событиям научно-учебной деятельности вузов по профилю издания. Важной задачей журнала является опубликование научных статей (в авторстве или соавторстве) студентов, аспирантов и молодых научных сотрудников.

Ответственность за достоверность изложения фактов в публикуемых материалах, плагиат (вольный или невольный) несут авторы. Все заимствованные в рукописи элементы (графика, текст, первичные данные) должны обязательно сопровождаться соответствующими корректными ссылками или разрешением правообладателя.

Мнение редколлегии может не совпадать с мнением авторов. Журнал является рецензируемым. Опубликование рукописей бесплатное. Гонорар авторам не выплачивается.

Рукописи статей присылаются на электронные адреса редакции или ответственного секретаря: kaf-dinamgeol@mail.ru или igrug@mail.ru. Работа должна быть полностью подготовлена для печати. Редакция оставляет за собой право вносить правки по согласованию с авторами. Приемка работ в рукописном или бумажном виде, требующем технического оформления, возможна за дополнительную плату с заключением договора.

Максимальный объем научной статьи — 1,5 печатных листа или 24 страницы с нижеследующими параметрами. На первой странице указывается УДК; название статьи; фамилия и инициалы авторов, название учреждения; аннотация и ключевые слова на русском языке. Аннотация должна содержать не более 15 строк, количество ключевых слов — не более 8.

Шрифт основного текста — Times New Roman, размер 14, межстрочный интервал 1, поля по 2,5 см. Представлять работы необходимо в формате текстового редактора Word или RTF. Более подробная информация об авторах дается в конце статьи (см. примеры в последнем выпуске).

В тексте статьи не допускаются сокращения (кроме стандартных); сокращенные названия поясняются при первом упоминании; все местные географические названия должны быть проверены. Применяется международная система единиц измерения СИ. В расчетных работах необходимо указывать авторов используемых программ.

Не допускается использовать при наборе:

- более одного пробела;
- формирование красной строки с помощью пробелов;
- автонумерацию (нумерованные и маркированные списки) в главах и абзацах;
- принудительные переносы.

Вставленные в работу рисунки, необходимо дублировать отдельными файлами рисунков размером не менее 10x15 см и разрешением не менее 300 dpi, в следующих графических форматах: .jpg, .crt и .cdr. Количество рисунков в статье не должно превышать 10. Рисунки должны иметь все необходимые обозначения и подписи.

Ссылки на рисунки приводятся в круглых скобках в формате: (рис. 1) или (рис. 1, 2) или (рис. 1–4).

Если рисунок единственный в статье, то он не нумеруется, а слово «рис.» в подписи к нему не пишется. Ссылка на него — рисунок.

При представлении материалов по конкретным объектам, статья должна содержать обзорную карту или схему, на которой показан район исследований. На картах необходимо указывать географические координаты, а на рисунках — ориентировку и линейный масштаб. Обозначения сторон света, широт и долгот должны быть указаны на русском языке.

Вставленные в работу таблицы книжного формата, должны иметь ширину не более 16 см, альбомного — 20 см; табличный шрифт Times New Roman, размер 11, межстрочный интервал 1, иметь сквозную порядковую нумерацию в пределах статьи, ссылки на таблицы приводятся в круглых скобках в формате: (табл. 1) или (табл. 1, 2) или (табл. 1–4). Если таблица единственная в статье, то она не нумеруется, а слово «Таблица» в названии не пишется. Ссылка на нее — таблица.

Перед тем, как вставить в статью диаграммы Excel и Word, их необходимо преобразовывать в рисунки формата .jpg. Формулы и уравнения, на которые в статье делаются ссылки, следует печатать с красной строки. В формулах между знаками ставятся пробелы.

Длинные формулы необходимо разбить на несколько строк (с учетом печати текста в две колонки). Перенос в формулах допускается делать в первую очередь на знаках соотношений, во вторую очередь — на многоточии, на знаках сложения и вычитания, в последнюю — на знаке умножения в виде крестика. Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, должен быть повторен в начале следующей строки.

Формулы и уравнения нумеруются в порядке следования по тексту статьи с правой стороны. Ссылки в тексте на формулу или уравнение обозначаются числом в круглых скобках: (1), (2), (3).

В журнале принято использование разделительного знака точки. Следует избегать смешанного употребления русских и латинских символов в одной статье. Все греческие и специальные символы печатаются через опции «Вставка» и «Символ».

Статью желательно разбивать на разделы, отражающие ее содержание. Допускаются следующие стандартные рубрики статьи: «Введение», «Исходные данные», «Методы исследования», «Результаты исследования», «Обсуждение результатов», «Выводы», «Заключение»; можно ввести раздел «Результаты и их обсуждение». Другие необходимые автору рубрики помещаются в начале соответствующего абзаца. Если работа выполнена при поддержке какого-либо гранта или технической поддержке преподавателя или аналитика, то эта информация приводится в конце статьи с рубрикой «Благодарности».

В конце рукописи необходим список использованной литературы, оформленный в соответствии с правилами библиографического описания литературных источников. Цитируемая литература приводится в конце статьи под заголовком «Литература» в алфавитном порядке: сначала русские работы, затем иностранные.

При ссылках на литературу в тексте работы приводятся фамилия автора с инициалами (двух авторов или первого автора в сочетании с «и др.», если количество авторов три и более) и год публикации в круглых скобках, например: «как сообщает А.И. Петров (2016)». Если автор публикации в тексте не указывается, то ссылка должна иметь следующий вид: «по данным (Петров, 2016) это...». Ссылки на публикации одного и того же автора, относящиеся к одному году, обозначаются буквенными индексами: (Петров, 2016а, 2016б, 2016в). При ссылке на работы двух и более авторов фамилии указываются в годично-алфавитном порядке: (Белов и др., 2017; Сидоров, 2016; Hatton, 2014; Peyerl et al., 2018) (см. примеры в последнем выпуске).

В списке литературы работы не нумеруются, инициалы имен и отчеств пробелом не отделяются. Каждая работа должна занимать отдельный абзац.

Пример:

Федонкин М.А. Две летописи жизни: опыт сопоставления (палеобиология и геномика о ранних этапах эволюции биосферы) / М.А. Федонкин // Проблемы геологии и минералогии.– Сыктывкар : Геопринт, 2016.– С. 331–350.

Марков А.В. Происхождение эукариот как результат интеграционных процессов в микробном сообществе [Электронный ресурс] / А.В. Марков, А.М. Куликов // Доклад в Институте биологии развития 29 января, 2019.– Режим доступа: http://evolbiol.ru/dok_ibr2009.htm. (дата обращения: 23.10.2021).
Допускаются ссылки на открытые отчеты геологических фондов.

Требуется акт экспертизы и официальное направление от организации на опубликование статьи в журнале Геология и окружающая среда на бланке организации (в электронном виде в формате JPEG). Ссылки на неопубликованные материалы других авторов и организаций не допускаются.

На отдельной странице в редакцию присылается авторская справка, содержащая фамилию, имя, отчество, ученую степень, звание, должность, место работы, почтовый адрес, телефон, факс и адрес электронной почты каждого автора. Необходимо указать фамилию автора, ответственного за прохождение статьи в редакции. Желательно указать трех специалистов, работающих по тематике статьи, как возможных рецензентов. Решение по вопросам рецензирования рукописей принимаются редколлегией.

Рукописи, оформленные без соблюдения настоящих правил, редколлегией журнала не рассматриваются.

Почтовый адрес редакции: 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, д. 3, Геологический факультет Иркутского государственного университета.

Электронный адрес редакции: kaf-dinamgeol@mail.ru.

Редколлегия журнала