

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 1 / 2021

Основан в марте 1933 года

Журнал выходит шесть раз в год

УЧРЕДИТЕЛИ



Министерство природных ресурсов и экологии
Российской Федерации



Российское геологическое общество



Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главные редакторы: С.А.Аксенов
А.И.Иванов

Н.В.Милетенко (зам. главного редактора),
Т.М.Папеско (зам. главного редактора),
А.И.Черных (зам. главного редактора)

Е.М.Аксенов, А.И.Варламов, С.С.Вартанян,
А.И.Жамойда, А.А.Кременецкий, М.И.Логвинов,
Г.А.Машковцев, Н.В.Межеловский, И.Ф.Мигачев,
А.Ю.Розанов, Г.В.Седельникова, И.Г.Спиридонов,
В.И.Старостин, Е.Г.Фаррахов

Содержание

НОВОСТИ, СОБЫТИЯ

Орлов В. П., Киселёв Е. А., Морозов А. Ф., Фаррахов Е. Г., Гермаханов А. А., Черных А. И., Сидорова Е. В., Шумкова В. М., Григорович В. Я., Голиков С. И., Яшина С. В.
Детско-юношеское геологическое движение как фактор формирования кадрового потенциала геологической отрасли России.....

ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭКОНОМИКА, НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Аксёнов С. А.

Основные результаты геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые в 2020 г. и задачи на 2021 г. ...

НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРИКЛАДНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Лось В. Л., Ужкенов Б. С.

Методология и пути развития научно-технологического обеспечения оценки недр на рудные полезные ископаемые

Антонец А. В., Вахрушев А. М., Черных А. И.

Анализ транспортной доступности и геологической изученности на основе ГИС-технологий для планирования геологоразведочных работ в Алтае-Саянской складчатой области.....

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Салихов В. С.

Чешуйчато-надвиговые структуры и их роль в формировании золоторудных месторождений Забайкалья....

Некрасов Е. М., Некрасов А. Е.

Типы, строение и размещение трещинных золоторудных гнезд.....

ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ

5 *Лихачев А. П.*

Основные причины образования веществ и проявления природных процессов.....

ДИСКУССИИ

19 *Четвертаков И. В., Иванов А. В., Михеева Е. А., Чикишева Т. А., Якич Т. Ю.*

Перспективы коренной золотоносности юга Сибирской платформы по результатам изучения морфо-геохимических особенностей шлихового золота.....

ПОЗДРАВЛЕНИЯ, ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

70-летие Анатолия Иннокентьевича Иванова.....

60-летие Сергея Гавриловича Кряжева.....

85-летие Бориса Игоревича Беневольского.....

52 Памяти Владимира Ильича Куторгина.....

Редакция: *Т. М. Папеско, А. П. Фунтикова*
Компьютерная верстка: *А. Д. Юргина*

Решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования науки Российской Федерации журнал включён в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени доктора и кандидата наук»

Свидетельство о регистрации в средствах массовой информации

№ 01217 от 03 июня 1992 г.

Подписано в печать 16.03.2021

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1
Телефон: (495) 315-28-47. Факс: (495) 315-43-47. E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Сайт: http://tsnigri.ru/o_geology

Сайт электронной библиотеки: <http://elibrary.ru>

Типография ФГБУ «ЦНИГРИ»



Уважаемые геологи – работники и ветераны отрасли!

От всей души поздравляю вас с профессиональным праздником – Днем геолога! 55 лет назад страна по достоинству оценила наш труд, утвердив государственный статус Дня геолога!

Геологи внесли уникальный вклад в создание российской минерально-сырьевой базы, укрепление отечественного промышленного, энергетического потенциала, способствовали освоению огромных территорий. Сегодня благодаря самоотверженному труду геологов открываются и осваиваются новые месторождения на суше и в акваториях морей, увеличиваются запасы полезных ископаемых, стабильно работают промышленные предприятия.

Быть геологом – это большая честь и большая ответственность. Уверен, что ваши знания, опыт и высокий профессионализм и в дальнейшем будут продвигать геологическую отрасль вперед и укреплять экономику России.

Коллеги, друзья! В день профессионального праздника примите искренние слова благодарности за ваш нелегкий труд. Крепкого здоровья, счастья и благополучия вам, вашим родным и близким, а также оптимизма в жизни и радости новых открытий!

Заместитель Министра природных
ресурсов и экологии Российской Федерации –
руководитель Федерального агентства
по недропользованию

Е. А. Киселев



Дорогие коллеги, от всей души поздравляем вас с Днем геолога!

В 2021 году нашему профессиональному празднику исполняется 55 лет! Это знаменательная дата для каждого геолога. И, конечно, с особенной теплотой мы чествуем сегодня ветеранов геологоразведочной отрасли, создававших минерально-сырьевой фундамент державы в XX веке. Символично, что в 2021 году отмечается и 55-летие I Всесоюзного слета юных геологов нашей страны. Для многих участников детско-юношеского геологического движения геология стала судьбой! Мы сердечно приветствуем педагогов объединений юных геологов и их воспитанников!

Время всегда ставило перед отечественными геологами сложные задачи. Сегодня нужны принципиально новые, прорывные идеи для восполнения разведанных минерально-сырьевых ресурсов России. И у нас есть основания с оптимизмом смотреть в будущее, потому что предшественниками создан огромный теоретический задел, в отрасль приходит талантливая молодежь, работают высококлассные специалисты.

Это большое счастье заниматься любимой работой, делиться друг с другом профессиональным опытом, вместе анализировать новые данные, спорить, разгадывая тайны Земли, и идти вперед – навстречу вольным ветрам и геологическим открытиям!

Дорогие друзья, мы желаем вам крепкого здоровья и уверенности в своих силах, творческого беспокойства и сомнений, без которых невозможен научный поиск! И пусть вам сопутствует успех!

Генеральный директор ФГБУ «ЦНИГРИ»
А. И. Черных

Научный руководитель ФГБУ «ЦНИГРИ»,
главный редактор журнала
«Отечественная геология»
А. И. Иванов

Детско-юношеское геологическое движение как фактор формирования кадрового потенциала геологической отрасли России

Рассмотрены основные этапы формирования детско-юношеского движения России. Показана преемственность развития детского и школьного образования в области геологических наук на протяжении более чем 150 лет. Одним из наиболее значимых мероприятий для повышения уровня геологического образования школьников, обмена опытом и популяризации профессии геолога в последние 55 лет является Всероссийская геологическая олимпиада юных геологов. Охарактеризованы особенности организации, проведения, судейства и участия команд во Всероссийских олимпиадах юных геологов на современном этапе. Показана важная роль Роснедр, РОСГЕО, преподавателей клубов юных геологов в формировании у школьников представлений об особенностях работы геолога и фундаментальности геологических знаний для развития экономики страны. Представлены особенности программы и итоги проведения последней, XII олимпиады юных геологов. Приведены сведения о наиболее выдающихся школах юных геологов Перми, Челябинска, Москвы, Красноярска и других городов.

Ключевые слова: детско-юношеское геологическое движение, юный геолог, Всероссийская олимпиада юных геологов, геологический кружок, команда.

ОРЛОВ ВИКТОР ПЕТРОВИЧ, доктор экономических наук, президент ОО «РОСГЕО»¹, geo@rosgeo.org

КИСЕЛЁВ ЕВГЕНИЙ АРКАДЬЕВИЧ, заместитель Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации – руководитель Федерального агентства по недропользованию², rosnedra@rosnedra.gov.ru

МОРОЗОВ АНДРЕЙ ФЁДОРОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, заслуженный геолог РФ, afmorozov@bk.ru

ФАРРАХОВ ЕВГЕНИЙ ГАТОВИЧ, кандидат технических наук, первый вице-президент ОО «РОСГЕО»¹, geo@rosgeo.org

ГЕРМАХАНОВ АСЛАМБЕК АСХАТОВИЧ, начальник Управления делами Роснедр², secretaryUD@rosnedra.gov.ru

ЧЕРНЫХ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, генеральный директор ФГБУ «ЦНИГРИ»³, tsnigri@tsnigri.ru

СИДОРОВА ЕВГЕНИЯ ВИКТОРОВНА, кандидат биологических наук, научный сотрудник ФГБУ «ЦНИГРИ»³, sidorova@tsnigri.ru

ШУМКОВА ВЕРА МИХАЙЛОВНА, начальник отдела детско-юношеского геологического движения ОО «РОСГЕО»¹, verarosgeo@rambler.ru

ГРИГОРОВИЧ ВАЛЕРИЙ ЯНОВИЧ, директор ФБУ «ТФИ по Южному федеральному округу»⁴, geofond@aaanet.ru

ГОЛИКОВ СТАНИСЛАВ ИВАНОВИЧ, член Президиума ООО «Ветеран-геологоразведчик»⁵

ЯШИНА СВЕТЛАНА ВАЛЕНТИНОВНА, главный специалист-эксперт Управления геологических основ, науки и информатики Роснедр², председатель Центрального Совета по детско-юношескому геологическому движению, syashina@rosnedra.gov.ru

¹ Российское геологическое общество, г. Москва

² Федеральное агентство по недропользованию – Роснедра, г. Москва

³ ФГБУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов», г. Москва

⁴ ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по Южному федеральному округу», г. Ростов-на-Дону

⁵ ООО «Ветеран-геологоразведчик», г. Москва

Youth geological movement as a factor of staff formation within the Russian geological industry

V. P. ORLOV¹, E. A. KISELEV², A. F. MOROZOV, E. G. FARRAKHOV¹, A. A. GERMAKHANOV², A. I. CHERNYKH³, E. V. SIDOROVA³, V. M. SHUMKOVA¹, V. Ya. GRIGOROVICH⁴, S. I. GOLIKOV⁵, S. V. YASHINA²

¹ Public organization «Russian Geological Society», Moscow

² The Federal Subsoil Resources Management Agency, Moscow

³ Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow

⁴ Federal budgetary institution «Territorial fund of geological information for the Southern Federal District», Rostov-on-Don

⁵ All-Russian public organization «Veteran geological prospector», Moscow

The paper reviews the background of the Russian youth movement. Succession of children's and school education in geosciences for over 150 years is shown. For the past 55 years, the Russian geological olympiad of young geologists has been among the most significant events to improve geological education level in school, share experience and promote geological job. Features of organization, holding, judging and team participation in the Russian young geologist olympiads at the current stage are characterized. It's shown the important role played by Rosnedra, ROSGEO and teachers of numerous young geologist clubs in providing school students with ideas of geologist work features and basic geological knowledge for national economy development. Program features and results of the latest XII young geologist olympiad are presented. Information is provided on the most prominent young geologist schools from Perm, Chelyabinsk, Moscow, Krasnoyarsk and other cities.

Key words: youth geological movement, young geologist, Russian young geologist olympiad, geological group, team.

В 1966 г. недалеко от города Златоуста (Челябинская область) на территории Ильменского минералогического заповедника был успешно проведён Первый Всесоюзный слёт юных геологов – школьников старших классов, увлечённых одной из самых интересных наук о Земле [1]. С тех пор в нашей стране состоялись 20 подобных мероприятий. Проведение слётов, а затем олимпиад стало возможным благодаря детско-юношескому геологическому движению (ДЮГД), широко развёрнутому в Советском Союзе при поддержке ЦК ВЛКСМ, Мингео СССР и Минпросвещения РСФСР. В 1960–1980-х годах молодёжь, выходящая из отряда юных геологов, по окончании вузов систематически пополняла кадровый резерв геологической отрасли.

К началу XXI века в кадровом обеспечении геологических предприятий накопились проблемы, которые стали следствием социально-экономических изменений, произошедших в стране в 1990-х и начале 2000-х годов. Понимание причин этих негативных тенденций и необходимость популяризации профессии геолога определили пристальное внимание к ДЮГД со стороны руководства Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) с момента его создания в 2004 г. С этого времени начинается новый этап активизации работы с юными геологами. Роснедра и Российское геологическое общество (РОСГЕО) выступили организаторами и координаторами деятельности объединений увлечённых



Участники 1-го Всесоюзного слёта юных геологов на границе Европы и Азии. Златоуст, 1966 г.



Юные геологи клуба «Алмаз» средней школы № 42 г. Красноярска в геологическом маршруте, 1970 г.

геологией школьников в нашей стране и ближнем зарубежье. Начиная с 2005 г. всероссийские олимпиады юных геологов проводятся каждые два года, а с 2011 г. в них начали регулярно принимать участие школьники из Белоруссии, Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана, Узбекистана, Монголии и других стран.

История формирования детско-юношеского геологического движения

Зарождение детско-юношеского геологического движения в нашей стране началось в 1930-е годы, когда работа школьных геологических кружков в Советском Союзе получила государственную поддержку. Основным условием появления кружков была инициатива отечественных педагогов, профессоров вузов, сотрудников геолого-минералогических музеев, развивавших традиции просветительства, заложенные ещё в XIX в. Одним из наиболее известных популяризаторов геологии в России в XIX столетии был профессор кафедры геологии и минералогии Московского университета Григорий Ефимович Щуровский (1803–1884). Он организовывал полевые экскурсии, привлекавшие молодых людей и подростков к изучению геологических особенностей ландшафта, составлению коллекций минералов и горных пород [7]. Г. Е. Щуровский стал основателем и первым президентом Императорского общества любителей естествознания, антропологии и этнографии (ИОЛЕАЭ), которое многое сделало для вовлечения молодёжи в область естественных наук.

В программы российских гимназий предмет «минералогия» ввели с момента их создания в 1804 г., и учащиеся постигали основы этой науки, занимаясь с коллекциями минералов и горных пород вплоть до 1870-х годов, когда гимназии стали пре-

имущественно гуманитарными. Во второй половине XIX в. был издан целый ряд учебников: «Руководство к минералогии для русских гимназий» Э. К. Гофмана (1-е изд. 1853, 4-е изд. 1882), «Учебник по минералогии. Руководство для средних учебных заведений с реальным курсом (для реальных училищ)» К. Ф. Ярошевского (1-е изд. 1877, 8-е изд. 1906), «Учебник минералогии и физической геологии для средних учебных заведений» Н. А. Кричагина и др. (1907). Эти учебники были первой ступенью знакомства с геологией для нескольких поколений крупных российских учёных, внесших неопределимый вклад в развитие данной науки, – В. И. Вернадского, В. А. Обручева, Ф. Ю. Левинсон-Лессинга, И. В. Мушкетова, Е. С. Федорова, А. Е. Ферсмана и многих других.

После Октябрьской революции 1917 г. почти все прежние общественные институты, в том числе и ИОЛЕАЭ (1863–1931), были постепенно упразднены, но остались люди – носители культуры просветительства, которые продолжали свою деятельность в изменившейся реальности. Так, в 1919 г. основателем одного из первых школьных кружков, приобщавших детей к изучению геологии своего края – «Музея родной природы», – стал Николай Константинович Разумовский (1893–1966), в будущем профессор, доктор геолого-минералогических наук. В 1938 г. выдающийся геолог, академик Владимир Афанасьевич Обручев (1863–1956) рекомендовал книгу Н. К. Разумовского об определении минералов [5] в своей статье «Что может наблюдать юный геолог», опубликованной в «Пионерской Правде» – одной из самых популярных газет того времени [4].

В 1930-е годы наблюдалась активизация юннатского движения, государственной пропаганды достижений юных биологов, геологов и следопытов, романтики геологического поиска. По инициативе руководства страны школьные преподаватели географии со своими учениками стали на систематической основе вести сбор коллекций минералов и пород с описанием районов отбора образцов. Отчёты о своих походах юные исследователи передавали в геологические организации. В какой-то мере эта деятельность позволила на время компенсировать кадровый дефицит, возникший в геологоразведочной отрасли в условиях индустриализации аграрной страны, активно осваивавшей недра своих огромных территорий.

В 1934 г. возобновилось преподавание геологии в школе для учеников десятого класса. Курс по учебнику М. П. Потёмкина и В. В. Малинко «Минералогия и геология» был рассчитан на 39–40 часов и выдержал семь изданий с 1934 по 1940 г. В начальной и средней школе сведения о геоморфологии, минералах и горных породах дети получали в рамках



Участники III Всесоюзного слёта юных геологов. г. Полевской Свердловской обл., 1974 г.

программы по географии. Фабрики выпускали стандартные наборы минералов для школ, например, коллекцию «Уральские минералы» [6]. Учителя географии, биологии, химии и физики, призванные вести обучение основам геологии, организовывать геологические экскурсии, формировать школьный минералогический кабинет, получили методическое пособие Г. Г. Астровой и В. В. Малинко «Методика преподавания минералогии и геологии в средней школе» (1939) [2]. В 1941 г. вышла написанная Ф. Д. Бублейниковым с соавторами «Книга для чтения по геологии: пособие для учителей средней школы» [3]. С началом Великой Отечественной войны преподавание геологии и минералогии в школах прекратилось в связи с сокращением времени на уроки естественного цикла.

Академик В. А. Обручев в 1940–1950-е годы старался привлечь общественное внимание к негативным последствиям утраты школьного геологического образования. Этой теме посвящены его публицистические статьи «В защиту забытого предмета» («Учительская газета», 1946), «Значение геологии

в школе и в жизни» (журнал «Вокруг света», 1949), «Школьникам надо знать геологию» («Литературная газета», 1950), другие публикации и ряд выступлений. В конце 1940-х годов преподаватели МГУ им. М. В. Ломоносова начали занятия в новом школьном кружке, получившем название «Геошкола МГУ». В 1947 г. открылся школьный факультет Московского геологоразведочного института им. Серго Орджоникидзе.

В 1960-х годах в СССР разворачивались масштабные геологоразведочные работы на нефть, газ, твёрдые полезные ископаемые. Министерство геологии СССР в этот период сыграло большую роль в деле развития детско-юношеского геологического движения, организуя совместно с Министерством просвещения СССР регулярные семинары, совещания, конференции, на которых педагоги обсуждали задачи и проблемы ДЮГД. Издавалась обширная научно-популярная литература, в том числе известные работы А. Е. Ферсмана, В. А. Обручева, детские книги серии «Библиотека участника геологических походов» – «Что такое рудные месторождения, где и как их искать» Ф. И. Вольфсона, «Как искать олово» Е. А. Радкевич, «Полезные ископаемые и их поиски» С. Ф. Лугова, «В поход, юные геологи» М. А. Меньшиковой, «По страницам каменных летописей» С. Д. Шера и другие. Государство выделяло средства для изучения и распространения опыта лучших геошкол Москвы, Ленинграда, Свердловска, Челябинска, Нижнего Тагила, Красноярска. Работа с юными геологами была возведена в ранг государственной политики. Во многих школах страны и при Дворцах пионеров создавались сотни кружков юных геологов, выпускники которых в 1970-е годы стали кадровой основой геологической отрасли.



Значок «Юный Геолог», учреждённый Министерством геологии СССР и ЦК ВЛКСМ



Члены клуба юных геологов «Алмаз» (ср. школа № 42 г. Красноярск, руководитель Л. И. Игошина) – победители конкурса, организованного Научным краевым обществом учащихся, на Всесоюзном слёте юных туристов, геологов и краеведов после доклада «Месторождения цветных металлов юга Красноярского края». Москва, ВДНХ СССР, 1988 г.

К началу 1960-х годов детско-юношескому геологическому движению в СССР окончательно была отведена роль первой ступени отечественного геологического образования. Зимой участники ДЮГД вели камеральные работы, встречались на конференциях и региональных соревнованиях. Начиная с 1966 г. каждые три–четыре года проводили слёты юных геологов, где воспитанники геошкол и кружков соревновались в умении вести геологическую съёмку, пользоваться приборами, отбирать образцы, защищать отчёты. Победителям вручались дипломы и почётные грамоты, рекомендации для поступления в вузы на геологическую специальность. В 1966–1990 годы состоялись восемь слётов. Об этом времени напоминает значок «Юный геолог СССР», учреждённый Министерством геологии СССР и ЦК ВЛКСМ. Он вручался от имени председателей республиканских комиссий по геологическим походам и секретарей обкомов/крайкомов ВЛКСМ. Начиная с 1975 г. этим знаком награждались активные кружковцы и участники геологических походов. По неполным данным, в период с 1975 по 1990 г. их обладателями стали более восьми тысяч юношей и девушек.

В 1983 г. юношеское геологическое движение поднялось на новый качественный уровень. Постановления ЦК ВЛКСМ, Министерства геологии СССР

«О дальнейшем развитии массового геологического похода комсомольцев, пионеров и школьников за полезными ископаемыми» и пленума ЦК КПСС «Об основных направлениях реформы общеобразовательной и профессиональной школы» приравнивали юношеские геологические партии к трудовым школьным объединениям, а их деятельность стала рассматриваться как участие в летней трудовой четверти. С 1984 г. за выполненные в поле и принесшие положительный экономический эффект работы юношеским геологическим партиям стали выплачивать заработанные ими средства. По результатам полевых исследований юные геологи готовили отчёты и доклады на научно-практические конференции регионального уровня в рамках деятельности Всесоюзного научного общества учащихся, а победителей приглашали с докладами в Москву.

Современный этап детско-юношеского геологического движения

В 1991 г. после распада СССР разрушилась система управления и поддержки ДЮГД. Но, как и в начале XX века, сплотили свои ряды энтузиасты развития отечественного геологического образования. С 1999 г. организацию ДЮГД взяло на себя Российское геологическое общество. Роснедра совместно

с РОСГЕО вкладывают немало сил и ресурсов в подготовку полевых олимпиад, ставших ключом к оценке качества работы с юными геологами и площадкой для обмена опытом и знаниями. К этой работе были привлечены ведущие специалисты научно-исследовательских и образовательных учреждений Москвы, Санкт-Петербурга, Уфы, Перми, Ростова и других городов России под руководством Виктора Филипповича Рогова, Виктора Петровича Орлова, Андрея Фёдоровича Морозова, Анатолия Константиновича Корсакова и других. В настоящий момент ДЮГД насчитывает свыше 100 организационных структур более чем в 50 регионах России, в движение вовлечено порядка 20 тысяч учащихся.

С 2005 г. проведено восемь всероссийских олимпиад юных геологов. Соревнования для юных геологов проводятся и в зимний период. Школьники с удовольствием участвуют во Всероссийской олимпиаде юных геологов «Земля и человек» (МГРИ), Московской открытой олимпиаде по геологии для школьников (МГУ), Санкт-Петербургской открытой городской олимпиаде школьников по геологии, Сибирской олимпиаде юных геологов (Новосибирский государственный университет). В этих мероприятиях принимают участие от 150 до 500 человек. В последнее время стали популярны региональные геологические интернет-олимпиады для школьников. В первых турах дистанционных конкурсов участвуют до тысячи ребят. На ежегодных ноябрьских турнирах в Казанском университете начинающие исследователи предлагают очень интересные решения учебных геологических кейсов. В целях вовлечения в детско-юношеское движение максимального числа школьников Российское гео-



Первый вице-президент РОСГЕО Е. Г. Фаррахов награждает руководителя сборной команды Красноярского края Л. И. Игошину на VI Всероссийской полевой олимпиаде юных геологов. Красноярск, 2007 г.

логическое общество проводит заочные конкурсы, в которых ребята из отдалённых уголков страны рассказывают о своей деятельности в геологических музеях и экспедициях. Усилиями учёных-геологов и педагогов-практиков создана общероссийская информационная база данных на электронных носителях и сайт детско-юношеского движения ungeo.ru. Усовершенствована методика проведения соревнований юных геологов, подготовлены высококвалифицированные судейские кадры. Сформированы



Участники VI Всероссийской полевой олимпиады юных геологов. Красноярск, 2007 г.



Торжественное открытие VIII Олимпиады юных геологов. Томск, 2011 г.:

слева направо, 1-й ряд: начальник отдела Госгеонедр Украины М. В. Гейченко, председатель правления АО «Казгеология» Б. С. Ужкенов, председатель Центрального совета ДЮГД России С. В. Яшина, руководитель Роснедр А. А. Ледовских, губернатор Томской области В. М. Кресс, президент РОСГЕО В. П. Орлов, академик РАН А. Э. Конторович, директор Департамента по геологии Минприроды Республики Беларусь В. В. Карпук, заместитель руководителя Роснедр А. Ф. Морозов

и активно работают региональные объединения юных геологов.

Многие руководители молодёжных геологических объединений подчёркивают: геология – это не вид спорта, и помимо конкурсных мероприятий необходимо проводить больше фестивалей, выставок, летних экспедиций и мастер-классов. Примерами межрегиональных мероприятий такого рода могут служить фестиваль «Каменная палитра», ежегодно проходящий в Екатеринбурге, и Молодёжная научно-исследовательская геологическая Лаборатория, организованная кафедрой региональной геологии и палеонтологии МГРИ при информационной поддержке РОСГЕО в мае 2015 г. в Республике Крым.

Для многих школьников занятия в геологических кружках и участие в олимпиадах стали поворотной точкой в выборе будущей профессии. Ранняя профориентация позволяет ребятам узнать тонкости профессии геолога, даёт возможность определиться со своим будущим – этому ли делу они хотят посвятить всю свою дальнейшую жизнь. Повышение уровня выступлений школьников на полевых олимпиадах юных геологов в Нижнем Новгороде, Санкт-

Петербурге, Уфе, Красноярске, Ростовской, Томской областях, Республике Татарстан, Тюменской области, Кемерово подтверждает, что ДЮГД развивается. Участие в соревнованиях ребят из ряда стран СНГ свидетельствует о перспективах взаимодействия стран, в том числе в плане подготовки специалистов-геологов.

Роснедра уделяют пристальное внимание организации олимпиад, а руководитель Роснедр Евгений Аркадьевич Киселёв лично принимает участие в их проведении. По инициативе Роснедр Всероссийская открытая полевая олимпиада юных геологов была включена в Государственную программу по патриотическому воспитанию граждан на 2011–2015 гг., утверждённую постановлением Правительства Российской Федерации от 5 октября 2010 г. № 795. Согласно действующей Программе по патриотическому воспитанию граждан (2016–2021), Минобрнауки России и органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации оказывают поддержку некоммерческим организациям, молодёжным и детским общественным объединениям, которые организуют научные экспедиции в сфере геологии, экологии и иных дисциплин.



Члены Оргкомитета и почётные гости XI Олимпиады юных геологов. Кемерово, 2017 г.:

1-й ряд слева направо: президент РОСГЕО В. П. Орлов, начальник Сибнедра А. И. Неволько, заместитель начальника Сибнедра, заместитель сопредседателя Оргкомитета А. А. Гермаханов, генеральный директор ТОО «Геобайт-Инфо» У. Ж. Исмаилов; 2-й ряд: президент Ассоциации «НТЦ ИН» Д. А. Поклонов, главный федеральный инспектор по Кемеровской области И. В. Колесников, представитель ООО «Шахта Тайлепская» А. В. Козаков, заместитель губернатора Кемеровской области Е. В. Хлебунов, заместитель руководителя Роснедр А. Ф. Морозов, заместитель Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации – руководитель Федерального агентства по недропользованию, сопредседатель Оргкомитета Е. А. Киселёв, руководитель геологической службы Киргизской Республики У. Рыскулов, первый вице-президент РОСГЕО Е. Г. Фаррахов

В соответствии с постановлениями Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2015 г. № 1239 «Об утверждении правил выявления детей, проявивших выдающиеся способности, сопровождения и мониторинга их дальнейшего развития», от 19 декабря 2015 г. № 1381 «О порядке предоставления и выплаты грантов Президента Российской Федерации для поддержки лиц, проявивших выдающиеся способности» и от 24 июня 2017 г. № 741 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» специалисты Роснедр провели работу для включения Всероссийской открытой полевой олимпиады юных геологов в формируемый перечень олимпиад и иных интеллектуальных и (или) творческих конкурсов, мероприятий, направленных на развитие интеллектуальных и творческих способностей, способностей к занятиям физичес-

кой культурой и спортом, интереса к научной (научно-исследовательской), инженерно-технической, изобретательской, творческой, физкультурно-спортивной деятельности, а также на пропаганду научных знаний, творческих и спортивных достижений на 2018–2019 гг.

За 55 лет, прошедших с первого слёта, сложились сильные преподавательские коллективы, работающие с юными геологами Москвы, Перми, Казани, Кемерово, Красноярска, Челябинска, Читы, Санкт-Петербурга, Екатеринбурга и ряда других регионов России. Команды школьников из названных городов чаще других занимают призовые места на слётах юных геологов. Единой программы преподавания геологии для подростков не существует, каждый руководитель использует свою авторскую программу. В целях обмена опытом по работе с юными геологами



Заместитель Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации – руководитель Федерального агентства по недропользованию Е. А. Киселёв обсуждает геологические вопросы с юными геологами Республики Беларусь (во время XI Олимпиады юных геологов). Кемерово, 2017 г.



Команды-призёры XI Олимпиады юных геологов: I место – команда «Кузбасс», Кемеровская область (руководитель – Легощин Константин Владимирович); II место – команда Геологического объединения ЮГП МАУ ДО «ДД(Ю)Т», г. Пермь (руководитель – Жаданова Людмила Евгеньевна); III место – команда «Геобарс», Татарстан (руководитель – Терехин Андрей Анатольевич). Кемерово, 2017 г.

РОСГЕО проводит всероссийские научно-практические конференции с руководителями детско-юношеского геологического движения. Девятая конференция прошла в сентябре 2020 г. в Челябинске. Участники выступили с докладами, посетили геологические объекты Челябинской области, приняли участие в мастер-классах по прикладному творчеству.

Проведение слётов и олимпиад было бы невозможно без высококвалифицированной судейской коллегии. В последние годы судейский корпус возглавляет В. Я. Григорович – директор ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по Южному федеральному округу». В состав судейской коллегии входят ведущие сотрудники Роснедр, научных и производственных геологических организаций, доктора и кандидаты наук, ветераны геологической службы. Наиболее уважаемыми и опытными судьями по различным видам геологических соревнований и конкурсов при проведении олимпиад многие годы являются С. В. Яшина, А. В. Туров, И. Я. Гогин, Е. В. Попов, В. Ю. Татарин, М. Р. Ураскулов, Н. И. Андреев, М. М. Козьмина, Т. Т. Сухова, С. И. Голиков и другие. От олимпиады к олимпиаде судьи отмечают постоянный рост уровня геологической подготовки юных геологов, а также стремление показать свои навыки и занять призовые места.

ХII Всероссийская открытая олимпиада юных геологов

В 2019 г. эстафету будущим состязаниям передала ХII Всероссийская открытая олимпиада юных геологов. Она состоялась в летние дни – с 26 июля по 5 августа – на берегу Обского моря, на базе оздоровительного лагеря «Юбилейный», недалеко от центра Сибирской науки – Новосибирского Академгородка. Большой вклад в организацию и проведение олимпиады внесли сибирские горно-добывающие компании и Ассоциация «Научно-технический центр инновационного недропользования». Программа этой яркой олимпиады включала проведение II-й Международной полевой олимпиады юных геологов. На мероприятие приехали ребята из 39 регионов России и шести стран ближнего зарубежья, а также Монголии. В соревнованиях приняли участие 240 юных геологов в составе 42 команд. За десять дней школьники смогли не только продемонстрировать свои знания геологии и практические навыки самостоятельной и командной работы, что предусмотрено программой олимпиады, но и познакомились с особенностями недропользования региона, узнали о вкладе новосибирской геологической научной школы в развитие минерально-сырьевой базы Российской Федерации.

Программа олимпиады включала мастер-классы и лекции ведущих учёных в области геологии, за-

служенных путешественников России, членов Российского геологического общества и молодых учёных Новосибирского государственного университета о геологии и природных богатствах Сибири. Ребята смогли побывать в Минералогическом музее и Музее эволюции Земли.

В ходе соревнований, тематика которых охватила многие разделы наук о Земле, школьники демонстрировали уровень владения геологическими знаниями, в том числе умение применять их на практике. В течение десяти дней юные геологи состязались за звание лучших в следующих видах геологических испытаний: «Палеонтология», «Геологический разрез», «Радиометрия», «Гидрология», «Шлиховое опробование», «Нефть и газ», «Геологический маршрут», «Минералогия и петрография», «Описание геологического памятника», «Основы техники безопасности», «Организация полевой стоянки».

В общекомандном зачёте ХII Всероссийской открытой олимпиады юных геологов победителями стала команда геологического объединения ЮГП МАУ ДО «ДД(Ю)Т» (г. Пермь). Команды «Кузбасс» Кемеровской области и «Ферсман» из Республики Татарстан заняли, соответственно, второе и третье места. Призёрами II Международной полевой олимпиады юных геологов в общекомандном зачёте стали Геологическое объединение ЮГП МАУ ДО «ДД(Ю)Т» (г. Пермь), «Юные геологи Беларуси» (г. Минск) и команда «Странник» (Кыргызская Республика), занявшие, соответственно, первое, второе и третье места. Кроме того, судьи определили «Топ-100» среди участников в личном зачёте. Рейтинг «Топ-100» был сформирован на основании учёта личных баллов юных геологов за достижения в соревнованиях. Первые 15 лидеров получили серебряные значки Олимпиады.

Но не только громкими победами и погружением в мир геологии запомнилась олимпиада многим участникам. Ещё и удивительно тёплой атмосферой: песнями у костра с участием бардов, интеллектуальными играми, шоу, танцами, где можно было раскрывать свои творческие способности, подружиться со сверстниками из других городов.

ДЮГД и олимпиады юных геологов – возможность выбора профессии

Авторы настоящей статьи не располагают исчерпывающей статистикой о том, сколько участников детско-юношеского геологического движения выбрали профессию геолога. Однако нам достоверно известно, что именно из отряда юных геологов вышли многие ныне известные специалисты-геологи, которые работали и работают в производственной, научной геологии и в органах управления недрами.



Почётные гости на открытии XII Всероссийской открытой олимпиады юных геологов:

слева направо: командующий Сибирским округом войск национальной гвардии РФ генерал-полковник В. Н. Стригунов, начальник Департамента по недропользованию по Сибирскому федеральному округу А. Е. Партолин, президент РОСГЕО В. П. Орлов, заместитель руководителя Федерального агентства по недропользованию А. Ф. Морозов, губернатор Новосибирской области А. А. Травников, начальник Департамента Аппарата Полномочного представителя Президента РФ в СФО И. А. Гончаров, начальник Управления делами Роснедр А. А. Гермаханов, первый вице-президент Российского геологического общества Е. Г. Фаррахов



Торжественное открытие XII Всероссийской открытой олимпиады юных геологов. Новосибирск, 2019 г.



Победители в командном зачёте на XII Всероссийской открытой олимпиаде юных геологов: I место – команда Геологического объединения ЮГП МАУ ДО «ДД(Ю)Т», г. Пермь; II место – команда «Кузбасс», г. Кемерово; III место – команда «Ферсман», Татарстан



Победители II Международной полевой олимпиады юных геологов. Новосибирск, 2019 г.

Долгие годы трудилась в геологии Татьяна Вениаминовна Чепкасова, призёр I Всесоюзного слёта юных геологов 1966 г., состоявшегося в Златоусте. После окончания вуза она работала в производственных организациях в Арктической зоне РФ, в 2004–2016 гг. – заместителем начальника Управления геологических основ, науки и информатики Роснедр.

Николай Николаевич Крук, призёр и участник многочисленных краевых и всесоюзных олимпиад, выпускник красноярской школы юных геологов (1979–1984), после окончания Новосибирского государственного университета работает в Российской академии наук. Сейчас он один из ведущих учёных страны в области геодинамики и петрологии магматических пород, доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, с 2019 г. директор Института геологии и минералогии СО РАН.

Алексей Вячеславович Руднев, воспитанник Школьного Факультета МГРИ, а в начале 2000-х годов декан этого факультета, активно участвовал во всероссийских олимпиадах и слётах юных геологов, впоследствии был одним из их организаторов. Он стал призёром всероссийских слётов под Нижним Новгородом и Санкт-Петербургом, а также многочисленных олимпиад. Сейчас Алексей Вячеславович возглавляет Управление геологии твёрдых полезных ископаемых в Роснедрах.

Александр Иванович Черных, призёр региональных и всероссийских олимпиад, участник VIII Всесоюзного слёта юных геологов 1990 г. (г. Киев), вос-

питанник клуба юных геологов «Алмаз» (г. Красноярск, 1985–1991), ныне кандидат геолого-минералогических наук, работал в производственной геологии, затем в геологических научно-исследовательских институтах. С 2018 г. он является генеральным директором одного из ведущих подведомственных предприятий Роснедр – ФГБУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов».

Ольга Леонидовна Павленко (Зуева) – юный геолог 1980-х, призёр IX Всесоюзного слёта юных геологов (г. Уфа, 1987). В 1993 г. она окончила Тюменский индустриальный институт им. Ленинского комсомола, имеет диплом с отличием по специальности «геология нефти и газа». Выбор профессии неслучаен, ведь родители Ольги Леонидовны тоже геологи. Её мама Алевтина Григорьевна Малых – один из руководителей кружка. В студенческие годы Ольга и сама была геологом-наставником в кружке, возила ребят на последний всесоюзный слёт, который проходил в 1990 г. в Киеве. Сегодня Ольга Леонидовна – кандидат геолого-минералогических наук, крупный специалист по подземным водам, эксперт Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых.

Выпускники геологического объединения «ЮГП» г. Перми, основателем и бессменным руководителем которого стала Людмила Евгеньевна Жаданова, в настоящее время – аспиранты и соискатели учёной степени кандидата геолого-минералогических наук;



Соревнование по дисциплине «Шлиховое опробование» на XII Всероссийской открытой олимпиаде юных геологов. Обское море, 2019 г.

Юлия Морошкина, Владислав Васюков, Денис Шулаков, Константин Мещеряков, Денис Потехин, Артём Ефимов – кандидаты геолого-минералогических наук. Многие выпускники сделали карьеру в геологии и возглавляют подразделения геологических предприятий, работают заведующими отделами и лабораториями, руководителями исследовательских групп.

Для многих геологов России участие в ДЮГД, олимпиадах и слётах юных геологов стало отправной точкой для принятия решения о выборе профессии геолога. На всероссийских олимпиадах юных геологов осуществляется обмен знаниями и опытом между школьниками из разных регионов страны, продолжается их обучение геологическим навыкам. 30 октября 2019 г. заместитель Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации – руководитель Федерального агентства по недропользованию Е. А. Киселёв подписал приказ № 462 «О проведении XIII Всероссийской открытой олимпиады юных геологов» с 30 июля по 10 августа 2021 г. Символично, что в год 55-летия I Всесоюзного слёта юных геологов XIII Олимпиада пройдёт вновь на Уральской земле – в г. Екатеринбурге: добрые традиции творческих встреч юных геологов живут и развиваются.

В канун 55-летия первого слёта юных геологов хочется поздравить с юбилеем участников геологического движения, их преподавателей, всё российское геологическое сообщество. Богатая история ДЮГД в нашей стране – хорошая основа для его дальнейшего развития и популяризации геологии в школьной среде.

Зачастую людей, участвовавших в ДЮГД, отличает желание увлечь геологией как можно больше школьников. Они со студенческой скамьи продолжают миссию своих педагогов, помогая другим ребятам найти себя в одной из самых замечательных профессий. Эта эстафета – основа жизни геологического движения, условие прихода в профильные вузы неслучайных людей, а значит, залог эффективной работы студентов с первого года учёбы и их профессионального роста в будущем.

Регулярное проведение олимпиад юных геологов, расширение их географии и рост числа участников свидетельствуют о том, что детско-юношеское геологическое движение набирает популярность. Успехи школьников в изучении геологических дисциплин и признание их заслуг вдохновляют ребят на дальнейшее развитие в этой профессии, и всё больше юношей и девушек связывает свою судьбу с геологией. Это, в свою очередь, расширяет возможности для восполнения кадрового потенциала геологической отрасли.

Фотографии предоставлены авторами статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алентьева С. Ю., Шумкова В. М.* Первый всесоюзный слет юных геологов // Разведка и охрана недр. – 2016. – № 12. – С. 48–52.
2. *Астрова Г. Г., Малинко В. В.* Методика преподавания минералогии и геологии в средней школе. – М., 1939. – 224 с.
3. *Бублейников Ф. Д., Зубков В. В., Щербakov Д. И.* Книга для чтения по геологии: Пособие для учителей средней школы // Под ред. акад. А. Е. Ферсмана. – М., 1941. – 183 с.
4. *Обручев В. А.* Что может наблюдать юный геолог // Пионерская правда. – 1938. – № 79. – 1 с.
5. *Разумовский Н. К.* Определение минералов по наружному виду и при помощи паяльной трубки. – Л.–М.: Горгеонефтеиздат, 1933. – 197 с.
6. *Трейвус Е. Б.* Геология в школе: раньше и сейчас // Природа. – 2011. – № 6. – С. 90–96.
7. *Щуровский Г. Е.* Об общедоступности или популяризации естественных наук: Речь, произнес. 28 дек. 1867 г. на Съезде рус. естествоиспытателей в Санкт-Петербурге. – СПб., 1892. – 14 с.

REFERENCES

1. *Alentyeva S. Yu., Shumkova V. M.* Pervyy vsesoyuznyy slet yunyx geologov [The first all-Union meeting of young geologists], Razvedka i okhrana nedr, 2016, No. 12, P. 48–52. (In Russ.).
2. *Astrova G. G., Malinko V. V.* Metodika prepodavaniya mineralogii i geologii v sredney shkole [Methods of teaching mineralogy and geology in secondary school], Moscow, 1939, 224 p. (In Russ.).
3. *Bubleynikov F. D., Zubkov V. V., Shcherbakov D. I.* Kniga dlya chteniya po geologii: Posobiye dlya uchiteley sredney shkoly [A book for reading on geology: A manual for secondary school teachers], Pod red. akad. A. Ye. Fersmana, Moscow, 1941, 183 p. (In Russ.).
4. *Obruchev V. A.* Chto mozhet nablyudat' yunyy geology [What can a young geologist observe], Pionerskaya Pravda, 1938, No. 79, 1 p. (In Russ.).
5. *Razumovskiy N. K.* Opredeleniye mineralov po naruzhnomu vidu i pri pomoshchi payal'noy trubki [Determination of minerals by external appearance and using a soldering tube], Leningrad, Moskva, Gorgeonefteizdat publ., 1933, 197 p. (In Russ.).
6. *Treyvus Ye. B.* Geologiya v shkole: ran'she i seychas [Geology at school: before and now], Priroda, 2011, No. 6, P. 90–96. (In Russ.).
7. *Shchurovskiy G. Ye.* Ob obshchedostupnosti ili popularizatsii yestestvennykh nauk: Rech', proiznesonnaya 28 dek. 1867 g. na Syezde russkikh yestestvoispytateley v Sankt-Peterburge [On the general availability or popularization of natural sciences: Speech delivered on December 28. 1867 at the Congress of Russian Naturalists in St. Petersburg], St. Petersburg, 1892, 14 p. (In Russ.).

Основные результаты геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые в 2020 г. и задачи на 2021 г.

Охарактеризованы наиболее существенные моменты воспроизводства минерально-сырьевой базы твёрдых полезных ископаемых в рассматриваемый период.

Ключевые слова: минерально-сырьевая база, недра, прирост запасов, твёрдые полезные ископаемые.

АКСЁНОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ, заместитель руководителя Федерального агентства по недропользованию, saksenov@rosnedra.gov.ru

Федеральное агентство по недропользованию, г. Москва

Main nonfuel mineral exploration results in 2020 and planned activities for 2021

S. A. AKSENOV
Federal Agency for Subsurface Use, Moscow

The most significant aspects of nonfuel mineral base reproduction in the period under review are characterized.

Key words: mineral base, subsurface, reserve growth, nonfuel minerals.

В 2020 г. геологоразведочные работы (ГРП) на твёрдые полезные ископаемые за счёт средств федерального бюджета, как и ранее, осуществлялись примерно в тех же основных параметрах (при сниженном финан-

сировании и с учётом неисполненных обязательств по объектам ГРП предыдущих лет, в тех же регионах, по тем же видам полезных ископаемых и практически тем же составом исполнителей).

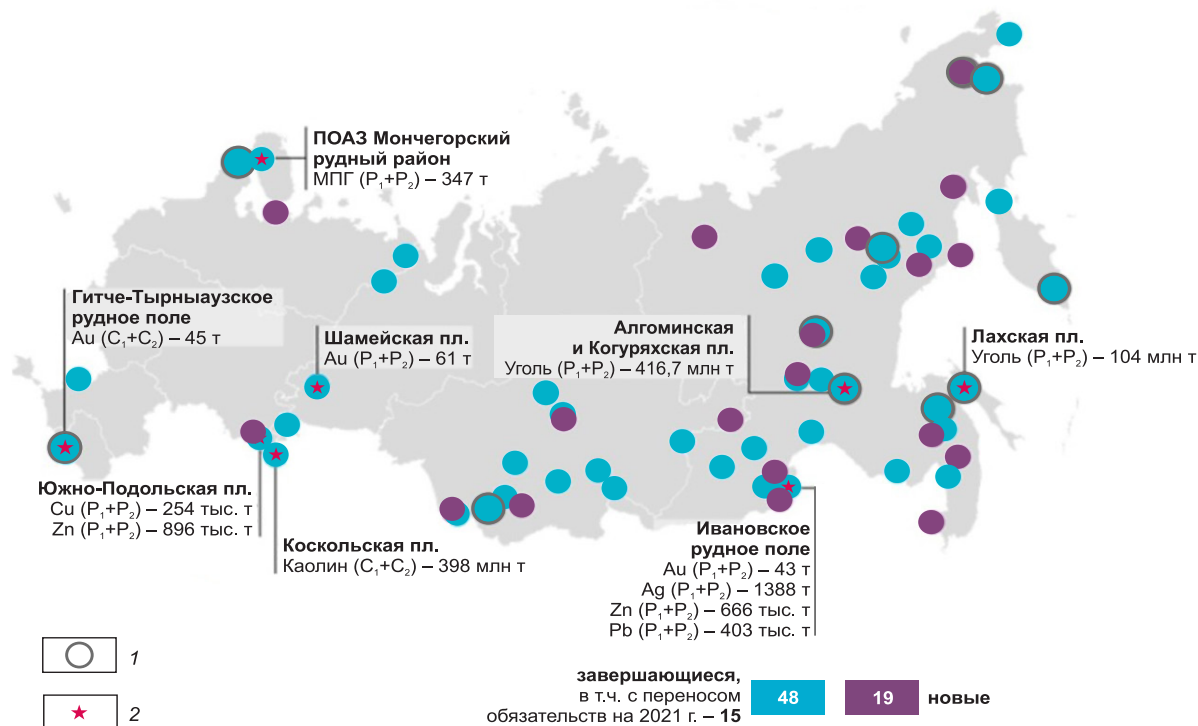


Рис. 1. Текущие и переходящие объекты геологического изучения недр за счёт средств федерального бюджета (ВМСБ ТПИ): объекты: 1 – с перенесёнными обязательствами, 2 – с наиболее значимыми результатами

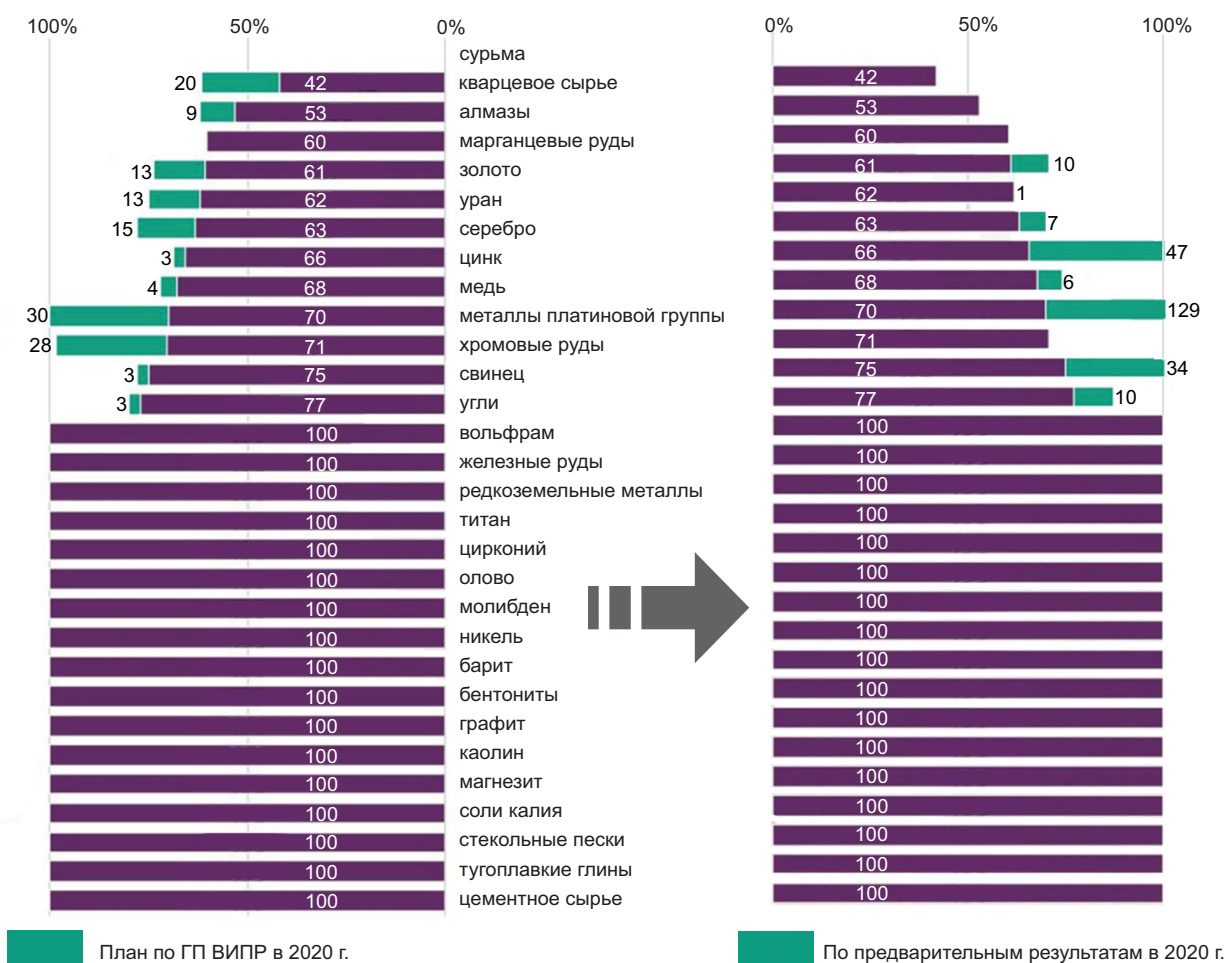


Рис. 2. Выполнение подпрограммы 1 «Воспроизводство минерально-сырьевой базы, геологическое изучение недр» государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов» (ГП ВИПР) в части прироста прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых (накопительным итогом)

Работы проводились на 48 завершающихся и 19 новых объектах.

Среди завершившихся объектов лишь по 21 получены положительные результаты, по 15 объектам существует высокая вероятность переноса значительной доли финансирования и соответствующих видов и объёмов работ на 2021 г., ещё по 11 получены отрицательные результаты, и 1 контракт завершён досрочно (рис. 1).

В 2020 г. уже заявляли о том, что основной объём неисполненных обязательств по контрактам – это лабораторно-аналитические исследования, отсутствие которых не позволяет корректно принять решение о целесообразности продолжения работ. Реализация этих неисполненных объёмов в 2020 г. не была оперативной и завершилась лишь к самому концу установленного срока проведения работ. Если

бы результаты аналитики были получены вовремя, то, по крайней мере, по 5 объектам своевременно было бы принято решение о досрочном прекращении работ, и это привело бы к экономии бюджетных средств в размере не менее 560 млн руб.

Тем не менее, по итогам работ 2020 г. ожидаются и приросты прогнозных ресурсов по 8 видам полезных ископаемых.

При этом следует отметить, что выполнение показателей ВИПР уже достигнуто по большинству видов полезных ископаемых, однако вызывает опасение их выполнение в первую очередь по марганцу, алмазам и урану.

В предыдущем году уже шла речь о необходимости синхронизации государственной программы ВИПР с другими документами стратегического планирования (рис. 2). В этой связи подготовлена

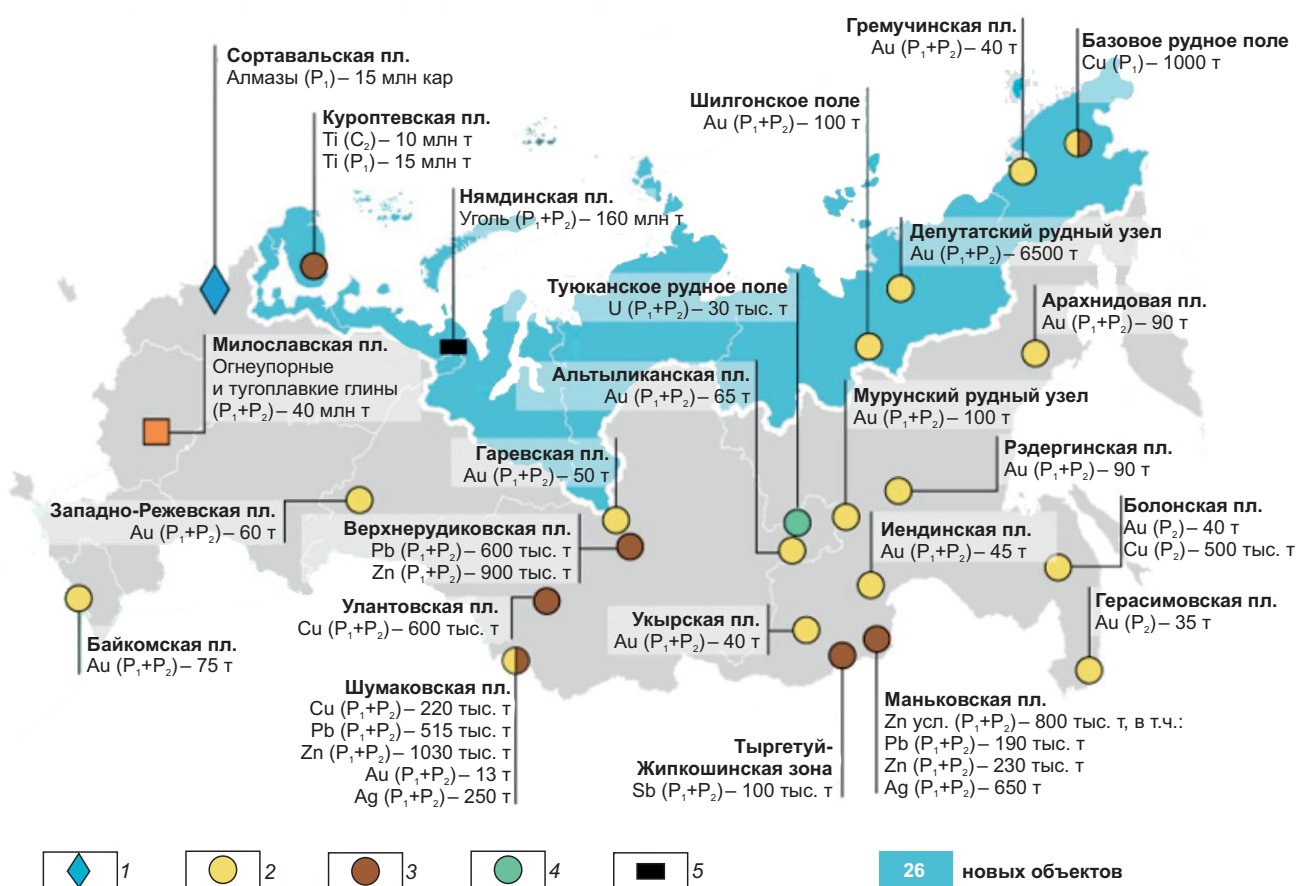


Рис. 3. Новые объекты геологического изучения недр за счёт средств федерального бюджета на 2021 г. (ВМСБ ТПИ): 1 – алмазы; металлы: 2 – благородные, 3 – цветные; 4 – уран; 5 – уголь

и представлена на согласование новая редакция государственной программы ВИПР, в которой вместо множества индикаторов предложены три показателя по воспроизводству минерально-сырьевой базы по группам твёрдых полезных ископаемых. Это – количество видов твёрдых полезных ископаемых «первой, второй, третьей групп», обеспеченных минимально необходимым уровнем воспроизводства. Предлагаемые показатели по воспроизводству заменят существующие показатели по приросту запасов твёрдых полезных ископаемых.

Также предложен показатель «Количество перспективных участков недр, подготовленных для лицензирования, с локализованными прогнозными ресурсами твёрдых полезных ископаемых категорий P₁ и P₂», который заменит существующие показатели по приросту прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых.

В 2021 г. на суше к постановке ГРП планируется 26 объектов с общим объёмом финансирования 1,6 млрд руб. Финансирование работ на территории Арктической зоны РФ – 960 млн руб., Дальнего Востока – 2,7 млрд руб. (рис. 3).

Безусловно, не менее важными, а по ряду показателей и более значимыми являются геологоразведочные работы недропользователей в 2020 г. Их результаты также нацелены на выполнение определённых показателей государственной программы ВИПР (рис. 4).

По планам недропользователей, в 2021 г. по сравнению с 2020 г. инвестиции компаний увеличатся на 36% и составят 57,3 млрд рублей (по прогнозу автора – 43,3 млрд рублей, но это всё равно рост по сравнению с прошлым годом). Возрастёт и доля вложений юниорных компаний до 13,6 млрд рублей, что составит 23% общих затрат.

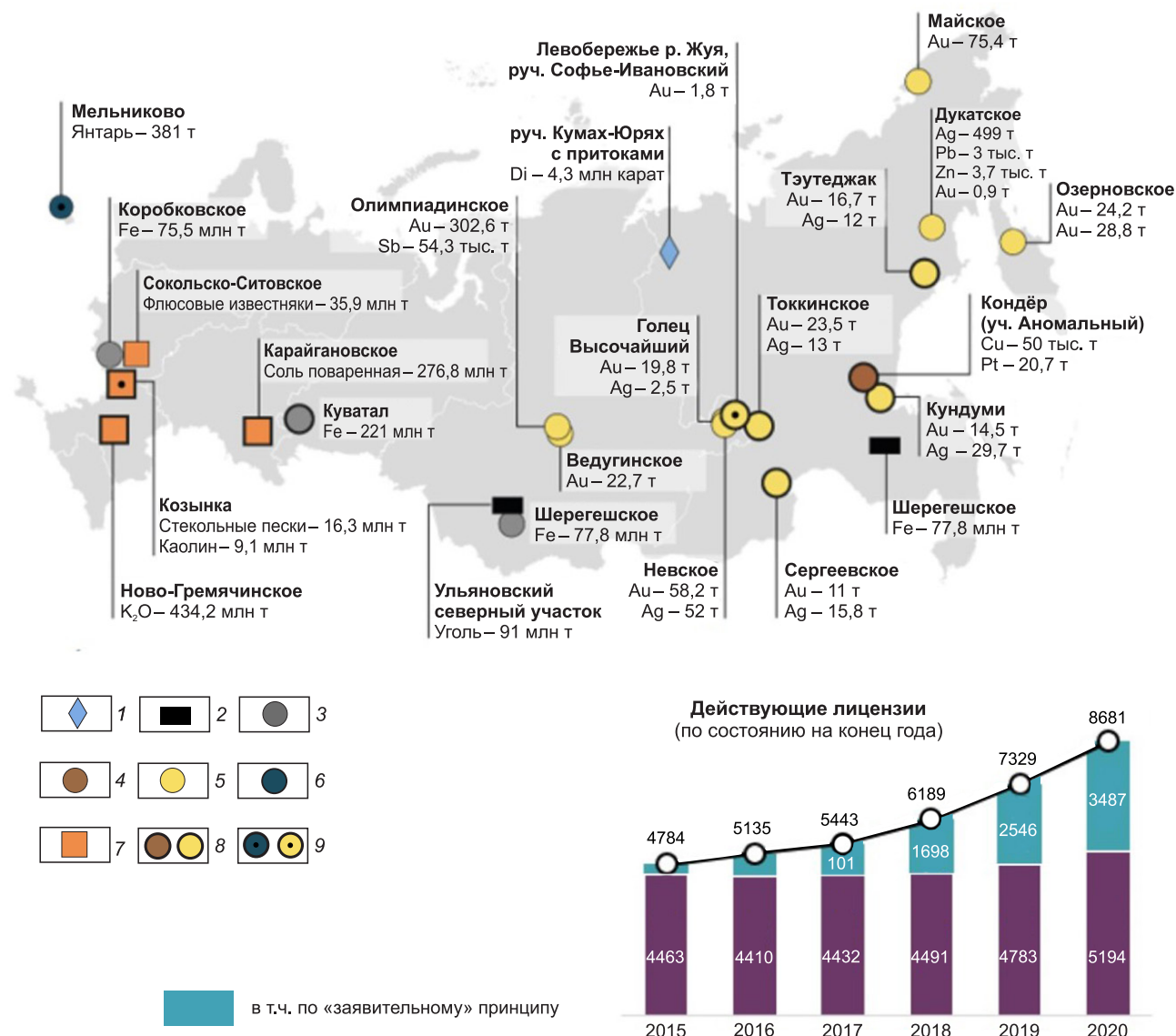


Рис. 4. Наиболее значимые результаты ГРП за счёт средств недропользователей. 2020 г.:

1 – алмазы; 2 – уголь; металлы: 3 – чёрные, 4 – цветные, 5 – благородные; 6 – камнесамоцветное сырьё; 7 – неметаллические полезные ископаемые; 8 – впервые поставленные; 9 – в т. ч. по «заявительному» принципу

В 2020 г. впервые на государственный баланс поставлены запасы 109 месторождений, из них:

- золоторудных – 72, в том числе 58 россыпных;
- неметаллических – 23;
- угольных – 6;
- цветных металлов – 4;
- железорудных – 3;
- платинометалльных – 1.

Наиболее значимыми являются приросты запасов:

- золота на месторождениях Олимпиадинское (Красноярский край), Майское (Чукотка), Невское (Иркутская область);

- угля на месторождении Огоджинское (Амурская область);

- калийных солей на месторождении Ново-Гремячинское (Волгоградская область).

Следует отметить, что динамика лицензирования имеет положительную тенденцию. Так, по сравнению с 2015 г. количество действующих лицензий увеличилось на 80%. Причём на сегодняшний день из них 40% – действующие в рамках «заявительного» принципа. Автор предполагает, что в среднесрочной перспективе это даст дополнительные новые открытия месторождений и приросты запасов (см. рис. 4).

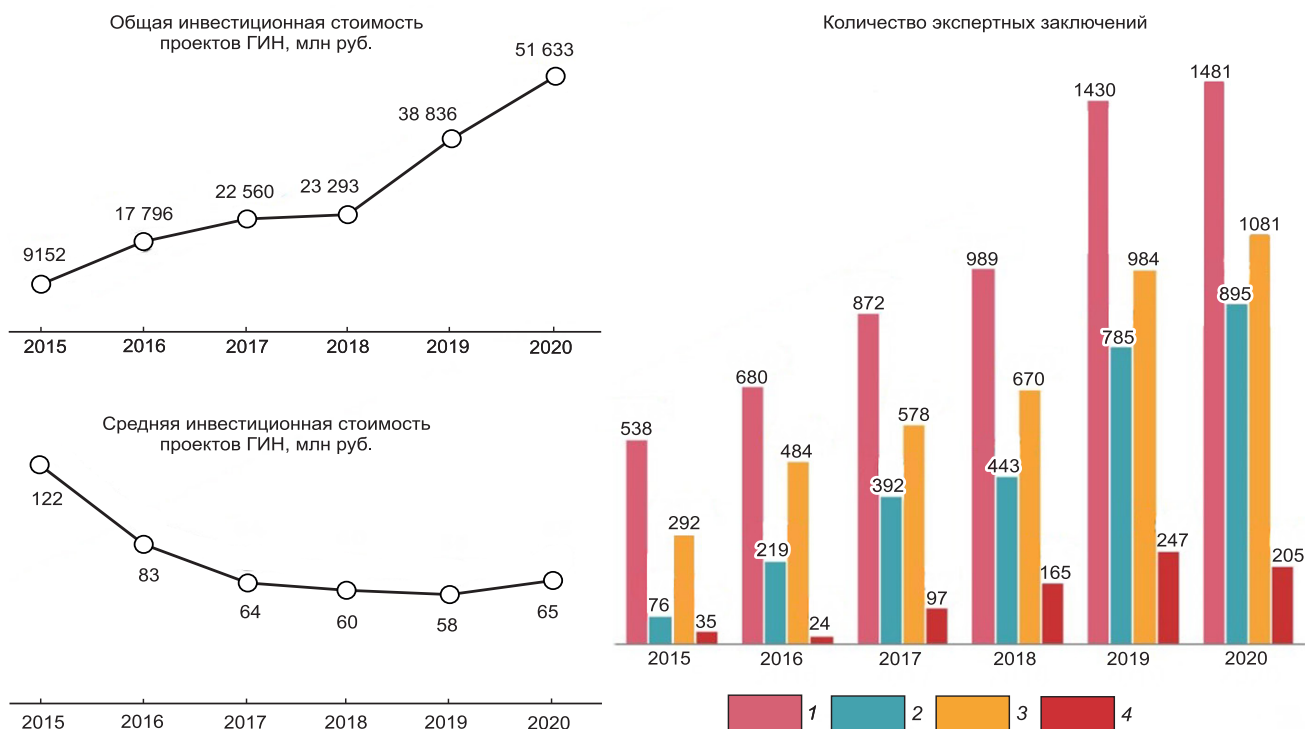


Рис. 5. Проекты на геологическое изучение недр (ГИН):

1 – всего; 2 – всего по «заявительному» принципу; 3 – всего на золото; 4 – отрицательные заключения

Количество проектов ГИН по твёрдым полезным ископаемым, поступающих на экспертизу, с каждым годом возрастает в среднем на 28%. И если раньше проекты ГИН по «заявительному» принципу составляли менее 40% от общего количества, то в последние годы – 60% и более.

Стоит отметить, что подавляющая часть проектов ГИН подготавливалась и подготавливается сейчас на основе устаревших методов и подходов к проведению ГРР. В последние годы при проведении экспертиз в рамках консультационной деятельности недропользователям предлагались современные и наиболее оптимальные комплексы методов, позволяющие подготовить проект, содержащий весь комплекс наилучших доступных технологий. В результате чего планируемый объём проведения геологоразведочных работ увеличился, равно как и общая инвестиционная стоимость объектов, которая за 2020 г. достигла 51 млрд руб. В текущем году этот подход позволил также сократить и количество отрицательных экспертиз до 13% от общего количества (рис. 5). Однако это текущая экспертная работа, а надо думать и действовать на перспективу.

Автор считает, что по основным видам полезных ископаемых, особенно востребованных недропользователями и в первую очередь юниорами, отраслевым институтам срочно необходимо подготовить актуальные современные методические рекомендации оптимальных методик для первых стадий геологоразведочных работ.

Большую роль для воспроизводства МСБ ТПИ играют подведомственные институты – ВИМС и ЦНИГРИ (см. таблицу).

Результаты работ, проведённых на подготовленных подведомственными институтами площадках в 2019–2020 гг.

Металлы	Запасы категорий	
	P ₁	P ₂
Хром	0,9 млн т	25 млн т
Золото	140 т	34 т
Серебро	1840 т	1287 т
Медь	713 тыс. т	349 тыс. т
Свинец	971 тыс. т	488 тыс. т
Цинк	4989 тыс. т	1861 тыс. т

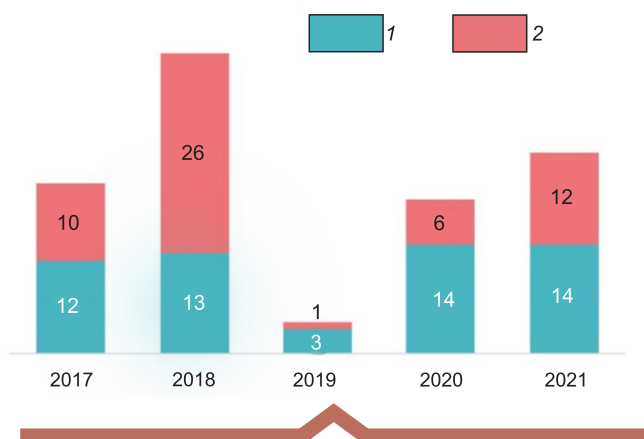


Рис. 6. Роль подведомственных институтов Роснедр в воспроизводстве минерально-сырьевой базы твёрдых полезных ископаемых:

1 – предложения институтов; 2 – другие

За последние 5 лет в институтах были подготовлены 30% площадей, предложенных к постановке работ за счёт средств федерального бюджета. Половина объектов, вошедших в итоге в Перечни новых объектов, также были подготовлены силами подведомственных учреждений Роснедр (рис. 6).

Кроме того, институты занимаются рядом направлений, косвенно влияющих на воспроизводство сырьевой базы:

- методическое обеспечение геологоразведочных работ;
- апробация прогнозных ресурсов как по результатам работ за счёт средств федерального бюджета, так и для лицензирования новых участков недр.

Осуществляются разработки методик:

- проведения прогнозно-минерагенических работ и подготовки объектов к ним;

- апробации и внедрения методов геологоразведочных работ, а также технологические исследования по переработке и обогащению минерального сырья.

Через экспертов институтов проходят программы социально-экономического развития регионов и отраслевые документы стратегического развития. Это позволяет значительно повысить качество подготавливаемых документов.

Подводя итоги, отметим, что по большинству видов твёрдых полезных ископаемых показатели государственной программы ВИПР уже выполнены или их выполнение ожидается в результате проводимых ГРР. Однако как и в предыдущие годы продолжается негативная тенденция несвоевременного выполнения обязательств по государственным контрактам с нарушением последовательности и методики ГРР, что не позволяет вовремя принимать взвешенные и обоснованные решения по дальнейшему проведению работ. Это приводит к неэффективному расходованию бюджетных средств и, как следствие, лишь к частичному выполнению плановых показателей государственных контрактов.

С каждым годом роль недропользователей в геологоразведочных работах ранних стадий всё более возрастает, в том числе и в рамках «заявительного» принципа. Благодаря возросшему качеству и объёму консультативных услуг, оказываемых недропользователям, увеличивается количество проектов ГИН, содержащих весь комплекс наилучших доступных методов и технологий.

Растёт роль научно-исследовательских институтов в воспроизводстве минерально-сырьевой базы ТПИ, но и задачи, стоящие перед институтами на ближайший период особенно масштабны, они отражены в государственных заданиях и требуют мобилизации и новых подходов.

Методология и пути развития научно-технологического обеспечения оценки недр на рудные полезные ископаемые

Рассмотрены проблемы научно-технологической поддержки геологоразведочной отрасли. Анализируются факторы, влияющие на восполнение и расширение минерально-сырьевой базы Казахстана и некоторых других стран. Подчёркивается необходимость соответствия научно-технологического развития мировому научному тренду: междисциплинарность, математизация, цифровизация. Рассмотрены основные сложности прогнозирования скрытых рудных объектов и методологические, физические, геологические аспекты этой операции. Предлагается базовая модель рудообразования и анализируется взаиморасположение рудных объектов в пространстве. Рассматривается концепция построения информационной модели геологического пространства (GSM). Показаны перспективные направления разработки технологии прогнозирования скрытых месторождений.

Ключевые слова: научно-технологическое обеспечение, рудные месторождения, металлогения, прогнозирование рудных объектов, междисциплинарность, математизация, цифровизация, самоорганизация, базовая модель рудообразования, распределение месторождений в пространстве, информационные модели, цифровое прогнозирование.

ЛОСЬ ВЛАДИМИР ЛЬВОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник АМР РК, v_los@mail.ru

УЖКЕНОВ БУЛАТ СУЛТАНОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, Президент АМР РК

Общественное объединение «Академия минеральных ресурсов Республики Казахстан» (АМР РК), г. Алматы

Development of scientific and technological support for subsurface assessment for ore minerals

V. L. LOS, B. S. UZHKENOV

Academy of Mineral Resources of Republic of Kazakhstan (AMR RK), Almaty

The problems of scientific and technological support of the geological exploration industry are considered. The factors affecting the replenishment and expansion of the mineral base of Kazakhstan and some other countries are analyzed. The need for the scientific and technological development compliance with the global scientific trend (cross-disciplines, mathematization and digitalization areas) is emphasized. The main difficulties related to forecasting of concealed ore deposits as well as methodological, physical and geological aspects of these activities are considered. A basic model of ore formation is proposed and the mutual spatial arrangement of ore deposits is analyzed. The concept of constructing an information geological space model (GSM) is considered. The prospective directions of developing the technology for concealed deposits forecasting are shown.

Key words: scientific and technological support, ore deposits, metallogeny, forecasting of ore deposits, cross-disciplines, mathematization, digitalization, self-organization, basic model of ore formation, distribution of deposits in space, information models, digital forecasting.

Проблемы, задачи и направления развития геологической оценки недр на рудные полезные ископаемые рассматриваются применительно к геологоразведочной отрасли Казахстана, для которого горно-металлургический комплекс (ГМК) является одной из главных и естественных основ экономики. И именно ГМК наряду с нефтехимическим, аграрным и некоторыми другими отраслями могут и должны стать «рычагами» диверсификации всей производственной сферы Казахстана с переходом на более высокий технологический уровень.

Что касается самого ГМК, то его эффективность и конкурентоспособность в первую очередь зависят от состояния минерально-сырьевой базы (МСБ), её разнообразия и качества. И хотя по потенциальному богатству своих недр минеральными ресурсами и их разнообразию Казахстан входит в группу стран мировых лидеров, ещё в 2002 г. отмечалось, что ситуация с МСБ по некоторым стратегическим металлам в Казахстане неудовлетворительная [24], а к настоящему времени она только осложнилась. В концепции развития геологической отрасли РК

до 2030 г. (принята в 2012 г.) фиксируется, что проведённые в последние десятилетия геологоразведочные работы государственного геологического изучения недр и по контрактам на недропользование не полностью восполняют погашенные запасы [6]. В той же концепции отмечается, что в Казахстане уровень научно-технологической поддержки геологоразведки как по качеству исследований, так и по их объёму снизился до критического уровня, и это одна из главных негативных причин недостаточной результативности геологоразведочной отрасли, особенно в сфере выявления новых рудных объектов.

1. Успешность восполнения, расширения и поддержания конкурентоспособности МСБ зависит от ряда факторов различной природы: уровня развития фундаментальных и прикладных научно-методических разработок, нормативно-правового обеспечения, государственных и частных инвестиций, системы управления, природных факторов (наличие полезных ископаемых на территории), подготовки профессиональных кадров, полноты и качества оценки недр (рис. 1).

Все факторы важны. Их влияние проявляется с разным временным лагом, сложно переплетается, и поэтому деградация любого из них приводит к снижению общей эффективности геологоразведочных работ. Например, в [15] рассматривается роль проектного управления в геологической отрасли, в [26] анализируется финансирование и нормативно-правовое обеспечение.

Приняв как аксиому высокий металлогенический потенциал территории Казахстана (хотя и эту аксиому желательно уточнить), а также пока ещё достаточную профессиональную компетентность персонала (многие считают её уже недостаточной), рассмотрим только полноту и качество оценки недр.

Качественное и полное изучение и оценка недр – достаточно дорогостоящие и длительные процессы.

Вкладывая средства в изучение и оценку геологических недр, надо отчётливо понимать, что такой вклад – это своего рода долговременный страховой полис, обеспечивающий при правильном использовании устойчивое развитие, в том числе развитие высокотехнологических производств и создание продуктивных рабочих мест.

Учитывая значительные риски работ по оценке недр и долговременность отдачи от вложенных средств, геологоразведка и особенно её научно-технологическое обеспечение могут и должны опираться на стабильные долгоживущие институты, ориентированные на фундаментальные ценности и не требующие немедленного превращения надежд и ожиданий в сиюминутную прибыль. Такими институтами могут быть уполномоченные государственные учреждения (если они постоянно не реорганизуются), фонды развития, крупные компании.

Полнота и качество оценки недр на рудные полезные ископаемые определяются **научно-методологическим и технологическим обеспечением** геологоразведочных работ, которое зависит от общего уровня научных исследований. Это, по мнению авторов данной статьи, фундаментальная основа и главный фактор модернизации и развития геологической отрасли, которые должны соответствовать общемировому тренду развития науки и технологий – **междисциплинарности, математизации, цифровизации** – и затрагивать все аспекты оценки недр.

Научно-технологическое обеспечение геологоразведочной отрасли, геологоразведочных операций оценки недр, как и любых наукоёмких отраслей и операций, нуждается не в реализации отдельных разрозненных проектов, а в систематическом, непрерывном развитии и улучшении качества получаемых результатов. Процесс непрерывного повышения качества определяется циклом Деминга, осознание сути которого и использование в своё время позволили Японии почти с нуля выйти в мировые

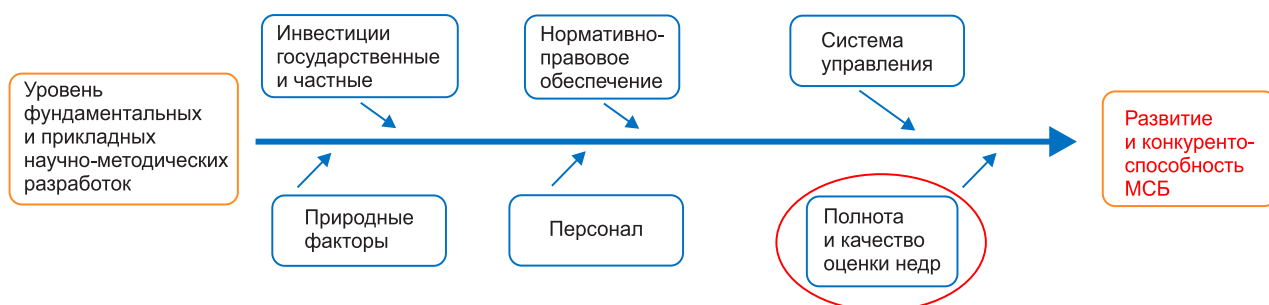


Рис. 1. Факторы развития и конкурентоспособности минерально-сырьевой базы



Рис. 2. Цикл Деминга

лидеры по качеству выпускаемой продукции и услуг. Цикл включает в себя планирование–выполнение–проверку–корректировку (исправление), что делает развитие постоянной компонентой отрасли, процесса, операции (рис. 2).

В данной статье рассматривается фаза планирования научно-методологического и технологического обеспечения геологоразведочных операций. В её рамках необходимо **определить возникшие проблемы, поставить цели и наметить меры по преодолению существующих проблем** с ориентацией на повышение полноты и качества оценки недр на рудные полезные ископаемые. Очевидно, что для реального развития и повышения качества результатов останавливаться только на фазе планирования нельзя.

Формируя планы стратегии и тактики научно-методологического и технологического обеспечения геологоразведочных операций, желательно исходить не из конъюнктурных интересов, привычных схем, сложившихся стереотипов. Необходимо опираться на объективный анализ реального состояния и тенденций геологоразведки, а также принципы инновационного развития, в частности, не только совершенствовать старое, но создавать и использовать новое.

2. Главной проблемой оценки недр на рудные полезные ископаемые является низкая эффективность выявления новых рудных объектов. Это связано с тем, что геологоразведочная ситуация постепенно, но коренным образом изменилась по сравнению с серединой XX века. В настоящее время очень мала вероятность выявления рудных объектов, выходящих на дневную поверхность, и результативность традиционных геологоразведочных ме-

тодов стала близкой к нулю. Выяснилось, что используемые традиционные геологоразведочные методы в новых условиях оказались недостаточно эффективными, и, как следствие, в настоящее время из 1000 участков, оценённых как потенциально перспективные, примерно на 1–2 десятках выявляются рудопроявления и только на одном значимое месторождение [26].

Существуют две базовые операции оценки недр на рудные полезные ископаемые: выявление новых рудных объектов (прогнозно-поисковые работы) и геолого-экономическая оценка месторождений (разведочные работы) (рис. 3). Конечная цель прогнозно-поисковых работ – выявление новых, неизвестных на момент проведения работ рудных объектов иерархического уровня (от рудных районов до месторождений); конечная цель разведочных работ – построение 3D-моделей месторождений, выделение рудных тел с подсчётом запасов и промышленно-экономическая оценка новых месторождений (или переоценка известных).

Первая операция основывается на взаимосвязи свойств геологической среды и представляет собой прямую геопризнаковую задачу, заключающуюся в переходе из одного признакового пространства в другое с его сжатием:

$$(x, y, z; \{t\}^n) \xrightarrow{f} (x, y, z; \{T\}^m),$$

где x, y, z – координаты ($x, y, z \in V$),

$\{t\}^n$ – пространство прогнозирующих (косвенных) характеристик,

$\{T\}^m$ – пространство целевых характеристик прогнозирования ($m < n$), а часто $m=1$,

f – оператор перехода (сжатия информации), то есть технологии прогнозирования.

На выходе прогнозно-поисковых работ резко уменьшается общее количество информации, но также резко возрастает её целевая ценность (по отношению к задаче прогноза). Одновременно производится и резкое сокращение размеров области прогнозно-поисковых работ V , в которой по значениям T выделяются перспективные площади V_p ($V_p \ll V$). В идеале площадь V_p обращается в точку или точки задания поисково-оценочных скважин.

В операциях разведки месторождений почти не меняется признаковое пространство (обычно это содержания полезных компонентов), но происходит расширение информации с помощью процедур интерполяции, экстраполяции и аппроксимации данных с развёрткой пространства из 0D в 3D.

В настоящее время особых проблем с геолого-экономической оценкой рудных месторождений нет, если не считать чисто экономических. Однако, с операцией выявления новых рудных месторождений в ситуации практически полного исчерпания фонда

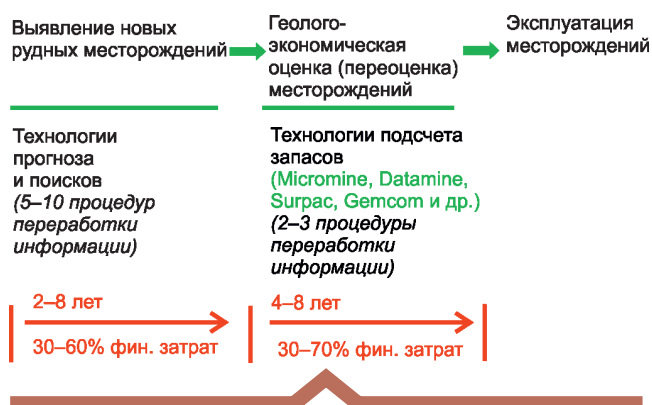


Рис. 3. Операции оценки недр на рудные полезные ископаемые

легкооткрываемых объектов дело обстоит гораздо сложнее, и здесь простое увеличение финансирования без качественного повышения уровня всех составляющих прогнозно-поисковых работ автоматически не приведёт к повышению их эффективности и продуктивности. Это определяется прежде всего **трудностью самой задачи прогнозирования скрытых рудных объектов**, решение которой связано с изучением и моделированием условий формирования и закономерностей размещения сложных диффузных нелинейных систем с самоорганизацией в неоднородной и нелинейной геологической среде.

Решение проблем оценки недр на рудные полезные ископаемые (точнее, движение по пути решения проблем) предполагает:

- построение *моделей* и получение *знаний* об основных свойствах рудообразующих систем и их поведении в различных условиях;
- владение *информацией* о недрах (первичных и вторичных характеристиках геологической среды и геологических систем), позволяющей в принципе решать задачу прогноза тех или иных типов полезных ископаемых с определённой надёжностью;
- существование и владение *технологиями*, преобразующими знания и информацию в прогнозную оценку недр.

Теоретико-методологические, информационные и методико-технологические задачи обеспечения оценки недр на рудные полезные ископаемые тесно переплетаются между собой, в связи с чем эффективное продвижение по пути решения поставленных задач возможно лишь путём их совместного развития и использования. Развитие теории рудообразования практически невозможно без использования представлений и моделей других наук (прежде всего физики, химии), математического и компьютерного

моделирования механизмов рудообразующих процессов (включая мобилизацию, перемещение и отложение рудного вещества). Надо понимать, что, подходя к фундаментальным основам любой науки, уже не обойтись без математики, физики, химии, продолжая опираться лишь на обыденные представления и «здравый смысл».

Пока, к сожалению, авторы вынуждены констатировать, что научные исследования, призванные обеспечить теоретико-методологические и технологические основы оценки недр на рудные полезные ископаемые, не имеют стратегических целей, разрознены и не системны. В них практически отсутствует междисциплинарность, совершенно недостаточно используются результаты фундаментальных наук и широкие возможности математического и компьютерного моделирования рудообразующих процессов, систем и объектов. Информационную основу прогнозно-поисковых работ продолжают составлять традиционные, недостаточно формализованные характеристики, которые редко преобразуются в математические поля и, вероятно, в принципе не могут существенно повысить эффективность прогнозно-поисковых работ. Что касается собственно прогноза, то мы продолжаем в основном опираться на субъективные экспертные оценки (что не всегда плохо!) и полностью прекратили разработки собственных прогнозно-поисковых технологий (их методологии, алгоритмов и программ), хотя в 1970–1980 годы были лидерами в этой сфере. Заметим, что надежды на трансферт зарубежных технологий не оправдались.

Следует подчеркнуть, что в настоящее время развитие научно-методологического и технологического обеспечения геологоразведочных работ должно ориентироваться, то есть использовать соответствующие знания, информацию и технологии, на выявление рудных объектов с низким статусом открываемости: глубокозалегающих, перекрытых аллохтонными образованиями (рыхлыми отложениями, базальтами и др.), не имеющих явных индикативных признаков на поверхности.

3. Цели и основные аспекты развития научно-методологического и технологического обеспечения оценки недр включают ряд аспектов.

Целью развития научно-методологического и технологического обеспечения оценки недр на рудные полезные ископаемые является *формирование предпосылок и условий для устойчивого восполнения, развития и поддержки конкурентоспособности минерально-сырьевой базы Казахстана*.

В качестве **базовой аксиомы прогнозной оценки недр на рудные полезные ископаемые** можно принять следующее положение: *рудные объекты (месторождения, рудные поля, рудные узлы, рудные районы)*

являются не случайными, а специфическими геологическими образованиями, которые органично присутствуют в земной коре и протекающим в ней процессам перераспределения вещества. Несмотря на кажущуюся простоту и тривиальность, данная аксиома ставит под сомнение металлогенические построения, основанные на случайном совмещении факторов, их механистическом сложении (факторы надо не складывать, а «взвешивать» и структурировать) или использовании гипотез *ad hoc* (гипотез «для данного случая»), типа «впрыскивание» металлов с больших глубин (хотя последнее не исключается).

Методологический аспект научно-технологического обеспечения оценки недр должен основываться на преобладающем типе поведения изучаемых систем или типе поведения, представляющем наибольший теоретический или прикладной интерес для решения конкретных задач. В металлогении наибольший интерес представляют системы и процессы с самоорганизацией, так как именно они обеспечивают структурное усложнение систем с понижением их энтропии, формирование устойчивых объектов в разнообразных условиях (именно к таким системам и объектам относятся рудообразующие системы и рудные месторождения) [5, 9, 12, 14, 19].

Явление самоорганизации в очень упрощённом виде можно пояснить как тип поведения систем в координатах воздействие (на систему)–результат (изменение системы) (табл. 1).

Самоорганизационные процессы запускаются при конкуренции противоположных тенденций. Для геологической среды это могут быть диссипация и подвод тепла, электромагнитное отталкивание и притяжение частиц, растворение и осаждение, десорбция и сорбция, диффузия вещества (увеличение энтропии) и его концентрация (минимизация свободной энергии), деструкция сложных молекул и полимеризация (кластеризация), плавление и кристаллизация и др. Самоорганизация приводит к необратимому структурированию среды, что, в свою очередь, ведёт к углублению и ускорению структурирования.

Принятие мировоззренческой модели самоорганизации в металлогенических системах влечёт изменение методологии их изучения и интерпретации. Во-первых, необходимо учитывать пространственно-временную *автономизацию систем с самоорганизацией*. Автономизация происходит на всех иерархических уровнях и приводит к появлению ячеистых (мозаичных) и ритмичных структур. Автономизация указывает на то, что главное внимание нужно уделять внутренним особенностям, внутренней логике развития систем, хотя внешние причины в отдельных случаях могут быть решающими (особенно для разрушения систем). Во-вторых, желательно

отказаться от чисто детерминированных и(или) вероятностных схем и моделей образования и развития систем. В-третьих, нужно признать *отсутствие доминантных факторов*, влияющих на развитие систем с самоорганизацией. Главное не сила влияния какого-то фактора, а правильная архитектура воздействия на систему (среду). В-четвёртых, необходимо обратить внимание на *нелинейные связи* (внутренние и внешние) и особенно на дискретную нелинейность и режимы с обострением. Отметим, что фиксировать нелинейные связи и эффекты можно только при использовании для описания свойств систем сильных шкал измерения (шкалы интервалов, отношений). И в-пятых, для систем с самоорганизацией существует *несколько путей развития* и поэтому их моделирование должно быть многовариантным.

Физическим аспектом формирования и размещения рудных объектов в геологической среде, а следовательно, и оценки недр на рудные полезные ископаемые является представление о перемещении, дифференциации, ассоциации химических элементов, которые характеризуются когерентным, самосогласованным поведением. Системы с таким поведением составляющих их элементов описываются на основе принципов синергетики и приводят к возникновению разномасштабных стационарных состояний, формированию широкого спектра диссипативных структур и низкоэнтропийных объектов. Перераспределение элементов происходит при иерархическом структурировании геологической среды в результате протекания в ней локально неравновесных процессов. Именно в таких условиях могут возникнуть устойчивые закономерности (связи) между элементами, структурами, свойствами и формироваться диссипативные структуры (рудные месторождения – типичные диссипативные структуры) [8, 13]. При этом сами рудные объекты можно рассматривать как специфические диссипативные структуры, атрибутивными признаками которых являются повышенные концентрации металла или металлов, представленные в форме определённых минералов.

Геологическим аспектом оценки недр на рудные полезные ископаемые является использование наработанных способов описания, вычленения, анализа объектов геологического пространства. Эти операции производятся по данным анализов содержания элементов, определениям минерального состава, картированию распределения горных пород, выделению по каким-то правилам формаций, зон, районов, замерам геофизических полей и др. Геологические основы оценки недр на рудные полезные ископаемые на разных масштабных уровнях рассмотрены в большом количестве работ [7, 21, 22, 27, 30, 31 и др.].

1. Типы поведения систем

Воздействие	Результат	
	Неспецифический	Специфический
Неспецифическое	Хаотичное	Самоорганизационное
Специфическое	Вероятностное	Детерминированное

Операционным аспектом оценки недр на рудные полезные ископаемые и особенно собственно прогнозной оценки являются выявление и описание взаимосвязи (корреляции) свойств (характеристик) геологической среды. Здесь используется фундаментальный принцип: *корреляция кодирует информацию*. Применительно к прогнозированию рудных полезных ископаемых принцип корреляции означает выявление и описание силы и формы взаимосвязи целевых характеристик прогнозирования (T) с «косвенными» (прогнозирующими) характеристиками (t) геологической среды. Формально в наиболее общем виде существование связи определяется следующим соотношением:

$Q(T|t_i) = Q(T)$ при всех t_i – связи нет,

$Q(T|t_i) \neq Q(T)$ при любых t_i – связь существует,

где $Q(T)$ – параметры (среднее, мода, дисперсия, ...) распределения характеристики T ; $Q(T|t_i)$ – условные параметры распределения характеристики T в интервале i значений характеристики t .

Важным основанием прогнозной оценки недр является **экономический аспект**, который часто остаётся без внимания или приносится в жертву «комплексности» и(или) «опережающим исследованиям», оставшимся от времён «затратной» геологоразведки. Экономичность приближённо равняется количеству новой информации об объектах прогнозирования на единицу затрат (например, затрат на 1 км²). Количество информации зависит от числа новых примерно ортогональных друг другу фиксируемых характеристик геологической среды и силы их взаимосвязи с целевыми характеристиками прогнозирования. Заметим, что «комплексность», под которой понимается получение информации различными способами (визуальным, аналитическим, приборным), давно пора заменить на «системное описание». Последнее предполагает получение информации для описания систем, объектов или процессов с разных позиций (вещественных, структурных, геометрических, физико-химических) и с учётом их принадлежности системам более высокого порядка и возможного разделения на подсистемы более низкого уровня.

4. Теоретической основой, базовой металлогенической моделью рудообразования может служить простая и ясная схема перераспределения элементов в геологической среде «на месте». Эта модель в той

или иной степени способна согласовать и объединить разные металлогенические гипотезы и представления [7, 11, 19–21].

Несмотря на значительное разнообразие геологических обстановок, перераспределение элементов осуществляется по одной схеме: мобилизация (перевод рудных элементов в подвижное состояние)–миграция (перемещение в пространстве)–отложение (перевод в неподвижное состояние). В данном контексте термин «на месте» понимается как пространственная ассоциация и даже перекрытие областей выноса и зон накопления элементов. Области мобилизации и выноса элементов (V_m), пути миграции и зоны отложения с накоплением V_s (в частном случае зоны образования руд) фиксируются отрицательными и положительными аномалиями рудообразующих и других элементов, которые в совокупности образуют *рудообразующие (металлогенические) системы*. Металлогенические системы рудных объектов разных иерархических уровней имеют следующие типичные размеры: рудные провинции ($n \times 10^5 - n \times 10^6$ км²), зоны ($n \times 10^4$ км²), районы ($n \times 10^3$ км²), узлы ($n \times 10^2$ км²), поля ($n \times 10$ км²), месторождения ($n \times 10^0$ км²) (иерархическая градация рудных объектов даётся по А. А. Головину).

Системы разных масштабных уровней (рудных районов, узлов, месторождений) как матрёшки вкладываются друг в друга. Например, в зоне накопления системы иерархического уровня «рудный район» могут находиться несколько рудообразующих систем ранга «рудный узел», включая более локальные зоны накопления и области выноса.

Неспецифическим воздействием (см. табл. 1), движущей силой, приводящей к перераспределению элементов и структурированию полей концентрации элементов в геологической среде (в том числе приводящих к образованию рудообразующих систем и рудных объектов), являются различные по способам образования и размерам *естественные электрические поля* [2, 29].

Задачи выделения металлогенических систем достаточно сложны, не всегда однозначны, иногда практически невозможны, но в принципе системы могут быть описаны следующими характеристиками:

- размерами и формами V_m и V_s ;
- распределением концентраций перемещаемых элементов в V_m и V_s ;
- распределением форм нахождения элементов в V_m и V_s ;
- степенью извлечения (α_m) и накопления (α_s) элементов в V_m и V_s ($\alpha_m = C_m/C_k$; $\alpha_m < 1$; $\alpha_s = C_s/C_k$; $\alpha_s > 1$; где C_m, C_s – оценки средних концентраций в V_m и V_s ; C_k – оценённое значение кларковой концентрации элемента в районе расположения V_m и V_s);

• массой мобилизованного (M_m) и переотложенного (M_s) элемента ($M_m \approx M_s > M_0$ ($C > C_b$), где M_0 – масса элемента в концентрации выше заданной (C_b). Обычно для рудных узлов и рудных полей M_0 ($C > C_b$) $\approx 0,05-0,2 M_s$, то есть 5–20% мобилизованного и переотложенного элемента концентрируется собственно в месторождениях.

Возможности практического использования модели металлогенической системы связаны с взаиморасположением областей мобилизации и отложения рудного вещества. В настоящее время существует тенденция помещать области мобилизации элементов на большие, недоступные непосредственным наблюдениям глубины и (или) однозначно сопоставлять их с какими-либо масштабными геологическими процессами (объектами): интрузивным и вулканоогенным магматизмом, глубинными подвижными зонами и др. Потенциальные возможности этих масштабных процессов для тонкой дифференциации вещества как необходимого условия рудообразования представляются не всегда очевидными. Если принять гипотезу о глубинном источнике руд за «очевидную истину», то модель перераспределения теряет функциональный прикладной смысл, так как относительно области V_m можно строить самые широкие и, главное, не проверяемые фактами предположения (на существующем уровне знаний и технических возможностей). В таких условиях для каждого значительного рудного объекта (рудного узла, крупного и даже среднего месторождения) приходится вводить специальную систему гипотетических «специальных условий» adhoc (на данный случай). Хотя, конечно, нельзя отрицать привнос элементов с больших глубин при формировании литосферы, который и определил её металлогеническую специализацию [10].

Наиболее наглядным фактом применимости гипотезы образования рудных объектов в результате перераспределения элементов в земной коре «на месте» является то, что рудные объекты, особенно крупные, в пространстве тесно ассоциируют с областями пониженных концентраций основных металлов, которые интерпретируются как зоны мобилизации и выноса вещества. Соответствующие примеры рассмотрены в [3, 18, 23, 28, 29].

5. Организация и закономерности расположения в пространстве рудных объектов различного иерархического уровня (месторождения, рудные узлы, рудные районы) всегда привлекали внимание геологов. В большинстве случаев то или иное положение в пространстве рудных объектов объясняется и связывается с какими-либо геологическими телами или структурами. Принимая во внимание, что металлогенические (рудообразующие) системы явля-

ются системами с самоорганизацией и что таким системам (и это очень важное следствие!) присуща значительная **автономизация**, имеет смысл рассмотреть организацию размещения рудных объектов, опираясь на закономерности их взаиморасположения в пространстве.

Анализ пространственного взаиморасположения рудных объектов можно проводить с методом вычисления средних кратчайших расстояний между объектами (R) и сравнивать его со средним кратчайшим расстоянием между соответствующим числом случайно расположенных в пространстве точек ($R_{сл}$). Если отношение $R/R_{сл} > 1$, то объекты имеют тенденцию к «разбеганию» в пространстве; если $R/R_{сл} < 1$, то имеется тенденция группирования (сгущения) объектов; $R/R_{сл} \approx 1$, то взаиморасположение объектов не отличается от взаиморасположения случайных точек. Вычисления R и $R_{сл}$ проводились с помощью программы NextPoint, входящей в программный комплекс ELAN_W [16]. Результаты вычисления средних кратчайших расстояний между месторождениями Казахстана приведены в табл. 2. Как видим, для месторождений всех рассмотренных металлов $R/R_{сл} < 1$, что является количественным статистическим описанием степени их группирования и соответствует сформулированному Ф. А. Усмановым принципу группирования (сгущения) эндогенных месторождений [25]. Полученная закономерность подтверждает давно известное правило «ищи руду около руды».

Пространственное группирование месторождений естественным образом приводит к образованию рудных (металлогенических) объектов более высокого иерархического уровня: рудных узлов, районов (однозначного наименования и чёткого способа оконтуривания эти объекты пока не имеют).

Для построения рудных объектов более высокого иерархического уровня, чем месторождения, воспользуемся методом построения моделей плотности оруденения, которая вычисляется с помощью следующего функционала [18]:

$$D_j(x, y) = \sum_{i=1}^k \{M_{ji} / [1 + \beta(r/\gamma)^a]\},$$

где $D_j(x, y)$ – плотность оруденения металла j в точках с текущими координатами x, y ($x, y \in V$, где V – область моделирования);

M_{ji} – размеры (запасы) i месторождения j металла;

k – число месторождений j металла;

r – евклидово расстояние между i месторождением (его координаты x_i, y_i) и точками с текущими координатами x, y ;

α, β, γ – параметры, регулирующие вид модели D (в частности, радиус эффективной «генерализации» $Re = \gamma$, при $\beta = 1$).

При построении моделей плотности оруденения по территории Казахстана и Средней Азии в качестве показателя размеров месторождений использовались запасы металлов в них. Брались только крупные и средние по запасам месторождения, так как мелкие на получаемую картину плотности оруденения практически никакого влияния не оказывают. Параметры модели подбирались эмпирически так, чтобы радиус эффективной генерализации (Re) примерно соответствовал среднему кратчайшему расстоянию между месторождениями, то есть расстоянию между месторождениями в местах группирования (сгущения). В данном случае, если расстояние измеряется в километрах, это соответствует параметрам $\alpha=3$, $\beta=1$, $\gamma=70$, а $Re \approx 50-80$ км. При уменьшении степени генерализации ($Re < 40-50$ км) появляется много эпицентров, часто соответствующих отдельным крупным месторождениям; при увеличении степени генерализации ($Re > 120-150$ км) эпицентры начинают размываться, сливаться, а поля D_j теряют структурность, представляя собой фрагмент структуры более высокого иерархического уровня.

Несколько упрощённая картина распределения крупных эпицентров плотности оруденения (рудных районов) на территории Казахстана и Средней Азии показана на рис. 4.

Средние кратчайшие расстояния между выделенными на моделях эпицентрами плотности металлов приведены в табл. 3. Для всех металлов $R/R_{cl} > 1$, то есть средние кратчайшие расстояния между рудными объектами этого иерархического уровня больше, чем средние кратчайшие расстояния между случайно расположенными точками, что свидетельствует о «разбегании» эпицентров плотности оруденения (предельным случаем «разбегания» является расположение объектов в узлах какой-то равномерной регулярной сетки). Как видим, для этого иерархического уровня закономерности пространственной организации в размещении рудных объектов противоположны закономерностям в пространственном размещении собственно месторождений.

Закономерность «разбегания» согласуется с базовой металлогенической моделью рудообразования в результате перераспределения элементов «на месте» и указывает на правильность и необходимость использования не только принципа «ищи руду около руды», но и противоположного – «ищи руду вдали от руды». Закономерности пространственной организации размещения рудных объектов и прежде всего закономерности, связанные с «разбеганием» рудных районов (узлов), уже сейчас можно использовать для выявления потенциально перспективных площадей. Такими площадями являются «незанятые вакансии», расположенные на расстоянии R (см. табл. 2)

от 2–3 эпицентров плотности, соответствующих рудным районам (узлам). Некоторые из таких «незанятых вакансий» на территории Казахстана и Средней Азии показаны на рис. 4.

Отметим, что выявленные закономерности размещения рудных объектов не согласуются (или согласуются плохо) с традиционными интерпретациями, которые основаны на локальных геологических, геофизических, геодинамических и других особенностях вмещающей рудные объекты среды. Автономность рудных систем относительно региональных геологических структур хорошо видна при сопоставлении минерагенической карты Казахстана (масштаб 1:1 000 000) [4] с выделенными и показанными на рис. 4 рудными районами (рис. 5). Конечно, положение каждого отдельного района объясняется конкретной геологической (геодинамической) обстановкой, но это всего лишь гипотезы «для данного случая», и целостного объяснения всей картины распределения рудных районов Au, Cu, Fe, Mo, Sn, W, Zn и Pb для территории Казахстана пока нет.

6. Информация о недрах, на основе которой решается задача оценки недр на рудные полезные ископаемые, представляет собой набор характеристик геологической среды, измеряемых (оцениваемых) с помощью различных методов. Новые знания для обеспечения оценки недр на рудные полезные ископаемые, получаемые при научно-методологических исследованиях, с прикладных позиций нужны в основном для выявления характеристик геологической среды, необходимых для прогноза, поисков и оценки рудных объектов. Одновременно сами знания опираются на характеристики геологической среды, традиционно используемые в геологоразведке, и, по которым накоплен определённый объём информации.

Из рассмотренной выше базовой модели рудообразования вытекает достаточно очевидное следствие: наиболее простыми, фундаментальными и информационно важными характеристиками геологической среды при прогнозе и поисках рудных объектов являются концентрации химических элементов. Картирование полей концентрации элементов и особенно полей концентрации подвижных форм элементов является наиболее прямым и естественным направлением прогнозирования и поисков рудных объектов. Важно, что концентрации элементов являются настоящими физическими величинами, допускающими их объективное измерение, формализованное описание, демонстрацию воспроизводимости, определение систематических и случайных отклонений. Сами рудные месторождения представляют собой участки геохимического поля с резко повышенными содержаниями рудных элементов, и отсюда ясно,

2. Средние кратчайшие расстояния между месторождениями Казахстана

Месторождения	Класс крупности	Число объектов	R	$R_{сл}$	$R/R_{сл}$
Au	К	63	40	86	0,44
Cu	К	31	62,8	135,9	0,46
Pb+Zn	К	49	49	99	0,50
Fe	К+С	48	45,5	79	0,51
Mo	К	26	98	144	0,66
W	К	7	135,9	336,7	0,40
	К+С	20	94,7	163,2	0,58

Примечание. К – крупные объекты; С – средние объекты; R – средние кратчайшие расстояния между объектами (км); $R_{сл}$ – средние кратчайшие расстояния между случайно расположенными точками (км); для месторождений всех металлов значения R значительно отличаются от $R_{сл}$ по критерию Стьюдента при 95 % уровне значимости.

что все геологические процессы связаны с процессами формирования рудных объектов через соответствующие поля концентраций (геохимические поля).

Принятие концентраций химических элементов в качестве информационной основы прогнозирования рудных объектов не исключает использование данных о составе и структуре породных комплексов, геофизических полях и аномалиях, тектонических нарушениях, так как в каких-то ситуациях и масштабах эти характеристики могут становиться главными.

В недалёком будущем практический интерес для оценки недр будут, вероятно, представлять некоторые методы получения информации о физико-химических параметрах геологической среды [20].

Развитие информационного обеспечения оценки недр на рудные полезные ископаемые заключается не только и, возможно, не столько в расширении круга характеристик геологической среды. Важными представляются построение и использование иерархической системы цифровых *моделей геологического пространства (GSM)*. Эти модели должны строиться в координатах XY (стартовый вариант), XYZ, XYT, XYZT, где X, Y, Z – геометрические координаты пространства, T – координата времени. При этом под геологическим пространством будем понимать часть физического пространства, занятого планетой Земля или любую его часть [1].

GSM включают и объединяют математические поля следующих групп характеристик геологической среды:

- физические характеристики (или характеристики 1-го рода);
- виртуальные (производные) характеристики (или характеристики 2-го рода).

Физические характеристики могут быть непосредственно измерены или оценены (содержания элементов, типы горных пород, гравитационные и электромагнитные поля). Некоторого пояснения требуют виртуальные характеристики. Они не мо-

гут быть измерены непосредственно и строятся на основе связи с какими-то физическими характеристиками, некими знаниями или субъективными представлениями и целями их конструирования. Эти характеристики реально не существуют, но могут быть успешно использованы при решении некоторых конкретных задач. Например, виртуальными характеристиками являются соотношения содержаний элементов, геохимические ассоциации, породные формации, плотность тектонических нарушений, результаты любого районирования, выделяемые аномалии, поля плотности оруденения и др.

Общие требования к физическим и виртуальным характеристикам GSM:

1. Характеристики (или их совокупности) должны иметь содержательный смысл, то есть их включение в модель можно объяснить на основе представлений о закономерностях размещения и локализации прогнозируемых типов оруденения.
2. Характеристики должны быть объективно определяемыми (воспроизводимыми) и по возможности оцениваться в порядковой или числовой шкалах.
3. Желательно, чтобы характеристики не дублировали одну и ту же информацию.
4. Определение характеристик должно увязываться с практически выполнимыми операциями.
5. Характеристики должны быть определены по всей или большей части геологического пространства, для которого строится модель.

Все характеристики с помощью процедур аппроксимации, экстраполяции, решения обратных задач и, возможно, томографии преобразуются в математические поля в соответствующих координатах (под математическим полем будем понимать задание в каждой точке геометрического или геометрическо-временного пространства физических и виртуальных характеристик). В GSM будут определяться модельные значения характеристик геологической среды в узлах задаваемой регулярной сетки

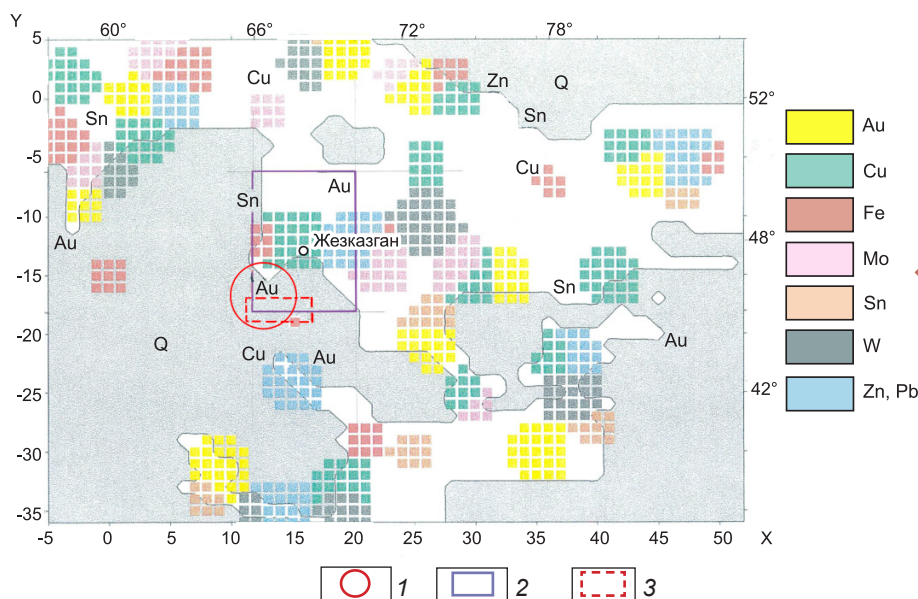


Рис. 4. Схема размещения на территории Казахстана и Средней Азии эпицентров плотности оруденения (рудных районов) Au, Cu, Fe, Mo, Sn, W, Zn и Pb:

1 – «вакансия» золоторудного района; 2 – территория проведения геохимического картирования Жезказганского рудного региона (2014–2015); 3 – Южно-Карсакапская площадь (14 000 км²), перспективная на золотое оруденение; Q – рыхлые отложения и отсутствие данных (ЮВ угол); химические символы – «вакансии» размещения рудных объектов соответствующих металлов; X, Y – условные координаты

2–4D. В этих же узлах для каждой характеристики будет определяться специальный показатель «веса» её модельного значения. Он требуется в связи с тем, что процедуры построения математических полей обеспечивают только вероятностное определение модельных значений характеристик и в каждом узле необходима «надёжность» этих оценок.

GSM будут включать в себя модели целевых характеристик прогнозирования в виде полей плотности оруденения разных металлов, построенных по оценкам запасов известных рудных объектов и модели прогностических («косвенных») характеристик геологической среды, описывающих геохимические поля и структуры, развитие вулканогенно-осадочных и магматических пород, плотность разрывных нарушений, геофизические поля и структуры и др. Использование корреляционного, факторного, кластерного анализов и других методов позволит на информационной основе GSM оптимизировать параметры моделей целевых и прогнозирующих характеристик, строить модели-эталонные 3–4 поколений различных типов рудных объектов [18], выделять потенциально перспективные площади и давать по ним оценки прогнозных ресурсов.

7. Постоянное развитие соответствующих методов и технологий требуется для преобразования знаний (гипотез, моделей, предположений) и информации о характеристиках геологической среды, геологических объектов в оценки недр (в частности, в прогноз рудных полезных ископаемых) [17]. Необходимо признать, что большинство получаемых в настоящее время прогнозных оценок недр опира-

ется на субъективные экспертные суждения (что не всегда плохо) и на простые линейные аналогии (далеко не всегда адекватные реалиям). По мнению авторов, необходимо срочно, пока эта ниша не потеряна (как произошло с системами подсчёта запасов), приступить к разработке **технологической системы цифрового прогнозирования**, ориентированной на выявление скрытых рудных объектов.

В настоящее время обработка информации в рамках прогнозно-поисковых исследований проводится с помощью нескольких главных операций, основой которых является аппарат математической статистики. Её преимуществом (при ряде ограничений) является возможность решать нечётко поставленные задачи, использовать информацию со случайными отклонениями и неполной воспроизводимостью. Например, в программном комплексе Elan [16, 18], ориентированном на прогнозирование рудных полезных ископаемых на основе обработки больших массивов многомерной числовой информации и специального моделирования, реализуются следующие главные операции:

- структурный статистический анализ распределения данных;
- построение гибко регулируемых аппроксимационных моделей 1–3D (в основном 2D) распределения характеристик по области прогнозирования V ;
- анализ силы и формы нелинейной корреляции с помощью вычисления оптимального корреляционного отношения;
- классификации и районирование слаборазличающихся многомерных данных без априорной информации о числе;

3. Средние кратчайшие расстояния между эпицентрами плотности оруденения (рудными районами)

Эпицентры металлов	Число эпицентров	R	R _{сл}	R/R _{сл}
Au (все)	9	400	250	1,6
Au (крупные)	4	900	400	2,4
Cu (все)	11	330	220	1,5
Cu (крупные)	5	540	350	1,55
Zn (крупные)	6	570	320	1,8
Fe (все)	10	440	230	1,4
Mo (крупные)	8	330	270	1,2
W (все)	7	500	290	1,9

Примечание. R – средние кратчайшие расстояния между объектами (км); R_{сл} – средние кратчайшие расстояния между случайно расположенными точками (км); для эпицентров плотности оруденения всех металлов значения R заметно отличаются от R_{сл} по критерию Стьюдента при 95 % уровне значимости.

- построение многомерных нелинейных прогнозных функций (при наличии эталонов прогнозирования).

Остановимся на некоторых новых операциях, разработка которых крайне желательна и даже необходима для современных технологий цифрового прогнозирования.

Перспективным направлением в прогнозировании рудных полезных ископаемых является методика анализа **взаимосвязи характеристик геологической среды с учётом их пространственной природы** на основе следующего функционала:

$$COR = \{ [S(Y_b) \cap S(X_b)] / [S(Y_b) \cup S(X_b)] \} \times [i(Y_b) + i(X_b)],$$

где S(Y_b), S(X_b) – длины, площади или объёмы, в которых характеристики Y и X больше Y_b и X_b;

i(Y_b), i(X_b) – шенноновская информативность $i = -\ln P$, P – вероятность Y и X быть больше Y_b и X_b.

Использование методов выявления и описания пространственных переменных потенциально может обеспечить кодирование значительно большего объёма целевой информации при прогнозировании рудных полезных ископаемых.

При прогнозе полезных ископаемых необходимо учитывать **диффузность или «плохую организацию» рудообразующей среды, систем и объектов**. В таких средах, системах и объектах сложно, а иногда невозможно разграничить влияние разнородных факторов, выделить уровни иерархической организации и даже определить их внешние границы. Для технологии цифрового прогнозирования рудных объектов потребуются разработать методы описания и выделения диффузных систем. Оцифрование таких систем должно послужить входным материалом для генерации алгоритмов распознавания геологических объектов посредством искусственного интеллекта, который, в свою очередь, должен позволять оценивать множество исследуемых объектов на предмет их рудоносности.

Проблемы **томографии** геологических сред на базе поверхностных опробований, интерпретируемых как скалярные поля, не получили решения на данный момент времени. Между тем это очень важная задача, поскольку её решение могло бы существенно расширить интерпретационные возможности геохимического или иного состояния геологических сред в оцениваемых районах поиска рудных объектов за счёт получения дополнительной информации об объёме среды. В общем случае, оставаясь в рамках анализа только эмпирического материала, полученного в результате геохимического или иного опробования дневной поверхности, в принципе невозможно создание томографических алгоритмов оценки земных недр. Решение этой задачи становится возможным только при включении в рассмотрение физических и химических процессов масса- и теплопереноса, приводящих к тем или иным последствиям в распределении вещества в геологических средах.

Большой объём получаемой для прогнозирования рудных полезных ископаемых информации, который увеличится на порядок и более с введением в эту операцию моделей геохимических полей, методов описания диффузных систем, томографии, требует приступить к разработке и использованию **технологий искусственного интеллекта**. Алгоритмическая основа специализированного искусственного интеллекта в области геологии (геохимии) может быть основана на теориях распознавания образов и нейросетей. При этом понятие образ в данном случае понимается в широком смысле слова.

Необходимость использования технологии искусственного интеллекта при цифровом прогнозировании рудных объектов связана с тем, что в большой диффузной системе геологической среды может содержаться огромное число «рудных» подсистем разных иерархических уровней, полное выделение

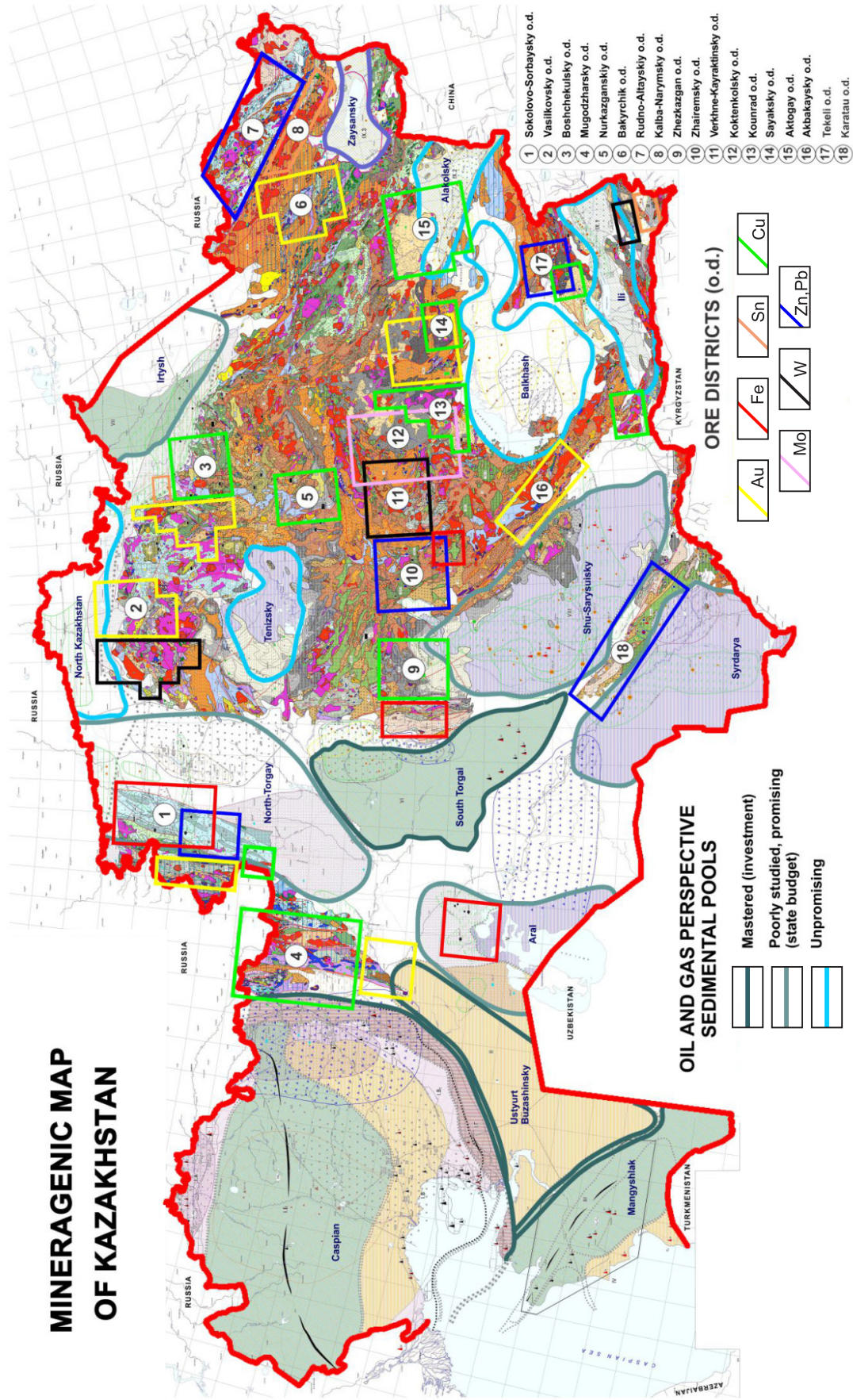


Рис. 5. Совмещение эпицентров плотности оруденения (рудных районов) Au, Cu, Fe, Mo, Sn, W, Zn и Pb с минератенической картой Казахстана. Подготовлена к 36 Международному геологическому конгрессу

которых традиционными методами затруднительно. Искусственный интеллект будет помогать специалистам при принятии решений о перспективности «рудных» подсистем благодаря синтезу, анализу и визуализации информации.

Системное и непрерывное развитие научно-методологического и технологического обеспечения геологоразведочных работ на основе принципов междисциплинарности, математизации и цифровизации, продвижение в намеченных и других направлениях с высокой вероятностью приведут к резкому повышению эффективности прогнозно-поисковых работ, ориентированных на выявление скрытых рудных объектов.

Авторы благодарят Г. Г. Фреймана за ценные советы при редактировании данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронин Ю. А., Алабин Б. К., Гольдин С. В. и др. Геология и математика. – Новосибирск: Изд-во Наука, 1967. – 254 с.
2. Гольдберг И. С. Рудообразование в геоэлектрoхимических системах // Геология и охрана недр. – 2005. – № 2(15). – С. 28–40.
3. Гольдберг И. С., Абрамсон Г. Я., Лось В. Л. Геохимические системы рудных объектов: примеры, модель, генетические и поисковые критерии // Геология и охрана недр. – 2003. – № 1(7). – С. 24–33.
4. Даукеев С. Ж., Ужкенов Б. С., Абдулин А. А. и др. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана. Т. 2. Металлогения. – Алматы, 2002. – 272 с.
5. Иванюк Г. Ю., Горяинов П. М., Егоров Д. Г. Введение в нелинейную геологию. – Апатиты, 1996. – 188 с.
6. Концепция развития геологической отрасли Республики Казахстан до 2030 года. – Астана, 2012.
7. Кривцов А. И. Прикладная металлогения. – М.: Изд-во Недр, 1989. – 288 с.
8. Летников Ф. А. Процессы самоорганизации при формировании магматических и гидротермальных рудных месторождений // Геология рудных месторождений. – 1997. – Т. 38, № 4. – С. 307–322.
9. Летников Ф. А. Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука, 1992. – 229 с.
10. Летников Ф. А. Флюидный режим эндогенных процессов в континентальной литосфере и проблемы металлогении // Материалы теоретического семинара ОГГИ РАН, 1998–1999 гг. – М.: ГЕОС, 2000. – С. 204–224.
11. Лось В. Л. Металлогенические системы и механизмы рудообразования // Геология и охрана недр. – 2005. № 4(17). – С. 28–36.
12. Лось В. Л. Самоорганизация в геологических системах // Геология и охрана недр. – Алматы, 2005. – № 1(4). – С. 75–80.
13. Лось В. Л. Теоретические, методические и технологические основы прогноза рудных объектов // Геонауки в Казахстане. – Алматы, 2004. – С. 228–239.
14. Лось В. Л., Гоберник И. А. Самоорганизация геологических систем. Проблемы моделирования // Динамический хаос в распределенных системах. – Алматы, 1997. – С. 8–18.
15. Лось В. Л., Лаумулин Ч. Т., Цеховой А. Ф. Модернизация оценки недр: от управления по заданиям к управлению по результатам // Горный журнал Казахстана. – 2017. – № 3. – С. 14–19.
16. Лось В. Л., Легонькин В. С. Математизация и компьютеризация оценки недр. Программный комплекс ELAN // Геология и охрана недр. – 2008. – № 3(28). – С. 61–66.
17. Лось В. Л., Мурзадилов Т. Д. Концепция и методология нового технологического «мейнстрима» прогнозно-поисковых работ на рудные полезные ископаемые // Геология и охрана недр. – 2018. № 3(68). – С. 58–67.
18. Лось В. Л., Усманов Ф. А., Гольдберг И. С. и др. Прогноз, поиски и моделирование рудных объектов // Комплексная переработка минерального сырья. Состояние, проблемы, решения. – Алматы, 2008. – Т. 1а. – 466 с.
19. Нарсеев В. А. Структурирование геологического пространства (в поисках новой парадигмы геологии) // Геология и охрана недр. – Алматы, 2007. – № 1(22). – С. 15–18.
20. Нарсеев В. А., Петровский А. Д. Нормализованные масс-энергетические показатели комплексов среды рудоотложения. Препринт. – М.: Изд-во РАЕН, 1993. – 45 с.
21. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. – М.: Изд-во Недр, 1982. – 669 с.
22. Старостин В. И. Металлогения. – М., 2012. – 560 с.
23. Старостин В. И., Сорохтин О. Г. Новая концепция генезиса сульфидных медно-никелево-платиновых месторождений // Геология и охрана недр. – 2010. – № 4(37). – С. 9–16.
24. Ужкенов Б. С., Сайдукасов М. А., Мазуров А. К., Селифонов Е. М. Минерально-сырьевая база меди, свинца, цинка, золота Республики Казахстан. Состояние, прогноз развития // Сырьевая база свинца и цинка, меди и золота Казахстана. – Алматы, 2002. – С. 4–5.
25. Усманов Ф. А. Главнейшие принципы современной металлогении // Современные проблемы металлогении. – Ташкент: ФАН, 2002. – С. 12–16.
26. Фрейман Г. Г. Ключевые элементы реформирования горно-геологической отрасли Казахстана, переход на международные стандарты публичной геологической отчетности // Роль университетов в создании инновационной экономики. – Усть-Каменогорск, 2018. – С. 307–313.
27. Щеглов А. Д. Основы металлогенического анализа. – М.: Недр, 1980. – 432 с.
28. Goldberg I. S., Abramson G. J., Haslam C. O., Los V. L. Geoelectrochemical Exploration: Principles, Practice and Performance. Recourcing the 21st Century. Australia, Ballarat, 1997. – P. 193–199.
29. Goldberg I. S., Abramson G. Y., Los V. L. Depletion and enrichment of primary haloes: their importance for mineral

- deposits. Y. *Geochemical Exploration. Environment, Analyses.* – 2003. – V. 3. – P. 281–293.
30. *Groves D. I., Goldfarb R. J., Gerbe-Mariam M.* et al. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal contribution and relationship to other gold deposit types: *Ore Geology Reviews.* – 1998. – V. 13. – P. 7–21.
31. *Sillitoe R. N.* Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region // *Australian Journal of earth Sciences.* – 1997. – V. 44. – P. 373–388.

REFERENCES

- Voronin Yu. A., Alabin B. K., Gol'din S. V.* et al. *Geologiya i matematika [Geology and mathematics]*, Novosibirsk, Nauka publ, 1967, 254 p. (In Russ.).
- Gol'dberg I. S.* Rudoobrazovaniye v geoelektrokhimicheskikh sistemakh [Ore formation in geoelectrochemical systems], *Geologiya i okhrany nedr*, 2005, No. 2(15), P. 28–40. (In Russ.).
- Gol'dberg I. S., Abramson G. Ya., Los V. L.* Geokhimicheskiye sistemy rudnykh ob'ektov: primery, model', geneticheskiye i poiskovyie kriterii [Geochemical systems of ore objects: examples, model, genetic and search criteria], *Geologiya i okhrana nedr*, 2003, No. 1(7), P. 24–33. (In Russ.).
- Daukeyev S. Zh., Uzhkenov B. S., Abdulin A. A.* et al. Glubinnoye stroyeniye i mineral'nyye resursy Kazakhstana [Deep structure and mineral resources of Kazakhstan], V. 2, *Metallogeniya*, Almaty, 2002, 272 p. (In Russ.).
- Ivanyuk T. Yu., Goryainov P. M., Yegorov D. G.* Vvedeniye v nelineynuyu geologiyu [Introduction to Nonlinear Geology], *Apatity*, 1996, 188 p. (In Russ.).
- Kontseptsiya razvitiya geologicheskoy otrasli Respubliki Kazakhstan do 2030 goda [Concept for the development of the geological industry of the Republic of Kazakhstan until 2030]*, Astana, 2012. (In Russ.).
- Krivtsov A. I.* *Prikladnaya metallogeniya [Publishing house of Nedra]*, Moscow, Nedra publ., 1989, 288 p. (In Russ.).
- Letnikov F. A.* Protsessy samoorganizatsii pri formirovaniy magmaticheskikh i gidrotermal'nykh rudnykh mestorozhdeniy [Self-organization processes during the formation of magmatic and hydrothermal ore deposits], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 1997, V. 38, No. 4, P. 307–322. (In Russ.).
- Letnikov F. A.* Sinergetika geologicheskikh system [Synergetics of geological systems], Novosibirsk, Nauka publ., 1992, 229 p. (In Russ.).
- Letnikov F. A.* Flyuidnyy rezhim endogennykh protsessov v kontinental'noy litosfere i problemy metallogenii [Fluid regime of endogenous processes in the continental lithosphere and problems of metallogeny], *Materialy teoreticheskogo seminaru OGGGI RAN*, 1998–1999, Moscow, GEOS publ., 2000, P. 204–224. (In Russ.).
- Los V. L.* Metallogenicheskiye sistemy i mekhanizmy rudoobrazovaniya [Metallogenic systems and mechanisms of ore formation], *Geologiya i okhrana nedr*, 2005, No. 4(17), P. 28–36. (In Russ.).
- Los V. L.* Samoorganizatsiya v geologicheskikh sistemakh [Self-organization in geological systems], *Geologiya i okhrana nedr*, Almaty, 2005, No. 1(4), P. 75–80. (In Russ.).
- Los V. L.* Teoreticheskiye, metodicheskiye i tekhnologicheskkiye osnovy prognoza rudnykh ob'ektov [Theoretical, methodological and technological foundations for forecasting ore objects], *Geonauki v Kazakhstane*, Almaty, 2004, P. 228–239. (In Russ.).
- Los V. L., Governik I. A.* Samoorganizatsiya geologicheskikh sistem. Problemy modelirovaniya [Self-organization of geological systems. Modeling problems], *Dinamicheskiy khaos v raspredelennykh sistemakh*, Almaty, 1997, P. 8–18. (In Russ.).
- Los V. L., Laumulin Ch. T., Tsekhovoy A. F.* Modernizatsiya otsenki nedr: ot upravleniya po zadaniyam k upravleniyu po rezul'tatam [Modernization of subsoil assessment: from management by assignments to management by results], *Gornyy zhurnal Kazakhstana*, 2017, No. 3, P. 14–19. (In Russ.).
- Los V. L., Legon'kin V. S.* Matematizatsiya i komp'yuterizatsiya otsenki nedr. Programmnyy kompleks ELAN [Mathematization and computerization of subsurface assessment. ELAN software package], *Geologiya i okhrana nedr*, 2008, No. 3(28), P. 61–66. (In Russ.).
- Los V. L., Murzadilov T. D.* Kontseptsiya i metodologiya novogo tekhnologicheskogo «meynstrima» prognozno-poiskovykh rabot na rudnyye poleznyye iskopayemyye [Concept and methodology of a new technological “mainstream” of forecasting and prospecting works for ore minerals], *Geologiya i okhrana nedr*, 2018, No. 3(68), P. 58–67. (In Russ.).
- Los V. L., Usmanov F. A., Gol'dberg I. S.* et al. Prognoz, poiski i modelirovaniye rudnykh ob'ektov [Forecast, prospecting and modeling of ore objects], *Kompleksnaya pererabotka mineral'nogo syr'ya. Sostoyaniye, problemy, resheniya*. Almaty, 2008, V. 1a, 466 p. (In Russ.).
- Narseyev V. A.* Strukturirovaniye geologicheskogo prostranstva (v poiskakh novoy paradigmy geologii) [Structuring geological space (in search of a new paradigm of geology)], *Geologiya i okhrana nedr*, Almaty, 2007, No. 1(22), P. 15–18. (In Russ.).
- Narseyev V. A., Petrovskiy A. D.* Normalizovannyye massenergeticheskiye pokazateli kompleksov sredey rudoobrazovaniya. Preprint [Normalized mass-energy indicators of ore deposition environment complexes. Preprint], Moscow, RAYEN publ., 1993, 45 p. (In Russ.).
- Smirnov V. I.* *Geologiya poleznykh iskopayemykh [Geology of minerals]*, Moscow, Nedra publ., 1982, 669 p. (In Russ.).
- Starostin V. I.* *Metallogeniya [Metallogeny]*, Moscow, 2012, 560 p. (In Russ.).
- Starostin V. I., Sorokhtin O. G.* Novaya kontseptsiya genezisa sul'fidnykh medno-nikelevo-platinovykh mestorozhdeniy [A new concept of the genesis of sulfide copper-nickel-platinum deposits], *Geologiya i okhrany nedr*, 2010, No. 4(37), P. 9–16. (In Russ.).

24. *Uzhkenov B. S., Sayduakasov M. A., Mazurov A. K., Selifonov Ye. M.* Mineral'no-syr'yevaya baza medi, svintsa, tsinka, zolota Respubliki Kazakhstan. Sostoyaniye, prognoz razvitiya [Mineral resource base of copper, lead, zinc, gold of the Republic of Kazakhstan. State, development forecast], Syr'yevaya baza svintsa i tsinka, medi i zolota Kazakhstana, Almaty, 2002, P. 4–5. (In Russ.).
25. *Usmanov F. A.* Glavneyshiye printsipy sovremennoy metallogenii [Glavneyshiye printsipy sovremennoy metallogenii], *Sovremennyye problemy metallogenii*. Tashkent, FAN publ., 2002, P. 12–16. (In Russ.).
26. *Freyman G. G.* Klyuchevyye elementy reformirovaniya gorno-geologicheskoy otrasli Kazakhstana, perekhod na mezhdunarodnyye standarty publichnoy geologicheskoy otchetnosti [Key elements of reforming the mining and geological industry in Kazakhstan, the transition to international standards for public geological reporting], *Rol' universitetov v sozdanii innovatsionnoy ekonomiki. Ust'-Kamenogorsk*, 2018, P. 307–313. (In Russ.).
27. *Shcheglov A. D.* *Osnovy metallogenicheskogo analiza* [Fundamentals of metallogenic analysis], Moscow, Nedra publ., 1980, 432 p. (In Russ.).
28. *Goldberg I. S., Abramson G. J., Haslam C. O., Los V. L.* *Geoelectrochemical Exploration: Principles, Practice and Performance. Recourcing the 21st Century*, Australia, Ballarat, 1997, P. 193–199.
29. *Goldberg I. S., Abramson G. Y., Los V. L.* Depletion and enrichment of primaru haloos: their importance for mineral deposits. *Y. Geochemical Exploration. Environment, Analyses*, 2003, V. 3, P. 281–293.
30. *Groves D. I., Goldfarb R. J., Gerbe-Mariam M.* et al. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal contribution and relationship to other gold deposit types, *Ore Geology Reviews*, 1998, V. 13, P. 7–21.
31. *Sillitoe R. N.* Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region, *Australian Journal of earth Sciences*, 1997, V. 44, P. 373–388.



РОСНЕДРА

2 апреля 2021г.

Всероссийский форум

2021 НЕДРА
Изучение. Разведка. Добыча.

Анализ транспортной доступности и геологической изученности на основе ГИС-технологий для планирования геологоразведочных работ в Алтае-Саянской складчатой области

Выполнена оценка транспортной доступности различных районов юго-западной части Алтае-Саянской складчатой области (АССО) на основе авторской методики, и проведён анализ геологической изученности на золото на основе анализа пространственных данных с использованием ГИС-технологий. Данная методика позволила перевести качественные понятия «доступность», «изученность» и «освоение» в количественные показатели, пригодные для сравнения разных кластеров внутри одного региона и для сопоставления различных регионов. Детально охарактеризованы основные составляющие параметры транспортной доступности – расстояние от дорог, уклон рельефа, ландшафтная проходимость местности. Представлены основные вычислительные методы и приёмы визуализации расчётных характеристик. Количественный анализ плотности изученности на золото позволил обосновать её неоднородность и выделить слабоизученные площади. На основании комплексирования полученных цифровых данных показано, что в южной, менее доступной части выделяются слабоизученные золотоносные рудные районы и узлы. Установлена корреляция транспортной доступности и геологической изученности, влияние этих показателей на представления о металлогеническом районировании. Обоснован вывод о том, что современные представления о золотоносности АССО и металлогеническом районировании определяются не только геологическими причинами, но и степенью транспортной доступности и современным состоянием геологической изученности.

Ключевые слова: пространственные данные, инфраструктура, транспорт, рельеф, геологическая изученность, Алтае-Саянская складчатая область, золото, геоинформационные технологии.

АНТОНЕЦ АНАСТАСИЯ ВЛАДИМИРОВНА, заместитель заведующего отделом, antonetc@tsnigri.ru

ВАХРУШЕВ АНДРЕЙ МИХАЙЛОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий отделом, vahrushev@tsnigri.ru

ЧЕРНЫХ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, генеральный директор, tsnigri@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

Analysis of transportation access and geological knowledge based on GIS technologies for exploration planning in Altai-Sayany fold area

A. V. ANTONETS, A. M. VAKHRUSHEV, A. I. CHERNYKH

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow

The paper assesses transportation access for various regions of the southwestern Altai-Sayany fold area (ASFA) and analyzes geological knowledge about gold based on spatial data analysis using GIS technologies. This work is based on our technique. This technique allowed to convert qualitative concepts (access, knowledge and development) into quantitative indicators useful to compare various clusters within one region as well as various regions. The main constituents of transportation access (distance from roads, topography slope and terrain trafficability) are characterized in detail. The main computation methods and design characteristic visualization techniques are presented. Quantification of gold knowledge density allowed validation of its diversity and recognition of underexplored areas. Based on complexing the obtained digital data, the paper shows that underexplored gold districts and clusters are identified in the southern, less accessible part. Correlation of trafficability and geological knowledge is revealed; these indicators are found to affect metallogenic zoning concepts. The conclusion is validated that the current ideas about ASFA gold potential and metallogenic zoning are determined by both geology and trafficability, and the current geological knowledge level.

Key words: spatial data, infrastructure, transportation, topography, geological knowledge, Altai-Sayany fold area, gold, geoinformation technologies.

Южная Сибирь исторически развивалась как горно-добывающая область. Её освоение связано с разработкой угля, золота, руд чёрных и цветных металлов, неметаллических видов сырья. По мере наращивания промышленного потенциала Сибири формировалась транспортная инфраструктура. Строительство дорог, в свою очередь, инициировало более активное проведение геологоразведочных работ (ГРП) и добычу полезных ископаемых.

В последние 30 лет в Алтае-Саянском регионе наблюдается резкое падение объёмов добычи золота, что обусловлено целым рядом причин. Одна из основных – исчерпание запасов месторождений, открытых ещё в конце XIX–начале XX века. Во многом это связано с ориентацией ГРП в последние 190 лет на одни и те же типы золотых месторождений (золото-россыпные, золото-кварцевые, золото-скарновые), концентрацией поисково-оценочных работ в районах действующих золотодобывающих предприятий и известных золото-россыпных узлов. Кроме того, с середины 1990-х годов наблюдается снижение объёмов геологоразведочных работ и их эффективности.

Анализ имеющихся данных по металлогении золота Алтае-Саянского региона [3–5] свидетельствует о высоких перспективах выявления золотого оруденения слабоизученных рудно-формационных типов, в скрытом залегании и в недостаточно изученных рудных узлах. На фоне рекордно выросшей цены на золото, благоприятных географо-экономических условий и с учётом ряда социально-экономических факторов Южная Сибирь рассматривается как один из перспективных регионов для развития золотодобычи в России.

Для принятия решений при планировании ГРП с одной стороны и направлений развития инфраструктурных проектов с другой необходимо учитывать текущее состояние транспортной инфраструктуры, степень изученности территории на золото, состояние минерально-сырьевой базы. В связи с неоднородностью физико-географических условий и исторических особенностей проведения ГРП регион имеет высокую дифференциацию этих характеристик. Географическое положение и административное деление исследуемой территории показано на рисунке (рис. 1).

В данной работе на основе авторской методики выполнены оценка транспортной доступности различных районов юго-западной части Алтае-Саянской складчатой области и анализ геологической изученности. На основе этих данных сделан вывод о степени освоенности этого региона. Используемый авторами методический подход позволил перевести качественные понятия «доступность», «изученность» и «освоение» в количественные показатели, пригод-

ные для сравнения разных кластеров внутри одного региона и для сопоставления различных регионов. Выполненные оценки основаны на использовании геоинформационных технологий при анализе пространственных данных.

Методика исследований. Исследование проводилось с использованием информации из открытых и отраслевых источников, для обработки которых применялся инструментарий следующих геоинформационных систем: Quantum GIS (QGIS), модуль GRASS, ArcGIS. Предварительные вычисления и построение объектов были выполнены в QGIS, дополнительная обработка растров (переклассификация, векторизация) осуществлялись с использованием модуля GRASS. В ArcGIS выполнялась финальная обработка и визуализация полученных данных.

1. Из каталога геологической изученности ФГБУ «Росгеолфонд» были загружены полигональные слои, которые были обработаны и разбракованы на основании атрибутивной и пространственной информации об объектах. Были удалены данные, не имеющие отношения к работам на золото, дублирующие объекты, некорректные записи в таблице атрибутов. В объединённом слое изученности остались пространственные объекты, представляющие собой площади проведения геологосъёмочных, поисковых и тематических работ, повлиявшие на увеличение степени изученности золотого и золотосодержащего оруденения. Таким образом, после экспертной обработки количество уникальных объектов слоя для анализа сократилось в разы.

Для подсчёта плотности была построена регулярная векторная сеть (размер ячейки $0,6^{\circ} \times 0,4^{\circ}$), которая представляла собой векторный полигональный слой и охватывала исследуемую территорию. Затем для каждой ячейки было подсчитано количество пересекающих её объектов слоя изученности с использованием инструментов пространственного соединения. Это количество стало атрибутом для построения растровой поверхности плотности геологической изученности. Участки территории АССО, выполненные неоген-четвертичными осадками, были наложены на полученный растр и исключены из него с помощью инструментов маскирования как не имеющие перспектив на золотое оруденение.

2. Расчёт поверхности расстояний основывался на данных Open Street Map (OSM). Загружались данные с тегом highways, которые впоследствии отфильтровывались по дополнительным тегам с целью исключения разновидностей дорог, не подходящих для автомобильных перевозок (полевые и лесные тропы, пешеходные зоны). Таким образом, был получен векторный линейный слой, вокруг которого строились буферные зоны (через каждый километр). Полигональному слою буферных зон назначили атрибут –

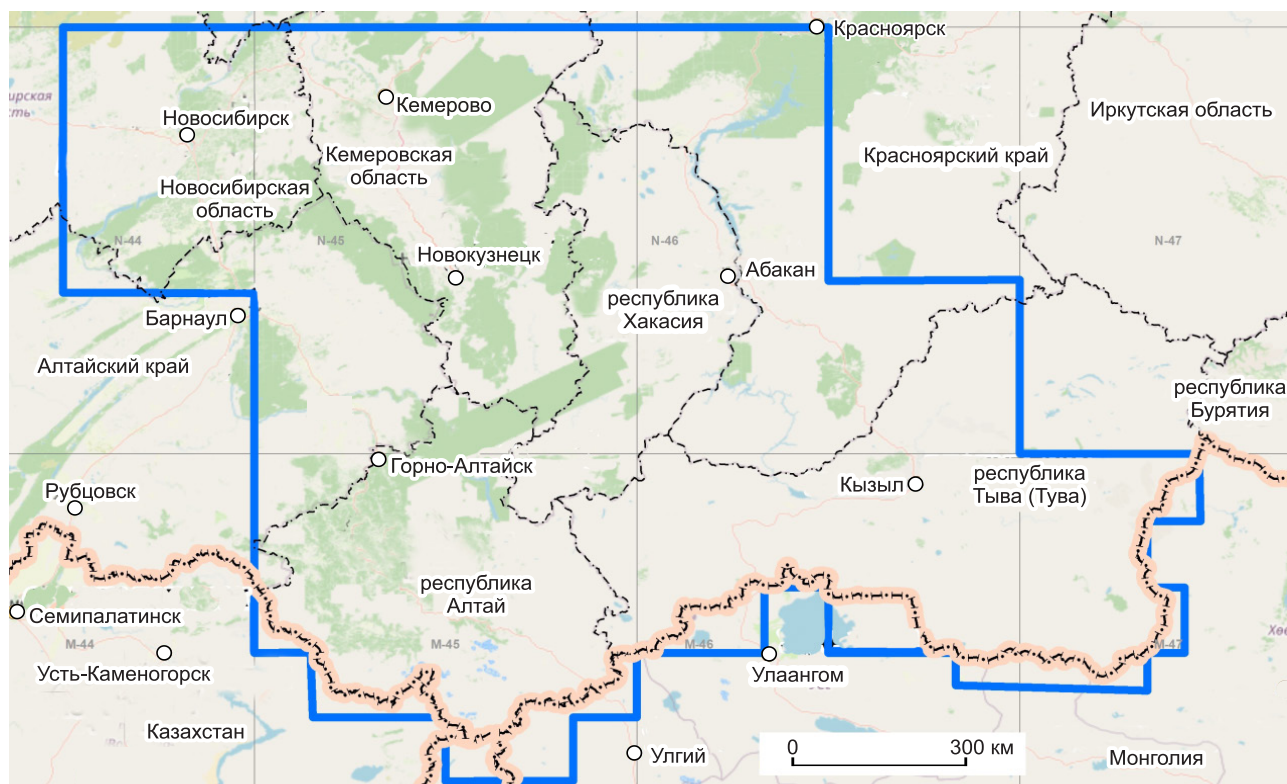


Рис. 1. Обзорная географическая схема расположения территории анализа

расстояние в километрах; затем полигон был переведён в растр.

3. Для более корректной информации о транспортной доступности учитывался уровень крутизны рельефа местности и прочие ландшафтные особенности территории. Использовались цифровые модели рельефа по данным GMTED2010, из которых был вычислен уклон (крутизна) в градусах. Кроме того, использовались данные топографической основы – площадные объекты (масштаба 1:500 000), каждому из которых присваивался определённый вес в зависимости от сложности перемещения. То есть «непроходимые болота» и «озёра» имели наибольший вес, «редколесье» и «кустарники» меньшие веса, а «просеки» и «твёрдые поверхности» самый низкий вес. Затем был вычислен растр, атрибутом которого выступили веса полигональных объектов.

Из двух поверхностей – уклона рельефа и ландшафтных особенностей – был вычислен комплексный растр проходимости территории. Для этого использовался метод взвешенного наложения в соотношении 2:1 в пользу уклона. Перед наложением оба изображения были пересчитаны по линейной функции с целью приведения их к единой шкале значений (от 1 до 100%).

4. Получение поверхности транспортной доступности основывалось на суммировании двух факторов: расстояний от существующих дорог и проходимости местности. Для этого использовалось взвешенное суммирование с равными весами (поверхность расстояний предварительно нормировалась).

5. Затем был получен результат наложения поверхностей транспортной доступности и геологической изученности. Предварительно растры были линейно нормированы от 1 до 100, а поверхность транспортной доступности дополнительно пересчитывалась, чтобы наибольшие её значения соответствовали благоприятным участкам. Затем ячейки обработанных растров накладывались друг на друга с помощью инструмента «наложение», наделяя каждое местоположение усреднёнными атрибутами; полученная поверхность представляет собой «индекс освоения территории» (ИОТ).

6. Для выделения двух областей – северной с более высоким ИОТ и южной с более низкими его значениями – были вычислены границы на поверхностях, полученных ранее: геологической изученности, расстояний от автодорог, проходимости территории. Использовался следующий алгоритм: извлечение изолиний из растра по значениям, преобразование

их вершин в точки, фильтрация точек по значениям и пространственному положению, реконструкция разделительной линии из оставшихся точек. Затем вдоль полученных линейных объектов были построены точки через каждые 1000 м. Этот точечный слой послужил основой для построения растра плотности их размещения, с использованием инструмента «тепловая карта». Затем растр разгружался до максимальных значений путём отсечения низких величин, после чего был полигонизирован, упрощён и преобразован в точки, по которым была восстановлена граница областей.

7. Вычисление ИОТ для объектов распределённого и нераспределённого фондов недр основывалось на извлечении значения растра в данной точке. Из каталогов ФГБУ «Росгеолфонд» получены точечные слои, затем к ним были добавлены атрибуты со значениями ИОТ.

Показатель ИОТ для металлогенических зон, рудных районов и узлов вычислялся методами зональной статистики. Для этого использовались полигональные слои по данным «Прогнозно-минерагенической карты Российской Федерации...» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»). Были посчитаны средние значения поверхности в площадях каждого полигона (металлогенического таксона).

Данная методика является авторской и основана на использовании геоинформационных систем и доступных пространственных данных. Исследование полностью воспроизводимо, а сделанные выводы могут уточняться и дополняться.

Геологическая изученность характеризует полноту и степень надёжности знаний о геологическом строении и полезных ископаемых территорий и является одним из ключевых показателей для оценки их перспективности на разные виды минерального сырья и проведения ГРП. Для сравнительного анализа степени геологической изученности АССО и её отдельных районов на рудное золото составлена схема плотности проведённых на этой территории геологоразведочных работ.

В качестве исходных данных для составления такой схемы были использованы доступные материалы каталогов геологической изученности ФГБУ «Росгеолфонд» [9]. На первом этапе выгружались необработанные данные из каталогов изученности, формировались выборки отчётов и схемы пространственного положения контуров ГРП. Затем проводилась их экспертная обработка (удаление дублирующих, некорректных записей, не имеющих отношения к работам на золото и др.). В анализируемую выборку включались отчёты по результатам геолого-съёмочных, поисковых и тематических работ, повлиявшие на увеличение степени изученности золотого и золотосодержащего оруденения. На за-

ключительном этапе выполнялись необходимые расчёты и итоговые графические построения средствами ГИС.

Алгоритм визуализации плотности данных об изученности территории АССО предусматривал подсчёт пространственного вхождения площадей работ в отдельные ячейки регулярной сетки [6]. Визуальное представление принципа подсчёта, лежащего в основе алгоритма, приведено на рис. 2.

Этап обработки и подготовки исходных данных являлся наиболее длительным и трудоёмким. Быстрый анализ данных изученности затруднён: излишней пространственной дискретностью, являющейся следствием исторически сложившегося учёта карточек изученности на основе принадлежности к определённому территориальному фонду геологической информации и номенклатурному листу масштаба 1:1 000 000; неполнотой доступных данных; ошибками заполнения каталогов; несоответствием масштабов и типов работ по картотеке изученности непосредственно названиям отчётов и др.

В результате векторный полигональный слой был обработан и разбавлен экспертами с целью выделения уникальных площадей ГРП, проводимых на золото. Далее в ГИС была рассчитана поверхность геологической изученности, которая представляет собой растр плотности, демонстрирующий количество площадей объектов изученности в каждой его ячейке (рис. 3).

Территория западной части АССО характеризуется неравномерной степенью изученности на золото. Наиболее исследованы «старые» золотодобывающие районы – Салаирский, Мартайгинский, Горно-Шорский, Коммунарковский, Ольховско-Чибеежский. Слабо изучены незолотоносные территории – среднепалеозойско-мезозойские угленосные наложенные впадины и мезозойско-кайнозойские структуры Западно-Сибирской плиты. Вместе с тем южная горная часть рассмотренной территории, сложенная, так же как и северная часть, преимущественно потенциально золотоносными каледонскими комплексами пород, отличается значительно меньшей изученностью, несмотря на наличие здесь прямых и косвенных поисковых признаков золота. Наименее всего изучена территория Республики Тыва, хотя здесь известны месторождения рудного золота, а россыпи отрабатывались с конца XIX в. Следует обратить внимание на то, что резкое снижение изученности Тывы приурочено к административной границе с другими субъектами Российской Федерации и никак не связано с изменением геологического строения.

Таким образом, выделяются две области – северная с более плотной изученностью и южная, изученная в меньшей степени. Для наглядности эти области были разделены границей, построенной

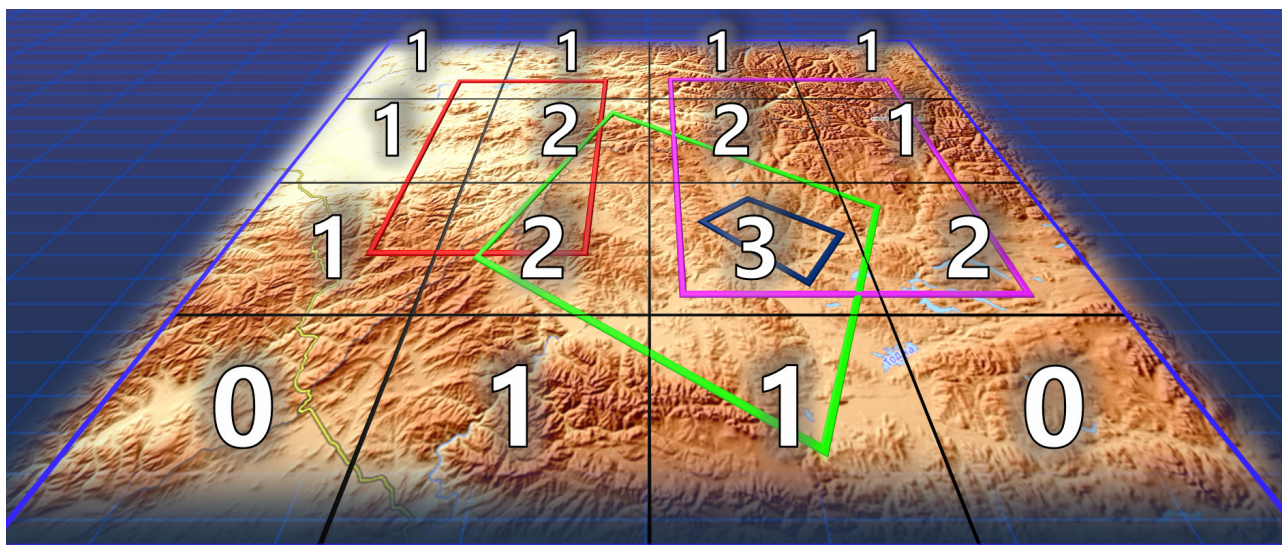


Рис. 2. Подсчёт плотности изученности по регулярной сетке средствами ГИС (spatial join), с последующей классификацией

методами ГИС, а именно: извлечение изолиний из раstra по значениям, преобразование их вершин в точки, фильтрация точек по значениям и пространственному положению, реконструкция разделительной линии из оставшихся точек. Полученная граница будет использована на следующих этапах для дальнейшего анализа. Следует отметить, что депрессии, выполненные неоген-четвертичными осадками, исключены из анализа, поскольку они не рассматриваются с точки зрения поисковой изученности и не имеют перспективы на золотое оруденение.

Транспортная доступность. Эффективность и степень использования природно-ресурсного потенциала регионов во многом зависят от наличия инфраструктуры – совокупности предприятий и организаций, относящихся к отраслям, обеспечивающим бесперебойное, эффективное функционирование производства. Развитая инфраструктура может стать одним из ключевых факторов, определяющих конкурентоспособность региона. При постановке и проведении ГРР особую значимость имеет производственная инфраструктура, которая содержит комплекс отраслей, обеспечивающих внешние условия производства: транспорт, связь, энергетика, газо- и водоснабжение. Наибольшее значение имеет транспорт, поскольку остальные объекты инфраструктуры развиты в основном в непосредственной близости к существующим дорогам.

На территории Алтае-Саянского региона используются четыре вида транспорта: железнодорожный, автомобильный, авиационный и водный. Наиболее крупная и доступная транспортная сеть – автодороги. Поэтому для оценки транспортной доступности (ТД)

участков недр использовались сведения об автомобильных дорогах, пригодных для перемещения автотранспорта. При решении этой задачи использовались материалы, подготовленные для пространственного анализа: дорожная сеть региона по данным Open Street Map (OSM), цифровая модель рельефа (ЦМР) GMTED2010, а также топографическая основа местности.

Дорожная сеть территории была составлена на основе открытых данных OSM [9], некоммерческого веб-картографического проекта. Авторы отмечают подробность и качество полученной информации. Наличие соответствующих атрибутов позволило в короткие сроки отфильтровать данные таким образом, чтобы исключить разновидности дорог, не подходящих для автомобильных перевозок (полевые и лесные тропы, пешеходные зоны). Оставшиеся пространственные объекты использовались для моделирования растрового представления, демонстрирующего насколько далеко каждая точка пространства находится от существующих дорог.

Растр расстояний от существующих автодорог составлен путём создания буферных зон через один километр в евклидовом пространстве. Полученные зоны были объединены в один векторный слой, где буферное расстояние от дорог (в километрах) является атрибутом, на основе которого рассчитывается растровая поверхность. Этот полигональный слой был переведён в растр, в котором самые тёмные участки соответствуют наибольшей удалённости от существующих автодорог (рис. 4).

Анализ растрового изображения позволил выделить две области – северную и южную. Северная

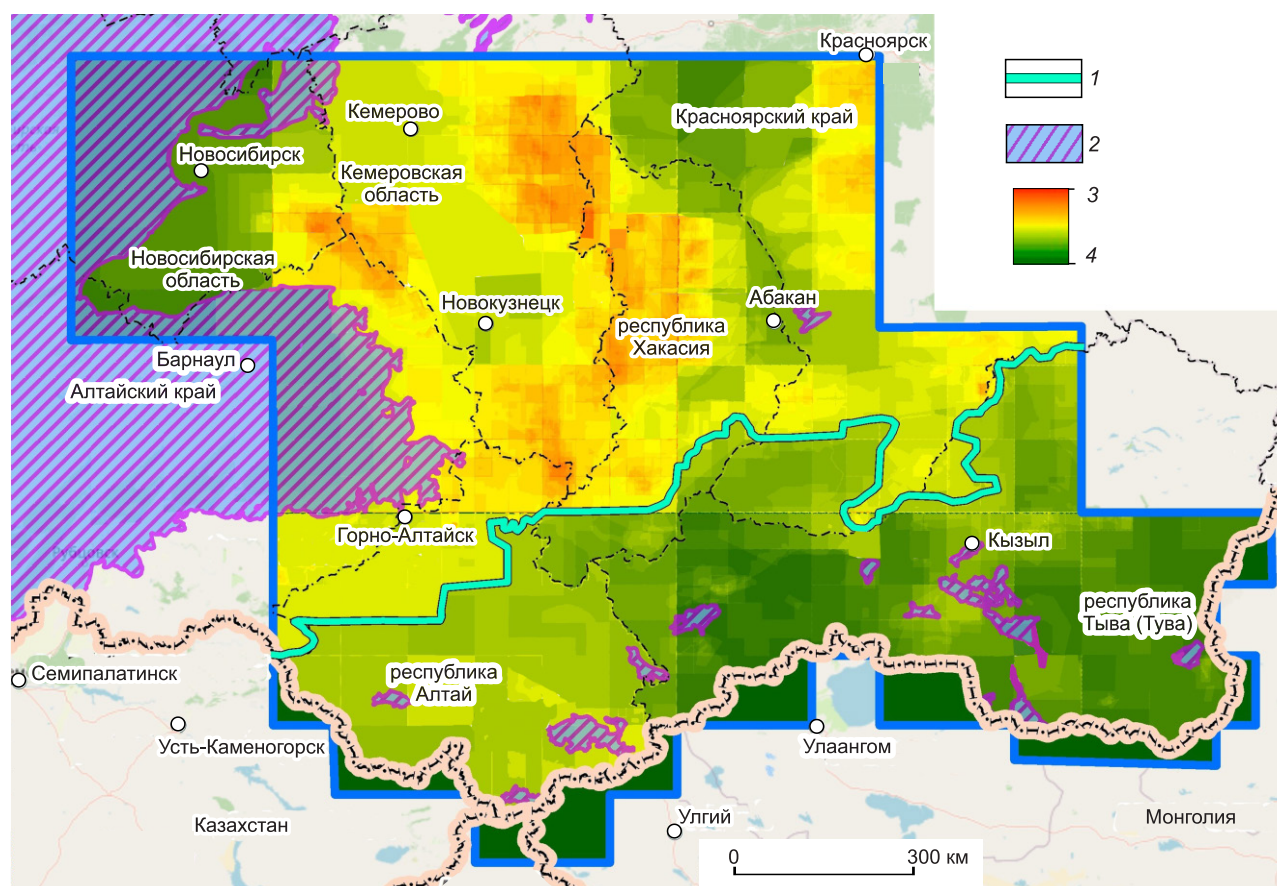


Рис. 3. Схема плотности геологической изученности АССО на рудное золото:

1 – граница северной и южной частей территории, построенная в полуавтоматическом режиме относительно поверхности плотности геологической изученности на золото; 2 – неоген-четвертичные отложения; поверхность плотности геологической изученности: 3 – высокая изученность (до 53), 4 – низкая изученность (от 0)

область характеризуется наличием густой сети автодорог и равнинным, а на отдельных участках низкогорным рельефом. Южная область отличается низкой плотностью автодорог, средне- и высокогорным рельефом, а большая часть территории расположена в условиях удалённости от автодорог на расстояние более 15 км. Анализ поверхности расстояний от автодорог включал следующие действия: построение изолиний по значениям, преобразование вершин полученных линейных объектов в точки, фильтрация точек по значениям и пространственному положению, реконструкция разделительной линии из оставшихся точек.

Горный рельеф значительно ограничивает развитие транспортной сети, увеличивая цену строительства дорог, мостовых переходов, придорожных объектов, а на некоторых участках делает прокладку дорог невозможной. Поэтому для более корректной информации о транспортной доступности был учтён уровень крутизны рельефа местности. На изучаемой

территории достаточно полными и корректными оказались данные GMTED2010 с пространственным разрешением 7,5 угл. с ~250 м [8]. Были использованы 4 листа ЦМР с общим пространственным покрытием 30°–70° с.ш. и 60°–120° в.д. и с абсолютными значениями высот в диапазоне от 56 до 4400 м в системе WGS 84 (World Geodetic System 1984). Выбор данной ЦМР обусловлен масштабом исследования и широким территориальным охватом. Для дальнейшего анализа и визуализации проходимости территории из ЦМР был вычислен уклон рельефа. Полученное изображение демонстрирует крутизну склона в градусах, что является показателем изменения высоты для каждой ячейки ЦМР.

Информацию о крутизне рельефа необходимо было дополнить иными факторами, влияющими на проходимость территории, – её ландшафтными особенностями. Для этого использовались данные топографической основы, представляющие пространственные сведения о растительности, особенностях

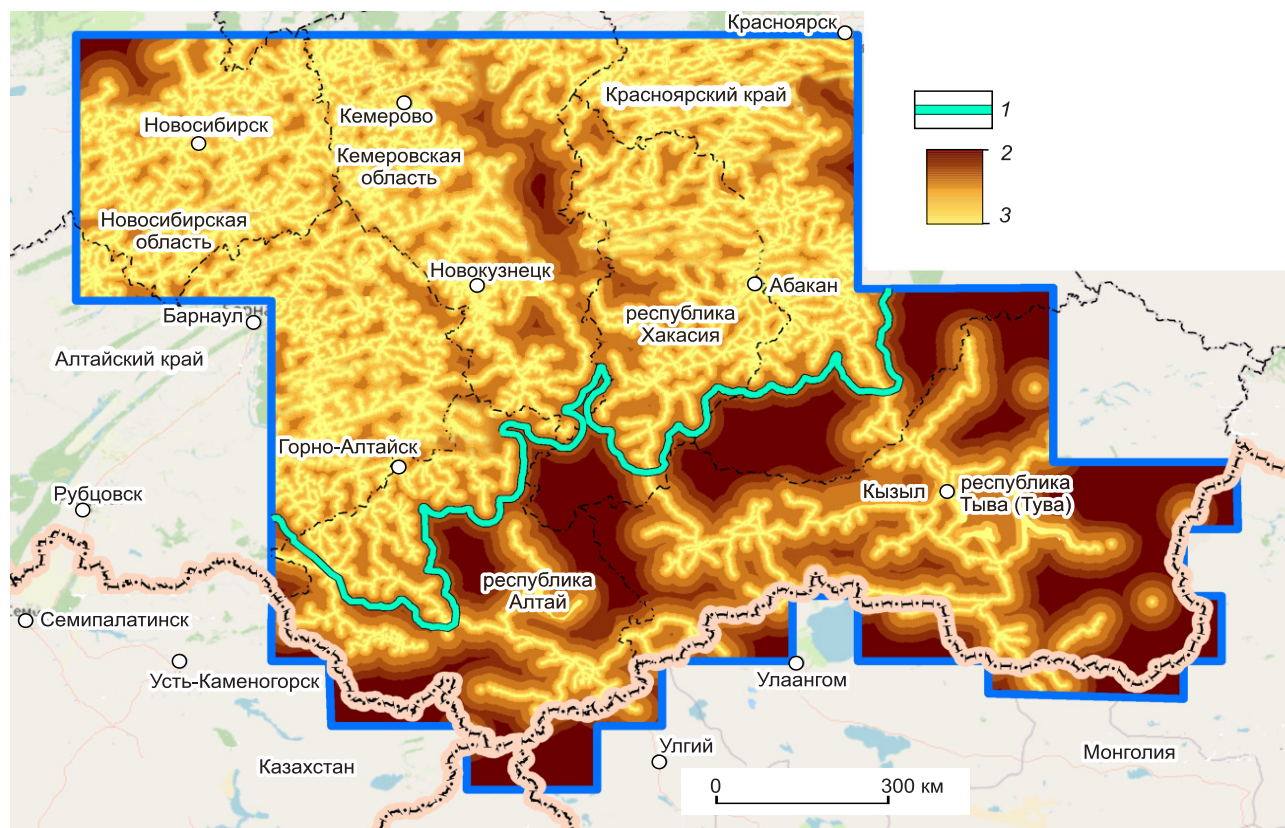


Рис. 4. Поверхность расстояний от автодорог (более тёмные цвета соответствуют наибольшей удалённости):

1 – граница северной и южной частей территории, построенная в полуавтоматическом режиме относительно поверхности расстояний от дорог; поверхность расстояний: 2 – высокие значения (до 50), 3 – низкие значения (от 1)

земельного покрытия, площадной гидрографии. Каждому объекту был присвоен определённый вес в зависимости от усложнения проходимости территории таким образом, чтобы полученная поверхность отображала сложность перемещения по территории в зависимости от наличия на ней разного вида растительности, озёр, болот и типов земельного покрытия. Затем полученный полигональный слой переводился в растр, в котором значения для ячеек были взяты из весов объектов слоя.

Полученные растры уклона рельефа и топоосновы были комбинированы в один методом наложения. Для этого оба изображения предварительно были нормированы по линейной функции (от 1 до 100) с целью приведения их значений к единой шкале измерений. Фактор горного рельефа считается доминирующим при определении проходимости территории, прочие ландшафтные особенности выступают как дополнительный параметр, поэтому при наложении растров, содержащих эти данные, использовалось соотношение 2:1. То есть растру уклона был присвоен вдвое больший вес

по сравнению с растром топоосновы. Результатом такой обработки является комплексный растр, представляющий собой поверхность проходимости территории, каждая ячейка которой демонстрирует сложность перемещения в процентах по местности в зависимости от характера её ландшафта. В визуальном выражении наиболее тёмные ячейки отображают участки с наиболее высокими показателями, что соответствует самым труднодоступным местам (рис. 5).

Так же как и на рис. 4, в АССО отчётливо выделяются две области – южная со сложными условиями проходимости и северная с более лёгкими. Граница, разделяющая эти области, была вычислена с использованием того же алгоритма, что и для поверхности расстояний.

В результате обработки исходных данных инструментами ГИС были получены следующие растровые представления: расстояния до автодорог и проходимость территории. Эти два фактора вносят свой вклад в затраты на перемещение через каждую ячейку результирующего растра стоимости. Для его

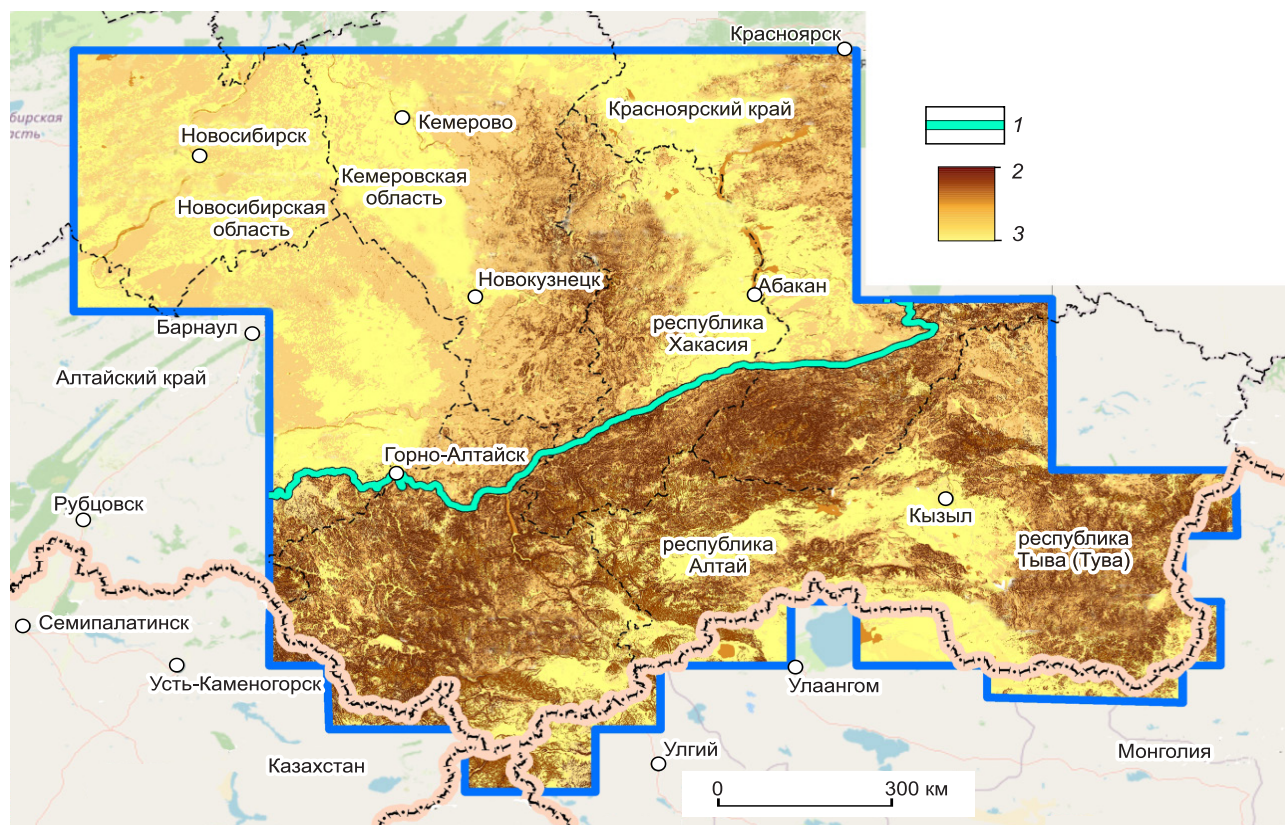


Рис. 5. Поверхность проходимости местности (более тёмные цвета соответствуют труднопроходимым участкам):

1 – граница северной и южной частей территории, построенная в полуавтоматическом режиме относительно поверхности проходимости; поверхность проходимости территории: 2 – сложные условия проходимости, 3 – простая проходимость

получения необходимо было объединить эти растры, предварительно произведя нормирование. Поверхность проходимости уже является нормированной, поскольку представляет собой результат наложения двух нормированных растров. Поверхность расстояний от автодорог нормировалась методом, который был использован при нормировании поверхностей, составляющих проходимость.

При осуществлении нормирования значения полученных растровых изображений были приведены к положительным целым числам, с учётом их атрибутов и влияния на стоимость (в условных единицах) перемещения через каждую ячейку растра. Кроме того, применялась дополнительная классификация по диапазонам значений для упрощения процесса взвешивания и суммирования [7].

После этого нормированные поверхности были наложены в равном отношении. Результатом этого наложения является схема транспортной доступности территории АССО (рис. 6). Каждая ячейка результирующего изображения демонстрирует «стоимость» (в условных единицах) перемещения.

Индекс освоения территории. На следующем этапе было выполнено наложение поверхностей транспортной доступности и геологической изученности. При этом ячейки этих двух растров накладывались друг на друга, наделяя каждое местоположение усреднёнными атрибутами. Для решения этой задачи растры были линейно нормированы от 1 до 100 с целью приведения их к единой шкале. Кроме того, поверхность транспортной доступности была пересчитана таким образом, чтобы наибольшие значения растра соответствовали участкам, благоприятным для транспортной инфраструктуры. Нормированные поверхности представляют собой индекс транспортной доступности (ИТД) и индекс геологической изученности (ИГИ). Затем после комбинации обработанных поверхностей был построен растр их наложения.

Полученную картину комплексного совмещения ИТД и ИГИ было принято именовать «индексом освоения территории» (ИОТ) (рис. 7). Каждая ячейка итогового растра демонстрирует степень совпадения изученных и неизученных участков с участками разной

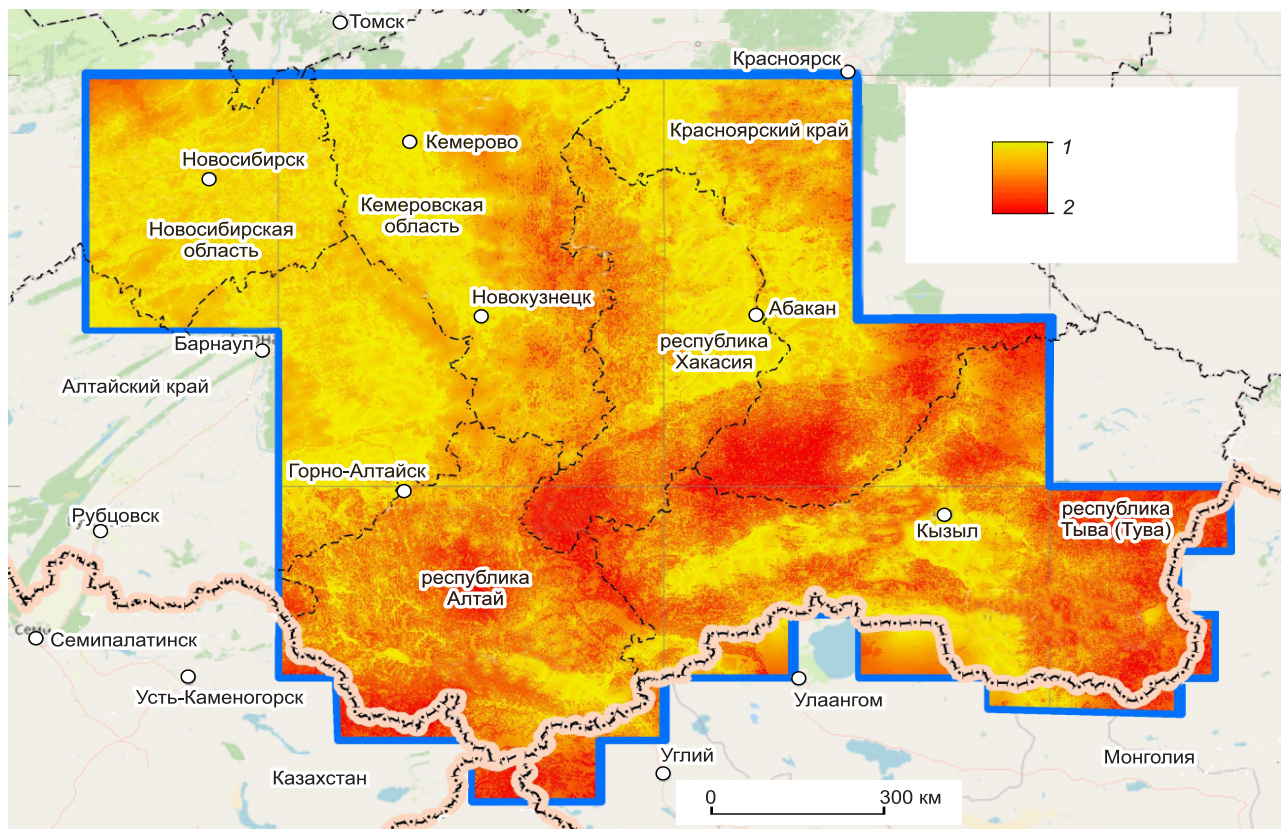


Рис. 6. Схема транспортной доступности западной части АССО:

поверхность транспортной доступности: 1 – высокая доступность, 2 – низкая доступность

степени доступности в процентах, которая основывается на анализе целого ряда факторов, описанных выше. Таким образом, можно понять, насколько проведение ГРП в той или иной точке пространства зависело от удобства для перемещения до неё.

Поверхность ИОТ наиболее ярко демонстрирует разницу северной и южной частей АССО с точки зрения освоённости. Вычисление «итоговой границы» было основано на проведении границ геологической изученности (см. рис. 3) и изображениях, использованных для моделирования поверхности и транспортной доступности (см. рисунки 4 и 5). Для этого вдоль линейных объектов (полученных границ) были построены точки через каждые 1000 м. Далее полученный точечный слой использовался для создания «тепловой карты», которая представляет собой поверхность, демонстрирующую плотность точек в каждой её ячейке. Полученный растр разгружался до максимальных значений плотности, и уже по ним была построена «средняя граница». На рис. 7 показаны изолинии, вычисленные из тепловой карты, которые представляют собой вероятность положения «итоговой границы». Получен-

ная линия разделяет поверхность на северную часть с высокими значениями ИОТ и южную с низкими. При этом сама поверхность полностью соответствует этому разделению, что подтверждает правильность подбора весов слияния, применённых на этом и предыдущих этапах.

Обсуждение результатов и выводы. Анализ положения объектов распределённого фонда недр (РФН) [10] показал, что подавляющее большинство (~80% от общего числа объектов на территории АССО) находится на участках с высокими показателями ИОТ. Для объектов нераспределённого фонда недр (НРФН) с прогнозными ресурсами золота категорий P_1 и P_2 также характерна высокая степень показателей ИОТ площадей их расположения (~70% объектов). Геологическое доизучение отдельных участков и повышение их освоённости может привести к обнаружению перспективных объектов, что повысит инвестиционную привлекательность территорий и приведёт к развитию инфраструктуры. Вероятен и обратный процесс: развитие транспортной инфраструктуры региона повысит его освоённость и облегчит процесс проведения ГРП, что, вероятно, приведёт к обнаружению

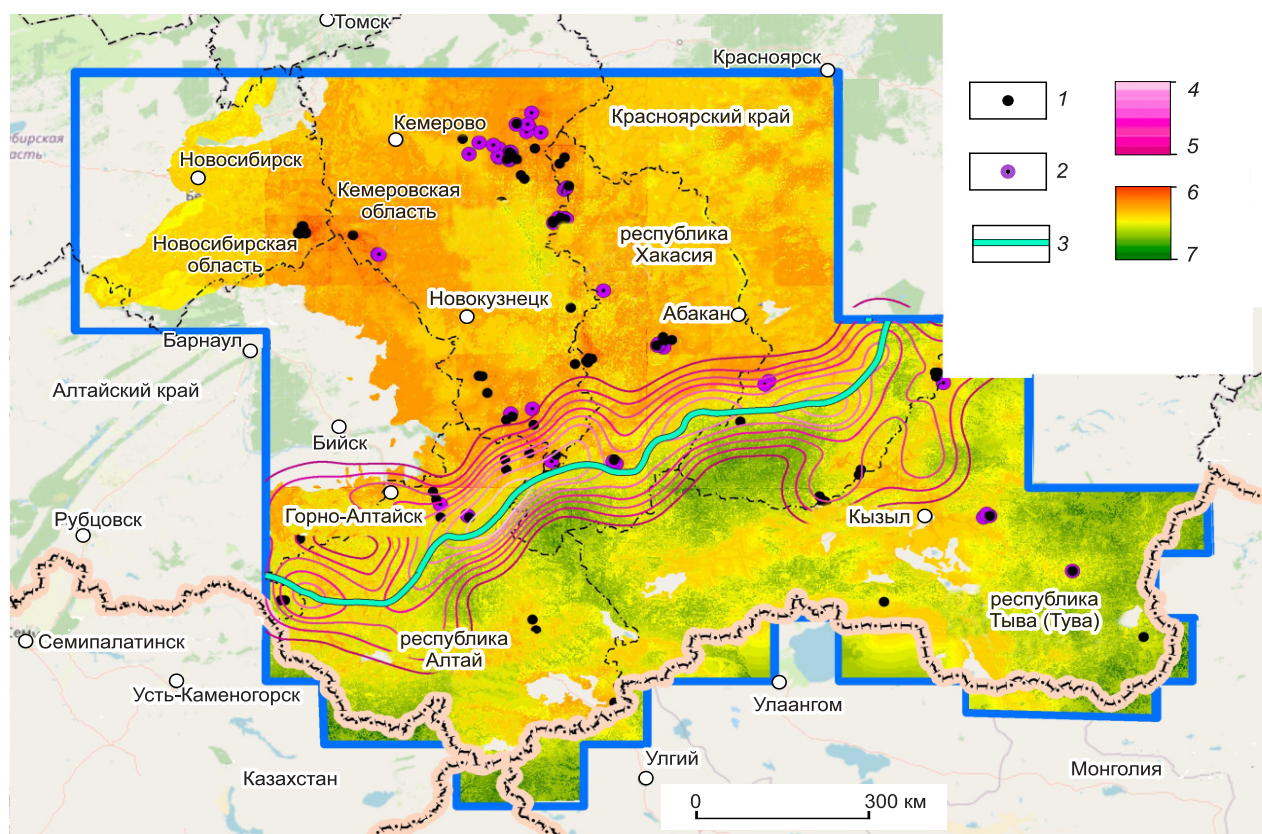


Рис. 7. Результат наложения плотности изученности и степени транспортной доступности:

объекты: 1 – нераспределённого фонда недр (НРФН), 2 – распределённого фонда недр (РФН); 3 – «итоговая граница» северной и южной частей территории, построенная в полуавтоматическом режиме; изолинии вероятности положения «итоговой границы»: 4 – высокая вероятность, 5 – низкая вероятность; поверхность наложения ТД и ГИ – индекс освоения территории: 6 – высокие значения (до 100), 7 – низкие значения (от 1); неоген-четвертичные осадки исключены

перспективных площадей в благоприятных геологических условиях.

Наиболее общую картину освоения можно получить, проанализировав распределение не только известных месторождений и проявлений, но и металлогенических зон, рудных районов и узлов. Для анализа использовался фрагмент «Прогнозно-минерагенической карты...» [2]. Методами зональной статистики были посчитаны средние значения поверхности освоённости в контуре каждого металлогенического таксона (рис. 8). Показатели меняются от 29–34% в рудных узлах Республики Тыва и до 60–70% в некоторых рудных узлах Салаира и Горной Шории. Значения выше 50% авторы принимают как высокие показатели ИОТ. Прослеживается очевидная корреляция пространственного распределения металлогенических подразделений относительно поверхности освоения региона. То есть металлогенические подразделения выделяются в изученных местах, обеспеченных транспортной инфраструктурой. Положение «итоговой границы» подтверждает этот вывод.

Данная закономерность позволяет сделать вывод о том, что выделение разноранговых металлогенических таксонов проводилось по наличию месторождений и проявлений, выявление которых определялось во многом доступностью и степенью изученности территории. Между тем принципы выделения металлогенических таксонов подразумевают оконтуривание рудоперспективных структур, площади развития рудогенерирующих и рудовмещающих комплексов пород вне зависимости от степени доступности и изученности территорий.

В 1950–1980-е годы развитие транспортной инфраструктуры в Советском Союзе осуществлялось по принципу государственного долгосрочного планирования освоения территорий, в то время как вопросы коммерческих рисков и неопределённости носили второстепенный характер. Государство вкладывало деньги в развитие инфраструктурных проектов, что, в свою очередь, способствовало развитию геологоразведочных работ и горнодобывающей промышленности. В современных условиях предполагается, что

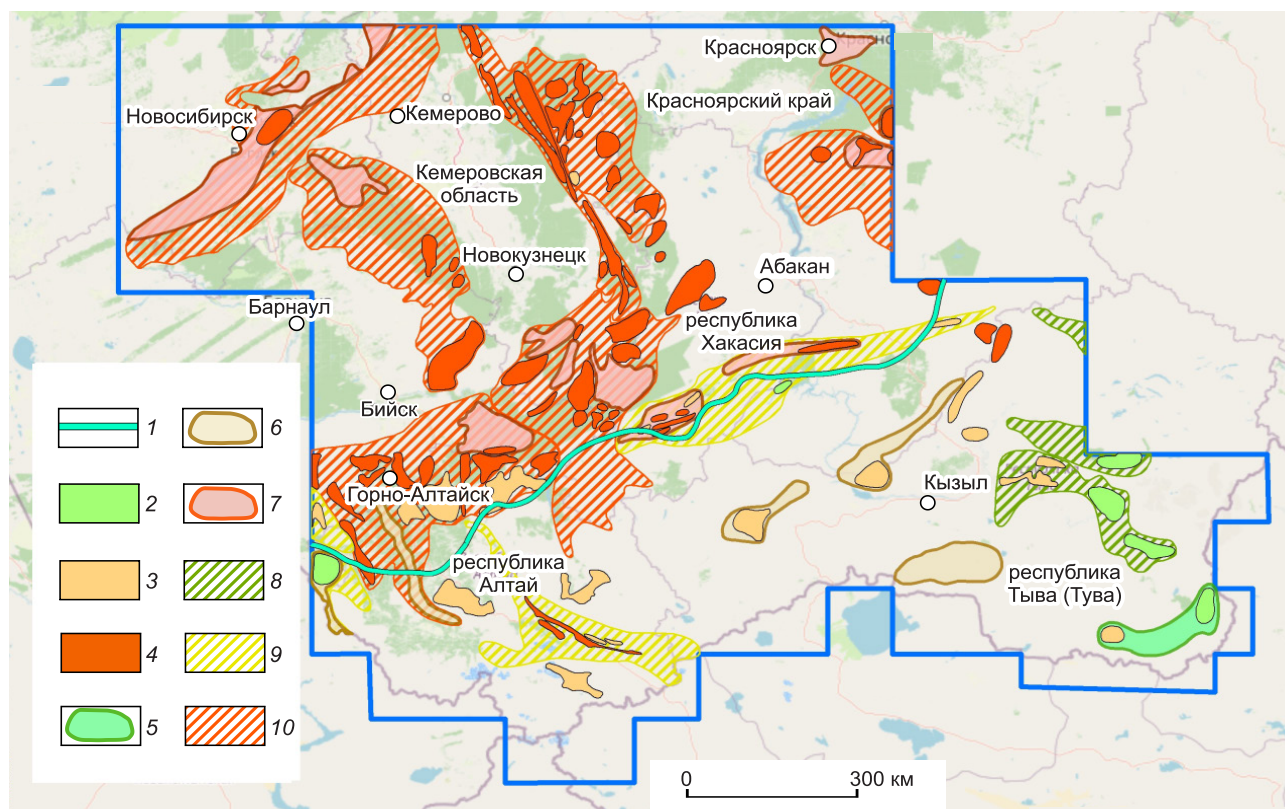


Рис. 8. Схема распределения средней освоенности (в %) металлогенических зон, рудных районов и узлов южной и западной частей АССО. Составлена с использованием Прогнозно-минерагенической карты [2]:

1 – «итоговая граница» северной и южной частей АССО; рудные узлы (в %): 2 – <40, 3 – 40–50, 4 – >50; рудные районы (в %): 5 – <40, 6 – 40–50, 7 – >50; металлогенические зоны (в %): 8 – <40, 9 – 40–50, 10 – >50

всё больше и больше ГРР поисковой стадии будут выполнять небольшие «юниорные» компании, которые обладают мобильностью в организации и производстве ГРР. Большие возможности перед недропользователями в этой связи открывает «заявительный» принцип лицензирования, ориентированный в Сибири пока на участки без апробированных ресурсов категорий P_1 и P_2 .

Выполненный авторами анализ свидетельствует о высокой степени изученности на золото и освоенности северной части АССО. Южная горная часть изучена гораздо слабее. При этом многие её районы характеризуются наличием золотоносных структур, рудогенерирующих и рудоматеринских комплексов, прямых и косвенных поисковых признаков золотого оруденения. При значительно более слабой изученности здесь выделены перспективные золоторудные районы (Кизас-Анзасский, Восточно-Таннуольский и др.), характеризующиеся аналогичным типом золотой минерализации с более изученными районами северной части АССО (Мартайгинский, Мрасский и др.). Использование современных технологий про-

изводства ГРР, транспортные средства и мобильное цифровое оборудование открывают новые возможности для развития ГРР на золото в южной горной части АССО.

Таким образом, проведённые исследования позволили разработать алгоритм количественной оценки транспортной доступности и геологической изученности территорий, что даёт возможность для сравнительного анализа. Комбинация этих показателей позволила ввести понятие «индекса освоения территории». Наблюдается прямая зависимость геологической изученности и транспортной доступности. ИОТ Алтае-Саянской складчатой области напрямую зависит от особенностей рельефа: выделяются южная горная часть, которая характеризуется низкими показателями, и северная – более высокими.

Количественный анализ геологической изученности АССО на золото свидетельствует о её неоднородности и наличии как хорошо, так и плохо изученных площадей. Особого внимания заслуживает территория Республики Тыва с известными признаками золотоносности и слабой изученностью.

Существующие представления о золотоносности АССО и металлогеническом районировании определяются не только геологическими причинами, но и степенью транспортной доступности и современным состоянием геологической изученности.

Передовые технологии проведения ГРП, современные транспортные средства и оборудование открывают новые возможности для освоения южной горной части АССО. Здесь необходимо проведение ГРП в слабоосвоенных районах, характеризующихся не только прямыми, но и косвенными поисковыми признаками золота и благоприятными геологическими условиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Антонец А. В.* Использование ГИС для оценки транспортной доступности участков недр на территории Алтае-Саянской складчатой области // Материалы IX Российской молодежной научно-практической Школы «Новое в познании процессов рудообразования». – М.: ИГЕМ РАН, 2019.
2. *Афанасьева Н. И., Белова В. Н., Беневольский Б. И.* и др. Прогнозно-минерогеническая карта Российской Федерации и её континентального шельфа масштаба 1:2 500 000 // Под ред. О. В. Петрова (главный редактор), А. Ф. Морозова, В. В. Шатова и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2016.
3. *Черных А. И.* Геолого-минерогеническое картирование на золото масштаба 1:500 000 северо-западной части Алтае-Саянской складчатой области (задачи, методики, результаты) // Известия Томского Политехнического Университета. Науки о земле. – 2009. – Т. 314, № 1. – С. 16–22.
4. *Черных А. И., Арсентьева И. В., Брысин М. П.* Минерально-сырьевая база коренного золота Республики Хакасии состояние и направления ее развития // Отечественная геология. – 2018. – № 2. – С. 12–21.
5. *Chernykh A. I.* The specific features of gold metallogeny and associated mineralization in the Western part of Altai-Sayan folded area (Russia) // 19th International Multidisciplinary scientific Geoconference & Expo SGEM 2019. – V. 19. – P. 669–676.
6. *Vahrushev A. M., Fedorenko S. V., Muravyev V. S.* Heterogeneous data and software use for Russian mineral resources complex monitoring and analysis // V International Conference Information Technologies in Earth Science and Applications for Geology, Mining and Economy ITES&MP-2019.
7. *Автоматизированная система лицензирования недропользования* [Электронный ресурс]. – URL: [https://asln.rosnedra.gov.ru/-umR1CUYGKQHxwrHyde5dW/\\$/13](https://asln.rosnedra.gov.ru/-umR1CUYGKQHxwrHyde5dW/$/13). (дата обращения 15.06.2019)
8. *Каталог геологической изученности* [Электронный ресурс]. – URL: <http://geol.irk.ru/izuch/index>. (дата обращения 15.06.2019)
9. *Настольная ГИС* [Электронный ресурс]. – URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/>. (дата обращения 15.06.2019)
10. *OpenStreetMap* [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.openstreetmap.org/>. (дата обращения 20.06.2019)
11. *United States Geological Survey* [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.usgs.gov/>. (дата обращения 20.06.2019)

REFERENCES

1. *Antonets A. V.* Ispol'zovaniye GIS dlya otsenki transportnoy dostupnosti uchastkov neдр na territorii Altaye-Sayanskoй skladchatoy oblasti [The use of GIS to assess the transport accessibility of subsoil areas in the Altai-Sayan folded region], Materialy IX Rossiyskoy molodozhnoy nauchno-prakticheskoy Shkoly "Novoye v poznanii protsessov rudoobrazovaniya", Moscow, IGEM RAN publ., 2019. (In Russ.)
2. *Afanasyeva N. I., Belova V. N., Benevol'skiy B. I.* et al. Prognozno-mineragenicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii i yeye kontinental'nogo shel'fa masshtaba 1:2 500 000. FGBU «VSEGEI» [Forecast-mineragenic map of the Russian Federation and its continental shelf at a scale of 1: 2,500,000. FSBI VSEGEI], Pod red. O. V. Petrova (glavnyy redaktor), A. F. Morozova, V. V. Shatova et al., St. Petersburg, VSEGEI publ., 2016. (In Russ.)
3. *Chernykh A. I.* Geologo-mineragenicheskoye kartirovaniye na zoloto masshtaba 1:500 000 severo-zapadnoy chasti Altaye-Sayanskoй skladchatoy oblasti (zadachi, metodiki, rezul'taty) [Geological and mineragenic mapping for gold on a scale of 1: 500,000 of the northwestern part of the Altai-Sayan folded region (tasks, methods, results)], Izvestiya Tomskogo Politekhnicheskogo Universiteta, 2009, V. 314, No. 1, Nauki o zemle, P. 16–22. (In Russ.)
4. *Chernykh A. I., Arsent'yeva I. V., Brysin M. P.* Mineral'no-syr'yevaya baza korennoгo zolota Respubliki Khakasii sostoyaniye i napravleniya yeye razvitiya [Mineral and raw materials base of indigenous gold in the Republic of Khakassia, the state and directions of its development], Otechestvennaya geologiya, 2018, No. 2, P. 12–21. (In Russ.)
5. *Chernykh A. I.* The specific features of gold metallogeny and associated mineralization in the Western part of Altai-Sayan folded area (Russia). 19th International Multidisciplinary scientific Geoconference & Expo SGEM 2019. V. 19. P. 669–676.
6. *Vahrushev A. M., Fedorenko S. V., Muravyev V. S.* Heterogeneous data and software use for Russian mineral resources complex monitoring and analysis. V International Conference Information Technologies in Earth Science and Applications for Geology, Mining and Economy ITES&MP. 2019.
7. *Automated subsoil licensing system*, available at: [https://asln.rosnedra.gov.ru/-umR1CUYGKQHxwrHyde5dW/\\$/13](https://asln.rosnedra.gov.ru/-umR1CUYGKQHxwrHyde5dW/$/13) (15.06.2019)
8. *Geological exploration catalog*, available at: <http://geol.irk.ru/izuch/index> (15.06.2019)
9. *Desktop GIS*, available at: <https://desktop.arcgis.com/ru/> (15.06.2019)
10. *OpenStreetMap*, available at: <https://www.openstreetmap.org/> (20.06.2019)
11. *United States Geological Survey*, available at: <https://www.usgs.gov/> (20.06.2019)

Чешуйчато-надвиговые структуры и их роль в формировании золоторудных месторождений Забайкалья

Показано, что существенная роль в формировании некоторых золоторудных месторождений Забайкалья (Култуминское, Андриюшкинское, Сыпчугур и др.), расположенных в зоне влияния Монголо-Охотского коллизионного шва и иных мобильных зон принадлежит шарьяжно-надвиговым и другим подобным структурам тектоно-метаморфического типа (производным сдвиговой тектоники) динамогенного золотого оруденения. Большая часть рудных скоплений сосредоточена в динамометаморфических комплексах различных морфогенетических типов (зоны автокластического, полимиктового и серпентинитового меланжа, милонитовых швов послонных надвигов) и относится к тектоно-метаморфогенному шарьяжно-надвиговому типу месторождений. Такие надвиговые структуры могут представлять определённые перспективы для поисков крупных месторождений при сравнительно невысоких содержаниях золота в рудах, что требует переоценки некоторых объектов.

Ключевые слова: чешуйчато-надвиговая тектоника, меланж, коллизионный шов, катаклазит, золотое оруденение, Забайкалье.

САЛИХОВ ВЛАДИМИР САЛИХОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор горного факультета, salihovvs41@inbox.ru

Забайкальский государственный университет (ЗабГУ), г. Чита

Flake-thrust structures and their role in gold deposits formation within Trans-Baikal region

V. S. SALIKHOV
Trans-Baikal State University, Chita

The significant role of tectonometamorphic gold mineralization style thrust structures in the formation of some gold deposits (Kultuminskoye, Andryushkinskoye, Sepchugur, etc.) within Trans-Baikal region is shown. Thrust structures may present certain prospects for major relatively low-grade gold deposit prospecting, which requires a reassessment of some deposits.

Key words: flake-thrust tectonics, melange, collision seam, cataclasite, mineralization, Trans-Baikal region.

Представления о чешуйчато-надвиговых (покровночешуйчатых) структурах в горно-складчатых сооружениях как о результате горизонтальных смещений в земной коре зародились в Альпах ещё во второй половине XIX в. и официально обозначились после публикации в 1894 г. в Бюллетене Геологического общества Франции статьи М. Бертрана, посвящённой покровным древним отложениям, надвинутым на более молодые отложения. Хотя сам термин «тектонический покров» появился ещё раньше, в 1841 г., при описании надвигов в Швейцарских Альпах [1].

С тех пор представления о горизонтальных смещениях пластин в земной коре стали возникать практически везде в горно-складчатых областях. И это не только горизонтальные смещения, но и сопря-

жённые с ними перемещения по субвертикальным поверхностям. Однако масштаб таких перемещений оценивался по-разному. Достаточно вспомнить полемику между фиксистами и мобилистами, не прекращающуюся и по сей день.

Остро проходил спор и между двумя выдающимися учёными академиками М. М. Тетяевым и В. А. Обручевым о характере тектонических процессов в горно-складчатом Забайкалье и Прибайкалье, имевший место в первой половине XX в. М. М. Тетяеву принадлежит идея о чешуйчато-надвиговом строении юго-востока Иркутского бассейна (1916). Им обосновано широкое распространение шарьяжных структур в земной коре и утверждалось, что покровы палеозойских и юрских горных пород развиты в Забайкалье. В. А. Обручев же разрабатывал общие вопросы

тектоники, обосновал значение вертикальных движений в формировании рельефа в Сибири в неоген-четвертичное время и глыбово-горстовом строении здесь литосферы [9].

В настоящее время подтверждено, что оба учёных правы, и в тектоническом строении горно-складчатых областей имеют место как вертикальные, так и горизонтальные перемещения горных масс. Собственно, шарьяжно-надвиговые и чешуйчато-надвиговые структуры как производные сдвиговой тектоники довольно широко распространены в земной коре и имеют существенное значение при формировании рудных месторождений и прежде всего золоторудных, хотя диагностика таких структур и их картирование далеко не простые задачи, особенно в регионах со слабой обнажённостью [1, 4].

Широкое развитие этих структур зафиксировано геолого-геофизическими данными, а тектоническая расслоенность литосферы детально охарактеризована академиками А. В. Пейве, Ю. М. Пушаровским. Шарьяжно-надвиговая тектоника окраин древних платформ (Сибирской, Восточно-Европейской, Северо-Американской) и связанных с ними месторождений, особенно нефти и газа, подтверждена многими исследованиями, в том числе на примере Сибирской платформы в зоне непосредственного сочленения с Байкало-Патомской горной областью. Здесь отчётливо проявилось зональное строение в развитии шарьяжно-надвиговой тектоники [10].

Характеристика и анализ объектов исследования. Золотое оруденение в надвиговых структурах полиметалльного Забайкалья отмечалось неоднократно. Так, приуроченность минерализации к динамометаморфическим комплексам шарьяжно-надвиговых структур освещена в ряде публикаций А. В. Татаринова с соавторами [12, 13]. Закономерная связь проявлений золоторудной минерализации с постколлизийными комплексами юрского времени, приуроченными к Монголо-Охотской сuture, пространственная принадлежность многих золоторудных месторождений Агинско-Борщовочного динамометаморфического пояса как составной части Монголо-Охотского шва описаны в работе [2]. Ранее формационный (зоны милонитизации и рассланцевания) и генетический (динамогенный) типы оруденения были выделены академиком А. Д. Щегловым [14], который обратил внимание на оруденение, приуроченное к деформированным комплексам с рассеянной вкрапленностью и тонкими кварцевыми прожилками, отмеченными на ряде изученных месторождений многих стран (Финляндия, Португалия и др.).

Таким образом, к золотоносности динамометаморфических комплексов коллизийных и шарьяжно-надвиговых структур, широко распространён-

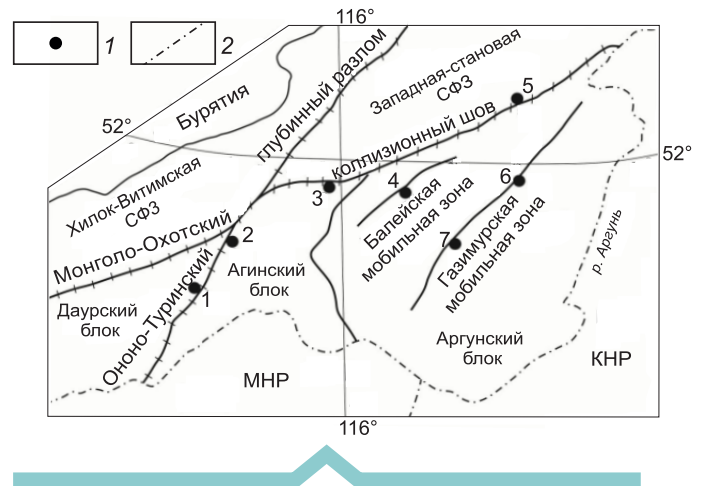


Рис. 1. Схема размещения золоторудных объектов Забайкалья с чешуйчато-надвиговой тектоникой:

1 – месторождения и их номера: 1 – Илинское, 2 – Сыпчугур, 3 – Погромное, 4 – Андрушкинское, 5 – Карийское, 6 – Култуминское, 7 – Нойон-Тологой; 2 – граница Российской Федерации; СФЗ – структурно-формационная зона

ных в разновозрастных орогенных поясах, проявлено повышенное внимание. К описанным в шарьяжно-надвиговых структурах [13] золоторудным объектам Восточного Забайкалья (Карийское, Пильненское, Погромное) необходимо добавить и некоторые другие объекты этого же региона (рис. 1). Одним из них является Култуминское золото-медно-железо-скарновое месторождение Газимуровской металлогенической (подвижной) зоны, где отмечается и прожилково-вкрапленное оруденение, что позволяет отнести этот объект к скарново-медно-порфировому промышленному типу с золотом [5].

Газимуровская металлогеническая зона включает в себя три рудных района: Будюмкано-Култуминский, Газимуро-Заводский и Шахтаминский, составляющие здесь региональный динамометаморфический пояс северо-восточного простирания. Пояс входит в систему трансконтинентального долгоживущего Монголо-Охотского шва, сформированного на заключительном этапе юрско-меловой деструкции микроконтинентов, в результате коллизии Северо-Азиатского (Сибирского) и Сино-Корейского (Китайского) кратонов [2]. Этот пояс выделяется широким развитием разрывных нарушений преимущественно северо-восточного простирания и дополняющих оперяющих северо-западных дислокаций, что подчёркивает блоковое строение зоны. Сходными по формационному типу являются месторождения Быстринское, Култуминское и Лугоканское, где

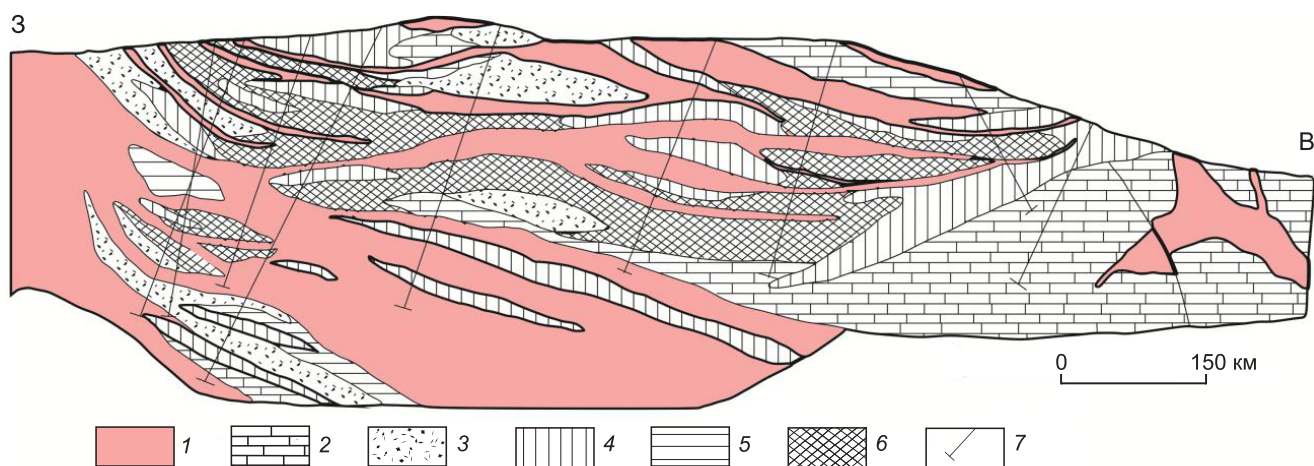


Рис. 2. Схема чешуйчато-надвигового строения Центральной части главной рудной залежи Култуминского месторождения. По данным геологоразведочных работ 2008, с изменениями:

1 – гранитоиды шахтаминского комплекса и их инъекции по сдвиговым зонам; 2 – известняки, известковистые доломиты; породы линзовидно-пластинчатого автокластического меланжа: 3 – песчаники, алевролиты, 4 – оруденелые скарны магнетитовые, 5 – алевролиты, аргиллиты; 6 – песчано-алевролитовые породы, в разной степени скарнированные; 7 – скважины

центральное место занимает Култуминское месторождение.

Зона сложена терригенно-карбонатными породами раннепалеозойского возраста среди гранитоидов среднего палеозоя, а инъекции составляют гранодиориты позднеюрского возраста. Сама же зона в региональном плане представляет собой мегадинамокластит в зоне влияния Лето- и Право-Газимурских разломов, являющихся здесь основными структурообразующими. Это подчёркивается широким распространением на Култуминском месторождении интенсивной трещиноватости, развитием тектонических брекчий и других динамогенных структур в результате неоднократно чередующихся во времени этапов сжатия и растяжения.

Таким образом, решающую роль в формировании Култуминского месторождения играли шарьяжно-надвиговые структуры, динамокластиты, одношовные и многошовные сдвиги при незначительной роли Култуминского многофазного интрузивного массива. Источником рудного вещества являлось широкое развитие во вмещающих терригенных породах содержания золота, меди, мышьяка, в два–три раза превышающих кларковые, а в карбонатных породах установлено и жильное серебро-сфалерит-галенитовое оруденение. Интрузивные же породы Кукульейского комплекса юры и ундинские гранитоиды перми не несут каких-либо признаков золото-сульфидной минерализации [5].

Это позволяет говорить прежде всего о механохимических процессах при формировании промышленной минерализации, поскольку известно, что в сдвиговых зонах развиваются тектонические напряжения, способствующие повышению миграционной способности газовой-жидкой фазы и вместе с ними рудной минерализации, о чём свидетельствуют не только природные объекты, но и экспериментальные данные. В последних установлена значимость сдвиговых деформаций по ускорению процессов минералообразования и регенерации вещества на 8–9 порядков [3] в сравнении с обычными условиями. Это подтверждено в работе [7], а также В. П. Уткиным, 1989, А. Ф. Читалиным, 2016, Ю. П. Юшмановым, 2019 и другими исследователями.

Сдвиговые деформации и сдвиговая тектоника наблюдаются на центральном участке Култуминского месторождения (рис. 2), где рудные тела устанавливаются в динамометаморфических комплексах, а фиксируемые зоны трещиноватости позволяют допустить и некоторое поступление рудного вещества (в ослабленные зоны) в связи со становлением култуминской интрузии гранодиорит-порфиров. Петрогеохимические особенности шахтаминского интрузивного массива юрского возраста свидетельствуют об образовании пород (от кварцевых монзонитов до гранитов) в результате дифференциации субшелочного базитового расплава из обогащённого мантийного источника [5], то есть наряду с коровым источником

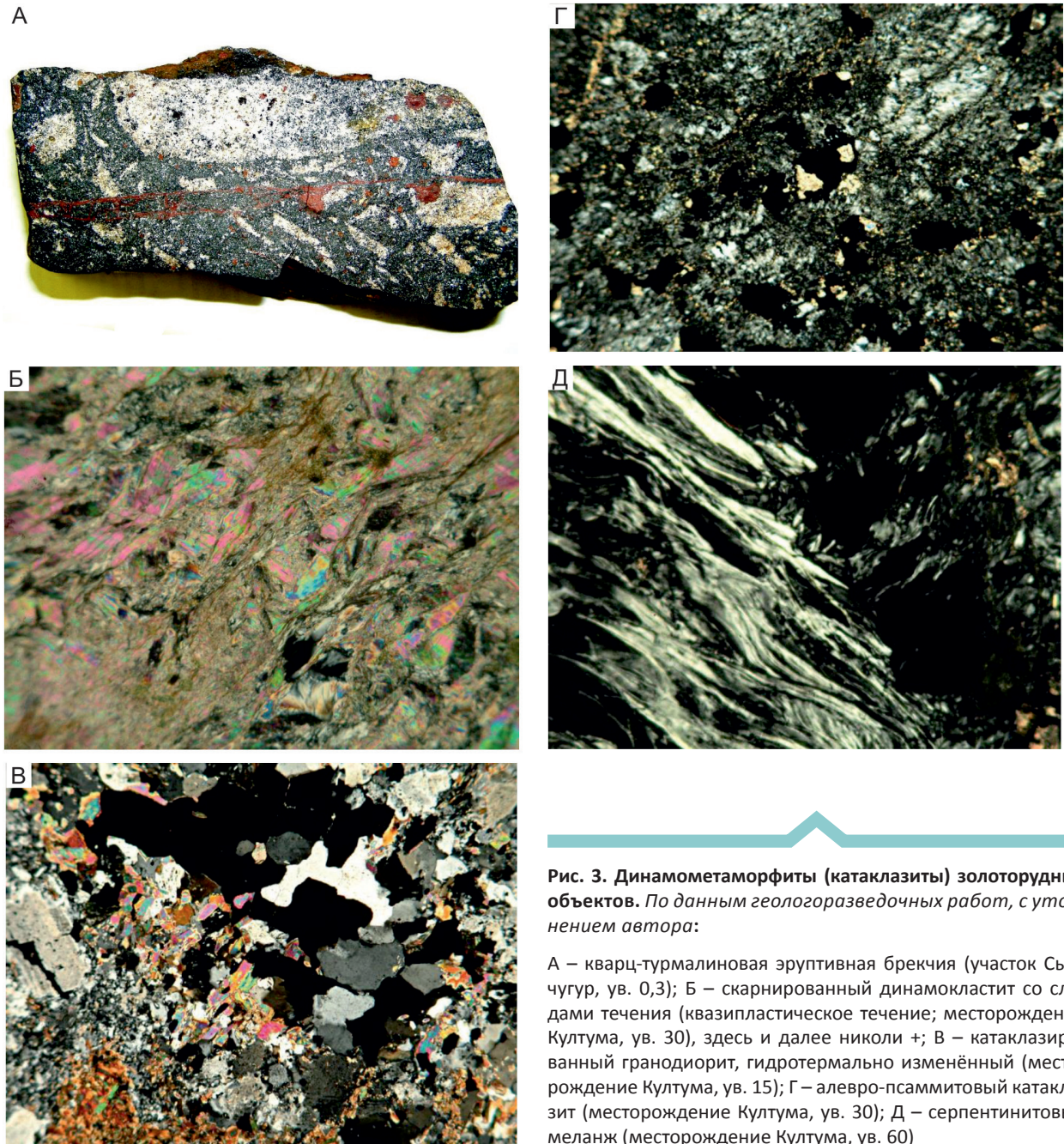


Рис. 3. Динамометаморфиты (катаклазиты) золоторудных объектов. По данным геологоразведочных работ, с уточнением автора:

А – кварц-турмалиновая эруптивная брекчия (участок Сыпчугур, ув. 0,3); Б – скарнированный динамокластит со следами течения (квазипластическое течение; месторождение Култума, ув. 30), здесь и далее николи +; В – катаклазированный гранодиорит, гидротермально изменённый (месторождение Култума, ув. 15); Г – алевро-псаммитовый катаклазит (месторождение Култума, ув. 30); Д – серпентинитовый меланж (месторождение Култума, ув. 60)

здесь принимает участие и мантийный, поступавший по серии разрывных нарушений и обогащавший в свою очередь вмещающие терригенно-карбонатные породы быстринской и ерниченской свит нижнего кембрия.

Сама же култуминская интрузия гранодиорит-порфиров площадью 19 км² имеет лополитообразную форму и локализована в ядерной части синклинальной структуры между ветвями Култума-Ушумунской антиклинали (Р. В. Груздев, 2018). Центральная часть массива в условиях динамического растяжения

совместно с вмещающими породами осложнена интенсивной трещиноватостью, зонами катаклаза и сдвиговыми структурами (послойные сдвиги и инъекции гранитоидного материала, см. рис. 2). Тектонические брекчии (а не эруптивные брекчии, как это трактуется), катаклазиты развиты по разломным зонам, имеют удлинённо-линзовидную форму, протяжённостью до 2 км и более, обломочный материал в которых представлен гранит-порфирами и гранодиорит-порфирами, а цементом служит кварц-полевошпатовая аплитовидная масса, то есть это материал

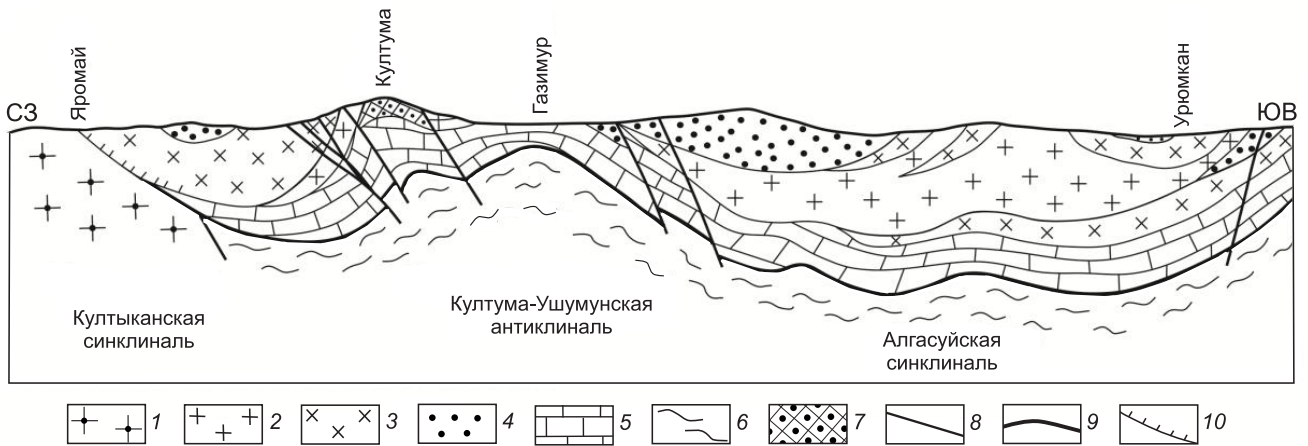


Рис. 4. Геолого-структурный разрез Култуминской площади. По материалам ООО «Востокгеология», 2013, с упрощением:

1 – гранитоиды борщевочного комплекса (J_{2-3}); 2 – гранит-гранодиоритовый шахтаминский комплекс (J_{2-3}); 3 – гранитоидный ундинский комплекс (P_1); 4 – терригенные отложения ерниченской свиты (E_{1-2}); 5 – карбонатные отложения быстринской свиты (E_1); 6 – метаморфизованные отложения белетуйской свиты венда; 7 – продуктивные породы Култуминского месторождения; 8 – разрывные нарушения; 9 – подошва шарьяжно-надвиговой зоны; 10 – Яромайский надвиг

вмещающих гранитоидных пород, переработанный в той или иной степени при активной динамике. Эруптивные брекчии, в отличие от тектонических брекчий (эндогенные кластиты), имеют форму, близкую к овальной (а не удлинённо-линзовидную), и содержат летучие компоненты (в нашем случае бор), что подчёркивается наличием турмалина и сопровождается повышенным (промышленным) содержанием золота. Это наблюдается в эруптивных брекчиях Сыпчугурской площади (рис. 3, А), чего нет в тектонических брекчиях (удлинённо-линзовидных) Култуминского месторождения.

Сдвиговый характер оруденения (послойные сдвиги) подчёркивают морфология рудных тел, расщепление их в апикальной (осевой) части антиклинали, что сближает морфологию рудных тел с подобным строением золотого оруденения месторождения Бендиго в Австралии – седловидные жилы, приводимые во многих учебниках по «месторождениям полезных ископаемых», как классический пример морфологии рудных тел. Внутреннее же строение оруденелых скарнированных пород во многом имеет обломочно-катакластическую структуру, развиваемую нередко по первичным гранодиорит-порфирам и другим вмещающим породам (см. рис. 3, В, Г).

Шарьяжно-надвиговый и сдвиговый механизм формирования Култуминского месторождения подчёркивается и региональными построениями в системе Монголо-Забайкальского подвижного пояса. Значительную часть Газимуровской металлогенической (подвижной) зоны занимает Будюмканский синкли-

норий позднерифейско-раннепалеозойского тектонического этапа, представляющий собой сложноскладчатое сооружение (многопорядковая складчатость), сложенное терригенно-карбонатными породами белетуйской, быстринской и ерниченской свит. Широко развиты здесь и блокоразделяющие разрывные структуры (Лево- и Право-Газимурская, Будюмканская и др.), а также надвиговые структуры с падением сместителя на юго-запад, как результат перемещения Северо-Китайской плиты с юго-востока на северозапад. Наиболее заметная структура этого типа – Яромайский надвиг, отчётливо фиксируемый на северозападе Култуминского рудного поля. Здесь же наблюдаются «расклинивание» терригенно-карбонатных пород кембрия, вдавливание гранитоидных пород ундинского и шахтаминского комплексов по границе быстринской и ерниченской свит с будинированием некоторых их представителей (рис. 4).

Таким образом, в зоне Култуминского рудного поля широко проявлены надвиговые структуры (линзовидные тела – будины гранитоидных и терригенных пород), а также тектонические нарушения, выраженные обширными зонами интенсивной трещиноватости (поясами даек), зонами кливажа и тектоническими швами с глиной трения (милониты). Зоны милонитизации и дробления мощностью от 10 см до 1 м. Широтные разломы представлены системой сбросо-сдвигов, ступенчато деформировавших как Култуминский массив, так и рудоносные скарнированные терригенно-карбонатные породы. Складчатая структура Култуминского рудного поля отчётливо

прослеживается и на геолого-геофизических моделях, на которых реставрируется сложное строение Култума-Ушумунской антиклинали (см. рис. 4). В центральной части поля картируется градиентная зона субмеридионального направления, контролирующая участки повышенной проницаемости пород, и разделяет рудное поле на контрастные зоны и блоки различных рангов (по данным ООО «Востокгеология», 2008).

Другим золоторудным объектом Восточного Забайкалья, где проявлена шарьяжно-надвиговая тектоника (но не отмеченная должным образом), оказывающая существенное влияние на формирование промышленных концентраций, является Андрюшкинское золото-висмутовое месторождение в Балейском золото-россыпном районе. Месторождение сформировалось в позднеюрское время в вулканоплутонической (блоковой) структуре и относится к золото-силикатной (скарновой) формации. На месторождении описаны многочисленные и разнообразные скарны и скарнированные породы, в той или иной форме и степени несущие золото-висмутовую минерализацию.

Вообще, группа скарновых месторождений относится к наиболее сложной и противоречивой, в которой определённой генетической связи руд и скарнов либо не существует, либо она отдалённая парагенетическая [11]. На Андрюшкинском месторождении отсутствуют представительные карбонатные породы (известняки, доломиты), чтобы отнести месторождение к типично скарновым. А для отнесения месторождения к силикатным скарновым отсутствует типоморфный минерал этой формации – скаполит. Существуют тем не менее скарны автореакционные, образующиеся в зоне регионального Ca-Fe-Mg метасоматоза (базификация) без обязательного участия карбонатных и магматических пород, а протолитом служат любые метаморфические породы, сопряжённые с зонами гранитизации. Такая обстановка отвечает существующей на Андрюшкинском месторождении, где основная масса скарноидов образована в сдвиговой зоне и сосредоточена в нижнем структурном этаже, представленном докембрийскими породами, прорванными серией секущих ветвистых, разной мощности ундинских гранитоидов.

Месторождение более отвечает динамогенному типу [14], встречаемому в породах динамометаморфического комплекса. Эти признаки на месторождении присутствуют как в региональном, так и в локальном плане: наличие автокластического, полимиктового и серпентинитового меланжа, милонитовые швы и зоны трещиноватости. Сдвиговая зона представляет собой целостное объёмное тело (мегабудина), проявленное в блоке разрывных нарушений (узел тектонической активности, сложенный главным образом

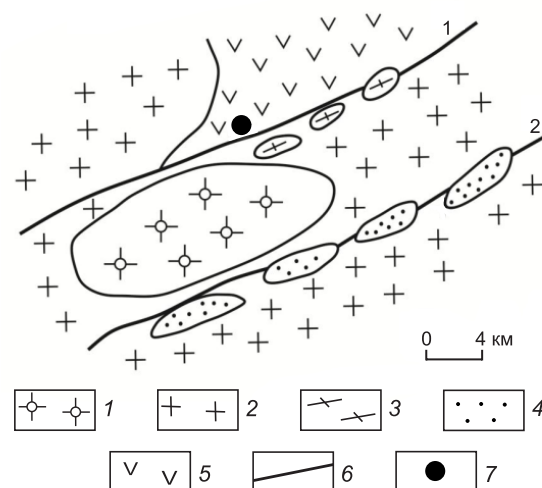


Рис. 5. Схема расположения Андрюшкинского месторождения в геодинамогенной структуре региона:

1 – порфириновые гранитоиды шахтаминского комплекса; 2 – гранитоиды ундинского комплекса; 3 – амфиболиты, гнейсы архея; 4 – осадочные породы газимуровской свиты карбона; 5 – вулканы шадоронской серии; 6 – разломы (1 – Саранинский, 2 – Петровского хребта); 7 – Андрюшкинское месторождение

разломами 1, 2). Регионально блок оконтурен ещё разломами Саранинским и Петровского хребта (рис. 5), осложнёнными в свою очередь поперечными разломами. Подобный узел тектонической активности отмечается севернее в самом Балейском рудном поле, расположенном у подножья Борщовочного хребта и одноимённого разлома, подчёркнутого зонами милонитизации и брекчирования.

Основное рудное тело месторождения линзообразной формы (типоморфное для динамокластитов-мегабудина), расположено в зоне блока архейских метаморфических пород, пронизанных ундинскими гранитоидами перми. Архейский блок по сдвиго-надвиговым нарушениям «залечен» в разной степени скарнированными породами, включая рудную минерализацию, а также линзовидными телами ундинских гранитоидов и будинированных карбонатных пород. Зона трассируется подошвой шадоронских вулканитов, играющих здесь роль покрывки. А рудное тело в динамометаморфическом комплексе представляет собой матрицу, в пределах которой выделяются блоки и линзы в разной степени скарнированных пород как по гранитоидам, так и по породам архея (рис. 6).

Шахтаминские гранитоиды юры, с которыми связывают образование промышленных концентраций,

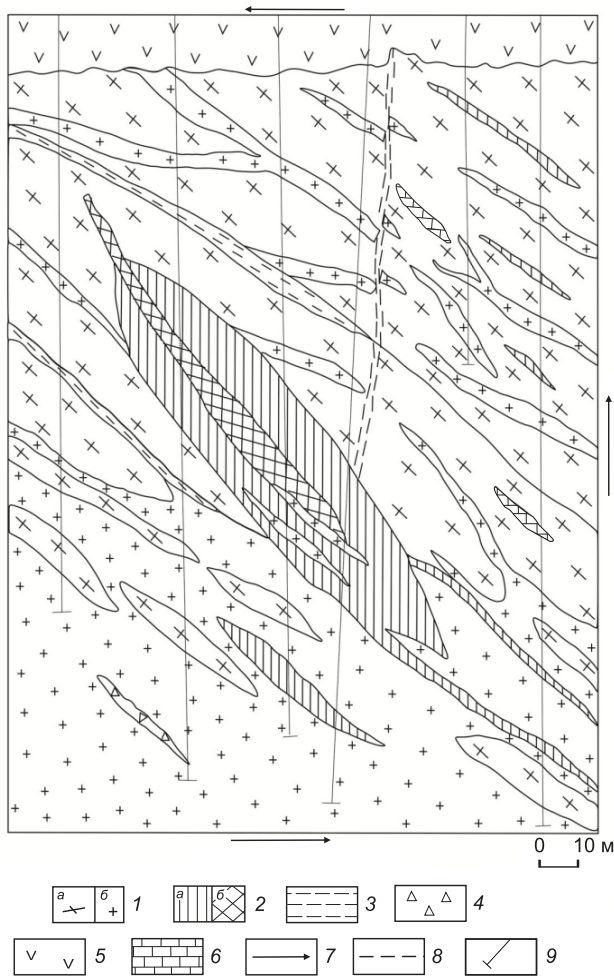


Рис. 6. Схематический разрез Андрюшкинского месторождения. По данным разведочных работ, линия № 2:

1 – матрикс месторождения: а – амфиболиты, гнейсы архея, б – катаклазированные гранитоиды ундинского комплекса позднего палеозоя; 2 – динамометаморфиты сдвиговых зон: а – скарнированные породы в разной степени оруденелые (дуплексы), б – линзовидные рудные тела (будины); 3 – зоны интенсивной трещиноватости; 4 – тектонические брекчии сдвиговых зон; 5 – вулканиды шадоронского комплекса поздней юры; 6 – линзы карбонатных пород (будины); 7 – направление перемещения массивов горных пород; 8 – сдвиговые дислокации; 9 – скважины

расположены на удалении 0,5 км и существенного влияния на формирование месторождения не оказывали. Однако постмагматические флюиды (более глубинные), безусловно, принимали участие в формировании минерализации в сдвиго-надвиговых проницаемых участках, каковыми являлись и тела тектонических брекчии. Скарнирование и образование промышленной минерализации было длительным, разорвано во времени, поэтому далеко не все

скарнированные породы относятся к рудным образованиям. Источником вещества могли быть предверхнеюрские и преднижнемеловые коры выветривания, более широко отмечаемые в Балейском рудном поле.

Существенная роль шарьяжно-надвиговых структур (пока ещё не оценённая должным образом) принадлежит и золоторудному узлу Сыпчугур площадью 562 км², охватывающему три золоторудных поля, в том числе Сыпчугурское, состоящее из пяти рудоносных участков, включая собственно Сыпчугурский, наиболее продуктивный и более исследованный [6]. Надвиговая структура устанавливается по многочисленным признакам регионального и локального характера. Рудное поле, как и весь рудный узел, размещается в Онон-Туринской мощной (25–30 км) взбросо-сдвиговой зоне (глубинном разломе) на пересечении с Монголо-Охотским коллизийным швом длительного развития (см. рис. 1). В этой зоне уже установлены и описаны золоторудные объекты надвиговых структур (Илинское, Дыбыкса) и далее – месторождение Погромное Пришилкинской зоны Монголо-Охотского линейного элемента [13].

Участие надвиговых, сбросо-сдвиговых структур на Сыпчугуре подтверждается его высокой тектонической активностью (узел тектонической напряжённости), тектоно-блоковым строением рудного участка с заметной вертикальной составляющей, а также овальной формой эруптивных брекчии с повышенной золотоносностью. Фиксируются пакеты чешуй на некоторых участках, наличие округлой формы обломков в брекчии, овоидные сгустки пирита и вкрапление золота. Последнее позволяет допустить существенное участие механохимических процессов в формировании повышенных концентраций золота, присутствующих во вмещающей раме. Собственно, Сыпчугурский участок находится в осевой части Даурского хребта, наиболее осложнён тектоническими движениями (в зоне сочленения метаморфитов докембрия и юрских магматитов), а основной рудоконтролирующей структурой является мощный взбросо-сдвиг, в пределах которого установлены дифференцированные опущенные и приподнятые блоки, где и прогнозируется продуктивное оруденение [6].

Изложенное свидетельствует о высокой перспективе Сыпчугурского рудного поля, где проявлена разная минерализация, в том числе штокверковая, и прогнозируется большеобъёмное месторождение комплексной золото-медно-молибден-порфировой рудной формации. А расположение этого участка в центре Забайкалья с развитой инфраструктурой позволяет рассматривать его как первоочередной рудно-россыпной оценочный объект. К тому же здесь

уже давно ведётся россыпная добыча золота. Проведённая прогнозная оценка этого рудного узла показывает следующие результаты: золото – 409 т и серебро – 3237 т, также присутствуют медь и молибден [6].

Следующим рудным объектом Восточного Забайкалья, в котором главенствующая роль формирования оруденения принадлежит надвиговым и сдвиговым структурам, является комплексное Au-Ag-полиметаллическое месторождение Нойон-Тологой. Основные рудные тела здесь размещены в послонных сдвиго-надвиговых зонах (послойные сдвиговые смещения) среди осадочно-вулканогенных отложений средней юры, что придаёт месторождению стратиформный характер (рис. 7). Месторождение расположено в пределах Кличкинского рудного района и приурочено к северо-восточному выклиниванию Мулинской вулcano-плутонической структуры. Рудные тела пластообразной формы, согласные с вмещающими породами, контролируются пологими зонами межпластовых тектонических срыво-сдвигов и подчёркиваются проявлением милонитов, катаклазитов, зонами брекчирования. Размеры рудных тел по простиранию достигают тысячи метров, а по падению до 400 м (по данным разведочных работ, 2012).

Такое же шарьяжно-надвиговое строение имеют многие Au-Ag-полиметаллические месторождения Приаргунской структурно-формационной зоны, которую можно рассматривать как очередной зональный (от Сибирского кратона на юго-восток) шарьяжно-надвиговой пояс северо-восточного простирания в пределах Забайкалья. Пояс контролируется протяжёнными разломами (например Пограничным), по кинематическим характеристикам относящимися к надвигам. Это отмечено в окончательном отчёте по результатам работ АО «Росгеология» в 2015–2017 гг. по теме «Поисковые работы с оценкой перспектив золото-полиметаллического оруденения основных рудных районов и узлов Приаргунской структурно-формационной зоны (Забайкальский край)», в котором приведены геометризованная модель месторождений, локализованных в углеродисто-карбонатно-терригенной формации вендского возраста, а также геологический разрез Заргольской площади с отчётливой сдвиго-надвиговой структурой.

Таким образом, здесь можно выделить следующую в зональном ряду Приаргунскую мобильную зону, но уже с существенным полиметаллическим оруденением в пределах выделенного ранее (1936) академиком С. С. Смирновым полиметаллического рудного пояса.

Заключение. 1. Главенствующая роль в локализации золоторудной минерализации ряда месторождений Забайкалья (Сыпчугур, Култуминское, Андрушкинское и др.), расположенных в зоне влияния

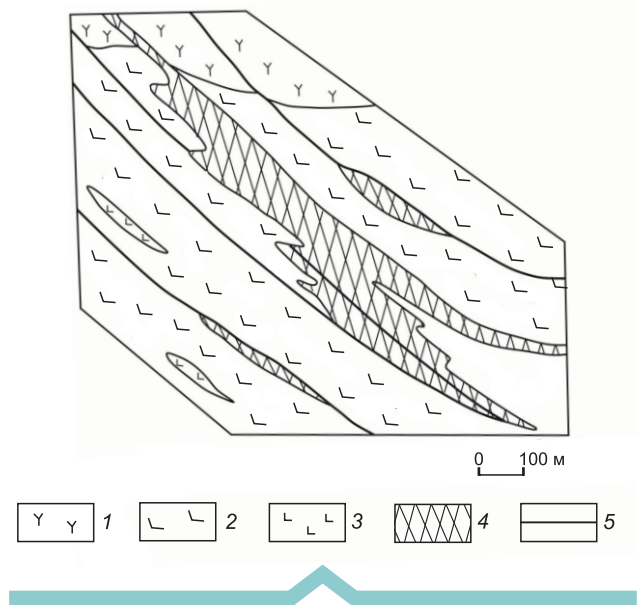


Рис. 7. Схема размещения рудных тел в сдвиговых зонах месторождения Нойон-Тологой (одна из разведочных линий):

1 – сиениты, сиенит-порфиры гипабиссального комплекса поздней юры; 2 – покровы андезито-базальтов, трахиандезитов юры; 3 – будины базальтов; 4 – рудные залежи; 5 – сбросо-сдвиги, надвиги

Монголо-Охотского коллизийного шва длительного развития как связующей структуры Сибирского и Китайского кратонов с другими мобильными зонами, принадлежит надвиговым структурам, сформированным в заключительный этап мезозойской коллизии этих кратонов.

2. Покровно-чешуйчатое строение Забайкалья устанавливается и на космическом телевизионном снимке, а реальность такого строения подтверждена данными полевых наблюдений на ряде участков [1]. Складчато-надвиговые структуры, их рудоконтролирующая роль в размещении полезных ископаемых Забайкалья и прилегающих районов подтверждены результатами дешифрирования аэрофотоснимков и космоснимков и рассмотрены в кандидатской диссертации С. А. Абушкевича (2009).

3. Зоны глубинных разломов, к которым обычно приурочены шарьяжно-надвиговые структуры (Монголо-Охотский линеамент, Онон-Туринский и др.), рассматриваются как естественные «насосы» природных флюидов (жидкостей и газов), работающие при тектонической активизации (сейсмогенной и др.) в двух режимах: попеременное всасывание и отжатие, что приводит к гидротермально-метасоматическому рудогенезу и, в том числе, к миграции нефтегазовых залежей [8].

4. При анализе динамических структур, появляющихся в тектонически активных зонах, следует учитывать, что в такой геологической обстановке проявляются нелинейные эффекты – структурно-геологические феномены, возникающие при прохождении системы через некоторые предельные условия. В связи с этим деформируемая среда испытывает качественные изменения, а геологические процессы становятся нелинейными. Весьма продуктивна в таких случаях динамическая обстановка «всестороннее сжатие плюс сдвиг», которая приводит к «реологическому взрыву» [7], а также лавинообразному выделению рудного вещества и образованию «бонанцев» – рудных столбов.

Подобная обстановка наблюдается на ряде объектов Забайкалья, особенно в Балейской мобильной зоне, где, по данным эксплуатации, фиксировались рудные участки с многокилограммовыми содержаниями золота (месторождение Тасей).

Таким образом, зоны региональных и локальных структурно-тектонических несогласий и сдвигов являются областями неустойчивого состояния геологической среды, в связи с этим при потенциальной оценке территорий нужны новые прогнозно-поисковые признаки и критерии, учитывающие взаимодействие тектогенеза и рудогенеза.

При выделении перспективных участков заметная роль принадлежит рельефу, который отражает глубинную обстановку, а исходя из разломно-блокового строения шарьяжно-надвиговых зон, отчетливо подчеркивается положительными отметками, определяемыми главными и оперяющими разломами. Дуплексы и особенно мегадуплексы во многих случаях выделяются «положительными формами рельефа» [1, с. 48]. Такая обстановка фиксируется на Култуминском, Андрюшкинском и Сыпчугурском месторождениях, что позволяет обрабатывать их горизонтальными горными выработками (штольнями) или карьерами.

5. Крупные разломы (Монголо-Охотский, Онон-Туринский, Право-Газимурский и др.) по кинематике относятся к надвигам, сбросо-сдвигам и фиксируются зонами катаклаза милонитизации, брекчирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Диагностика* и картирование чешуйчато-надвиговых структур: методическое пособие. – СПб.: Роскомнедра ВСЕГЕИ, 1994. – 191 с.
2. *Зорин Ю. А., Беличенко В. Г., Рутштейн И. Г.* и др. Геодинамика западной части Монголо-Охотского складчатого пояса и тектоническая позиция рудных проявлений золота в Забайкалье // *Геология и геофизика*. – 1998. – Т. 39, № 16. – С. 1578–1586.
3. *Ениколопов Н. С.* Влияние сдвига на скорость процессов полимеризации. Международный симпозиум по химической физике // *Тезисы докладов*. – М., 1981. – С. 83–86.
4. *Камалетдинов М. А., Казанцева Т. Т., Казанцев Ю. В.* и др. Шарьяжно-надвиговая тектоника литосферы. – М.: Наука, 1991. – 255 с.
5. *Ковалев К. Р., Калинин Ю. А., Туркина О. Н.* и др. Култуминское золото-медно-скарновое месторождение (Восточное Забайкалье, Россия): петрохимические особенности магматизма и процессы рудообразования // *Геология и геофизика*. – 2019. – Т. 60, № 6. – С. 749–771.
6. *Левченко С. Ю.* Минерагения Сыпчугурского рудного узла (Восточное Забайкалье) // Автореф. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. – Чита, 2012. – 23 с.
7. *Летников Ф. А., Овсяк М. Н.* К вопросу о природе глубинных сейсмических очагов // *Докл. РАН*. – 2008. – Т. 420, № 3. – С. 372–374.
8. *Мигурский А. В., Старосельцев В. С.* Шарьяжное строение зоны сочленения Сибирской платформы с Байкало-Патомским нагорьем // *Советская геология*. – 1989. – № 7. – С. 9–15.
9. *Сизых В. И.* Шарьяжно-надвиговая тектоника окраин древних платформ. – Новосибирск: Изд-во СО РАН филиал «Гео», 2001. – 154 с.
10. *Сизых В. И., Белоголовкин А. А.* Новые данные о чешуйчато-надвиговом строении Монголо-Охотского линеймента на примере Верхнешилкинского глубинного разлома // *Докл. АН СССР*. – 1987. – Т. 295, № 4. – С. 936–940.
11. *Старостин В. И., Игнатов П. А.* Геология полезных ископаемых: Учебник для высшей школы. – М.: Академический проект, 2004. – 512 с.
12. *Татаринов А. В., Яловик Л. И.* Особенности формирования и формационная принадлежность Токичанского золоторудного поля (Верхне-Колымский район) // *Структурно-вещественные комплексы докембрия Восточной Сибири*. – Иркутск: Изд-во Иркутского ун-та, 1998. – С. 257–268.
13. *Татаринов А. В., Яловик Л. И., Яловик Г. А.* Золотое оруденения в надвиговых структурах Монголо-Охотского коллизионного шва (Пришилкинская и Онон-Туринская зоны) // *Тихоокеанская геология*. – 2004. – Т. 23, № 3. – С. 22–31.
14. *Щеглов А. Д.* О новом типе месторождений золота и перспективы их открытия // *Разведка и охрана недр*. – 1997. – № 11. – С. 10–11.

REFERENCES

1. *Diagnostika i kartirovaniye cheshuychato-nadvigovykh struktur: metodicheskoye posobiye* [Diagnostics and mapping of scaly thrust structures: a methodological guide], St. Petersburg, Roskomnedra VSEGEI publ., 1994, 191 p. (In Russ.)
2. *Zorin Yu. A., Belichenko V. G., Rutshteyn I. G. et al. Geodinamika zapadnoy chasti Mongolo-Okhotskogo skladchatogo poyasa i tektonicheskaya pozitsiya rudnykh proyavleniy zolota v Zabaykal'ye* [Geodynamics of the western part of the Mongol-Okhotsk fold belt and the tectonic position of ore occurrences of gold in Transbaikalia], *Geologiya i geofizika*, 1998, V. 39, No. 16, P. 1578–1586. (In Russ.)
3. *Yenikolopov N. S. Vliyaniye sdviga na skorost' protsessov polimerizatsii* [Influence of shear on the rate of polymerization processes], *Mezhdunarodnyy simpozium po khimicheskoy fizike, Tezisy dokladov*, Moscow, 1981, P. 83–86. (In Russ.)
4. *Kamaletdinov M. A., Kazantseva T. T., Kazantsev Yu. V. et al. Shar'yazhno-nadvigovaya tektonika litosfery* [Shar'yazhno-thrust tectonics of the lithosphere], Moscow, Nauka publ., 1991, 255 p. (In Russ.)
5. *Kovalev K. R., Kalinin Yu. A., Turkina O. N. et al. Kultuminskoye zoloto-medno-skarnovoye mestorozhdeniye (Vostochnoye Zabaykal'ye, Rossiya): petrokhimicheskiye osobennosti magmatizma i protsessy rudoobrazovaniya* [Kultuminskoe gold-copper-skarn deposit (Eastern Transbaikalia, Russia): petrochemical features of magmatism and ore formation processes], *Geologiya i geofizika*, 2019, V. 60, No. 6, P. 749–771. (In Russ.)
6. *Levchenko S. Yu. Minerageniya Sypchugurskogo rudnogo uzla (Vostochnoye Zabaykal'ye)* [Minerageniya of the Sypchugur ore cluster (Eastern Transbaikalia)], *Avtoref. diss. ... kand. geol.-mineral. Nauk*, Chita, 2012, 23 p. (In Russ.)
7. *Letnikov F. A., Ovsyuk M. N. K voprosu o prirode glubinnykh seismicheskikh ochagov* [On the nature of deep seismic sources], *Dokl. RAN*, 2008, V. 420, No. 3, P. 372–374. (In Russ.)
8. *Migur'skiy A. V., Starosel'tsev V. S. Shar'yazhnoye stroyeniye zony sochleneniya Sibirskoy platformy s Baykalo-Patomskim nagor'yem* [Shar'yazhny structure of the junction zone of the Siberian platform with the Baikal-Patom Upland], *Sovetskaya geologiya*, 1989, No. 7, P. 9–15. (In Russ.)
9. *Sizykh V. I. Shar'yazhno-nadvigovaya tektonika okrain drevnikh platform* [Shar'yazhno-thrust tectonics of the margins of ancient platforms], *Novosibirsk, SO RAN filial "Geo"* publ, 2001, 154 p. (In Russ.)
10. *Sizykh V. I., Belogolovkin A. A. Novyye dannyye o cheshuychato-nadvigovom stroyenii Mongolo-Okhotskogo lineamenta na primere Verkhneshilkinskogo glubinnogo razloma* [New data on the flake-thrust structure of the Mongol-Okhotsk lineament on the example of the Verkhneshilkinsky deep fault], *Dokl. AN SSSR*, 1987, V. 295, No. 4, P. 936–940. (In Russ.)
11. *Starostin V. I., Ignatov P. A. Geologiya poleznykh iskopayemykh* [Geology of minerals], *Uchebnik dlya vysshey shkoly*, Moscow, Akademicheskii proyekt publ., 2004, 512 p. (In Russ.)
12. *Tatarinov A. V., Yalovik L. I. Osobennosti formirovaniya i formatsionnaya prinadlezhnost' Tokichanskogo zoloto-rudnogo polya (Verkhne-Kalym'skiy rayon)* [Features of formation and formational affiliation of the Tokichansk gold ore field (Verkhne-Kalym'skiy rayon)], *Strukturno-veshchestvennyye komplekсы dokembriya Vostochnoy Sibiri, Irkutsk, Izd-vo Irkutskogo un-ta* publ., 1998, P. 257–268. (In Russ.)
13. *Tatarinov A. V., Yalovik L. I., Yalovik G. A. Zolotoye orudeneniye v nadvigovykh strukturakh Mongolo-Okhotskogo kollizionnogo shva (Prishilkinskaya i Onon-Turinskaya zony)* [Gold mineralization in thrust structures of the Mongol-Okhotsk collision suture (Prishilkinskaya and Onon-Turin zones)], *Tikhookeanskaya geologiya*, 2004, V. 23, No. 3, P. 22–31. (In Russ.)
14. *Shcheglov A. D. O novom tipe mestorozhdeniy zolota i perspektivy ikh otkrytiya* [On a new type of gold deposits and the prospects for their discovery], *Razvedka i okhrana nedr*, 1997, No. 11, P. 10–11. (In Russ.)

По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию
по тел. +7 (495)315-28-47,
E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1

Типы, строение и размещение трещинных золоторудных гнёзд

В статье систематизируются рудно-трещинные гнёзда золотых руд различных типов и достаточно детально раскрывается их строение. Это позволит геологам-разведчикам подтвердить богатство золотых руд, что особенно важно при эксплуатации месторождений в условиях подземных выработок. Золоторудные гнёзда были закартированы и проанализированы автором на ряде месторождений Узбекистана – Мурунтау, Даугыз, Чармитан, Кокпатас, на месторождениях Восточного Забайкалья – Дарасун, Балей и др., на Кочкарском месторождении Южного Урала. Кроме того, в статье были использованы собранные автором материалы по золоторудным гнёздам Наталкинского и Нежданинского месторождений, а также месторождения Павлик и Кючус в Якутии, Берикюль в Западной Сибири, Бакырчик и др. в Казахстане, месторождений Калгурли, Норсмен и др. в Австралии, Комшток и др. в США, Поркьюпайн в Канаде и др.

Ключевые слова: золоторудные месторождения, гнёзда, рудные тела, однородная среда, контактовые зоны, золотоносные разрывы, пирит-арсенопиритные, кварцевые, сульфидно-кварцевые жилы и прожилки.

НЕКРАСОВ ЕВГЕНИЙ МИХАЙЛОВИЧ (старший), профессор, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник¹, emnekrasov@yandex.ru

НЕКРАСОВ АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ (младший), nekrasov@ibdc.ru

¹ ФГУНПП «Аэрогеология»

Types, structure and location of fractured gold pockets

E. M. NEKRASOV¹, A. E. NEKRASOV

¹ FSUSE Aerogeology

Fractured gold ore pockets of various types are classified and their structure is described in detail. This will allow explorationists to confirm high-grade gold ores, which is especially important in underground deposit mining. Gold pockets were mapped and analyzed by the author at deposits in Uzbekistan (Muruntau, Daugyz, Charmitan, Kokpatas), eastern Trans-Baikal region (Darasun, Balei, etc.) and Kochkarskoye (South Urals). Also, the paper describes the material collected by the author at gold pockets in Natalkinskoye, Nezhdaninskoye, Pavlik and Kyuchus deposits in Yakutia, Berikul in Western Siberia, Bakyrchik in Kazakhstan as well as deposits from Australia (Kalgoorlie, Northman, etc.), USA (Comstock, etc.), Canada (Porcupine), among others.

Key words: gold deposits, gold pickets, ore bodies, homogeneous medium, contact zones, gold-bearing breaks, pyrite-arsenopyrite, quartz, sulfide-quartz veins.

Задачи исследования. Золоторудные гнёзда – непрерывные составные части более обширных и масштабных рудно-трещинных построек (золоторудных столбов). Их руды, содержание золота в которых в 2–4 и более раз выше, чем в рядовых месторождениях, приносят максимальную прибыль горнорудным компаниям и чрезвычайно ценятся, особенно для обеспечения стабильной работы золотодобывающих предприятий. Среди золоторудных гнёзд выделяются образования двух различных групп.

Первая, наиболее многочисленная, представлена семью типами гнёзд, развитыми в однородной среде. Такие гнёзда контролируются исключительно благоприятными сочетаниями разрывов, оказавшихся доступными для поступающих золотосодержащих растворов. Это жильные, прожилковые и вкрапленные образования, проявляющиеся на перегибах, расщеплениях и разветвлениях или в узлах отделения боковых оперяющих трещин от главных рудоносных раз-

рывов, а также на ограничениях рудовмещающих разрывов, залеченных богатыми рудами.

Гнёзда второй группы менее разнообразны и представлены 4 типами. Они обнаруживаются на контактах или вблизи границ, в узлах смены пород различного состава, в виде полос близкорасположенных лестничных жил и прожилков богатых руд в дайках и штоках, в виде веерных прожилков и вкрапленников в прослоях легкозамещаемых пород или под нависающими поверхностями экранирующих геологических образований, например, силлов.

Особенности геологической позиции золоторудных гнёзд. Золоторудные столбы и гнёзда на участках золоторудных месторождений – чрезвычайно своеобразные рудно-трещинные образования, совершенно не похожие на столбы руд, например, месторождений цветных металлов, ртути и сурьмы, олова, «жильных» месторождений меди, молибдена, кобальта и никеля, вольфрама, урановых, редкометалльных

и других руд. Рудные столбы на перечисленных месторождениях просто «выпячивают», «кричат» геологу-разведчику крупными скоплениями своих визуально видимых полезно-промышленных минералов (например, на свинцово-цинковых или медно-жильных месторождениях – скоплениями галенита (свинчака), сфалерита и халькопирита): «Вот мы тут, вот наша форма и наше строение, разведуйте, оцените нас и добывайте наши руды!». Золоторудные столбы и развитые в их пределах элементарные части – непротяжённые (всего первые метры), но принадлежащие им компактные рудные гнёзда богатых руд (как правило, жильного или прожилкового облика или представленные обильной рудной вкрапленностью) – выступают «скрытыми» образованиями на золото, никак визуально не свидетельствующими о высоких концентрациях этого металла, а также сопутствующего серебра. Действительно [10], во-первых, золото и серебро могут быть проявленными в золотосодержащих минералах – в ранних пиритах, арсенопиритах, пирротинах, сфалерите и галените, в халькопирите, борните, блёклых рудах и других разнообразных сульфосолях меди, железа и олова, которые в ассоциации с кварцем, карбонатами и рудными минералами обычно образуют микропрожилки, цементирующие («скрепляющие») тектонически *микрораздробленные* зёрна вышеперечисленных (очевидно, более хрупких) минералов. Ясно, что визуально подобная микрообстановка не может быть обнаруженной ни в горных выработках, ни на поверхности. Во-вторых, благородные металлы кристаллизуются в благоприятных легкозамещаемых породах, в околорудных метасоматитах, в известняках и доломитах, проявляются и кристаллизуются в жильных минералах: в кварце и халцедоне, карбонатах, полевых шпатах (обычно в альбите), в некоторых темноцветных минералах – амфиболах и пироксенах (содержащих железо), в которых они как бы «прячутся». Однако в настоящее время установлено, что в золоторудных месторождениях золото теснейшим образом пространственно ассоциируется с рудными минералами (и особенно содержащими железо) [10], в жильных кварцевых, карбонатных и других образованиях благородные металлы могут быть обнаружены преимущественно в виде единичных золотинок. Они слагают зёрна и включения самородного золота и серебра, сульфидов, сульфосолей, теллуридов и селенидов золота и серебра (от долей микрона до тысячных долей миллиметра), но почти всегда совместно с рудными минералами железа и цветных металлов. Подобные проявления визуально, без помощи микроскопа, анализов и опробования, например в горных выработках, обычно улавливаются с большим трудом. Таким образом, даже обна-

ружение отдельных золотинок и «зёрнышек» включений благородных минералов без данных опробования не даёт гарантий для выявления золоторудных гнёзд в одних и тех же многократно наблюдававшихся геологами на различных месторождениях комбинациях «стыковок» рудоносных разрывов. Некоторую надёжность в обнаружении золоторудных гнёзд даёт выявление крупных золотинок – самородков, «жуков и бляшек» (0,2–1 см в поперечнике) и менее крупных «пятнышек».

Повторяющиеся комбинации рудоносных разрывов с пространственно тяготеющими к ним золоторудными гнёздами богатых руд [13] удаётся наблюдать как в однородной рудовмещающей среде, так и на границе пород различного состава. Достаточно высокая концентрация золота в гнёздах, распространённых группами, при их размещении в пределах обособленной и более масштабной рудно-трещинной постройки (в случае увеличения содержания золота в её рудах в 2–4 и более раза по сравнению с рассчитанным средним, рядовым для месторождения) позволяет рассматривать подобные масштабные образования (постройки) уже в качестве золоторудных столбов, отработка которых приносит особо высокую прибыль горнорудным компаниям. Рудные гнёзда выступают их неделимой элементарной частью. Таким образом, золоторудный столб – это достаточно протяжённая (от десятков до первой сотни метров в плане и разрезе) рудно-структурная постройка со стержневыми [11], обычно мощными золоторудными жильно-прожилковыми или вкрапленными телами главного (преобладающего) направления и с сопровождающими их многочисленными рудоносными боковыми сколами и отрывами, а иногда и с попутными оруденелыми трещинами-спутниками (сателлитами). Золоторудные столбы обладают самой разнообразной формой в пространстве, не обязательно именно столбообразной. В результате геологу приходится обнаруживать скопления богатых золотых и золото-серебряных руд не по особенностям минерального состава руд и масштабным скоплениям рудных минералов, а в основном по косвенным признакам: изменению облика *жильных* и вкрапленных рудных тел, появлению жил, линз и прожилков «нового», нередко поперечного направления, или при резком возрастании боковых прожилков, количества обломков брекчии в линзах и других раздвухах кварца и халцедона, по изменению текстурного облика жильных и вкрапленных скоплений и др., то есть не по прямым, привычным, а по косвенным признакам. Причём первоначально будут обнаруживать скорее не золоторудные столбы, а их составляющие элементы – золоторудные гнёзда [3]. Очевидно, под золоторудным гнездом можно понимать

компактную маломасштабную часть (первые метры в плане и разрезе) оконтуренного рудного тела, заключённую в небольшой трещинной структурной ловушке и представленную богатыми рудами, повышающими среднее рассчитанное для месторождения содержание золота в 2–4 и более раз.

Типы гнёзд в однородной среде. В однородной рудовмещающей среде удаётся выделить 7 рудно-трещинных типов золоторудных гнёзд (см. таблицу). Наиболее часто геолог встречается с рудно-трещинными гнёздами, приуроченными к перегибам рудоносных разрывов и обусловленным ими раздувам жил, линз, чётков в жильно-прожилковых или вкрапленных зонах с отделяющимися от них боковыми золоторудными прожилками, залечивающими опеоряющие выдержанные сколы и короткие изогнутые

отрывы (гнёзда первого типа). Эти образования сопровождаются дроблением пород и развитием попутных трещин или *самеллитов*, которые сопутствуют главным рудоносным трещинам, пересекающим брекчированные породы и метасоматиты. Примером их могут служить вскрытые карьерами и эксплуатирующиеся субширотные жилы месторождений Мурунтау и Чармитан в Узбекистане, Бакырчик в Казахстане, месторождений Нежданское и Павлик в Якутии и др. Вмещают их как чётко выраженные тектонические швы с сухой гидротермально изменённой глиной трения, так и маломощные (обычно 0,5–2 м) зоны брекчированных пород или метасоматитов. Жилы представляют собой сменяющие друг друга чётки и развитые на раскрывшихся перегибах линзы протяжённостью от 3–4

Типы золоторудных гнёзд

Название типа	Краткая характеристика геологического строения типа гнёзд	Примеры месторождений	Ссылка на рисунок
<i>Первая группа гнёзд – в однородной среде</i>			
Гнёзда в раздувах жил	Раздувы жил, линзы и «чётки» в раскрывшихся в период оруденения перегибах золоторудных зон	Мурунтау (У), Чармитан (У), Бакырчик (К), Нежданское (Я)	
Гнёзда в богатых штокверковых рудах, сопровождающих раздувы жил	Штокверковые и сетчатые руды в полосах боковых сколов, подчинённых трещин отрыва, отделяющихся от перегибов золоторудных зон	То же	
Гнёзда в полосах подобных прожилков	Богатые руды в полосах подобных прожилков S-, Z- и L-образной формы, развитые в зонах волочения в мощных чешуйчатых взбросах (надвигах) и других разрывах	Сухой Лог (Я), Мурунтау (У), Бакырчик (К), Поркьюпайн (Канада), Комшток (США)	1
Гнёзда в сужениях раздувов жил	Участки золоторудных тел и жил в их сужениях, «закупоренных» обильной брекчией вмещающих пород и метасоматитов	Дарасун (З), Мурунтау (У), Чармитан (У)	
Гнёзда в штокверковых рудах, сопровождающих пересечения (и смещения) золоторудных зон, жил и других рудных тел	Богатые штокверковые и жильные руды на пересечениях золоторудных зон и тел, в прожилках, субпараллельных и сопровождающих пересекающиеся рудные образования	Дарасун (З), Мурунтау (У), Павлик (Я), Наталкинское (Я)	2
Гнёзда на ограничениях рудных тел поперечными и косопоперечными дорудными ограничителями	Богатые прожилковые (реже жильные) руды под экранирующей поверхностью поперечных и косопоперечных дорудных ограничителей	Дарасун (З), Павлик (Я), Чармитан (У), Берикюль (Зап. Сиб.), Калгурли (Австралия), Норсмен (Австралия)	3, А

Окончание таблицы

Название типа	Краткая характеристика геологического строения типа гнёзд	Примеры месторождений	Ссылка на рисунок
<i>Первая группа гнёзд – в однородной среде</i>			
Богатые и особо богатые гнёзда в структурных ловушках типа «островерхий шалаш»	В «ловушках» между расходящимися и погружающимися граничными разрывами в районе площадок торможения локализуются богатейшие брекчиевые руды и развиваются многочисленные штокверки боковых сколов и отрывов с золотиными, бляшками и самородками, повышающими содержание золота до 5–11 кг/т	Балей (З), Агинское (Центральная Камчатка), Комшток (США)	4, А–В, Г – обобщённый пример, Д – положение эллипсоида деформации в период образования особо богатых руд
Гнёзда на пересечениях главными золоторудными разрывами оруденелых трещин древнего заложения	На пересечениях главных рудоносных разрывов и поперечных жил, прожилков (в трещинах древнего заложения) вдоль пересекающихся рудных образований локализуются боковые сопутствующие прожилковые и штокверковые зоны богатых руд	То же	5
<i>Вторая группа гнёзд – контактовые гнёзда на границах и вблизи границащих пород различного состава</i>			
Гнёзда вдоль контактов брекчированных зон даек, штоков, трубок брекчий и др.	Контактовые и приконтактовые гнёзда локализуются вдоль плавных, сглаженных контактов даек, размещающихся вблизи площадок торможения блоков пород, проявляющихся («действующих») в период оруденения	Кочкарское (Ур), Дарасун (З)	
Гнёзда в полосах поперечных лестничных жил и прожилков	Гнёзда богатых руд локализуются в поперечных лестничных жилах и прожилках от одного контакта даек до другого вблизи площадок торможения	Берёзовское (Ур), Кочкарское (Ур)	6, А
Гнёзда в веерах боковых сколов – прожилков под «днищами» силлов	Богатые руды сосредотачиваются в главных зонах и веерах оперяющих сколов, ограничивающихся тектоническими подошвами силлов, под их экранирующей поверхностью	Покровское (I и II) (Приамурская тектоническая зона)	6, Б
или под нависающими контактами магматических штоков	или под нависающими контактовыми разрывами	Чармитан (У)	
Гнёзда в слоистых толщах	В слоистых песчано-глинисто-сланцевых комплексах пород рудоносные разрывы могут использовать трещинки осевых плоскостей складок	Кокпатас (У), Светлинское (Ур)	7
Гнёзда в прослоях, благоприятных для оруденения (например, карбонатных) пород	Гнёзда «часто расположенных» богатых прожилков в прослоях карбонатных пород (или карбонатсодержащих песчаниках)	Даугыс (У)	8

Примечание. Список районов расположения месторождений: У – Узбекистан, З – Забайкалье, Я – Якутия, К – Казахстан, Ур – Урал, Зап. Сиб. – Западная Сибирь.

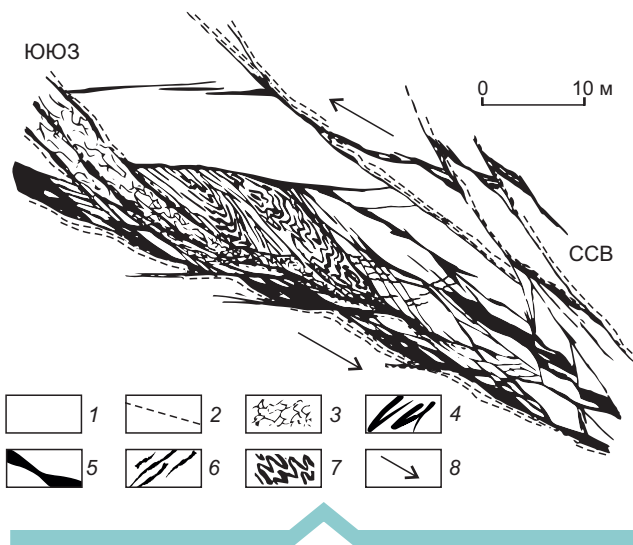


Рис. 1. Месторождение Сухой Лог. Упрощённая и обобщённая зарисовка северной стенки штольни № 2 на интервале 540–585 м от её устья и интерпретация геологических элементов выше кровли и ниже почвы штольни. Разрез. По данным Ю. И. Новожилова и А. М. Гаврилова:

развитие псевдоскладчатых полос изогнутых и подобных друг другу S-, Z- и L-образных золоторудных прожилков богатых руд (второй тип гнёзд) на перегибах мощных золотоносных зон чешуйчатых надвигов; 1 – рудовмещающие протерозойские переслаивающиеся песчаники и алевролитоглинистофиллитовые сланцы; 2 – мощные швы сухой гидротермально-изменённой глинки трения; 3 – участки дробленных метасоматитов и вмещающих пород; 4 – чёткие прямолинейные золоторудные прожилки; 5 – раздувы и «чётки» золоторудных жил; 6 – короткие изогнутые рудные прожилки в трещинках отрыва; 7 – псевдоскладчатые полосы изогнутых подобных прожилков в зонах волочения; 8 – направления движений тектонических блоков пород (возможно в период оруденения)

до 7–12 м (а местами – до первых десятков метров) и мощностью от долей метра до нескольких метров. Наиболее высокие концентрации золота обнаруживаются в узлах отделения боковых прожилков [1, 2, 13 и др.]. При этом наиболее перспективны протяжённые отрезки жил, в пределах которых от них отделяются выдержанные и сравнительно мощные боковые сколы-апофизы, в то время как оруденелые боковые отрывы – короткие и изогнутые апофизы – более редки и приурочиваются исключительно к притёртым интервалам или площадкам торможения рудовмещающего разрыва. Альтернативой может быть рудоносная зона, представленная маломощным рудовмещающим мелкоизогнутым разрывом со слаборудоносными линзочками и очень редкими боковыми сколами-апофизами. Подобные жильные образования

обычно слабозолотоносны и не представляют такого промышленного интереса, как трещинные гнёзда.

Второй тип рудно-трещинных гнёзд обычно сочетается с первым. Это скопления богатых штокверковых и мелкосетчатых руд в узлах отделения серий многочисленных и протяжённых сближенных прожилков-апофиз. Последние залечивают пучки боковых оперяющих сколовых трещин, отделяющихся от золоторудных линз и жильных раздувов-чётков на перегибах жил [3]. Подмечено, что при этом возникают два типа руд – штокверковые и сетчатые. Штокверковые обычно характеризуются прожилками мощностью 0,5–2 см и более высокой концентрацией в них золота, а альтернативные им сетчатые являются более тонкими (менее 0,5 см). К этому же типу следует причислять изогнутые и мощные (от долей до 5–7 м, возможно и более) полосы S-, Z- и L-подобных прожилков богатых руд с попутной обильной рудной вкрапленностью в зонах волочения на перегибах мощных золотоносных зон чешуйчатых надвигов (рис. 1). Они слагают наклонные, сложноизогнутые, местами как бы опрокинутые «псевдоскладки» повторяющихся прожилков с сопутствующей вкрапленностью рудных минералов и высоким содержанием золота. Наиболее часто они наблюдаются на перегибах чешуйчатых надвиговых плоскостей скольжения в зонах мощных надвиговых структур сложного внутреннего строения наподобие рудоносных структур Сухого Лога (см. рис. 1), Бакырчика, изредка на Мурунтау и в некоторых зонах Поркьюпайна в Канаде, Комштока в США и на других месторождениях.

Третий тип гнёзд – скопления тектонической брекчии в сужениях жил и линз, как бы цементирующих, запечатывающих их жильными минералами, преимущественно карбонатами, кварцем или халцедоном. Обильная брекчия в сужениях трещинных полостей, образующаяся вблизи субпоперечных разрывов или площадок, тормозящих движение тектонических блоков притирающимися поверхностями, могла способствовать раскристаллизации рудоносных растворов, проникавших в раскрытые трещинные полости.

Четвёртый тип золоторудных гнёзд часто встречается на золоторудных месторождениях, особенно древнего возраста, и представляет собой гнёзда в узлах пересечения и нередко смещения рудоносными жилами или зонами прожилков золотоносных тел другого направления. Подобная ситуация, например, наблюдалась на юго-восточном участке месторождения Дарасун (рис. 2). Здесь в эксплуатационных выработках одной из штолен протяжённая и выдержанная жила Главная (с азимутом простирания около 60°–65° и крутым падением) была

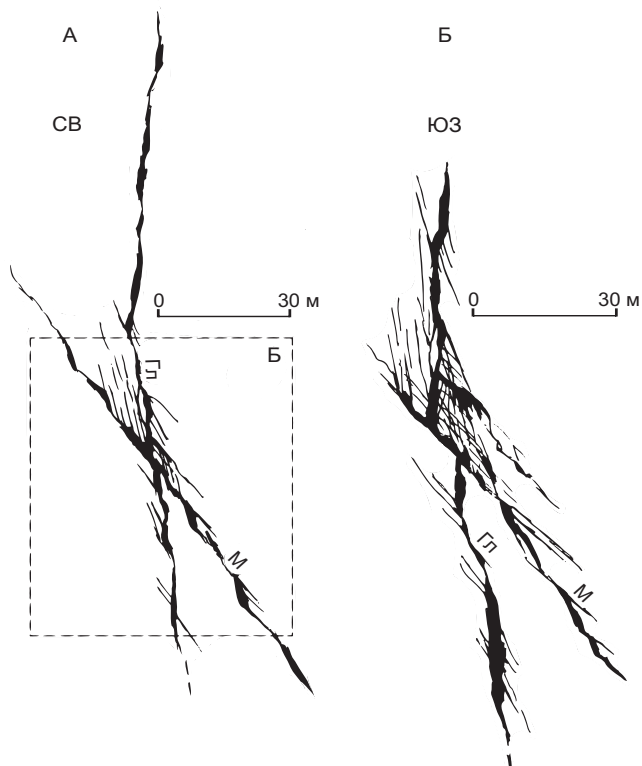


Рис. 2. Месторождение Дарасун. Зарисовка стенки эксплуатационного блока в подэтажных штреках штольни с абс. вертикальной отметкой около 700 м:

золоторудные гнёзда на пересечениях рудоносных зон (четвёртый тип гнёзд); А – жила Главная (Гл) пересекается (и смещается) жилой Медведевской (М); Б – показан узел пересечения рудоносных зон и жил с богатыми пирит-арсенопирит-кварцевыми прожилковыми и штокверковыми рудами (гнёзда четвёртого типа); см. услов. обозн. к рис. 1

пересечена и смещена Медведевской жилой, падающей на юго-восток под углом около 60° . В узле пересечения и смещения Главной и Медведевской жил проявились серии обильных попутных золоторудных прожилков, параллельных жилам. В результате рассматриваемый узел представляет собой не только участок пересечения жил с образованием мощного (до 0,7–3,0 м) раздува, но и сопровождающую его штокверковую сеть сульфидно-кварцевых или карбонатно-кварцевых прожилков (см. рис. 2) нескольких направлений, представленных скоплениями рудных минералов с тонкими золотишками в мощных жильных и прожилковых образованиях (на пересечениях), а нередко и видимых золотинок и «жуков». Пересечение и смещение, очевидно, произошло в период оруденения, в частности, во время залечивания трещинных полостей. Плотность прожилков в узле смещения достигала 10–15 и более на поперечный метр, а содержание золота в рудах свыше 50–70 г/т.

Пятый тип гнёзд обуславливается узлами ограничения золоторудных тел экранирующими поперечными (или косопоперечными) дорудными ограничителями (то есть с ориентировкой ограничивающих плоскостей, близкой к жильному или вкрапленному рудному телу). В этом случае наблюдаются зоны частых штокверковых золоторудных прожилков, залечивающих как веерообразно расщепляющиеся боковые оперяющие сколы ограничивающей жилы или жильного (либо вкрапленного) рудного тела (например, на Калгурли, Норсмани и Бакырчике, Чармитане, Берикеле), так и наследуемые прожилками более ранние боковые сколы и многочисленные трещины-спутники (трещины-сателлиты) ограничителя (рис. 3). На рис. 3, Б в качестве альтернативы показано, что узлы ограничения мало мощных и мелкоизогнутых рудоносных разрывов слабо перспективны для формирования богатых штокверковых руд.

Шестой тип, наблюдающийся на участках жильных месторождений, связан с узлами расщепления жил на равнозначные 2–3 (и более) ветви примерно сходной ориентировки и мощности (на жилы-соседки, по [11]). В узле их расщепления непременно образуется довольно плотная и «скрученная» брекчия вмещающих пород и метасоматитов, цементирующаяся короткими золоторудными прожилками самой разнообразной ориентировки, нередко с кристаллическими и полосчатыми рудами. По мере расхождения ветвей они, как правило, начинают соединяться рудоносными сколовыми перьями-апофизами и полосами трещин отрывов и залечивающих прожилков-апофиз (рис. 4). Между сходно ориентированными ветвями нередко возникает довольно протяжённая и мощная полоса золото-прожилковых руд с высокими и иногда очень высокими содержаниями благородных металлов, масштабами достигающая небольших (первые метры) золоторудных столбов типа гнёзд, например, обнаруженных на отечественных месторождениях Балей [11], Агинское [5, 9, 11] и Кочкарь [2], а в Канаде – на восточном фланге крупнейшего месторождения Кёркленд-Лейк [7, 8, с. 128, с. 147–149]. Аналогичная обстановка наблюдалась на месторождениях существенно вкрапленных и вкрапленно-прожилковых руд Калгурли и Норсмен [7] и др. в Австралии, Комшток в США [7, с. 16] и др.

Очень высокая концентрация золота и серебра, обнаруживаемая на близповерхностных месторождениях в рудных гнёздах шестого типа, побудила автора более детально рассмотреть излагаемый тип золоторудных гнёзд на примерах разведанного Агинского месторождения на Центральной Камчатке и месторождения Балей в Восточном Забайкалье.

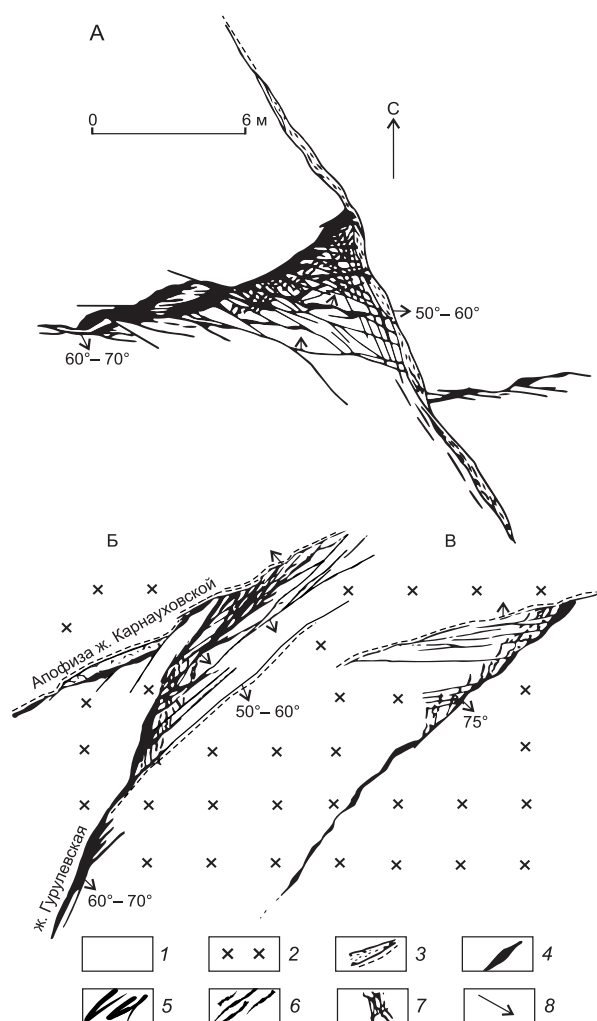


Рис. 3. Примеры скоплений богатых руд (золоторудные гнезда пятого типа) в узлах ограничения золотоносных жил поперечными (А) и косо-поперечными (Б) дорудными ограничителями; В – (как альтернатива) показано ограничение маломощной золоторудной жилы, фиксирующееся развитием мелких скоплений убогих руд. Планы:

А – месторождение Мурунтау, зарисовка уступа карьера на горизонте 100–110 м ниже поверхности: ограничение сравнительно мощной жильно-прожилковой зоны дорудным поперечным ограничителем; юго-восточный участок: ограничение апофизой жилы Карнауховской Гурулёвской золоторудной жилы; В – как альтернатива образованию богатых руд; показано ограничение маломощного мелкоизогнутого прожилка, с убогими рудами; месторождение Дарасун, зарисовка кровли штольни с абс. вертикальной отметкой около 790 м; 1 – переслаивающиеся песчанико-алевролит-филито-глинистосланцевые породы; 2 – гранодиорит порфиры; 3 – тектонические швы сухой гидротермально-изменённой глины трения; 4 – раздувы золоторудных жил; 5 – чёткие прямолинейные прожилки, преимущественно залечивающие боковые сколы; 6 – короткие изогнутые прожилки в оперяющих трещинах отрыва; 7 – участки богатых штокверковых руд, представленные прожилками-апофизами ограничивающихся жил и прожилками, сопутствующими дорудным ограничителям; 8 – направление падения геологических элементов

На обоих месторождениях золоторудные гнезда представлены расщепляющимися маломощными (доли метра) рудоносными зонами дробления метасоматитов на две, изредка на три равнозначные ветви (см. рис. 4). Крайние зоны образуют двугранный угол, превышающий 45° , и соединяются короткими жилами и прожилками халцедоновидного кварца, залечивающими оперяющие сколы внутри «расщепления». Соединительные прожилки и жилы максимально проявляются при наименьших углах расщепления. В этом случае роль соединительных прожилков берёт на себя пучок сколов и довольно мощных (до 10 см) залечивающих прожилков внутри расщепляющихся разрывов. При этом трещины пучка ориентируются почти как крайние граничные нарушения, всегда погружающиеся в противоположные стороны. Например, на Балее [6, с. 225, рис. 2] одно направление на северо-запад, а другое на северо-восток, при погружении перегиба постройки в южном направлении. В результате при смыкании пограничных разрывов образуется мелкая структурная постройка типа «островерхий шалаш». Постройка, как правило, опрокинута и её «конёк» – перегиб «шалаша» – круто погружается в сторону смыкания ветвей. Н. В. Петровская, П. С. Бернштейн и М. Г. Андреева [11] считали, что они наблюдали на Балейском месторождении фрагменты круто склонающихся изогнутых колонн или «стволов скрученных брекчий», как бы использующих линии перегиба постройки – «конька». Обломки оказались представленными мелкой (в среднем 2–4 см) чешуйчатой брекчий кварцита с раковистой и маслянистой поверхностью тёмно-зелёного, почти чёрного цвета, преимущественно хлорит (корренсит на Агинском месторождении) – кварцевого состава. Изредка в них наблюдались мелкие самородки (протяжённостью 7–10 мм) и бляшки ярко-жёлтого золота в ассоциации с довольно многочисленными тонкими прожилками кварца [11, с. 277], вплоть до волосовидных, и редкими вкрапленниками пирита, халькопирита, сфалерита и галенита в «хвосте» гнезд (то есть, может быть, в местах проникновения растворов). Н. В. Петровская, П. С. Бернштейн и М. Г. Андреева во второй части своей книги [11] интерпретируют описанные изогнутые колонны золотоносных глинистых брекчий метасоматитов как следы просачивания поднимающихся и разгружавшихся золото- и серебросодержащих гидротермальных растворов, попадающих вверх по восстанию в замкнутую рудную ловушку, по В. И. Смирнову [13]. Разгружающиеся растворы в ловушке глинистых брекчий приводили к появлению руд с содержанием золота на Балее в интервале 500–1000 г/т, а на Агинском месторождении максимально до 11 кг/т [5, с. 277].

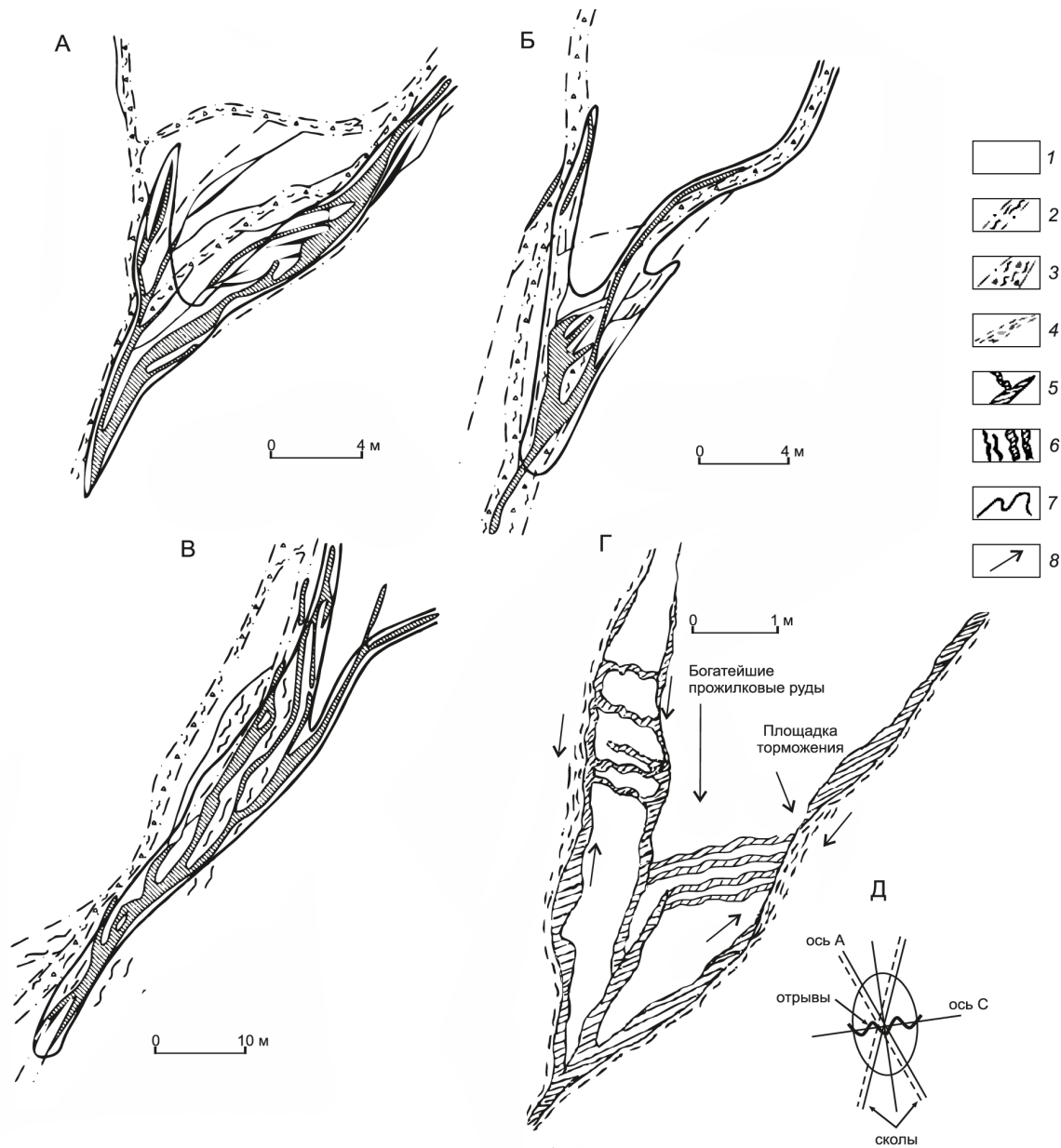


Рис. 4. Золоторудные особо богатые гнёзда шестого типа (небольшие рудные столбы, по И. Д. Петренко [5, рис. 176; 9], локализованные на участке Агинского месторождения (Центральная Камчатка):

показано, что рудно-трещинные гнёзда шестого типа размещаются в узлах расщепления золоторудных жильно-прожилковых зон в пропилитизированных андезитах и андезито-базальтах. План; А – гнездо «Сюрприз» на горизонте с вертикальной отметкой 1260 м и оно же на Б – горизонт 1210 м (то есть распространяясь в разрезе более чем на 50 м). На том же горизонте (1210 м) локализовано другое гнездо (В) – «Малыш». Здесь показывается приуроченность особо богатых гнёзд шестого типа к узлам расщепления золоторудных жильно-прожилковых зон в структурных ловушках «опрокинутый островерхий шалаш». В ловушках этого типа развиваются соединительные разрывы-сколы и широтные отрывы, залечивающиеся богатейшими золото-сульфидно-кварцевыми прожилками с многочисленными золотинками, бляшками и возможно мелкими самородками, повышающими содержание металла максимально до 11 кг/т руды; Г – обобщённый пример локализации скоплений богатейших руд (с содержанием золота до 5–10 кг/т руды), объясняющийся образованием в узлах расщепления (в ловушках) полос ступенчато-изогнутых золоторудных прожилков в широтных трещинках отрыва, которые отделяются от «местных» площадок торможения тектонических блоков во внутрирудное время. План; Д – ориентировка эллипсоида деформации в районе «местных» площадок торможения тектонических блоков в период оруденения: 1 – рудовмещающие андезиты и андезито-базальты; 2 – золоторудные зоны с гидротермально-изменённой глиной трения; 3 – то же, с обильной брекчией; 4 – швы, представленные глиной трения и её примазками; 5 – золоторудные кварцевые жилы и прожилки; 6 – ступенчато-изогнутые полосы богатейших золоторудных прожилков в широтных трещинках отрыва; 7 – контуры (границы) гнёзд с очень высоким содержанием золота и серебра; 8 – направления перемещений блоков пород во внутрирудное время

Седьмой тип гнёзд возникает на месторождениях, энергично наследующих раннюю трещиноватость палеозойских (очень редко раннемезозойских) песчано-глинисто-сланцевых и других пород. Пересекая широкие (десятки и даже сотни метров) полосы таких трещиноватых пород, боковые сколы секущих рудоносных разрывов используют (наследуют) раскрывшиеся в период оруденения субпоперечные (по отношению к главным) трещины и образуют в них зоны протяжённых прожилков и маломощных жил, сопровождающихся полосами многочисленных субпараллельных сопутствующих рудных жил и прожилков, например, широтного направления при главных мощных северо-восточных жилах, как это проявилось на месторождении Кючус в Якутии [5, рис. 127], или вдоль субширотных жил месторождения Мурунтау в Узбекистане. При этом образуются полосы штокверковых и прожилковых руд, сопровождающие главные жильные тела на названных месторождениях (рис. 5) и возникающие при этом дополнительные полосы прожилков богатых (в участках пересечения) гнёзд жильно-прожилковых и вкрапленных руд с содержанием золота в десятки и сотни г/т. Об этом свидетельствуют руды как упомянутых месторождений (Мурунтау, Кючус, Павлик, Карамкен и особенно Карамкенского золоторудного столба, Агинских гнёзд и др.), так и Старого Берикюля, Балея и др.

Типы гнёзд вблизи и на границах пород различного состава. Рассматриваемые золоторудные гнёзда контактового типа (см. таблицу) по своему трещинному строению, как правило, менее разнообразны по сравнению с образованиями первой группы. Дело в том, что строение их в большей степени зависит от прочностных свойств контактирующих пород, чем от структурного рисунка (комбинации) разрывов, вмещающих и обуславливающих их проявление [2–5, 10, 12]. Последние возникают исключительно в узлах проникновения разрывов из одних пород в другие (то есть из одной среды в другую). При этом одни породы могут оказаться слоистыми, состоящими из прослоев различного состава, а в другой обстановке – однородными, массивными, прорываемыми субвулканическими или интрузивными телами, например, дайками, трубками экстразивных брекчий или магматическими штоками и др. Трещинный рисунок, используемый гнёздами, всегда возникает в узле смены пород и таким образом как бы ограничивается пространственно. Наиболее хрупкая контактирующая порода брекчируется, рассланцовывается, будинируется, в ней возникают многочисленные короткие трещины, в том числе сколы и отрывы, залечивающиеся минеральным веществом [2, 4, 5, 10–12 и др.], золотосодержа-

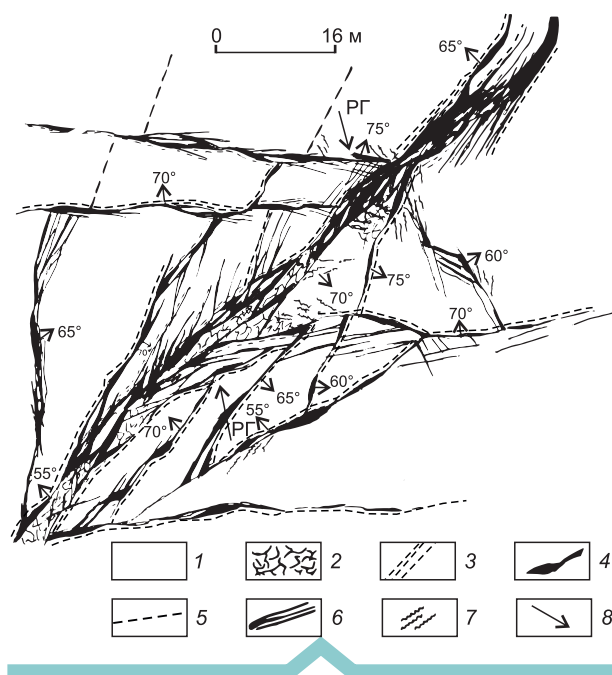


Рис. 5. Месторождение Кючус (Якутия). Приуроченность рудных гнёзд богатых жильно-прожилковых и штокверковых руд (гнёзд седьмого типа) к узлам пересечения и смещения главными магистральными жильно-прожилковыми рудными телами жил и прожилков поперечной мощной зоны трещиноватости раннего заложения:

детально выполненная зарисовка небольшого участка горизонта штольни с отметкой +80 м, по материалам ГРП, геол. службы рудника, В. О. Коношева и др. [5, часть рис. 74]). План (для лучшего восприятия строения участка и локализации золоторудных гнёзд контуры горных выработок сняты, мощность золоторудных тел немного увеличена); 1 – пересекающиеся песчаники, алевриты и аргиллиты среднего триаса; 2 – рудоносные зоны дробления, сопровождающиеся золоторудными прожилками и вкрапленностью пирит-арсенипирит-кварцевого состава с «тонкими золотинками» (РГ – гнёзда седьмого типа); 3 – сухая, гидротермально-изменённая тектоническая глина трения; 4 – золоторудные жилы с раздувами; 5 – предполагаемые смещённые продолжения золоторудных тел; 6 – золоторудные прожилки, преимущественно залечивающие прямолинейные сколы; 7 – короткие и изогнутые золоторудные прожилки, преимущественно залечивающие оперяющие трещины отрыва; 8 – углы падения геологических элементов

щими минералами и минералами золота и серебра, как бы скрепляющими обломки пород, а также образующимися в околорудных метасоматитах в виде вкрапленников, прожилков и жил.

Обычно гнёзда второй группы оказываются представленными вкрапленно-прожилковыми, реже прожилковыми и жильными рудами, локализующимися в трещинках зон дробления или в разрывах,

нередко развитых в рудоносных метасоматитах различного состава. Последние, как правило, предпочитают развиваться в наиболее хрупких образованиях. Нередко рудно-трещинные гнёзда второй группы обнаруживаются в метасоматитах сложного карбонатно-альбит-эпидот-хлорит-серицит-кварцевого состава. Чаще всего встречается контактовый тип золоторудных гнёзд, приуроченных к тектонически осложнённым поверхностям (контактам) даек, штоков и трубчатых тел [3], размещающихся в магматических образованиях средних, щелочных (сиенитовых) и кислых пород (гнёзда восьмого типа). Строение и особенности размещения некоторых золоторудных гнёзд второй группы повторяют характерные черты, присущие гнёздам первой группы.

Очень интересно это подтверждается гнёздами Покровских жил на Кочкарском месторождении Южного Урала [1, 2]. Здесь вдоль одной из южных главных жил Покровской группы золоторудные гнёзда локализируются, по-видимому, в приоткрывшихся интервалах контактного рудоносного разрыва, приспособившегося к поверхности одной из даек кварц-диоритовых порфириров. Рудоносный разрыв прослеживается на запад вдоль южного контакта дайки. Он был закартирован автором на протяжении более 50 м. Максимальная протяжённость её, как известно [2, 5], превышает 1000 м. Контактные жилы по падению также выдержанны и прослежены на глубину до 800 м, например в выработках шахтного горизонта с абсолютной отметкой 662 м, а также более глубокими (ниже, на уровне 750 м) разведочными скважинами. Покровский разлом, как известно [1, 2], под углом 50° – 60° погружается на юг-юго-восток. Дайка, отделившаяся от «разломного магматического тела» того же состава, прослеживается на запад, падая в противоположном северном направлении под углом около 60° – 70° . Закартированная Покровская жила протягивается на запад. Часть жилы (южной из серии) сопровождается тремя сменяющими друг друга контактными золоторудными гнёздами восьмого типа. Гнездо, наиболее близко расположенное по отношению к разлому, приурочено к его зоне раздробленных березитов, заключённой между разломом и широтной дайкой. В пределах указанного участка вдоль жилы широко проявились полоса выдержанных боковых сколов-апофиз, протягивающихся пучками на запад-юго-запад, а также многочисленные короткие изогнутые золоторудные кварцевые прожилки, как бы цементирующие и скрепляющие брекчию метасоматитов. Жилы и прожилки характеризуются полосчатой, крустификационной, местами друзовой текстурой руд (в центральных «щелях» жил), сопровождающейся вкрапленностью пирита, арсенопирита, халькопирита, блёк-

лых руд и других рудных минералов железа, меди, свинца и цинка. Содержание золота в рудоносных брекчиях превышает местами 80–100 г/т. Западнее, примерно через 7–10 м в изогнутом интервале жилы, мощность её возрастает почти до метра. Этот линзообразный протяжённый (5–8 м) интервал жилы, протягивающийся вдоль южного контакта дайки, оказался осложнённым полосой рудных прожилков, отделившихся от раздувов жилы и залечивших боковые сколы. Они проникли во вмещающие породы на 3–7 и более метров. Прожилки сложены богатыми сульфидно-кварцевыми рудами с содержанием золота до 100 г/т. Наконец, с перерывом около 10–13 м, Покровская жила «упирается» в дорудный ограничитель северо-восточного направления и трансформируется в прожилковую зону запад-северо-западного направления. Плотность рудных прожилков в зоне достаточно высокая (до 5–10 на метр). Совместно с прожилками, сопровождающими ограничитель, они образуют третье гнездо с содержанием золота в рудах 40–100 г/т. Завершая описание, необходимо подчеркнуть, что локализация жилы и гнёзд богатых руд произошла исключительно вдоль южного контакта дайки, там, где тектонически нарушенная её контактовая поверхность отличалась полным отсутствием апофиз (при широком проявлении их вдоль северного ненарушенного контакта дайки). Очевидно, плавная сглаженность южного контакта позволила тектоническому блоку беспрепятственно перемещаться на максимальные амплитуды в процессе оруденения, раскрывая изгибы контактового рудовмещающего разрыва и сопутствующих трещин и обуславливая просачивание в них золотосодержащих растворов. В результате на месторождении вдоль южного контакта дайки с группой золоторудных гнёзд на протяжении более 50 м оказался проявленным довольно масштабный золоторудный столб.

Девятый тип рудно-трещинных гнёзд представлен обычно короткими лестничными маломощными жилами и прожилками, пересекающими дайку от одного их контакта до другого. Намного реже возникают косесекущие дайку (обычно более позднего времени образования) маломощные зоны дробления метасоматитов и веер оперяющих их боковых сколов и отрывов-апофиз (рис. 6) с сопутствующей рудной вкрапленностью. Обычно мощность жил и прожилков не превышает 10–15 см, расстояния между ними – 1–2,5 м. По выходу из тела дайки жилы и прожилки выклиниваются, преобразовываясь в несколько тонких прожилков, в которых содержание золота вблизи «покидаемого» контакта также обычно превышает содержания металла в жиле или в зоне дробления в 3–4 раза. Такие полосы жил и прожилков на Берёзовском месторождении (Южный



Рис. 6. Золоторудные гнёзда (девятый тип):

гнёзда представлены: А – полосами лестничных жил в дайках; план, пример Березовского месторождения на Южном Урале, по [2, 3, 6, 11, 12]. Серии поперечных богатых золоторудных жил и прожилков, протягивающиеся от одного контакта дайки до другого и локализующиеся в дайках со сглаженными, лишёнными апофиз, но тектонически нарушенными плавными контактами. Пример локализации рудных гнёзд вблизи апофиз дайки, тормозящих перемещение вдоль неё блоков пород в период оруденения; Б – месторождение Покровское (Приморская провинция), разрез: расщепление золоторудной жилы под экранирующей поверхностью силла на веер прожилков с богатыми рудами; 1 – дайко- и рудовмещающие породы; 2 – плагиогранит-порфиры и гранит-порфиры позднего палеозоя; 3 – дацит и риолит-порфиры, слагающие силлы; 4 – тектонические швы с сухой гидротермально-изменённой глиной трения; 5 – зоны дробленной породы или метасоматитов; 6 – прямолинейные золоторудные прожилки и маломощные жилы; 7 – короткие изогнутые прожилки в трещинах отрыва; 8 – границы силлов, представленные вулканитами кислого состава

Урал) прослеживаются непрерывно в дайках на протяжении от 7–10, местами до 30 м. Каждый из прожилков обычно характеризуется сульфидно (пирит, арсенопирит, сульфиды цветных металлов)-карбо-

нат-(альбит)-кварцевым составом (или близповерхностным халцедоном) с полосчатой текстурой руд (с полосами рудных минералов различного состава). На раскрытых перегибах рудоносных разрывов полосчатые руды сменяются таблитчато-крустификационными (за счёт карбонатов) и друзовыми рудами иногда с прекрасными кристаллами хрусталя. На поверхности «жилных» кристалликов порой удаётся наблюдать золотишки размером от сотых до тысячных долей миллиметра. Содержание золота в телах прожилков, жил и зон могут достигать сотен и более г/т. Проявление полос лестничных жил в дайках (очень редко вблизи контактов трубчатых тел) объясняется, по мнению автора, появлением в дайках перегибающихся участков или площадок дорудных косо-субпоперечных ограничителей, а также апофиз магматических тел. Хорошо знакомые с рудной геологией тектонофизики [4, 14 и др.] полагают, что торможение (в период оруденения) движущегося блока пород вдоль дайки с осложняющей её апофизой или площадкой ограничителя (площадкой торможения) разряжается в пределах ближайшего участка дайки и пространственно ограничивается ближайшими боковыми сколами, отрывами и даже трещинами, сопутствующими контактам дайки. Указанными (и другими) тормозящими элементами геологии могут быть объяснены участки проявления лестничных жил (см. рис. 6, А). Это служит предпосылками их обнаружения на ещё неизученных флангах даек.

В рудных районах, характеризующихся проявлением силлов, золоторудные гнёзда девятого типа обнаруживаются в узлах пересечения расщепляющимися рудоносными разрывами нависающих тектонических поверхностей этих образований, например, силлов на Покровском месторождении в Приморской провинции (см. рис. 6, Б), а также под поверхностями пространственно рудоконтролирующих магматических (субвулканических) тел мезо-кайнозойских дацит-риолитов (например, в Румынских Балканах) или палеозойских сиенит-порфиров (на Чармитанском месторождении в Тянь-Шане, Узбекистан).

На Покровском месторождении проявились рудоносные «донные залежи» с «языками» субмеридионального направления [5, с. 190, рис. 112]. Они возникли на участках Покровка I и II вдоль «ложбин»-впадин, образованных зонами субмеридиональных разрывов. Можно считать, что при поперечном пересечении наиболее густая сеть прожилков и богатые руды золота (сотни г/т) обнаруживаются вдоль субсогласных интервалов магматических тел и главных жил. Жилы расщепляются сразу же после «выхода» из «дайковмещающей» среды (см. рис. 6, А). Напомним, что внутри мощных штоков, силлов и даек,

а также в трубообразных телах брекчий сеть золоторудных гнёзд подчиняется правилам и закономерностям локализации богатых руд в однородной рудовмещающей среде.

Наряду с магматическими телами богатые руды в жилах (см. таблицу, золоторудные гнёзда второй группы) изредка возникают в различных контактирующих породах, проявляющихся в слоистых толщах. Так, например, в слоистых песчано-глинисто-сланцевых комплексах пород рудоносные разрывы могут использовать (наследовать) трещинки осевых плоскостей складок (в том числе, мелких – десятый тип рудных гнёзд). В частности, автор совместно с сотрудниками ЦНИГРИ В. И. Гуреевым, Д. И. Дорофеевым и др. обнаружил и зарисовал узел проникновения рудоносного разрыва северо-восточного простирания в шарнир мелкой антиклинальной складки, сложенной различными породами. Шарнир представлен прослоем глинистых известняков в толще алевролитовых сланцев на Северо-Западном участке эксплуатирующегося месторождения Кокпатас (Узбекистан). Перед формированием рудно-трещинного гнезда в шарнир складки произошло нагнетание пластичных известняков, образовавших слой мощностью около 2–3 м (рис. 7). В известняках вдоль плоскости рассекающего их разрыва изогнутые пластовые шарнирные трещинки раскрылись в период оруденения, и произошло образование полосы подобных рудных прожилков и сопровождающей их золоторудной вкрапленности (см. контактовые гнёзда, десятый тип). На отбитых поверхностях кварцевых прожилков нередко обнаруживалась целая россыпь «звёздочек» золотосодержащих пирита, арсенопирита, халькопирита, блёклых руд, а также мелких (около сотых долей миллиметра) золотинок, фрейбергита, айкинита и других минералов, в пробирном анализе которых устанавливалось не менее 50–100 г/т золота, а часто и более. Интересно, что «висячие» крылья «кварцевой складочки» в её шарнире (см. рис. 7) всегда оказывались протяжённее и мощнее «лежащих» крыльев, поскольку первые использовали более чёткие плоскости раскрывшихся оперяющих сколов.

Наконец, необходимо отметить проявление золоторудных гнёзд в прослоях легкозамещаемых пород, например, карбонат-содержащих песчаников, обнаруженных Н. Я. Гурейкиным на месторождении Даугыз (Узбекистан). Здесь в пласте песчаника, пересечённом рудоносным разрывом (рис. 8), вдоль веера оперяющих его сколов проявилась как зона волочения подобных золоторудных прожилков, так и сопровождающая их обильная вкрапленность рудных минералов и мелких и тонких золотинок (сотые доли миллиметра) – гнёзда одиннадцатого типа. Содержа-

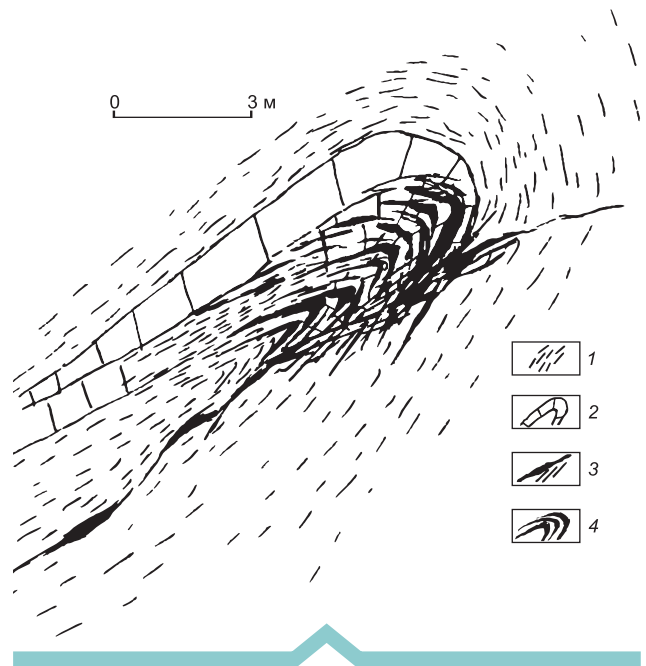


Рис. 7. Пример месторождения Кокпатас, Узбекистан. План:

гнездо в шарнире мелкой антиклинали, сложенной различными слоистыми породами (десятый тип гнёзд) и осложнённой продольным рудоносным разрывом, сопровождающимся зоной богатых золоторудных прожилков в благоприятной среде; 1 – песчанико-алевролитово-филлитово-глинисто-сланцевые породы раннего палеозоя; 2 – прослой глинистого известняка; 3 – прямолинейные золоторудные прожилки, в том числе в оперяющих сколах; 4 – золоторудное гнездо, представленное полосой изогнутых подобных золоторудных прожилков богатых руд (в зоне волочения) в шарнире складки

жание золота в гнезде составило десятки грамм в тонне руды (при среднем содержании на месторождении около 2,5 г/т).

Таким образом, среди контактных и приконтактных золоторудных гнёзд богатых руд второй группы можно выделить не менее 4 типов рудно-трещинных гнёзд различного строения и формы, проиллюстрированных рисунками 6–8.

Заключение. Обзор выявленных в настоящее время золоторудных гнёзд свидетельствует об их развитии как в однородной рудовмещающей среде, так и в виде контактовых образований на границе пород различного состава и хрупкости. Соответственно изложенному устанавливаются две группы гнёзд: 1) сравнительно многочисленная (7 типов) в однородной среде, где их строение и размещение обуславливаются исключительно благоприятным сочетанием (комбинацией) рудовмещающих разрывов, оказавшихся доступными для поступающих золотосодержащих растворов, 2) группа гнёзд вблизи и на границе

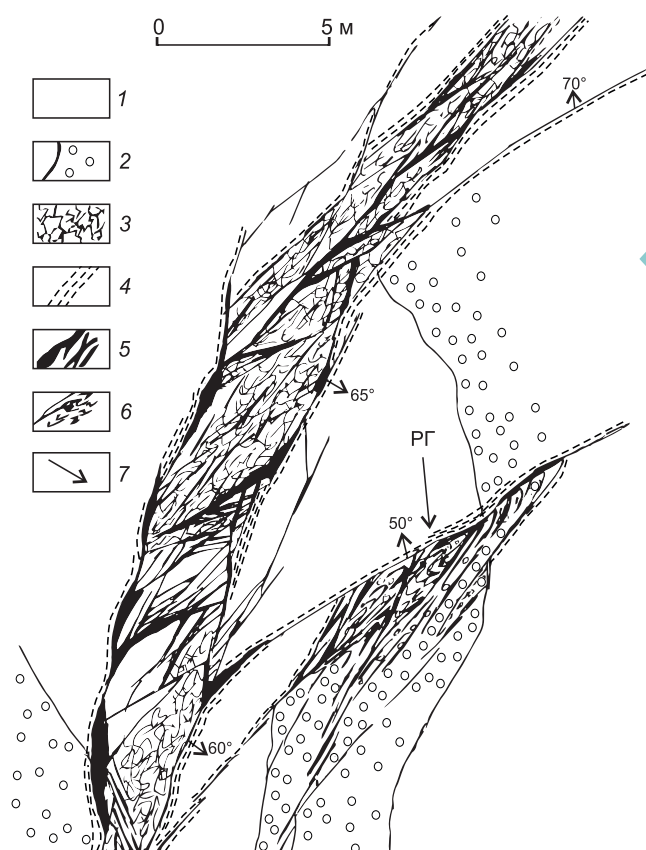


Рис. 8. Месторождение Даугыз. Зарисовка участка кровли «штрековой штольни» и рассечки. План:

размещение золоторудного гнезда (РГ) богатых прожилково-вкрапленных руд (одиннадцатый тип контактовых гнёзд) в пачке тонкого переслаивания песчаника и алевролитов, рассекающихся разрывом-ограничителем, косоориентированным к слоистости, под его экранирующей поверхностью: 1 – толща переслаивания песчаников, алевролитов, аргиллитов и их сланцев раннего палеозоя; 2 – пачка тонкого переслаивания глинистых песчаников и алевролитов; 3 – зоны дробления серицит-кварцевых метасоматитов; 4 – тектонические швы и примазки сухой гидротермально-изменённой глины трения; 5 – кварцевые жилы и прожилки с сопровождающей их рудной вкрапленностью пирита, арсенопирита, сульфидов цветных металлов и минералов буланжерит-антимонитовой группы, а также с мелкими и тонкими золотинками; 6 – полосы изогнутых подобных золоторудных прожилков в зонах волочения, сопровождающихся рудной вкрапленностью; 7 – углы падения геологических элементов

различных пород, контролирующаяся наиболее хрупкой благоприятной средой (4 типа).

Гнёзда выступают составной частью более обширных и масштабных рудно-структурных построек, сложенных сравнительно богатыми рудами, в 2–4 и бо-

лее раз повышающими содержание золота по сравнению с рядовыми рудами – золоторудными столбами, заключающими группу или даже несколько групп гнёзд (например, Покровские жилы на Кочкарском месторождении). В связи с этим обнаружение гнёзд является предпосылкой для выявления масштабных рудных тел – золоторудных столбов, которые прослеживаются на многие десятки и первую сотню метров в плане и разрезе, с повышенным содержанием золота. Это необходимо знать геологам для стабильной и ритмичной работы золотодобывающих предприятий. Автор в данной статье рассмотрел только часть наиболее часто обнаруживаемых типов гнёзд, но изложенный материал может быть полезным геологам-разведчикам в их напряжённой работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородаевский Н. И. Материалы по методам изучения структур и геологической перспективной оценки месторождений золота // Труды ЦНИГРИ. – М., 1960. – Вып. 35. – 417 с.
2. Бородаевский Н. И. Структурные критерии оценки месторождений золота // Труды ЦНИГРИ. – М., 1970. – Вып. 87. – С. 237–247.
3. Вольфсон Ф. И., Дружинин А. В. Месторождения золота // Главнейшие типы рудных месторождений. – М.: Недра, 1982. – С. 274–302.
4. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. – М.: Наука, 1975. – 535 с.
5. Константинов М. М. Золоторудные месторождения России. Приложения. – М.: ООО «Акварель», 2010. – 349 с.
6. Некрасов Е. М. О шаге размещения и прогнозирования золоторудных тел жильного типа // Известия вузов. Геология и разведка. – 2018. – № 4. – С. 40–50.
7. Некрасов Е. М., Дорожжина Л. А., Дудкин Н. В. Особенности геологии и структуры крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса. – М.: ООО «Астрейя-Центр», 2015. – 191 с.
8. Некрасов Е. М., Дорожжина Л. А., Дудкин Н. В., Косовец Т. Н. Систематика, структура и запасы золоторудных месторождений. – М.: ООО «Астрейя-Центр», 2019. – 241 с.
9. Петренко И. Д. Золото-серебряная формация Камчатки. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 1999. – 116 с.
10. Петровская Н. В. Самородное золото. – М.: Наука, 1973. – 346 с.
11. Петровская Н. В., Бернштейн П. С., Мирчинк С. Г., Андреева М. Г. Геологическое строение, минералогия

и особенности генезиса золоторудных месторождений Балеиского рудного поля (Восточное Забайкалье) // Труды ЦНИГРИ. – М., 1961. – Вып. 45. – Ч. 1. – 93 с. – Ч. 2. – 128 с.

12. Рожков И. С., Бородаевская М. Б. Золото / Рудные месторождения СССР в 3-х томах. Т. 3. // Отв. ред. академик В. И. Смирнов. – М.: Недра, 1978. – С. 5–76.
13. Смирнов В. И. Гидротермальные месторождения // Геология месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1976. – С. 224–345.
14. Шерман С. И., Семинский К. Ж. Тектонофизические исследования в Институте земной коры СО РАН: принципиальные достижения и актуальные задачи // Геодинамика и тектонофизика. – 2010. – Т. 1, № 1. – С. 4–23.

REFERENCES

1. Borodayevskiy N. I. Materialy po metodam izucheniya struktur i geologicheskoy perspektivnoy otsenki mestorozhdeniy zolota [Materials on methods of studying structures and geological prospective assessment of gold deposits], Trudy TSNIGRI, Moscow, 1960, Is. 35, 417 p. (In Russ.).
2. Borodayevskiy N. I. Strukturnyye kriterii otsenki mestorozhdeniy zolota [Structural criteria for assessing gold deposits], Trudy TSNIGRI, Moscow, 1970, Is. 87, P. 237–247. (In Russ.).
3. Vol'fson F. I., Druzhinin A. V. Mestorozhdeniya zolota [Gold deposits], Glavneyshiy tipy rudnykh mestorozhdeniy, Moscow, Nedra publ., 1982, P. 274–302. (In Russ.).
4. Gzovskiy M. V. Osnovy tektonofiziki [Foundations of tectonophysics], Moscow, Nauka publ., 1975, 535 p. (In Russ.).
5. Konstantinov M. M. Zolotorudnyye mestorozhdeniya Rossii. Prilozheniya [Gold ore deposits of Russia. Applications], Moscow, Akvarel' publ., 2010, 349 p. (In Russ.).
6. Nekrasov Ye. M. O shage razmeshcheniya i prognozirovaniya zolotorudnykh tel zhil'nogo tipa [On the placement step and forecasting of vein-type gold ore bodies], Izvestiya vuzov, Geologiya i razvedka, 2018, No. 4, P. 40–50. (In Russ.).
7. Nekrasov Ye. M., Dorozhkina L. A., Dudkin N. V. Oso-bennosti geologii i struktury krupneyshikh zolotorudnykh mestorozhdeniy endogennoy klassa [Peculiarities of the geology and structure of the largest gold deposits of the endogenous class], Moscow, Astreya-Tsentr publ., 2015, 191 p. (In Russ.).
8. Nekrasov Ye. M., Dorozhkina L. A., Dudkin N. V., Kosovets T. N. Sistematika, struktura i zapasy zolotorudnykh mestorozhdeniy [Systematics, structure and reserves of gold ore deposits], Moscow, Astreya-Tsentr publ., 2019, 241 p. (In Russ.).
9. Petrenko I. D. Zoloto-serebryanaya formatsiya Kamchatki [Gold-silver formation of Kamchatka], St. Petersburg, Kartfabrika VSEGEI publ., 1999, 116 p. (In Russ.).
10. Petrovskaya N. V. Samorodnoye zoloto [Native gold], Moscow, Nauka publ., 1973, 346 p. (In Russ.).
11. Petrovskaya N. V., Bernshteyn P. S., Mirchink S. G., Andreyeva M. G. Geologicheskoye stroyeniye, mineralogiya i osobennosti genezisa zolotorudnykh mestorozhdeniy Baleyevskogo rudnogo polya (Vostochnoye Zabaykal'ye) [Geological structure, mineralogy and peculiarities of the genesis of gold deposits of the Baleyevskiy ore field (Eastern Transbaikalia)], Trudy TSNIGRI, Moscow, 1961, Is. 45, Pt. 1, 93 p., Pt. 2., 128 p. (In Russ.).
12. Rozhkov I. S., Borodayevskaya M. B. Zoloto [Gold], Rudnyye mestorozhdeniya SSSR v 3-kh tomakh, V. 3, Otv. red. Akademik V. I. Sмирнов, Moscow, Nedra publ., 1978, P. 5–76. (In Russ.).
13. Smirnov V. I. Gidrotermal'nyye mestorozhdeniya [Hydrothermal deposits], Geologiya mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh, Moscow, Nedra publ., 1976, P. 224–345. (In Russ.).
14. Sherman S. I., Seminskiy K. Zh. Tektonofizicheskiye issledovaniya v Institute zemnoy kory SO RAN: printsipial'nyye dostizheniya i aktual'nyye zadachi [Tectonophysical research at the Institute of the Earth's Crust SB RAS: fundamental achievements and urgent problems], Geodinamika i tektonofizika, 2010, V. 1, No. 1, P. 4–23. (In Russ.).

Основные причины образования веществ и проявления природных процессов

Природные вещества и процессы представляют собой субстанцию мирового пространства, отражающую и определяющую его формирование и существование в целом и во всех составляющих. Выяснение причин их образования и проявления имеет принципиальное значение. В статье показано, что основными являются два фактора: «воздействия» и «градиенты». Под воздействиями понимается влияние одних веществ и событий на другие, а под градиентами – векторные изменения и различия в составе, строении, свойствах, состояниях, энергиях и термодинамических параметрах систем. Для полноты выяснения роли и значения названных факторов и причин сделана попытка рассмотреть возможное их проявление на протяжении общей истории мирового пространства, придерживаясь существующих представлений о ней.

Ключевые слова: образование веществ, проявление природных процессов.

ЛИХАЧЕВ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, alexanderlikhachev@rambler.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

The main reasons for substance formation and natural process manifestation

A. P. LIKHACHEV

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals

Natural materials and processes represent the global substance reflecting and determining its formation and existence as a whole and in all its components. Revealing the reasons for their formation and manifestation is crucial. The paper highlights the two main factors: «influences» and «gradients». Influences are interpreted as the impact of some substances and events on other similar parameters, and gradients are vector changes and differences in systems composition, structure, properties, states, energy and thermodynamic parameters. To provide an insight into the role and significance of the above factors and reasons, an attempt was made to consider their potential manifestation throughout the general world history within the existing knowledge about it.

Key words: substance formation, natural process manifestation.

Современные исследования мирового пространства показывают, что при своей бесконечности в видимой части оно состоит из одного и того же материала с довольно ограниченным набором веществ, энергий, сил и процессов.

Вещества представлены одними и теми же элементарными частицами (протонами, нейтронами и электронами), количественные комбинации которых создают определённый, сравнительно небольшой набор химических элементов, образующих также определённый и тоже довольно ограниченный набор их соединений.

Общей является гравитационная сила ($F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2$, где G – гравитационная постоянная, m – масса тел, r – расстояние между телами). Она проявляется во всемирном тяготении, взаимодействии одиночных и групповых тел (рис. 1) и внутренних преобразованиях самостоятельных формирований (звёзд и планет). Внутренняя гравитационная сила является основной

в производстве веществ – химических элементов и их соединений. Первые образуются в звёздах, а вторые в планетах, и в обоих случаях за счёт гравитационного сжатия и разогрева исходного материала.

Процессы в основном связаны с термическими, барическими, химическими и механическими воздействиями на вещества и окружающую среду, то есть они начинаются и осуществляются не самопроизвольно, а «принудительно» [12], под влиянием внешних сил, энергий и сред, вызывающих в системах появление того или иного градиента. С возникновением градиента нарушается состояние системы и тем самым стимулируется проявление процесса, направленного на восстановление старого или достижение нового относительно стабильного состояния.

Таким образом, воздействия и градиенты являются главными причинами образования веществ и проявления природных процессов. Без воздействия

не возникают градиенты, а при отсутствии градиентов не осуществляются процессы и не образуются вещества.

Весь мир и всё в нём появляется, существует и исчезает благодаря и по причине воздействий. Это касается также животного мира: его индивиды зарождаются благодаря оплодотворению, существуют за счёт питания, а исчезают под влиянием старения организма.

Названные выше фундаментальные частицы и первые, наиболее лёгкие химические элементы (водород и гелий) образовались, как принято считать, в ходе «Большого взрыва», то есть «принудительно»: под воздействием ударной волны, градиентно меняющейся (сначала с увеличением, а затем с убыванием) по температуре и давлению. Другие химические элементы и возникающие из них вещества создаются и эволюционируют в градиентно-принудительных процессах формирования звёзд, взрывах сверхновых, образованиях и эволюции планет.

Практически все природные процессы имеют однотипную градиентную картину своего проявления и изменения во времени, независимо от их длительности. Сначала они увеличиваются до того или иного максимума, далее существуют при нём какое-то время, а затем уменьшаются до минимума и полного

прекращения. Соответственно преобразуется вовлекаемый в процесс материал, и меняются получаемые продукты.

К одним из наиболее распространённых и важных в природе градиентных процессов относится конвекция, совершаемая из-за наличия в системах градиентов по температуре, давлению, состоянию и массе веществ. Она проявляется во всех сферах и в самых различных масштабах – от микроскопических до космических (в газовой-пылевой облаках, звёздах и планетах).

Конвекция, как и градиентность, исходно связана с фундаментальным свойством Вселенной – «холодным» состоянием межзвёздной среды. Причём практически все крупные (планетные, звёздные и др.) тела, находящиеся в этой среде, градиентны по отношению к ней, так как обычно обладают более высокой температурой, создаваемой в основном собственными процессами. С другой стороны, эти тела имеют индивидуальную градиентность, проявляемую, в частности, в том, что их поверхность более холодна по отношению к внутренней части тел. Именно такое состояние делает всю Вселенную и большинство находящихся в ней тел градиентными.

Обычно в этих телах собственная (в основном температурная) градиентность обуславливает проявление конвекции веществ, особенно интенсивной в звёздах.

В земных условиях конвекционные процессы совершаются в атмосфере планеты, в замкнутых течениях океанических вод, в мантии и во внешнем ядре; происходит конвекция магмы в закрытых магматических очагах и в каналах современных вулканов, гидротермальных растворов в земной коре.



Рис. 1. Гравитационное взаимоотношение космических тел:

А – в галактиках (M51) и Б – в околозвёздных (Солнечной) системах; по материалам Википедии



Проявление конвекционных процессов связано с действием законов термо- и гидродинамики. В любой, особенно закрытой, системе, способной к внутреннему перемещению, при наличии температурного градиента возникает циркуляционное движение вещества от горячего участка к холодному и обратно. В основном оно обусловлено изменением с температурой состояния веществ (их плотности, вязкости и подвижности), а также влиянием гравитации.

Общая картина конвекционных потоков изображена на рис. 2. Как видно, в вертикальном канале горячий поток движется (поднимается) по центральной части, а охлаждённый опускается по краевым частям. Течение здесь определяется плотностью и гравитацией, законом Архимеда. В горизонтальном канале прямой (горячий) поток движется по верхней, а обратный – по нижней половине канала. В этом случае проявляется эффект теплового расширения, действие закона Паскаля. В наклонных каналах функционируют оба закона при сохранении упорядоченности движения, свойственной горизонтальному каналу.

В ходе образования и эволюции материального мира воздействия и градиентность могли проявляться в следующих видах и вариантах.

Ранняя Вселенная. По современным характеристикам, Ранняя Вселенная представляла собой высокооднородную изотропную среду. Такой средой могла быть тёмная энергия – «неизменная энергетическая плотность, равномерно заполняющая пространство Вселенной».

В этом равновесном состоянии Вселенная была способна находиться до бесконечности. Нарушить его могло только появление градиента, например, в плотности энергии. И именно он, градиент, мог стать первопричиной всего происходящего в дальнейшем: Большого взрыва, образования элементарных частиц, водорода, гелия, звёзд, других химических элементов, минералов, горных пород и руд, планет, космических и геологических процессов. Каждое из перечисленных и иных событий в своём проявлении имело собственные градиентные причины, было и есть градиентным.

Появившийся градиент в энергетической плотности Ранней Вселенной мог вызвать лавинный поток энергии от более плотного окружения к менее плотному по энергии пространству. Сверхпредельная концентрация энергии в центре её скопления могла вызвать предполагаемый Большой взрыв. При осуществлении Большого взрыва, как и любого другого, должна была возникнуть и распространяться ударная волна, градиентно уменьшающаяся по PT параметрам с удалением от центра взрыва.

В области распространения градиентной ударной волны Большого взрыва существовали градиентные

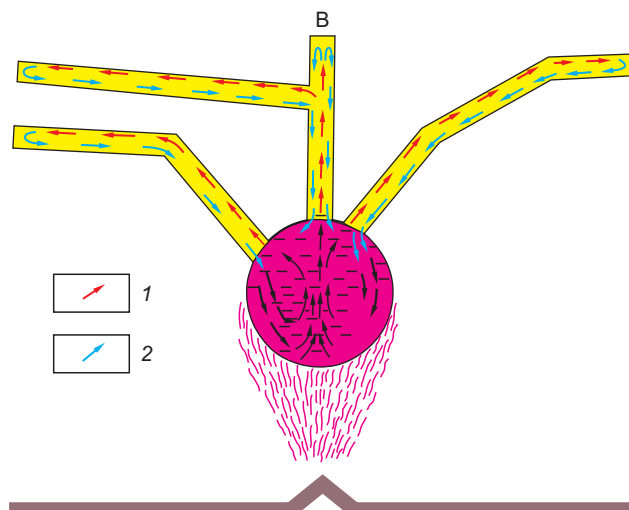


Рис. 2. Схема циркуляции жидкостей в термоградиентных условиях:

направление потока: 1 – прямого (горячего), 2 – обратного (охлаждённого)

по давлению и температуре зоны, в каждой из которых возникали определённые, устойчивые в параметрах зоны вещества. В ближайшей к центру взрыва зоне (наиболее высокотемпературной и высокобарической) образовывалось элементарное вещество (частицы), сформировавшее центральную часть (ядро) Вселенной, а в удалённой – водород и гелий.

Таким образом, Большой взрыв из первоначальной энергии мог сформировать первичную массу ($E \rightarrow mc^2$), то есть первичную материю, а вместе с ней появилась и наблюдаемая гравитация. Другая составляющая продуктов Большого взрыва, представленная элементарными частицами, осталась скрытой в виде тёмной материи.

Дальнейшее преобразование видимой материи стало осуществляться преимущественно под воздействием гравитации и появляющихся при этом градиентов.

В заполненном водородом и гелием пространстве Вселенной под действием гравитационных сил и градиентов возникали сначала облачные скопления первичных веществ (водорода и гелия), а затем и звёздные образования. Градиентная эволюция последних приводила и приводит к формированию всех остальных (более тяжёлых, чем водород и гелий) градиентных химических элементов.

Это стало возможным с переходом значительной части исходного водорода в нейтроны, одним из вариантов которого допускается слияние протона с электроном: $p+e \rightarrow n+\nu_e$ (протон+электрон→нейтрон+нейтрино). Численное разнообразие объединяющихся протонов, нейтронов и электронов определяет

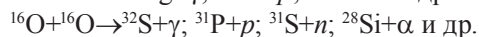
количество существующих химических элементов.

Объединение протонов, нейтронов и электронов (с образованием химических элементов и их изотопов) происходит в условиях сверхвысоких температур ($\geq 10^{7-9}$ К) и давлений ($\geq 10^{16}$ Па). Каждый химический элемент и изотоп (в понимании автора) имеет свои особые (градиентные) *PT* параметры синтеза и, соответственно, представляет собой градиентный продукт градиентного процесса преобразования («горения») исходного материала (водорода).

Как принято считать, образование химических элементов осуществляется в ходе эволюционного внутризвёздного нуклеосинтеза и при взрывах сверхновых, являющихся основным источником пополнения межзвёздной среды элементами с атомными номерами больше He.

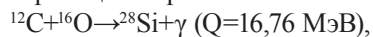
Звёзды. Молодые звёзды главной последовательности градиентно эволюционируют по мере горения водорода, превращающегося в гелий: $4^1\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + 2e^+ + 2\nu$, то есть преобразования четырёх протонов в α -частицу, два позитрона и два нейтрино. Эта термоядерная реакция начинается по достижении коллапсирующим протоматериалом температуры 10^7 К и протекает в интервале 10^7 – $2 \cdot 10^7$ К. При дальнейшем градиентном возрастании температуры до 10^8 – $2 \cdot 10^8$ К начинается горение гелия, протекающее по реакции: $3^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C} + \gamma$. Если при образовании углерода гелий остаётся неизрасходованным, то возможна реакция с образованием кислорода: $^{12}\text{C} + ^4\text{He} \rightarrow ^{16}\text{O} + \gamma$.

При температурах, близких к $5 \cdot 10^8$ – 10^9 К, начинают гореть, соответственно, углерод и кислород:



Горение кремния приводит (при $2 \cdot 10^9$ К и выше) к образованию более тяжёлых элементов, например $^{28}\text{Si} + ^{28}\text{Si} \rightarrow ^{56}\text{Ni} + \gamma$ или $^{28}\text{Si} + ^4\text{He} \rightarrow ^{56}\text{Ni}$.

В существующих в литературе концепциях о взрывах крупных ($> 8M_{\odot}$) сверхновых полагается, что нуклеосинтез в них реализуется так же, как и при внутризвёздном синтезе, но только за очень короткое время (0,1–10 с) под воздействием сильной ударной волны, путём последовательного перехода одних элементов в другие с осуществлением ядерных реакций горения:



Этот вариант – последовательный синтез химических элементов при практически мгновенной вспышке сверхновых – вызывает сомнение. За сверхкороткое время надо пропустить через одно «ушко» поочерёдное образование колоссальных масс ($> 8M_{\odot}$) всех элементов и их изотопов, что маловероятно. В таких условиях мог осуществляться «штамповочный» способ образования веществ, смысл которого заключа-

ется в резком повышении или понижении давления и температуры, вызывающих мгновенное объединение элементарных частиц [16].

Взрывы сверхновых. Взрывы сверхновых ($> 8M_{\odot}$, рис. 3, А), как принято считать, происходят по достижении ими избыточных масс, градиентно поступающих из соседнего источника. Избыточные массы приводят к критическому гравитационному уплотнению центральной части звезды с градиентным переходом её из элементного в элементарное (нейтронное) состояние.

Переход сопровождается резким уменьшением объёма вещества (от $156 \cdot 10^{-12}$ м радиуса атома Fe до $3,2935 \cdot 10^{-16}$ м радиуса нейтрона). Этот перепад (градиент) вызывает схлопывание к центру всей массы предсверхновой с формированием (под воздействием мощного материального удара) нейтронного ядра и элементарной смеси нейтронов, протонов и электронов в вышележащих слоях (см. рис. 3, Б). Возникающая при этом ударная волна отбрасывает надъядерную часть назад к периферии и далее в космическое пространство (см. рис. 3, В).

Выброс вещества, представленного смесью нейтронов, протонов и электронов (см. рис. 3, В), сопровождается градиентным снижением в нём *PT* параметров и соответствующим градиентно-декомпрессионным синтезом химических элементов, отличающимся от внутризвёздного синтеза, проистекающего с градиентным повышением *PT* параметров. При этом синтез элементов и их изотопов происходит практически мгновенно и одновременно, без обычных ядерных реакций, путём «штампования» из элементарных частиц [16].

Иначе говоря, центральная часть предсверхновой за счёт принудительно-гравитационного коллапса сжимается до предельного состояния и остаётся в нём навсегда (образуя нейтронную звезду или черную дыру, в зависимости от исходной массы звёзды). А вышележащая часть, претерпев ударно-принудительное превращение в нейтронно-протонно-электронную смесь, принудительно отражается с градиентным разуплотнением и градиентно-декомпрессионным синтезом химических элементов и их изотопов, сопровождающимся выделением колоссальной энергии (10^{50} – 10^{51} эрг) и свечением, наблюдаемыми при вспышке сверхновых.

Вероятно, существует общий *PT* интервал синтеза химических элементов и их изотопов (см. рис. 3, В). В нём имеются градиентные зоны возникновения и устойчивости для каждого элемента и его изотопов. Наиболее тяжёлые элементы (которым требуются большие усилия для объединения и удержания большего количества протонов и нейтронов) образуются при более высоких *PT* параметрах в зонах, более

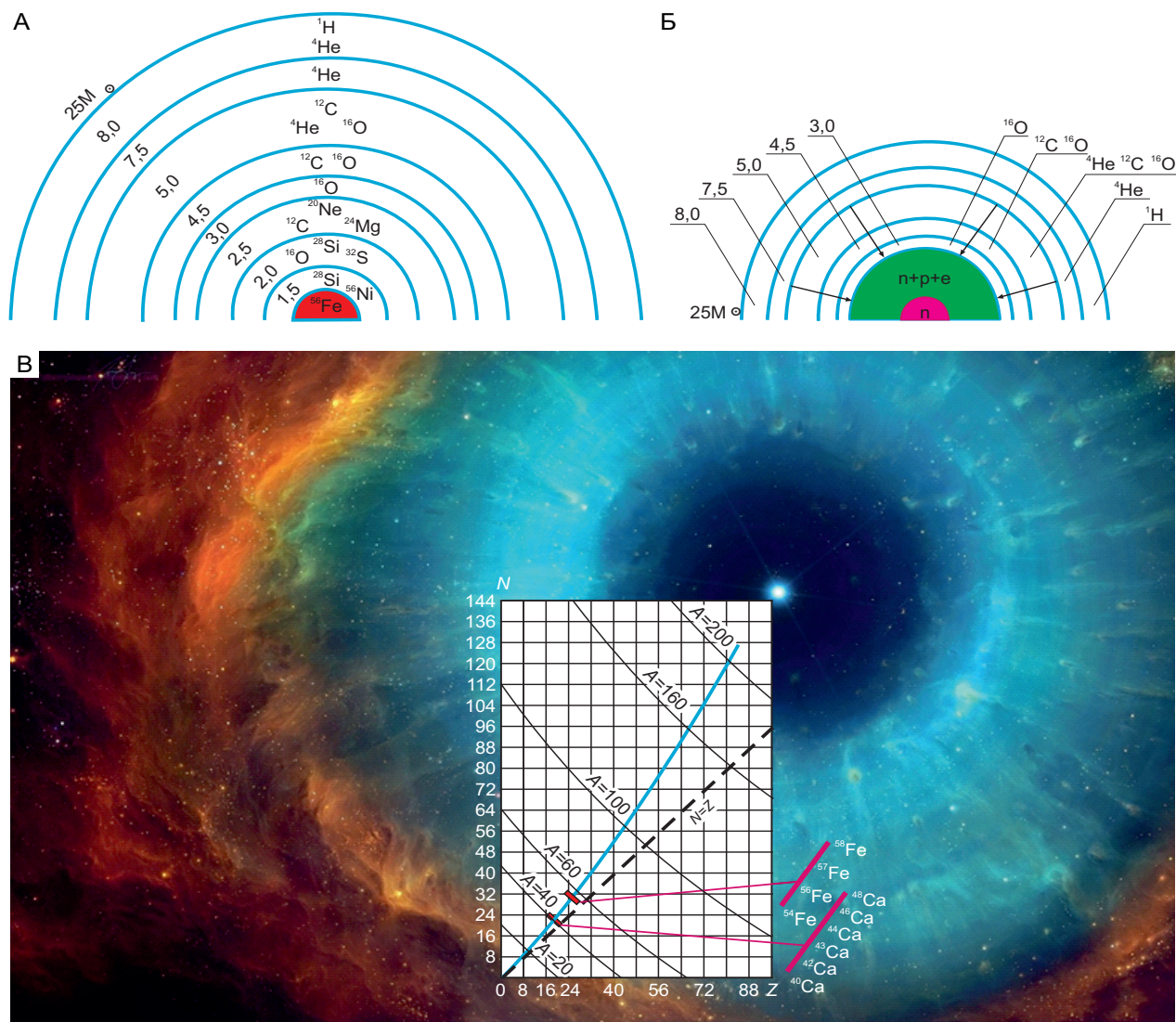


Рис. 3. Схемы эволюции сверхновых, $25M_{\odot}$:

А – предсверхновая перед вспышкой (José J.; Iliadis C., 2011); Б – стадия превращения центральной части в нейтронное вещество, а вышележащей – в смесь элементарных частиц: нейтронов, протонов и электронов; В – стадия взрыва: образования нейтронного ядра, выброса смеси элементарных частиц с вышележащими слоями и синтеза химических элементов

близких к нейтронному ядру. У каждого элемента существуют свои PT пределы и место образования, определяющие возможности и количество продуцируемых в них изотопов – от безизотопного (в нонвариантном случае, при отсутствии собственного интервала) до полиизотопных.

Формирование планет. Как известно, образование планет тесно связано с формированием звёзд, осуществляемым в результате градиентного коллапса материала газово-пылевых облаков, в котором резко преобладает газовая составляющая ($H+He \sim 98$ масс. %). Они образуются в периферической части градиент-

ного газово-пылевого диска, остающейся не вовлечённой в падение на коллапсирующую массу протозвезды.

В гравитационно-градиентных поясах этой части диска под действием силы тяжести зарождаются планетезимали, оформляющиеся в округлые тела-планеты и градиентно дифференцирующиеся по составу с концентрацией тяжёлых («земных») элементов в их центральной области.

Все первичные планеты могли быть в основном газовыми. Это связано с тем, что не существует условий и механизмов, чтобы из исходно газового (на 98 %) материала самостоятельно формировались тела,

состоящие преимущественно из более тяжёлых, чем водород и гелий, элементов, то есть земного типа.

Отделиться от преобладающей газовой составляющей это тяжёлое вещество могло лишь принудительно, под воздействием внешних сил. Как было показано ранее [16, 28], наиболее вероятной причиной тому может быть ударная волна первоначальной вспышки звёзд, создающая градиентное (по *PT* параметрам) воздействие на окружающую среду.

Другая проблема состоит в том, что Земля и иные планеты земной группы имеют все признаки полного плавления слагающего их материала, но самостоятельно они не могли это осуществить из-за недостаточности их массы [6, 7]. Данное противоречие автором объяснено тем, что в рассматриваемом случае имело место декомпрессионное плавление твёрдого вещества из-за резкого удаления от него преобладающей газовой составляющей под воздействием ударной волны первоначальной вспышки Солнца [16, 28].

В дальнейшем, после длительного нахождения в расплавленном состоянии, под воздействием холодного космоса и наличия внутреннего температурного перепада происходила градиентная кристаллизационно-гравитационная дифференциация расплавленного материала с образованием градиентных слоёв планет: ядра, мантии и коры. Этими преобразованиями ограничивается проявление основных внутренних процессов, осуществляемых на планетах земного типа, не содержащих в своём составе гидросферы. Далее их изменения в основном связаны с ударами падающих космических тел. При наличии же гидросферы у планеты, как у Земли, эволюционные преобразования в ней продолжают, выражаясь в виде геологических процессов.

Геологические процессы. Основная суть геологических процессов состоит в градиентном преобразовании верхних слоёв планеты под воздействием, с одной стороны, более высокотемпературных её внутренних частей (нижней мантии и ядра), а с другой, более холодной внешней части (гидросферы и атмосферы).

Из внутренних частей планеты по причине наличия градиента плотности и температуры поднимаются термические плюмы (рис. 4, А). Они вызывают плавление вещества мантии и образование в ней магматических очагов (горячих точек), из которых в земную кору внедряются магматические расплавы с образованием интрузивных массивов, вулканов и лавовых полей (см. рис. 4, Б).

Внешнее воздействие, кроме эрозионных процессов, связано с проникновением океанической воды в горячую мантию и её гидратацией, которая вызывает разуплотнение мантийного материала, его под-

ём и декомпрессионное плавление. Всё это обуславливает проявление океанического магматизма, образование океанической коры, её спрединг (с передвижением континентов) и субдукцию с осуществлением островодужного магматизма [12].

Схематическая картина влияния воды на процессы перемещения континентальных плит, а также спрединга и субдукции океанического дна показана на рис. 5. Принципиальная особенность этой схемы состоит в том, что в ней рассматриваемые процессы осуществляются не в результате общей конвекции мантийного вещества, как принято считать, а вследствие перемещения сравнительно ограниченных его масс под воздействием воды (гидратации вещества мантии) и с осуществлением градиентной дифференциации материала мантии на мафическую и ультрамафическую (реститовую) составляющие.

В зонах субдукции мафическая составляющая океанической плиты (с участием её осадочного чехла и окружающих пород континентальной коры) подвергается дегидратации и принудительному плавлению в результате трения и погружения в более высокотемпературную мантию. При этом освободившаяся вода возвращается в гидросферу, а образующийся расплав и структурно-тектоническая обстановка обеспечивают проявление островодужного магматизма. Ультрамафическая же часть океанической плиты под напором всплывающей мантии в зонах спрединга и по причине градиента плотности опускается в мантию, обогащая её магнием.

Геологические процессы сопровождаются различными «принудительными» преобразованиями веществ, и в том числе перераспределением химических элементов и изменением их соединений, осуществляемых под температурным и барическим воздействием глубинных частей планеты и её атмосферы.

Химические элементы и их изотопы, обладая однотипным составом (протоны+нейтроны+электроны), индивидуальны («градиентны») по количеству этих элементарных частиц и вследствие того по поведению в природных и других процессах. Находясь в едином, градиентном по составу ряду, каждый химический элемент занимает в нём вполне определённое место, соответствующее определённым условиям его образования. Иначе говоря, химические элементы – это градиентные продукты градиентного процесса, осуществляемого под воздействием градиентных температур и давлений.

Объединение и разъединение химических элементов (образование и разрушение минералов и иных веществ) определяются присущими им градиентными энергетическими свойствами и контролируются также градиентными температурой и давлением. Наиболее полно данные свойства выражены в свободных

энергиях образования создающих элементами соединений. По этому показателю химические элементы располагаются в определённой градиентной последовательности (рис. 6, А), образуя единый градиентный термодинамический ряд, в котором каждый правостоящий элемент создаёт более прочные (устойчивые) соединения по сравнению с левостоящими. Соответственно, при плавлении и растворении

веществ левостоящий элемент переходит в расплав и раствор раньше, чем правостоящий, а выпадает из них позднее.

На рис. 6, Б показано расположение основных рудогенных элементов по величине свободных энергий образования создающих ими ионов и нейтральных молекул в водных растворах. Крайнее левое положение в этом ряду занимает золото, что свидетельствует о его самой низкой энергетической возможности нахождения (растворимости) в водных растворах по сравнению с другими приведёнными элементами и по отношению ко всем остальным химическим элементам. Эти данные, а также сведения по величинам свободной энергии образования твёрдых соединений [13] указывают на энергетическую возможность и выгодность нахождения золота и ближайших к нему элементов (Ag, Pt, Pd, Hg) в собственных соединениях, чем объясняется способность и причина их существования в самородном виде.

Петрогенные элементы (см. рис. 6, В) в термодинамическом ряду (см. рис. 6, А) занимают более правую позицию по сравнению с рассматриваемыми рудогенными элементами как для водных растворов, так и для твёрдых образований, что в целом свидетельствует о большей устойчивости их соединений.

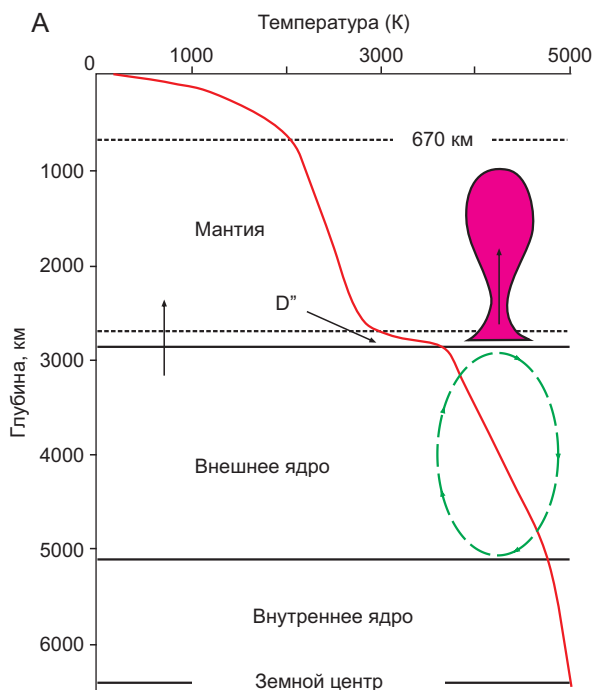
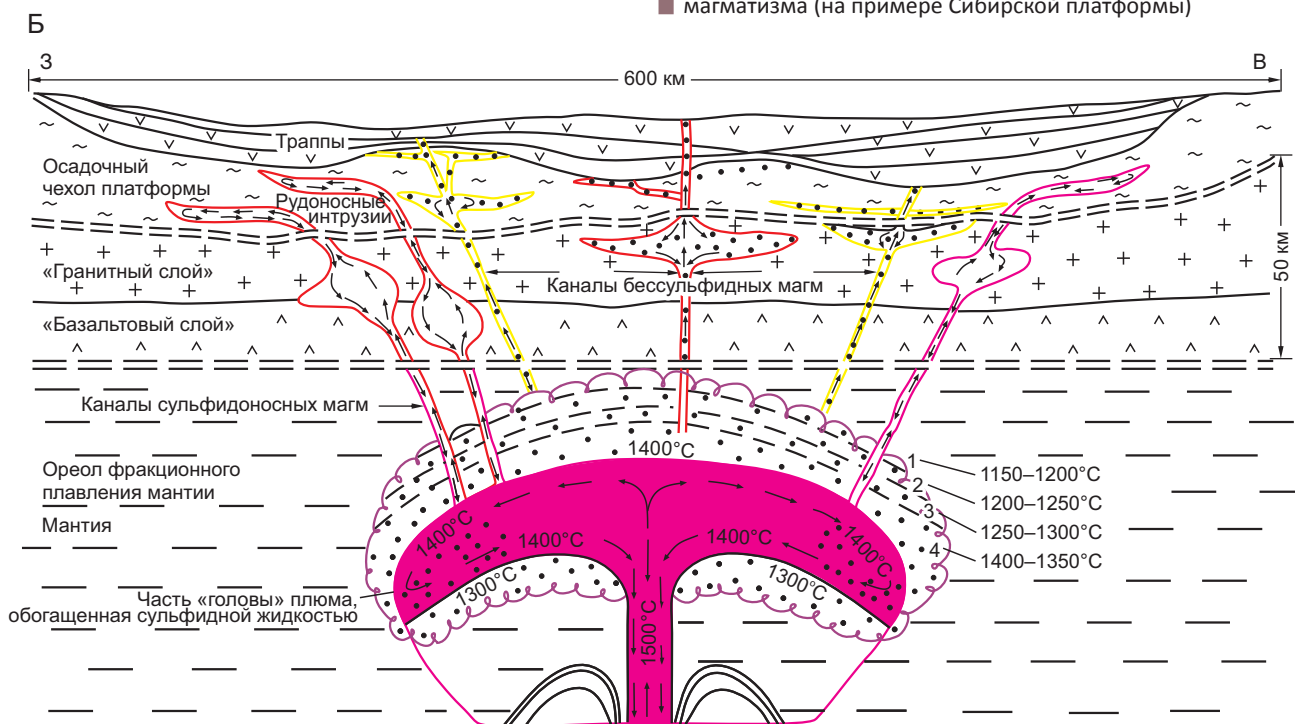


Рис. 4. Схемы воздействия на земную кору внутренних частей Земли [17]:
 А – подъём термического плюма; Б – воздействие термического плюма на верхнюю мантию и проявление траппового магматизма (на примере Сибирской платформы)



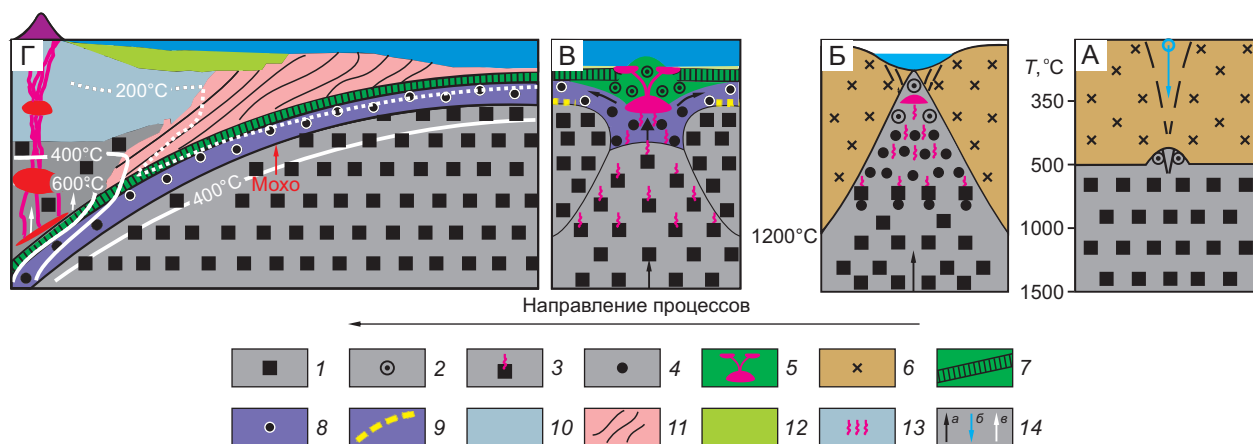


Рис. 5. Схема участия воды в процессах перемещения континентальных плит, спрединга и субдукции океанического дна [12]:

А, Б – последовательность подъёма мантийного материала (вследствие его гидратации) и раздвижения континентальной коры; В – зона спрединга дна океана; Г – зона субдукции океанической плиты; вещество мантии: 1 – первичное, 2 – подвергающееся серпентинизации, 3 – подвергающееся декомпрессионному плавлению; 4 – реститовый материал; 5 – скопление расплава, образующегося при декомпрессионном плавлении вещества мантии; 6 – материк; 7 – океаническая кора; 8 – частичная серпентинизация зёрен реститового оливина; 9 – граница МОХО; 10 – континентальная кора; 11 – образования коллапсирующей призмы; 12 – осадочные образования; 13 – магма островной дуги; 14 – направления движения материала мантии (а), воды литосферы (б) и воды дегидратации пород океанической плиты (в); синий цвет – вода

Однако в природных условиях эти элементы обычно создают сложные по составу минеральные формы, свободная энергия образования которых отражает суммарный эффект, но не энергию связи отдельного элемента. Поэтому величина последней всегда ниже, чем общая свободная энергия образования минерала. Вместе с тем, энергии связи одного и того же элемента в простых соединениях может быть больше, чем в сложных. Иначе говоря, простые соединения с относительно низкой свободной энергией образования могут обладать большей устойчивостью к растворению и плавлению, чем сложные, имеющие большую свободную энергию образования.

Различие (градиент) в энергиях связи элементов, входящих в состав сложных соединений, является причиной проявления парциального плавления и инконгруэнтного растворения минеральных веществ. Например, в оливине энергия связи левостоящего в энергетическом ряду железа (см. рис. 6, Б) ниже ($\Delta G^\circ \text{Fe}_2\text{SiO}_4 = -1482,3$ Дж/моль), чем правостоящего магния ($\Delta G^\circ \text{Mg}_2\text{SiO}_4 = -2175,4$ Дж/моль). Вследствие этого при нагреве оливина в расплав и в раствор вначале переходит богатая железом («фаялитовая») составляющая. За счёт неё при кристаллизации расплава в природных условиях образуются обогащённые железом продукты типа магматических пород (комплексов) основного состава с магнетитовыми горизонтами, а в гидротермальных

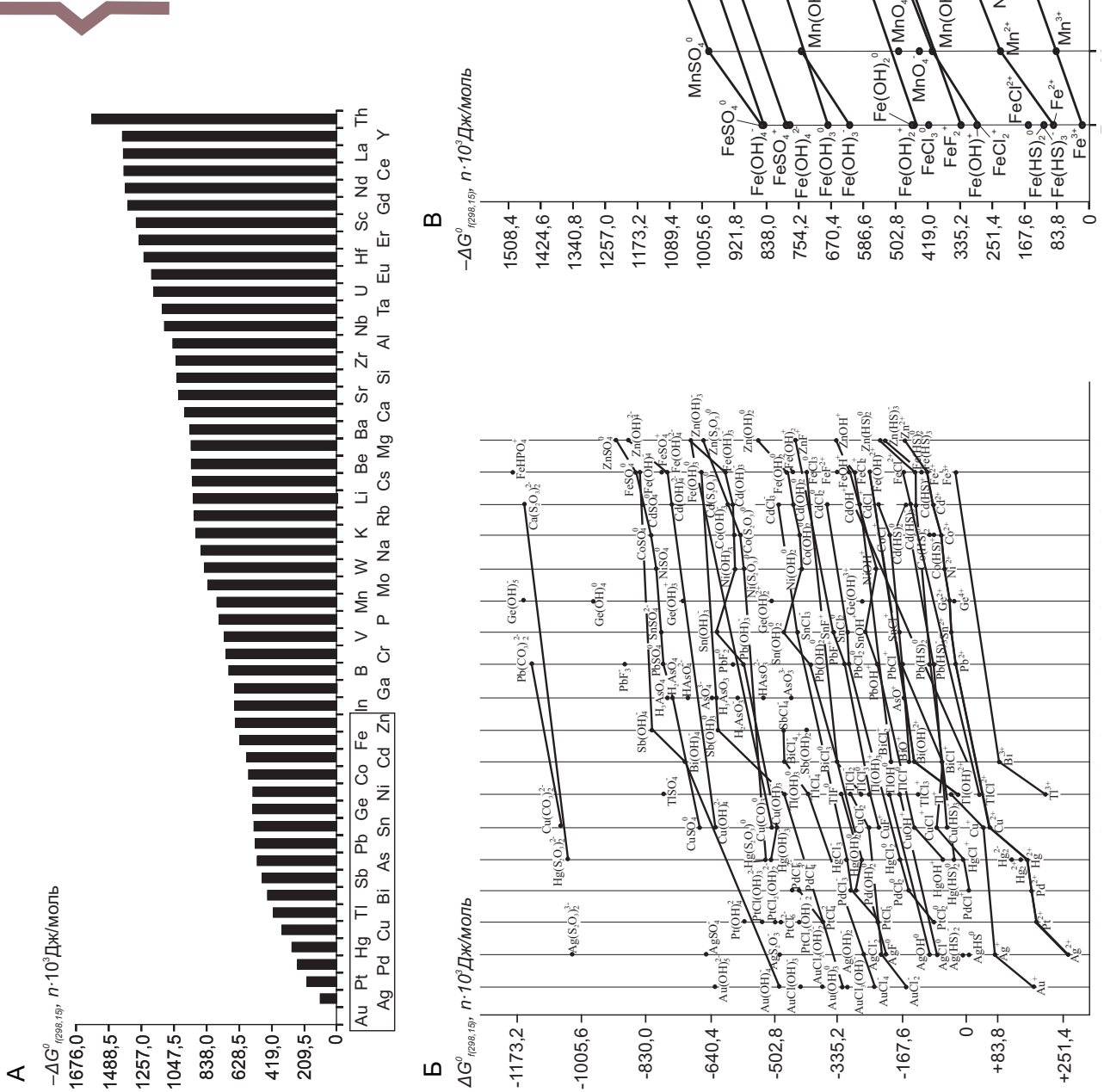
процессах происходит отложение веществ кварц-железорудных формаций, например, по реакции $3\text{Fe}_2\text{SiO}_4 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\text{SiO}_2$.

Таким образом, возможность перехода каждого элемента в расплав и раствор зависит от соотношения (градиента) величин энергии (силы) его связи в исходном твёрдом веществе и в расплаве или растворе. Если энергия связи элемента в исходном веществе будет больше, чем в водном растворе, то он остаётся в твёрдом соединении. Превышение энергии связи элемента в ионах и молекулах растворителя обеспечивает его предпочтительный переход в раствор, если этому не мешают другие причины. К последним относятся: количественные соотношения между раствором и растворимым веществом; состояние растворимого вещества и характер его взаимоотношения с раствором; количество и характер распределения компонентов в исходной массе [15, 17, 26].

В природных условиях доминируют ситуации, когда количество элементов растворимых веществ резко преобладает над содержанием в растворе лигандов – основных носителей растворённых компонентов. При этом нередко возникает энергетическая конкуренция между элементами исходного вещества в отношении способности, предпочтительности и очерёдности их поступления в раствор, то есть соединения с имеющимися в растворе лигандами. В результате в раствор обычно в первую очередь

Рис. 6. Термодинамический ряд химических элементов: величины свободных энергий образования ионов и нейтральных молекул в водных растворах [10, 17, 20]:

А – единый ряд в обобщённых значениях; конкретные формы и значения элементов: для рудогенных (Б) и петрогенных (В)



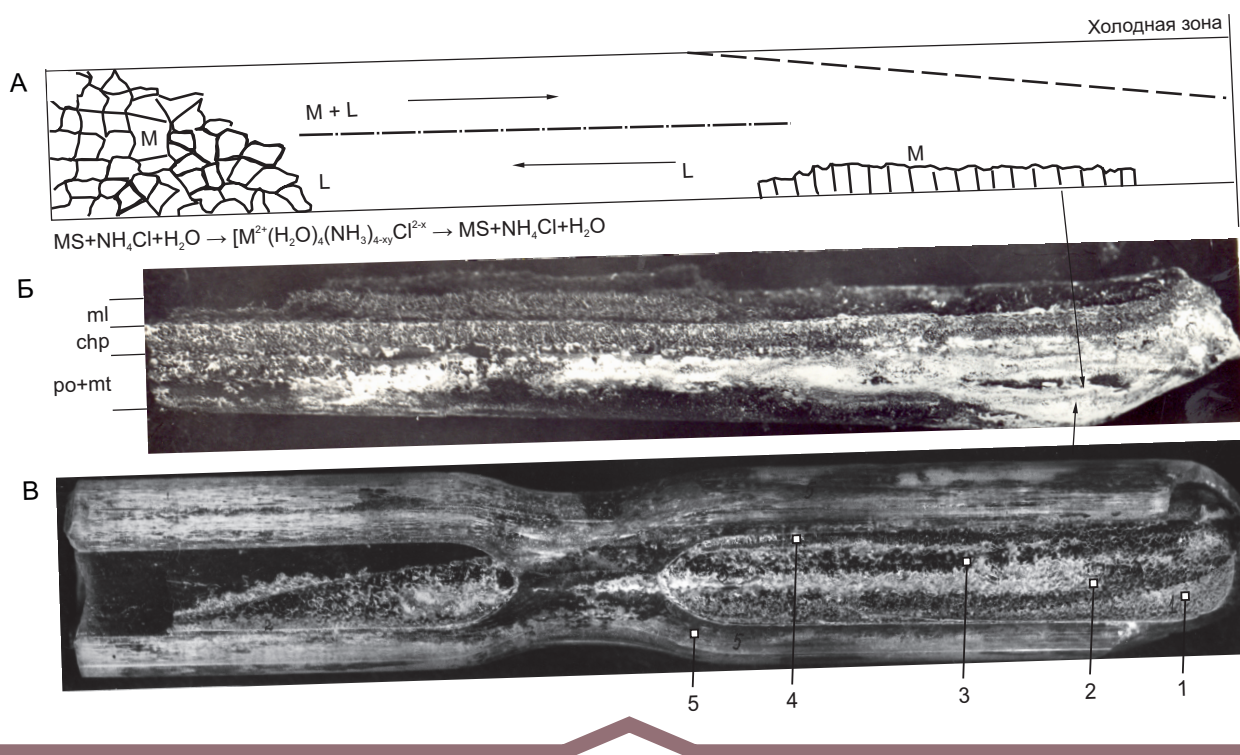


Рис. 7. Синтетические сульфидные «залежи» [17]:

А – принципиальная схема процесса; Б – вертикально дифференцированная «залежь», полученная в процессе гидротермального переотложения халькопирит-пентландит-пирротиновых руд месторождения Норильск I; слои: po – пирротиновый, chp – халькопиритовый, ml – миллеритовый (неплотные сращения игольчатых кристаллов), ув. 2,5; В – вертикально и горизонтально дифференцированная «залежь», полученная при гидротермальном переотложении галенит-сфалерит-халькопирит-борнит-пиритовой ассоциации месторождения III Интернационал; слои: 1 – существенно сфалеритовый, 2 – существенно пиритовый, 3 – существенно борнитовый, 4 – зона частого переслаивания тонких минеральных слоёв борнита, халькопирита, пирита, 5 – кварцевая ампула, ув. 2

поступает правостоящий в термодинамическом ряду элемент, создающий наиболее прочные связи с лигандами. В это время другие элементы остаются в исходном веществе, хотя они могут вступать в межфазные перераспределения. Лишь после выноса преобладающей части энергетически предпочтительного элемента из растворяемого материала и зоны растворения в раствор поступает следующий по предпочтительности элемент и так далее вплоть до полного переноса вещества. Поочерёдный (градиентный) вынос элементов из исходного материала и зоны растворения приводит к образованию химической и минеральной зональности в местах отложения веществ, то есть градиентных продуктов [13, 15, 17, 26].

В качестве примера могут служить продукты, полученные автором при гидротермальном переотложении сульфидных руд месторождений Норильского района и Урала (рис. 7).

Эксперименты проводились в условиях температурного перепада [10, 11, 26]. В качестве исходного материала использовались пентландит-халькопирит-

пирротиновые руды месторождения Норильск I и борнит-халькопирит-пиритовые ассоциации уральского месторождения им. III Интернационала. Исходное вещество и водный раствор хлорида аммония находились в запаянной кварцевой ампуле размером 380×12 мм, которая помещалась в стальном автоклаве, содержащем дистиллированную воду для компенсации давления в ампуле. Нагрев автоклава осуществлялся в горизонтальных трубчатых печах.

Мантийные магматические расплавы, зарождающиеся под температурным или декомпрессионным воздействием, образуются путём градиентного (парциального) плавления исходного пиролит-перидотитового материала в последовательности от легкоплавких (маломагнезиальных) к тугоплавким (высокомагнезиальным) разностям (рис. 8).

При кристаллизации этих расплавов в земной коре и на её поверхности, осуществляемой в результате снижения их температуры под охлаждающим воздействием вмещающих пород и атмосферы, происходит градиентное (фракционное) выделение

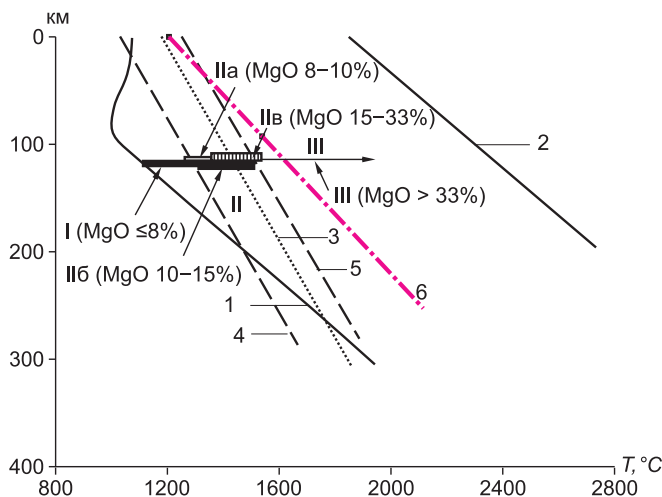


Рис. 8. Условия образования мантийных мафит-ультрамафитовых магм [17]:

1, 2 – линии солидуса и ликвидуса пироксита, содержащего 0,1 масс. % воды [32]; 3 – линия солидуса пирротина [4, 30]; 4, 5 – приблизительные линии солидуса и ликвидуса сульфидов мантии; 6 – сухой солидус перидотита; I – участок зарождения сравнительно низкотемпературных бессульфидных магм мафического состава ($MgO \leq 8\%$); участки зарождения сульфидоносных магм: IIa – относительно низкотемпературные ($MgO 8-10\%$), несущие богатые медью (по отношению к никелю) сульфиды ($Ni:Cu=1:3-4$), IIб – среднетемпературные ($MgO 10-15\%$), включающие всю сульфидную фракцию исходного вещества ($Ni:Cu=1:1,2-2,5$), IIв – высокотемпературные ($MgO 15-33\%$), содержащие бедные медью сульфиды ($Ni:Cu=1 \rightarrow 10:1$); III – участок выплавления бессульфидных высокотемпературных магм ультрамафического состава ($MgO > 33\%$)

(кристаллизация) минеральных фаз в обратной последовательности – от тугоплавких к легкоплавким разностям (рис. 9).

Проявляемые в природе события обычно включают несколько видов причин их осуществления («воздействий» и «градиентов»), которые целесообразно выявлять, анализировать, объяснять и учитывать при выполнении научных и практических работ.

Например, при изучении траппового магматизма Сибирской платформы и связанного с ним Pt-Cu-Ni рудообразования в Норильском районе требовалось установить причины следующих их особенностей.

1. Исключительно большое количество (~4 млн км³) компактно внедрённых и излившихся на земную поверхность за сравнительно короткое (~1 млн лет) время преимущественно однотипных по составу (в основном толеитовых) мантийных магм.

2. Наличие скоплений химически сложного рудного вещества, сформировавших уникальные по составу и запасам Pt-Cu-Ni месторождения.

Массовый и интенсивный магматизм однотипного состава указывает на сравнительно быстрое и обширное вовлечение в разогрев и плавление исходного мантийного материала при относительно одинаковых и стабильных термодинамических (PT) условиях.

По современным представлениям, подобные условия могли быть созданы в двух обстоятельствах: в обстановках спрединга и субдукции океанического дна и в горячих точках, связанных с термическими плюмами, поднимающимися от границы ядронижняя мантия.

Системы спрединга и субдукции (см. рис. 5) менее вероятны, так как они не благоприятны для зарождения

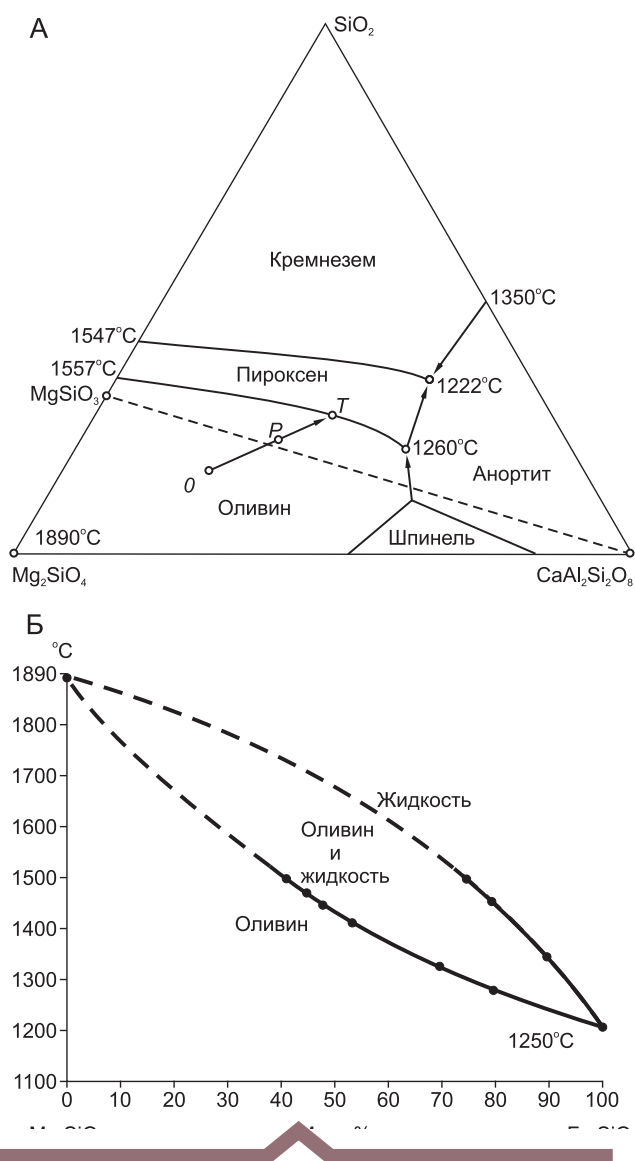


Рис. 9. Диаграммы состояния силикатных систем и условия выделения в них породообразующих минералов: системы: А – $Mg_2SiO_4-Ca_2Al_2Si_2O_8-SiO_2$ [21], Б – $Mg_2SiO_4-Fe_2Si_4$ [22]

сульфидоносных мезомафических магм (MgO 8–33 масс. %) и для существенной концентрации сульфидов [12]. Их магматизм в основном ограничивается зарождением бессульфидных и слабосульфидоносных мафических (MgO ≤ 8 масс. %) магм (см. рис. 8).

В зонах спрединга (см. рис. 5, А) это связано с тем, что причиной образования в них магм является декомпрессионное плавление мантийного вещества, обусловленное его подъёмом и разуплотнением в результате гидратации под воздействием проникающей в горячую мантию океанической воды. В таких условиях, из-за повышенной охлаждённости вещества мантии, возможны переход в расплав в основном его наиболее легкоплавкой составляющей и образование преимущественно бессульфидных мафических магм (MgO ≤ 8 масс. %) типа MORB. Большой частью этой легкоплавкой составляющей является пироксеновая фракция исходного вещества, для которой характерно пониженное содержание никеля и хрома из-за их невысокой растворимости в пироксенах – для Ni ≤ 300 ppm (рис. 10, А).

В зонах субдукции океанической коры (см. рис. 5, Г) магмы образуются по причине погружения в горячую мантию и плавления при сравнительно низких температурах тех же бедных никелем и хромом базальтов MORB и покрывающих их морских осадков с проявлением бессульфидного островодужного магматизма (MgO ≤ 8 масс. %).

Магматизм термических плюмов более благоприятен для рудообразования. Он обусловлен воздействием высокотемпературного расплава нижней мантии на вещество средней и верхней мантии (см. рис. 4, А). Это обеспечивает возможность большей степени плавления окружающих веществ с образованием не только бессульфидных мафических (MgO ≤ 8 масс. %), но и более высокотемпературных сульфидоносных мезомафических (MgO 8–33 масс. %) магм (см. рис. 8), способных формировать Pt-Cu-Ni месторождения.

К этому типу магматизма относятся и траппы Сибирской платформы (см. рис. 4, Б). Сульфидоносной здесь является сравнительно небольшая часть, обладающая повышенной магниальностью (MgO 10–12 масс. %) и более высокой температурой образования (см. рис. 8).

Из-за большей степени плавления исходного вещества магмы термических плюмов имеют более высокое содержание никеля и хрома по сравнению с магмами MORB, что отчётливо проявляется в составе образующихся в них фенокристаллов оливина (см. рис. 10, Б, В). Это же свидетельствует об их зарождении в значительной мере за счёт обогащённой никелем и хромом оливиновой части мантийного вещества.

Данный факт важен в практическом отношении, особенно в оценке перспективности магматических

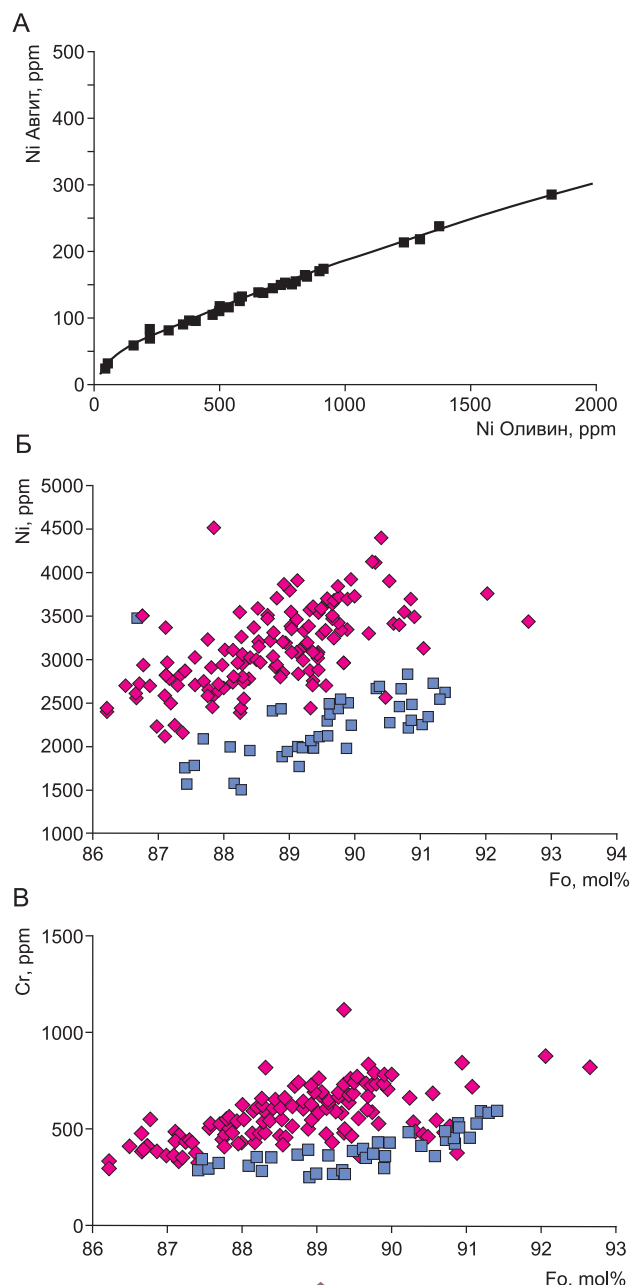


Рис. 10. Содержание никеля и хрома в оливинах и пироксене магматических пород:

А – никеля в сосуществующих зёрнах клинопироксена (авгита) и оливина (равновесные соотношения) в интрузиях Parikkala [25]; Б – никеля и В – хрома в фенокристаллах оливина срединно-океанических базальтов – MORB (квадраты, синие) и пород континентального магматизма (ромбы, красные) [31]

проявлений на обнаружение в них платино-медно-никелевых месторождений.

Скопление рудного вещества и образование Pt-Cu-Ni месторождений в Норильском районе Сибирской платформы во многом обусловлены благоприятной

тектонической обстановкой проявления магматизма. Она выражалась в периодическом чередовании расширения (разуплотнения) и сжатия земной коры, обеспечивающих импульсивное поступление магм к её поверхности и временную его остановку [1, 5, 9]. Расширение вызывалось избыточным накоплением расплава в основном очаге плюма и влиянием увеличивающегося объёма на вышележащие толщи, а сжатие – частичным освобождением очага от магмы, поднимающейся в пределы земной коры и изливающейся на её поверхность. Причём основной тренд магматизма имел депрессионную направленность. В нём преобладало компенсационное прогибание коры с довольно свободным и массовым излиянием магм на земную поверхность.

Периодические остановки (градиентное внедрение) магм способствовали их конвекционной циркуляции от тыловых к фронтальным частям магматических колонн. Конвекция обеспечивала поступление свежих магм в места замыкания передовой циркуляционной ячейки и накопление в них сульфидной жидкости, формирующей Pt-Cu-Ni месторождения [17, 19].

Как видно, в рассмотренном примере проявления траппового магматизма Сибирской платформы и связанного с ним платино-медно-никелевого рудообразования все происходящие события осуществлялись в основном благодаря воздействиям и градиентам. Их было несколько со своим набором в каждом конкретном случае.

Так, можно полагать, что начало было связано с термическим воздействием верхней части ядра на материал нижней мантии (собственный либо с примесью опустившейся океанической плиты) из-за появления между ними избыточного температурного градиента.

Термическое воздействие привело к появлению расплава, имеющего более низкую плотность, чем окружающая среда, то есть к возникновению плотностного градиента, создающего, в свою очередь, гравитационный градиент. Последний вызывает подъём (всплытие) разуплотнённой высокотемпературной массы, которая вследствие наличия температурного градиента оказывает термическое воздействие на вмещающий материал с образованием расплавов и проявлением магматизма термических плюмов.

В образовании рудоносных магм и формировании Pt-Cu-Ni месторождений (см. рис. 8) существовали свои особенности воздействий и градиентов [17]. Появление сульфидоносных магм (MgO 8–33 масс. %) требовало термического воздействия на вещество мантии, вызывающего его градиентное (фракционное) плавление. Сначала зарождение и вынос из зоны магмообразования наиболее легкоплавкой бессуль-

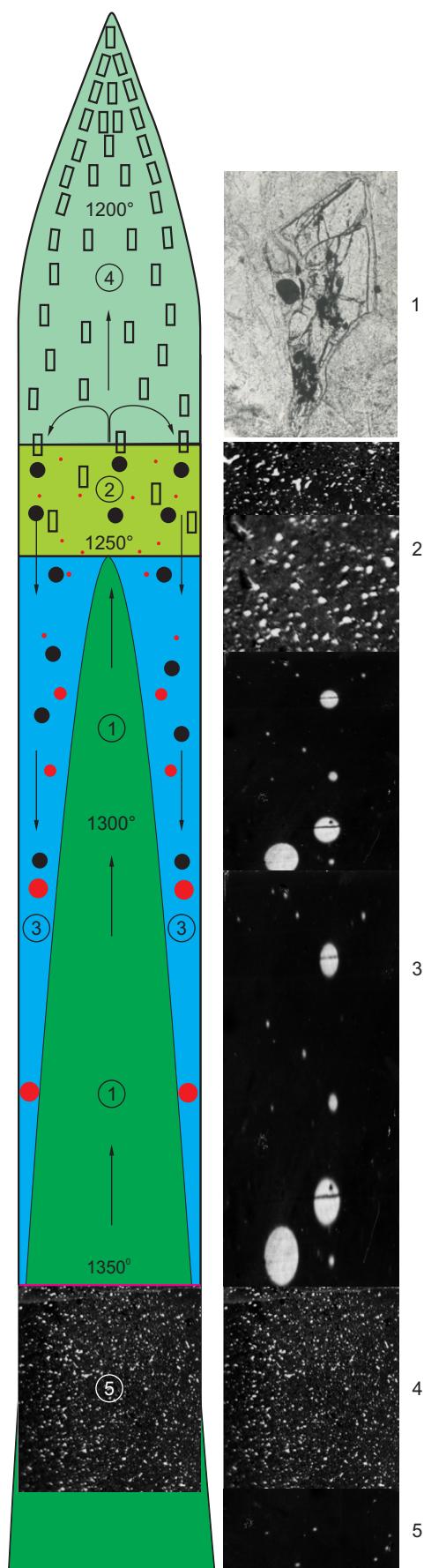
фидной мафической части исходного материала (MgO \leq 8 масс. %). Затем повышение температуры (более высокотемпературное воздействие) в очаге магмообразования с зарождением сульфидоносных магм (в Норильском районе MgO 10–12 масс. %). Далее последовало превращение сульфидоносных магм в рудоносные – концентрация рассеянных сульфидов в субвертикальном интервале магматической колонны (рис. 11). Она осуществлялась по причине наличия продольного температурного градиента в колонне, вызывающего конвекционное движение магмы. И, наконец, тот же температурный градиент и продольная конвекция сульфидоносной магмы в субгоризонтальном канале обеспечивали накопление и локализацию сульфидов с образованием рудных тел и Pt-Cu-Ni месторождений (рис. 12).

Таким образом, обоснование и признание связи магматизма с воздействием на мантийное вещество термического плюма позволяют допускать наличие между ними большого температурного градиента и, следовательно, вероятность высокой степени плавления исходного материала с возможностью зарождения сульфидоносных магм.

Свидетельства о перерывах и остановках при внедрении магм и неперемное существование в них температурного градиента дают основания полагать проявление продольной конвекции, которая могла приводить к накоплению рудного вещества сначала на субвертикальном, а затем на субгоризонтальном участках продвижения магматических колонн.

Из-за зависимости от температуры магмы количества и длительности удержания в ней сульфидного расплава накопление рудного вещества осуществляется только при наличии в системе температурного градиента. На субвертикальном пути внедрения магм накопление сульфидов происходит в высокотемпературной области (в результате опускания сульфидных частиц из более холодной головной части в более горячую тыловую, рис. 11), а на субгоризонтальном – в низкотемпературной (в передовом замыкании циркуляционных ячеек, рис. 12).

Наличие в субгоризонтальной части интрузий температурного градиента обуславливает неизбежность проявления в ней продольной конвекции магмы, а градиентное (с остановками) её продвижение создаёт условия для возникновения нескольких участков замыкания конвекционной ячейки, которые являются местом накопления рудного вещества (см. рис. 12). В результате в субгоризонтальной части сульфидоносных интрузий по их длине создаётся несколько мест концентрации рудного материала, что наблюдается во всех известных рудоносных интрузиях Норильского района (рис. 13). Эти особенности исключительно важны в организации и проведении



оптимальных поисков и разведки платино-медно-никелевых месторождений.

Сведения о природе и возможностях воздействий могут использоваться также для прямой и косвенной оценки перспективности площадей на другие виды полезных ископаемых. Так, например, магнитное поле Земли, воздействуя на её кору, намагничивает (делает магнитными) находящиеся в ней образования, формирующиеся в окислительных условиях. Это даёт возможность с помощью магнитометрии выделять в коре соответствующие магнитные площади, в первую очередь перспективные на богатые магнетитом железорудные месторождения.

Но одновременно эти данные выявляют немагнитные и слабомагнитные территории, для которых характерны восстановительные условия, благоприятные, как показано автором [14, 18, 27], для образования месторождений золота, алмазов, нефти, газов и других полезных ископаемых, независимо от их возраста и происхождения (рис. 14, 15). Количество магнитных полей составляет около половины и более площади континентальной коры. Следовательно, на эту величину можно сократить территории поисков перечисленных полезных ископаемых.

Таким образом, воздействия и градиенты являются основополагающими факторами и главными причинами образования веществ и проявления природных процессов, включая возникновение и существование органического мира. Они различны по своей сути, но всеобщы и непременимы в осуществлении.

Рис. 11. Схема дифференциации магматической колонны и накопления в ней рудного вещества:

цифры в кружках: 1 – «свежая» первичная магма; 2 – зона интрателлурической кристаллизации магмы и начальное выделение и накопление в ней сульфидного расплава; 3 – обратный поток магмы, содержащей выделения протооливина (чёрные кружки) и частиц сульфидной жидкости (красные точки и кружки), стрелками показано направление движения магмы и минеральных фаз; 4 – зона накопления протокристаллического плагиоклаза; 5 – зона накопления сульфидного вещества; колонка справа – реальные соотношения минеральных веществ в природных и синтетических образованиях, которые могли быть проявлены в поднимающейся магматической колонне: 1 – ромбовидное зерно магниального протооливина в ассоциации с хромитом (чёрное округлое выделение) и сульфидами (тёмные более мелкие проявления), включённые в среднюю часть крупного кристалла протоплагиоклаза лейкократового габбро интрузии Норильск I (свидетельство наличия и кристаллизации мафических и рудных составляющих, опустившихся вниз поднимающейся магматической колонны) ув. 20; 2–5 – формы выделения сульфидной жидкости (белое) в силикатном расплаве пикритового габбро-долерита, меняющиеся с изменением его температуры (экспериментальные данные автора)

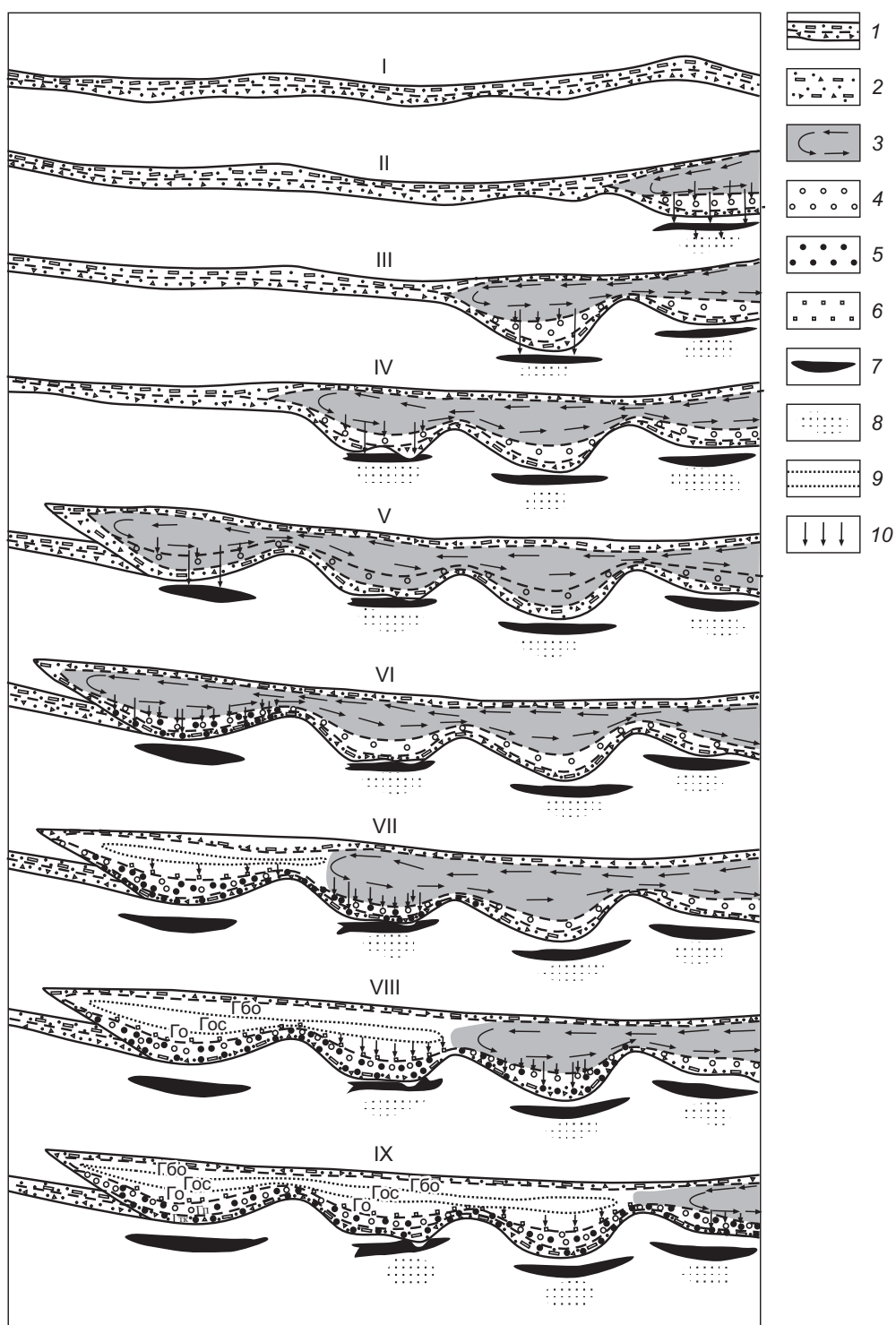


Рис. 12. Схема формирования рудоносных интрузий и связанных с ними платино-медно-никелевых месторождений талнахского типа [17]:

1 – головная кашеобразная часть магматической колонны; 2 – верхние и нижние контактовый и такситовый габбро-долериты; 3 – внедряющаяся и циркулирующая магма; 4 – фенокристы оливина; 5 – выделения сульфидной жидкости; 6 – оливин, выделяющийся при внутрикамерной кристаллизации магмы; 7 – массивные руды; 8 – экзоконтактовое вкрапленное и прожилково-вкрапленное оруденение; 9 – кристаллизующаяся магма; 10 – направления движения кристаллов оливина и выделения сульфидной жидкости; I–IX – этапы внедрения и становления рудоносных интрузий и накопления рудного вещества

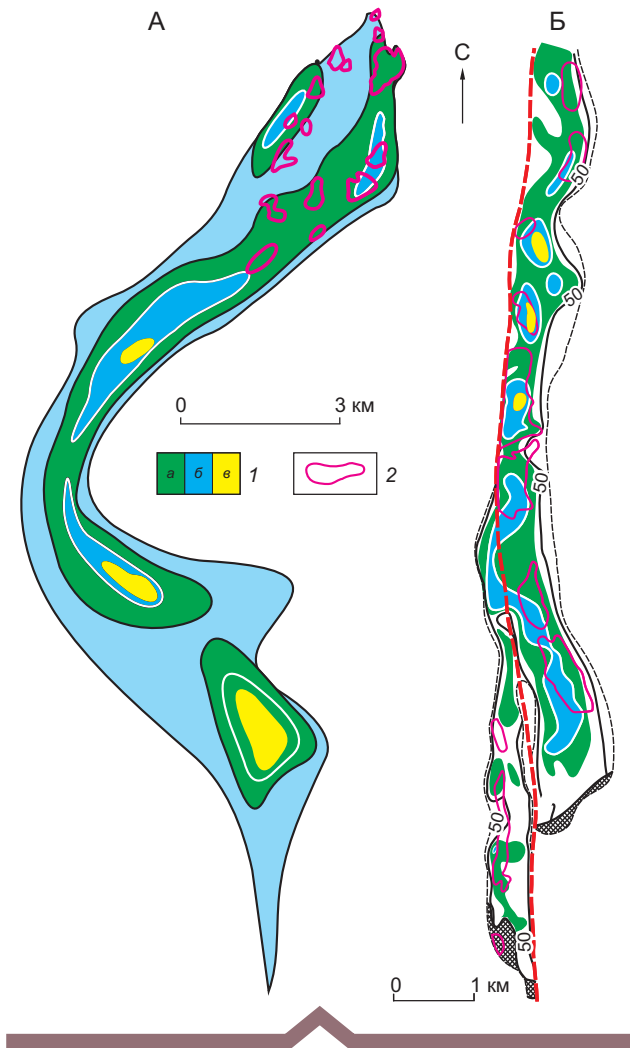
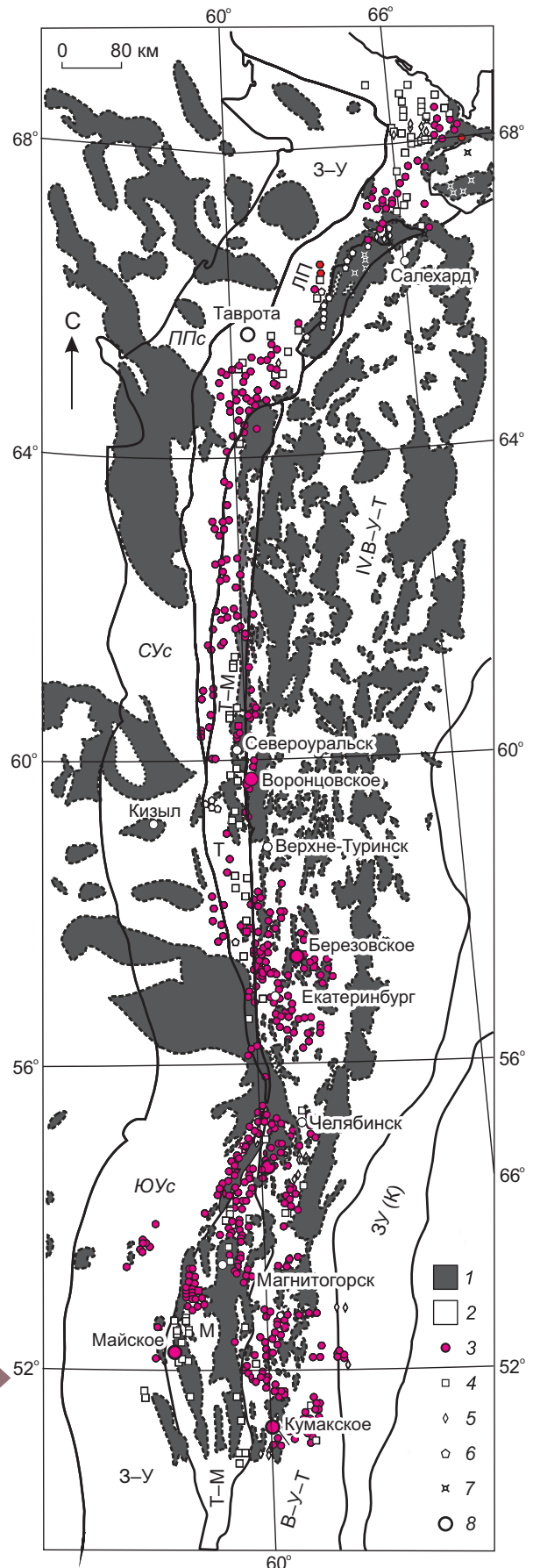


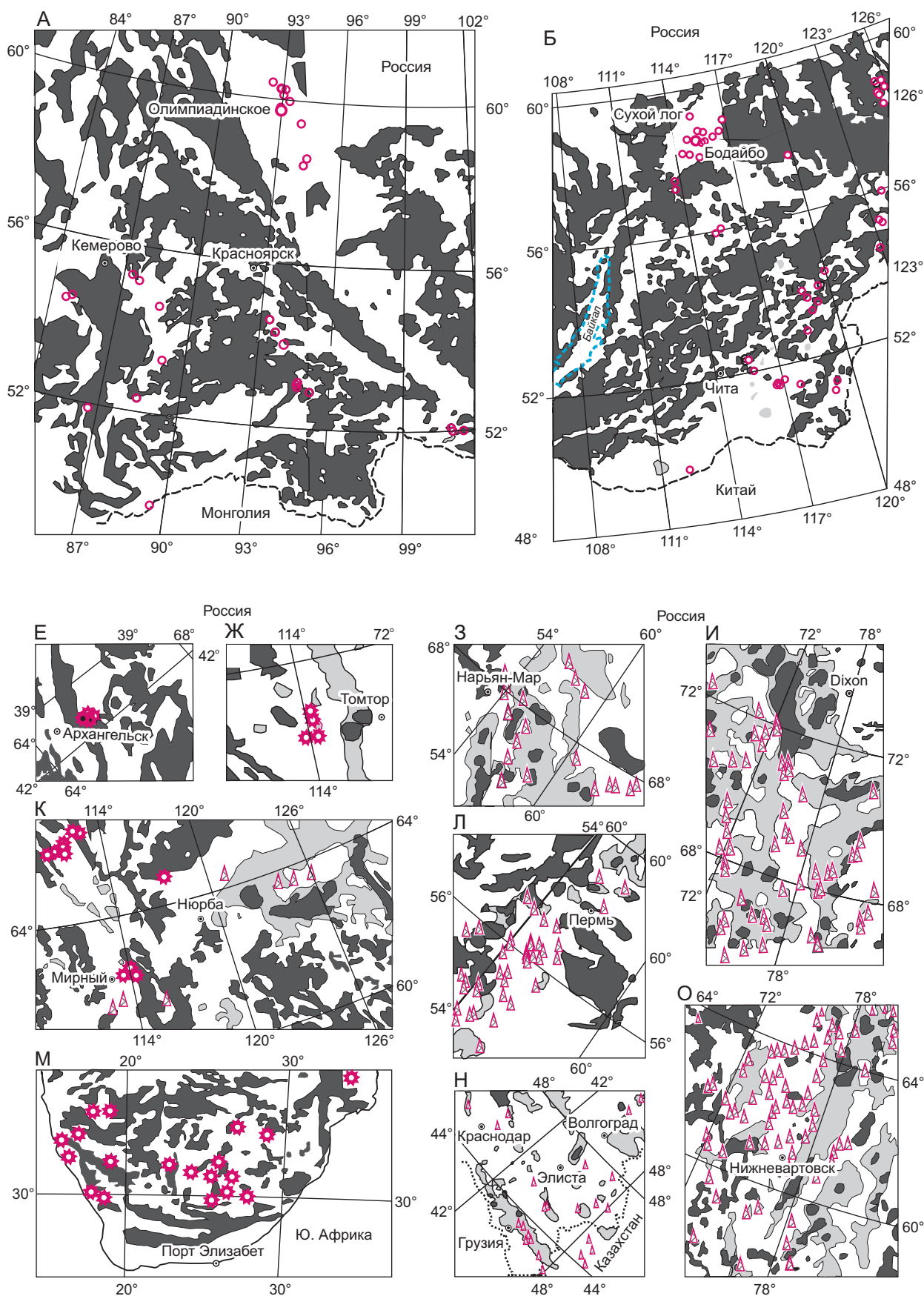
Рис. 13. Изменение мощности и распределение рудного вещества по длине интрузий Норильск I (А) и Талнахская (Б):

1 – участки с мощностью (в м): 100 (а), 200 (б), 300 (в) для интрузии Норильск I и 100 (а), 150 (б), 200 (в) для Талнахской; 2 – контуры массивных руд

Рис. 14. Размещение известных месторождений и рудных проявлений золота и цветных металлов в пределах российской части Уральской складчатой системы:

значения магнитного поля (ΔT , 102нТл), по материалам ВСЕГЕИ: 1 – положительные (1–15), 2 – «нулевые» и отрицательные (1–15); месторождения и рудопоявления [8]: 3 – собственно золоторудные, 4 – золотосодержащие медно-колчеданные и полиметаллические, 5 – медно-порфировые, 6 – медно-золото-платиноидные магматические, 7 – железо-медные скарновые, 8 – некоторые крупные золоторудные; структурно-формационные зоны: 3–У – Западно-Уральская, ЛП – Ляпинско-Полярноуральская, Т–М – Тагило-Магнитогорская (Т – Тагильский, М – Магнитогорский прогибы), В–У–Т – Восточно-Уральская-Тобольская, ЗУ (К) – Зауральская (Кустанайская)





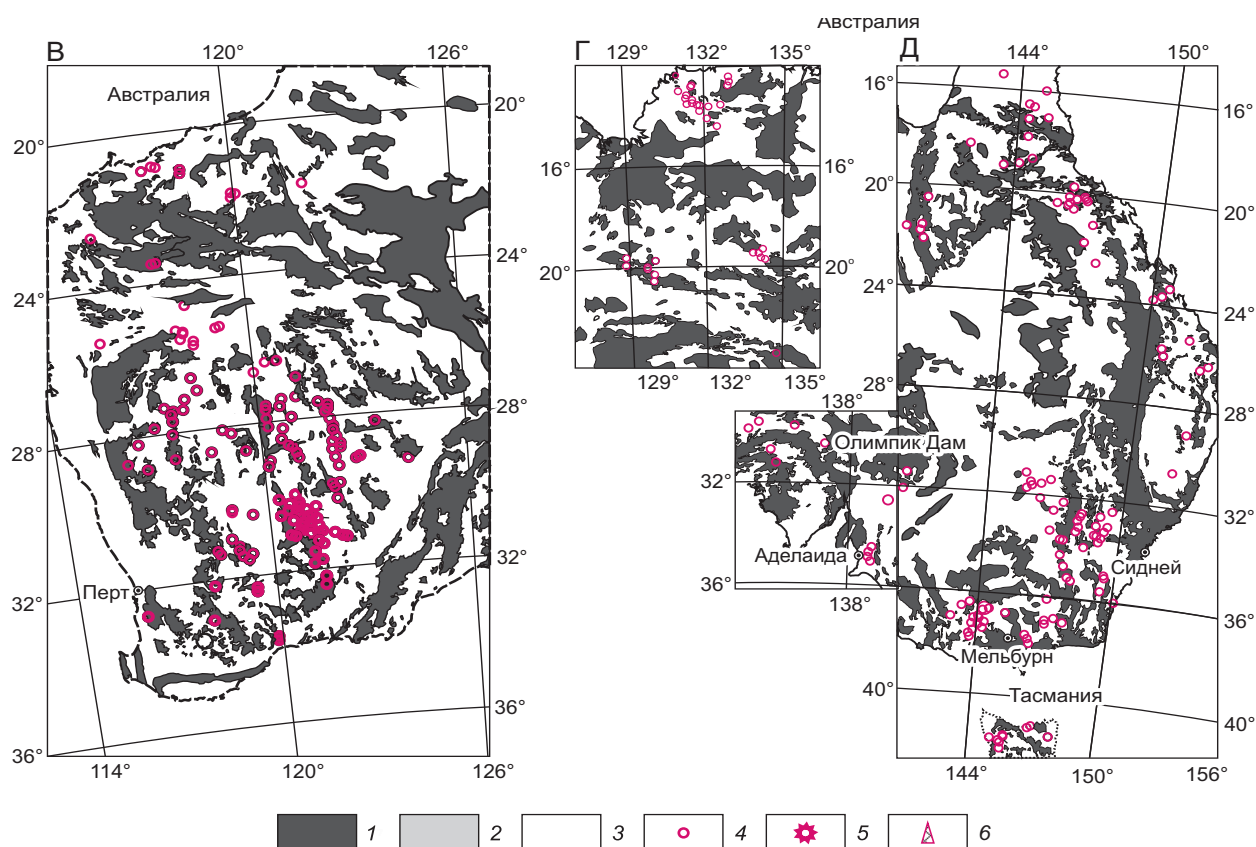


Рис. 15. Размещение месторождений золота, алмазов, нефти и газа в регионах России, Австралии и Африки [2, 3, 14, 18, 23, 24, 27, 29]:

золото: Россия (А, Б), Австралия (В, Г, Д); алмазы: Россия (Е, Ж, К), Южная Африка (М); нефть и газ: Россия (З, И, К, Л, Н, О); значения магнитного поля (ΔТ, нТл): 1 – положительные «магнитные» (50→>2000), 2 – «слабомагнитные» (50–100), 3 – «нулевые» и отрицательные – «немагнитные» (50–>1000); месторождения: 4 – золота, 5 – алмазов, 6 – нефти и газа

Основные выводы состоят в следующем.

1. Главными причинами образования веществ и проявления природных процессов являются «воздействия» и «градиенты». Воздействия нарушают состояние систем, приводят к появлению градиентов, а градиенты вызывают проявление процессов, направленных на восстановление нарушенного или к возникновению нового состояния. Без воздействий и градиентов нет движений, без движений нет процессов, а без процессов нет веществ.

2. Первоначальным было воздействие на космическое пространство Большого взрыва, вызванного появлением градиента в тёмной энергии.

3. Воздействия обычно связаны с внешним источником, оказывающим то или иное влияние на систему веществ, выводящее из свойственного ей на данный момент состояния. Подвергающаяся воздействию си-

стема чаще всего реагирует переходом в новое состояние: механическим разрушением, плавлением, испарением, растворением, минеральным и химическим замещениями (метаморфизмом), перемещением в пространстве.

4. Масштабность воздействия определяется массой и энергией источника, его температурой, давлением и продолжительностью. Зная количественные характеристики воздействий и градиентов, можно судить о продуктивности процессов, например, о возможной величине месторождений полезных ископаемых.

5. Исследования роли и значения воздействий и градиентов в образовании веществ и проявлении природных процессов позволяют решать важные научные и практические вопросы, касающиеся всех сфер материального мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Годлевский М. Н.* Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. – М.: Госгеолтехиздат, 1959. – 68 с.
2. *Карта* аномального магнитного поля России и прилегающих акваторий (ΔT)_a масштаба 1:5000 000. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2004.
3. *Карта* полезных ископаемых Российской Федерации масштаба 1:5000 000. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2007.
4. *Кеннеди Дж. Р., Рыженко Б. Н.* Влияние давления на эвтектики в системах Fe–FeS // Геохимия. – 1973. – № 9. – С. 1392–1396.
5. *Криволицкая Н. А.* Эволюция траппового магматизма и Pt–Cu–Ni рудообразование в Норильском районе. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 315 с.
6. *Кузнецов В. В.* Физика горячей Земли. – Новосибирск: ИГиГ, 2000. – 365 с.
7. *Кузнецов В. В.* Физика Земли и Солнечной системы. – Новосибирск: ИГиГ, 1990. – 217 с.
8. *Курбанов Н. К., Ревякин П. С., Кучеревская П. Г.* и др. Золотоносность Урала (объяснительная записка к карте коренной золотоносности Урала масштаба 1:1 000 000) // Науч. редакторы А. И. Кривцов и Н. К. Курбанов. – М.: ЦНИГРИ, 2005.
9. *Лихачев А. П.* Возможности самообогащения рудным веществом и тяжелым изотопом серы (³⁴S) мантийных магм, формирующих Pt–Cu–Ni месторождения и перспективное место для локализации руд в Норильском районе // Отечественная геология. – 2019. – № 3. – С. 32–49.
10. *Лихачев А. П.* Возможные причины и условия тесной ассоциации золота с сульфидами и кварцем // Отечественная геология. – 2016. – № 2. – С. 41–52.
11. *Лихачев А. П.* К вопросам образования, поведения и фракционирования химических элементов, их изотопов и минералов в природных процессах // Отечественная геология. – 2017. – № 6. – С. 80–93.
12. *Лихачев А. П.* Непроизвольная сущность геологических и других природных процессов и определяющая роль воды в их проявлении // Отечественная геология. – 2018. – № 6. – С. 67–76.
13. *Лихачев А. П.* О поведении химических элементов в магматических и гидротермальных процессах // ЗВМО. – 1975. – Вып. 6. – С. 649–663.
14. *Лихачев А. П.* Общая закономерность размещения месторождений золота по глубинным геофизическим данным // Отечественная геология. – 2012. – № 6. – С. 13–29.
15. *Лихачев А. П.* Переотложение рудогенных и петрогенных компонентов водными растворами // Геохимия. – 1975. – № 10. – С. 1459–1474.
16. *Лихачев А. П.* Планеты земной группы как твёрдые остатки (ядра) обычных преимущественно газовых планет, потерявших газовую составляющую при первоначальной вспышке Солнца // Отечественная геология. – 2014. – № 3. – С. 89–100.
17. *Лихачев А. П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006. – 496 с.
18. *Лихачев А. П.* Причины и условия существования магнитных и немагнитных полей земной коры, определяющих формирование и размещение месторождений золота, алмазов, нефти, газа и других полезных ископаемых // Отечественная геология. – 2013. – № 6. – С. 40–50.
19. *Лихачев А. П.* Специфические особенности норильских рудоносных интрузий, их природа и определяющее значение в открытии Pt–Cu–Ni месторождений // Отечественная геология. – 2019. – № 5. – С. 36–52.
20. *Наумов Г. Б., Рыженко Б. Н., Ходаковский И. Л.* Справочник термодинамических величин. – М.: Атомиздат, 1971.
21. *Andersen O.* The system anortite – forsterite – silica // Am. Journ. Sci. 1915. Ser. 4. V. 39. P. 407.
22. *Bowen N. L., Schairer J. F.* The system MgO–FeO–SiO₂ // American Journal of Science. – 1935. – Ser. 5. – V. 29. – P. 197.
23. *Geology of Australian ore deposits* // Publ. 5th Min. and Metall. Congress, Australian and New Zealand. – 1953. – V. 1.
24. *Geology of Australian ore deposits.* 2-nd ed. Eighth Commonw. Min. and Metall. Australian and New Zealand. Melbourn. – 1965. – V. 1.
25. *Hakli T. A.* An attempt to apply the Makaopuhi nickel fractionation data to the temperature determination of a basic intrusive // ISSN: 0016-7037 Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1968. – V. 32. – P. 449–460.
26. *Likhachev A. P.* Redeposition of ore-producing and petrogenetic components by aqueous solutions // Geochemistry Internat. – 1975. – V. 12. – P. 101–113.
27. *Likhachev A. P.* General patterns in the distribution of gold and diamonds deposits, oil and gas fields, and accumulations of other minerals / Abstracts 35th international geological congress, cape town, S. A., 2016. Paper Number: 1850.
28. *Likhachev A. P.* Terrestrial planets as solid relicts (core) of conventional predominantly gas planets, lost the primary gas component under the influence of the shock wave produced during the initial outbreak of the stars / Abstracts 36th international geological congress. – Delhi, India., 2020. Paper Number: 872.
29. *Magnetic anomaly map of Australia*, scale 1:5000 000 // Australia Government, 2004. Produced by Geoscience Australia.
30. *Sharp W. E.* Melting curves of sphalerite, galena, and pyrrhotite and decomposition curve of pyrite between 30–65 kilobars // Journal of Geophysical Research. – 1969. – V. 74. – No. 6. – P. 1646–1652.
31. *Sobolev A. V., Hofmann A. W., Kuzmin D. V.* et al. The amount of recycled crust in sources of mantle-derived melts // Science Reprint. – 2007. – V. 316. – H. 412–417.
32. *Wyllie P. J.* Experimental limits for melting in the Earth's crust and upper mantle // Geophys. Monog. Ser. – 1971. 14. – P. 279–301.

REFERENCES

1. *Godlevskiy M. N.* Trappy i rudosnosnyye intruzii Noril'skogo rayona [Traps and ore-bearing intrusions of the Noril'sk region], Moscow, Gosgeoltekhizdat publ., 1959, 68 p. (In Russ.).
2. *Karta anomal'nogo magnitnogo polya Rossii i prilegayushchikh akvatoriy (ΔT) a masshtaba 1:5000 000* [Map of the anomalous magnetic field of Russia and adjacent water areas (ΔT) at a scale of 1: 5 000 000], Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2004. (In Russ.).
3. *Karta poleznykh iskopayemykh Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:5 000 000* [Map of minerals of the Russian Federation on a scale of 1: 5 000 000], Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2007. (In Russ.).
4. *Kennedi Dzh. R., Ryzhenko B. N.* Vliyaniye davleniya na evtetiki v sistemakh Fe–FeS [Influence of pressure on eutectics in Fe – FeS systems], *Geokhimiya*, 1973, No. 9, P. 1392–1396. (In Russ.).
5. *Krivolutskaya N. A.* Evolyutsiya trappovogo magmatizma i Pt-Cu-Ni rudoobrazovaniye v Noril'skom rayone [Evolution of trap magmatism and Pt-Cu-Ni ore formation in the Noril'sk region], Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK publ., 2014, 315 p. (In Russ.).
6. *Kuznetsov V. V.* Fizika goryachey Zemli [Physics of the Hot Earth], Novosibirsk, IGI G publ., 2000, 365 p. (In Russ.).
7. *Kuznetsov V. V.* Fizika Zemli i Solnechnoy sistemy [Physics of the Earth and the Solar System], Novosibirsk, IGI G publ., 1990, 217 p. (In Russ.).
8. *Kurbanov N. K., Revyakin P. S., Kucherevskaya P. G.* et al. Zolotonosnost' Urala (ob'yasnitel'naya zapiska k karte Korennoy zolotonosnosti Urala masshtaba 1:1 000 000) [Gold content of the Urals (explanatory note to the map of the indigenous gold content of the Urals on a scale of 1:1 000 000)], Nauch. redaktery A. I. Krivtsov i N. K. Kurbanov. Moscow, TSNIGRI publ., 2005. (In Russ.).
9. *Likhachev A. P.* Vozmozhnosti samoobogashcheniya rudnym veshchestvom i tyazhelym izotopom sery (34S) mantiynykh magm, formiruyushchikh Pt-Cu-Ni mestorozhdeniya i perspektivnoye mesto dlya lokalizatsii rud v Noril'skom rayone [Possibilities of self-enrichment with ore matter and heavy sulfur isotope (34S) of mantle magmas that form Pt-Cu-Ni deposits and a promising place for localization of ores in the Noril'sk region], *Otechestvennaya geologiya*, 2019, No. 3, P. 32–49. (In Russ.).
10. *Likhachev A. P.* Vozmozhnyye prichiny i usloviya tesnoy assotsiatsii zolota s sul'fidami i kvartsem [Possible causes and conditions of close association of gold with sulfides and quartz], *Otechestvennaya geologiya*, 2016, No. 2, P. 41–52. (In Russ.).
11. *Likhachev A. P.* K voprosam obrazovaniya, povedeniya i fraktsionirovaniya khimicheskikh elementov, ikh izotopov i mineralov v prirodnykh protsessakh [On the formation, behavior and fractionation of chemical elements, their isotopes and minerals in natural processes], *Otechestvennaya geologiya*, 2017, No. 6, P. 80–93. (In Russ.).
12. *Likhachev A. P.* Neproizvol'naya sushchnost' geologicheskikh i drugikh prirodnykh protsessov i opredelyayushchaya rol' vody v ikh proyavlenii [The involuntary essence of geological and other natural processes and the determining role of water in their manifestation], *Otechestvennaya geologiya*, 2018, No. 6, P. 67–76. (In Russ.).
13. *Likhachev A. P.* O povedenii khimicheskikh elementov v magmaticheskikh i gidrotermal'nykh protsessakh [On the behavior of chemical elements in magmatic and hydrothermal processes], *ZVMO*, 1975, Is. 6, P. 649–663. (In Russ.).
14. *Likhachev A. P.* Obshchaya zakonmernost' razmeshcheniya mestorozhdeniy zolota po glubinnym geofizicheskim dannym [General regularity of the location of gold deposits according to deep geophysical data], *Otechestvennaya geologiya*, 2012, No. 6, P. 13–29. (In Russ.).
15. *Likhachev A. P.* Pereotlozheniye rudogennykh i petrogenykh komponentov vodnymi rastvorami [Redeposition of ore and petrogenic components by aqueous solutions], *Geokhimiya*, 1975, No. 10, P. 1459–1474. (In Russ.).
16. *Likhachev A. P.* Planety zemnoy gruppy kak tverdye ostatki (yadra) obychnykh preimushchestvenno gazovykh planet, poteryavshikh gazovuyu sostavlyayushchuyu pri pervonachal'noy vspyshke Solntsa [Planets of the terrestrial group as solid remnants (cores) of ordinary, predominantly gaseous planets that have lost their gas component during the initial solar flare], *Otechestvennaya geologiya*, 2014, No. 3, P. 89–100. (In Russ.).
17. *Likhachev A. P.* Platino-medno-nikelevyye i platinovyye mestorozhdeniya [Platinum-copper-nickel and platinum deposits], Moscow, Eslan publ., 2006, 496 p. (In Russ.).
18. *Likhachev A. P.* Prichiny i usloviya sushchestvovaniya magnitnykh i nemagnitnykh poley zemnoy kory, opredelyayushchikh formirovaniye i razmeshcheniye mestorozhdeniy zolota, almazov, nefiti, gaza i drugikh poleznykh iskopayemykh [Reasons and conditions for the existence of magnetic and non-magnetic fields of the earth's crust, which determine the formation and placement of deposits of gold, diamonds, oil, gas and other minerals], *Otechestvennaya geologiya*, 2013, No. 6, P. 40–50. (In Russ.).
19. *Likhachev A. P.* Spetsificheskiye osobennosti noril'skikh rudosnykh intruziy, ikh priroda i opredelyayushcheye znachenie v otkrytii Pt-Cu-Ni mestorozhdeniy [Specific features of the Noril'sk ore-bearing intrusions, their nature and decisive importance in the discovery of Pt-Cu-Ni deposits], *Otechestvennaya geologiya*, 2019, No. 5, P. 36–52. (In Russ.).
20. *Naumov G. B., Ryzhenko B. N., Khodakovskiy I. L.* Spravochnik termodinamicheskikh velichin [Handbook of thermodynamic quantities], Moscow, Atomizdat publ., 1971. (In Russ.).
21. *Andersen O.* The system anortite – forsterite – silica. *Am. Journ. Sci.* 1915, Ser. 4, Vol. 39, P. 407.
22. *Bowen N. L., Schairer J. F.* The system MgO–FeO–SiO₂, *American Journal of Science*, 1935, Ser. 5, Vol. 29, P. 197.
23. *Geology of Australian ore deposits.* Publ. 5th Min. and Metall. Congress, Australian and New Zealand. 1953. Vol. 1.
24. *Geology of Australian ore deposits,* 2-nd ed. Eighth Commonw, Min. and Metall, Australian and New Zealand, Melbourne, 1965, Vol. 1.
25. *Hakli T. A.* An attempt to apply the Makaopuhi nickel fractionation data to the temperature determination of a basic intrusive. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1968, V. 32, P. 449–460.

26. *Likhachev A. P.* Redeposition of ore-producing and petrogenetic components by aqueous solutions, *Geochemistry Internat*, 1975, V. 12, P. 101–113.
27. *Likhachev A. P.* General patterns in the distribution of gold and diamonds deposits, oil and gas fields, and accumulations of other minerals, Abstracts 35th international geological congress, cape town, S. A., 2016, Paper Number, 1850.
28. *Likhachev A. P.* Terrestrial planets as solid relicts (core) of conventional predominantly gas planets, lost the primary gas component under the influence of the shock wave produced during the initial outbreak of the stars, Abstracts 36th international geological congress, Delhi, India, 2020, Paper Number, 872.
29. *Magnetic anomaly map of Australia*, scale 1:5 000 000, Australia Government, 2004, Produced by Geoscience Australia.
30. *Sharp W. E.* Melting curves of sphalerite, galena, and pyrrhotite and decomposition curve of pyrite between 30–65 kilobars, *Journal of Geophysical Research*, 1969, Vol. 74, No. 6, Pp. 1646–1652.
31. *Sobolev A. V., Hofmann A. W., Kuzmin D. V. et al.* The amount of recycled crust in sources of mantle-derived melts, *Science Reprint*, 2007, V. 316, H. 412–417.
32. *Wyllie P. J.* Experimental limits for melting in the Earth's crust and upper mantle, *Geophys. Monog. Ser.*, 1971, 14, P. 279–301.

Плата с авторов за публикацию (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается.

Автор, подписывая статью и направляя ее в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на ее опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».

Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или намеченных к публикациям в других изданиях, не допускается.

Перспективы коренной золотоносности юга Сибирской платформы по результатам изучения морфо-геохимических особенностей шлихового золота

Приведены сведения о геологическом строении и полезных ископаемых южной части Сибирской платформы. Дана краткая характеристика шлиховых и коренных проявлений золота, распространённых в этом регионе. На основе исследования морфо-геохимических свойств шлихового золота с использованием электронной микроскопии выделены четыре его типа. Сделаны выводы о предполагаемых коренных источниках различных типов шлихового золота. С использованием ретроспективных данных и на основании собственных морфо-геохимических исследований шлихового золота охарактеризованы Усть-Илимская, Черноречинская и Бураевская золотоносные площади и определены их перспективы на выявление коренных золоторудных месторождений различных генетических типов.

Ключевые слова: платформа, траппы, долериты, туфы, диатрема, угольный бассейн, глубинный разлом, внутриконтинентальные палеорифты, шлиховое золото, коренные проявления, перспективные площади.

ЧЕТВЕРТАКОВ ИВАН ВАСИЛЬЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, инженер¹, chetvertakov.van@yandex.ru

ИВАНОВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора¹, aivanov@crust.irk.ru

МИХЕЕВА ЕКАТЕРИНА АНДРЕЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник¹, mikheeva@crust.irk.ru

ЧИКИШЕВА ТАТЬЯНА АЛЕКСАНДРОВНА, инженер, ст. преподаватель ИГУ^{1,3}, chikishevatyana@mail.ru

ЯКИЧ ТАМАРА ЮРЬЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, доцент², cherkasovatu@tpu.ru

¹ Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН), г. Иркутск

² Томский политехнический университет (ТПУ), г. Томск

³ Иркутский государственный университет (ИГУ), г. Иркутск

Prospects of primary gold potential in southern Siberian platform based on study results for placer gold morphological and geochemical features

I. V. CHETVERTAKOV¹, A. V. IVANOV¹, E. A. MIKHEEVA¹, T. A. CHIKISHEVA^{1,3}, T. Yu. YAKICH²

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

² Tomsk Polytechnic University, Tomsk

³ Irkutsk State University, Irkutsk

Data on geological structure and minerals of the southern Siberian platform are presented. Placer and primary gold occurrences widespread in this region are briefly characterized. Based on placer gold morphological and geochemical property studies using electron microscopy, its four types are revealed. Conclusions are made about potential primary sources of various placer gold types. Using retrospective data and based on the authors' placer gold morphological and geochemical studies, Ust-Ilimskaya, Chernorechinskaya and Buraevskaya gold areas are characterized, their prospects for discovering primary gold deposits of various genetic types are determined.

Key words: platform, traps, dolerites, tuffs, diatreme, coal basin, deep fault, intracontinental paleorifts, placer gold, primary occurrences, promising areas.

Шлиховые проявления золота на юге Сибирской платформы известны в бассейнах рек Ангара, Лена, Катанга (Подкаменная Тунгуска), Нижняя Тунгуска. Некоторые из этих проявлений даже разрабатывались кустарным способом начиная с 1830 г. [1]. Особенно много шлиховых проявлений золота на юге платформы было выявлено в 1950–1970-х годах в связи с началом масштабных поисковых работ на алмазы и форсированным проведением ГСР-200. Однако промышленные россыпи не были найдены: равнинный рельеф со слабыми уклонами речных долин неблагоприятен для формирования россыпей.

В юго-западном направлении шлиховые признаки золотоносности платформы ограничены складчатым обрамлением Восточного Саяна и Прибайкалья, а в северо-восточном – уходят за пределы Иркутской области в республику Саха (Якутия), где в бассейне р. Вилкой известны многочисленные шлиховые ореолы и мелкие россыпные месторождения золота (рис. 1).

На первом этапе геологических исследований считалось, что основным источником шлихового золота на юге Сибирской платформы являются юрские континентальные отложения, которые служили промежуточным коллектором кластогенного золота,

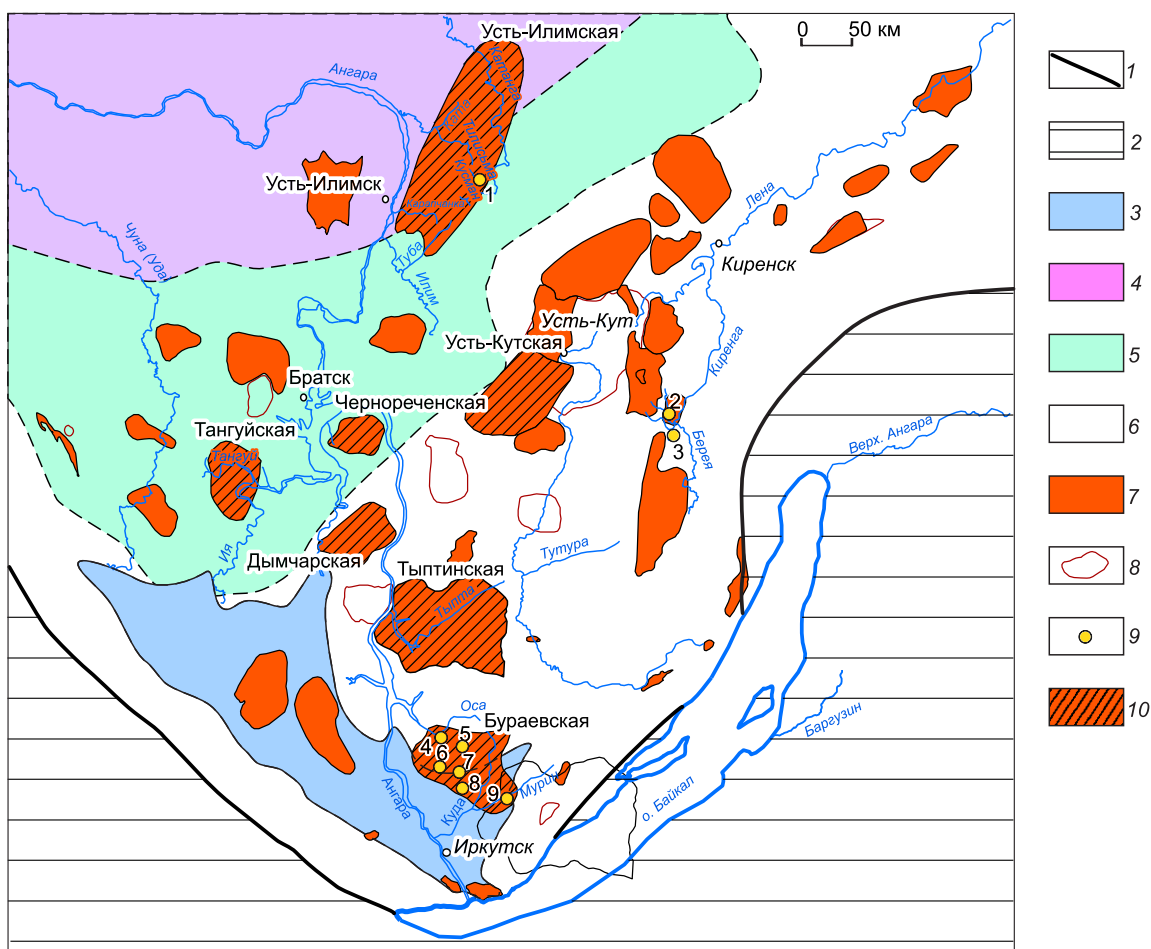


Рис. 1. Схема золотоносности юга Сибирской платформы:

1 – граница Сибирской платформы; 2 – горное обрамление; 3 – Иркутская мезозойская угленосная впадина; 4–6 – структурно-вещественные комплексы платформенного чехла: 4 – верхнепалеозойский структурный ярус (континентальные терригенные угленосные отложения с проявлениями траппового интрузивно-туфогенного магматизма), 5 – нижнепалеозойский структурный ярус (морские терригенно-карбонатные отложения с проявлениями интрузивного траппового магматизма), 6 – нижнепалеозойский структурный ярус амагматичный (морские терригенно-карбонатные отложения с пластами каменной соли в основании); 7 – ареалы шлиховых и геохимических признаков золотоносности; 8 – ареалы шлиховых и геохимических проявлений ртути; 9 – коренные проявления золота: 1 – Кусман, 2 – Охугиггинское, 3 – Мостовое, 4 – Грязнушка, 5 – Дундай, 6 – Вершина, 7 – Укыр-1, 8 – Укыр-2, 9 – Мурунское; 10 – перспективные площади для постановки первоочередных поисковых работ на золото

принесённого с горного обрамления платформы. Кроме этого, сопутствующая золоторудная минерализация была установлена в коренных месторождениях и проявлениях железа, марганца, меди, никеля, свинца, цинка, ртути. Промышленного значения она не имеет, но также могла быть источником шлихового золота.

По мере проведения обобщающих металлогенических и научных исследований появились предположения и выводы о наличии на платформе собственных золоторудных месторождений так называемого карлинского (невадийского) типа, представленных стратифицированными залежами вкрапленных руд с тонкодисперсным золотом.

Авторы исследовали шлиховое золото Усть-Илимской, Черноречинской и Бураевской золотоносных площадей с использованием электронной микроскопии. Цель данной работы заключалась в выяснении возможности определения генетических типов коренных источников по морфо-геохимическим признакам шлихового золота. Подобная возможность позволит существенно увеличить эффективность прогнозно-минералогических и поисковых работ.

Геологическое строение юга Сибирской платформы. Описание геологического строения площади даётся по данным геологосъёмочных работ [1], если не указаны другие источники. Средняя мощность осадочного чехла на юге платформы около 4 км. В пределах опущенных блоков мощность чехла увеличивается до 5,5 км, а на сводовых поднятиях уменьшается до 3,5 км. В строении платформенного чехла чётко выделяются три структурных яруса: нижнепалеозойский, верхнепалеозойский и мезозойский. Отложения нижнего палеозоя представлены морскими терригенно-карбонатными отложениями кембрия, ордовика и силура (ангарская, литвинцевская, верхоленская, илгинская, усть-кутская, мамырская, братская, кежемская и ярская свиты). В нижнекембрийских отложениях ангарской свиты содержатся пласты каменной соли мощностью до 20 м. В верхнекембрийских отложениях илгинской свиты встречаются прослои медистых песчаников, а в верхнеордовикских отложениях – линзы фосфоритов и лимонит-марганцевых руд.

Континентальные терригенные отложения верхнепалеозойского яруса (тушамская, катская и пелятинская свиты) залегают на нижнепалеозойском структурном ярусе с размывом и угловым несогласием. На поверхности они обнажаются в северо-западной части площади, где слагают юго-восточное крыло Тунгусской синеклизы. Здесь они представлены ритмичным переслаиванием песчаников, алевролитов, аргиллитов с прослоями мелкогалечных конгломератов и углей.

В нижнекарбонатовых песчаниках тушамской свиты встречаются прослои туффитов, туфопесчаников и туфов кислого состава. Вероятно, кислый магматизм этого возраста проходил на фоне затухания базитового и кимберлитового магматизма Якутско-Вилуйской провинции, начавшегося в девоне и продолжавшегося с перерывами до раннего карбона на востоке Сибирской платформы [3]. На границе перми и триаса рассматриваемая часть платформы подверглась тектоно-магматической активизации с интенсивным проявлением трещинных дислокаций и траппового магматизма [14]. Он привёл к формированию пирокластической толщи корвунчанской свиты мощностью до 300 м и внедрению протяжённых силлов долеритового состава. В туфах наряду с обломками витрофирового стекла много ксеногенного материала нижежащих пород. Широко распространены кольцевые вулканотектонические структуры: кальдеры с трапповыми ограничениями, тектонические впадины, вулкано-инъективные поднятия до 20 км в поперечнике.

Вулканогенно-осадочная толща и подстилающие её палеозойские отложения прорываются трапповыми интрузиями в форме силлов, даек и тел неправильной формы. Особое положение в структуре траппового магматизма занимают туфовые диатремы до 1 км в поперечнике, формировавшиеся в результате внедрения горячей магмы в водонасыщенные и соленосные горизонты. Диатремы прорывают как раннюю туфогенную толщу, так и трапповые интрузии, однако данные U-Pb датирования показывают, что их формирование было всего на 500 тыс. лет моложе внедрения большинства долеритовых силлов [14].

В диатремах жерловые фации туфов претерпели интенсивное скарирование и другие гидротермально-метасоматические изменения (карбонатизацию, окварцевание, цеолитизацию, аргиллизацию) и вмещают железорудные месторождения ангаро-илимского типа: Коршуновское, Ермаковское, Тубинское, Бериканское, Молдаванское и др. [6, 7]. Рудные тела этих месторождений представляют собой штокверковые залежи кальцит-гематит-магнетитового состава с жилами сливных магнетитовых руд. На верхних уровнях слабоэродированных диатрем содержатся кварцевые и карбонат-кварцевые жилы с пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, пентландитом, кинноварью и самородным золотом [10].

Пермо-триасовые траппы с размывом перекрываются юрскими континентальными угленосными отложениями с корой выветривания в основании. Эти отложения широко развиты в пределах Ангаро-Вилуйского прогиба северо-восточного простирания, который накладывается на юго-восточное крыло

Тунгусской синеклизы. Другая крупная структура, выполненная юрскими угленосными отложениями, – Иркутская впадина – имеет ортогональную северо-западную ориентировку.

Юрские отложения сложены в основном ритмично переслаивающимися серыми и тёмно-серыми аргиллитами и желтовато-серыми полимиктовыми песчаниками с признаками косой слоистости. Редко встречаются прослои кремво-серых алевролитов, чёрного сажистого угля, линзы и конкреции сидеритов. В подошве юрских отложений содержатся линзы слабосцементированных гравелитов и конгломератов с хорошо окатанной галькой белого халцедоновидного кварца, песчаников, гравелитов и мелкогалечных конгломератов. Редко встречается галька экзотических пород: кварцитов, гнейсов, гранодиоритов, гранитов, гранит-порфиров. Следует отметить, что в современных русловых отложениях галька экзотических пород встречается далеко за пределами развития юрских отложений, что указывает на их более широкое площадное распространение в дочетвертичное время.

В протолочках из юрских отложений встречаются касситерит, киноварь, золото. Золото, как правило, мелкое, кластогенное, с явными признаками окатанности, что позволяет считать юрские отложения промежуточным коллектором и одним из источников шлихового золота в современном аллювии.

В подошве юрских отложений установлены коры выветривания, которые развиваются по триасовым туфогенно-осадочным отложениям, трапповым интрузиям и по вмещающим их палеозойским карбонатно-терригенным отложениям. Коры выветривания имеют каолинит-монтмориллонитовый состав и достигают мощности 15 м и более. В ряде мест в корях выветривания установлены проявления золота, такие как Охугигинское, Мостовое, Укыр-1, Укыр-2 (рис. 1).

В четвертичное время речная сеть, по-видимому, неоднократно реорганизовывалась в результате катастрофических сбросов воды из Байкала. Это затрудняет интерпретацию шлиховых данных в бассейне р. Ангара, поскольку катастрофические сбросы воды формировали новые русла, перетоки воды и приводили к перемещению больших объёмов рыхлого материала [13].

Возможные источники шлихового золота на юге Сибирской платформы. В период проектирования и строительства трассы БАМ сведения о золотоносности Сибирской платформы на территории Иркутской области были обобщены металлогенической партией ПГО «Иркутскгеология» под руководством Н. Г. Ключанского. Авторы этих исследований (Н. Г. Ключанский, С. М. Ткалич, Т. П. Фаленко) при-

шли к выводу о широком распространении в чехле платформы телетермальной золото-полиметаллической минерализации и о её генетической связи с пермотриасовой тектоно-магматической активизацией, возраст которой считался раннемезозойским. Отмечался чётко проявленный структурный контроль оруденения. Рудная минерализация приурочена к системам разломов северо-восточного, субширотного и субмеридионального направления и к узлам их пересечений. На телетермальный генезис рудной золотосодержащей минерализации указывает тесная ассоциация золота с ртутью во многих коренных рудопроявлениях и геохимических ореолах.

Источником телетермальной золото-ртутной минерализации могут служить золоторудные месторождения карлинского типа, подобные месторождениям Северо-Американской платформы [5]. По мнению М. М. Константинова, подобные месторождения могут быть связаны с метасоматитами в зонах глубоких разломов и палеорифтов. В качестве важного поискового критерия им отмечается приуроченность месторождений карлинского типа к границам крупных гравитационных аномалий, связанных с зеленокаменными поясами в фундаменте кратонов. Другим поисковым критерием месторождений карлинского типа является их приуроченность к периферии бассейнов угленакопления. Это объясняется участием процессов рифтогенеза в заложении и формировании угольных бассейнов.

К зонам платформенных палеорифтов могут быть приурочены золото-серебряные месторождения, генетически связанные с проявлениями андезит-дацитового вулканизма. Так, на Северо-Американской платформе известно крупное золото-серебряное месторождение Крипл-Крик, локализованное в зоне Скального палеорифта. Признаки подобного оруденения выявлены на востоке Сибирской платформы в зоне Кемпендйских дислокаций [8].

На юге Сибирской платформы неоднократно существовали благоприятные условия для формирования месторождений гидрогенного типа, связанных с образованием латеритных кор выветривания в платформенном чехле на границах структурного несогласия. К числу гидрогенных месторождений М. М. Константинов относит крупное золоторудное месторождение Куранах, расположенное на северном склоне Алданского щита [5]. Оно приурочено к поверхности несогласия в подошве мезозойских континентальных отложений, залегающих на палеозойских терригенно-карбонатных отложениях с корой выветривания в основании. На юге Сибирской платформы древние латеритные коры выветривания с признаками золотоносности установлены на Буравской площади (проявления Грязнушка, Укыр-1,

Укыр-2). С палеоген-неогеновыми корами выветривания связаны Охугиггинское и Мостовое проявления на левом берегу р. Киренга (см. рис. 1).

Группа геологов ВостСибНИИГГиМСа под руководством Ю. И. Тверитинова [11] в начале 2000-х годов занималась прогнозированием золотого оруденения на юге Сибирской платформы и в её обрамлении. Они высказали гипотезу о связи золотого оруденения с мегаструктурами центрального типа (геоконами) радиусом 650–700 км. В частности, был выделен Ангарский геокон, включающий Ангаро-Тунгусский золоторудный пояс. Предполагалось, что геоконны связаны с глубинными перемещениями крупных масс мантийного вещества (астенолитов) в верхние слои мантии и с их воздействием на вышележащие участки земной коры. В случае, когда такой участок расположен на территории платформы, происходит её активизация с образованием глубинных разломов, рифтовых зон и тектонических нарушений с проявлениями траппового магматизма. При этом золото из зеленокаменных пород фундамента может перетлагаться в отложения чехла платформы.

Среднее содержание золота в интрузивах трапповой формации составляет 4 мг/т с вариациями от 3 до 12 мг/т в наименее и наиболее дифференцированных разностях, соответственно [15]. Долгое время считалось, что трапповый магматизм основного состава не продуктивен на золото [9]. При раскристаллизации интрузии ни в одном из породобразующих минералов не происходит избирательного накопления золота. Только незначительная часть золота выносится из расплава с флюидной фазой и концентрируется в контактово-метасоматических продуктах, в основном в сульфидах меди. При благоприятных обстоятельствах в контактово-метасоматических образованиях по породам кровли может сформироваться собственная золоторудная или золото-платиновая минерализация [17].

Большой интерес, с точки зрения продуктивности траппового магматизма на золото, представляет золотоносность туфовых диатрем с железорудными месторождениями ангаро-илимского типа. В результате экспериментальных исследований установлено, что источниками рудоносных флюидов в железорудных диатремах являются промежуточные очаги базальтовой магмы, внедрившейся в карбонатно-соленосные отложения подошвы платформенного чехла. Отделение флюидов от расплава происходит в результате ассимиляции доломитов и соленосных отложений при ретроградном кипении кристаллизующегося магматического очага [6]. Температура отделившихся флюидов ниже 1100 °С, а их весовая доля не превышает 1,5–2,0 %. Основными компонентами флюидов являются CO₂, CO, CH₄,

N₂, H₂O, H₂S, HCl, HF. Температурный диапазон метасоматических процессов очень широкий – от 820 (форстерит, шпинель) до 70 °С (гидротермальный кальцит). Золото-полиметаллическая минерализация формируется в верхних частях метасоматической колонны при температуре ниже 450 °С.

Методика работ. Исследования минералого-геохимических особенностей шлихового золота проведены авторами данной статьи с целью определения типа его коренных источников на юге Сибирской платформы, в пределах Иркутской области. Они выполнены на трёх имеющих различную структурную приуроченность перспективных площадях – Усть-Илимской, Чернореченской и Бураевской.

В полевой сезон 2019 г. авторы обследовали перспективные площади геологическими маршрутами с отбором шлиховых проб из аллювиальных и делювиальных отложений на территории известных шлиховых ореолов. Шлиховые пробы весом 35–40 кг промывались в лотке. После стандартной обработки минералогических проб исследования шлихов проводились при помощи бинокулярной лупы МИН-4 с извлечением свободного золота (рис. 2).

Извлечённое из шлихов золото анализировалось на электронном сканирующем микроскопе Tescan Vega 3 SBU с энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments (Томский политехнический университет, г. Томск).

Результаты исследований. Обработка результатов измерений и разделение золота на типы выполнены с учётом пробности (рис. 3), химического состава (см. таблицу), морфологии и внутреннего строения золотин (рис. 4). Всего на исследованных площадях выделено 4 типа шлихового золота.

I тип – высокопробное золото (900–1000 ‰) комковидной формы с мелкими вростками кварца, серицита, альбита (см. рис. 4, А). Встречается на всех изученных площадях. По аналогии с востоком Сибирской платформы [8] источниками высокопробного золота I типа предполагается золото-кварцевое оруденение докембрийского этапа. В современные отложения древнее золото может попасть из трапповых туфов, содержащих золотоносные обломки пород фундамента, а также из терригенных отложений осадочного чехла. Источником высокопробного золота может служить золото-платиновое оруденение в трапповых интрузиях и в их экзоконтактах. Такие проявления золото-платинового оруденения известны на севере Сибирской платформы [17]. Высокопробное золото содержат железные руды трапповых диатрем, обломки которых с повышенными содержаниями золота выявлены геологосъёмочными работами на Усть-Илимской площади.

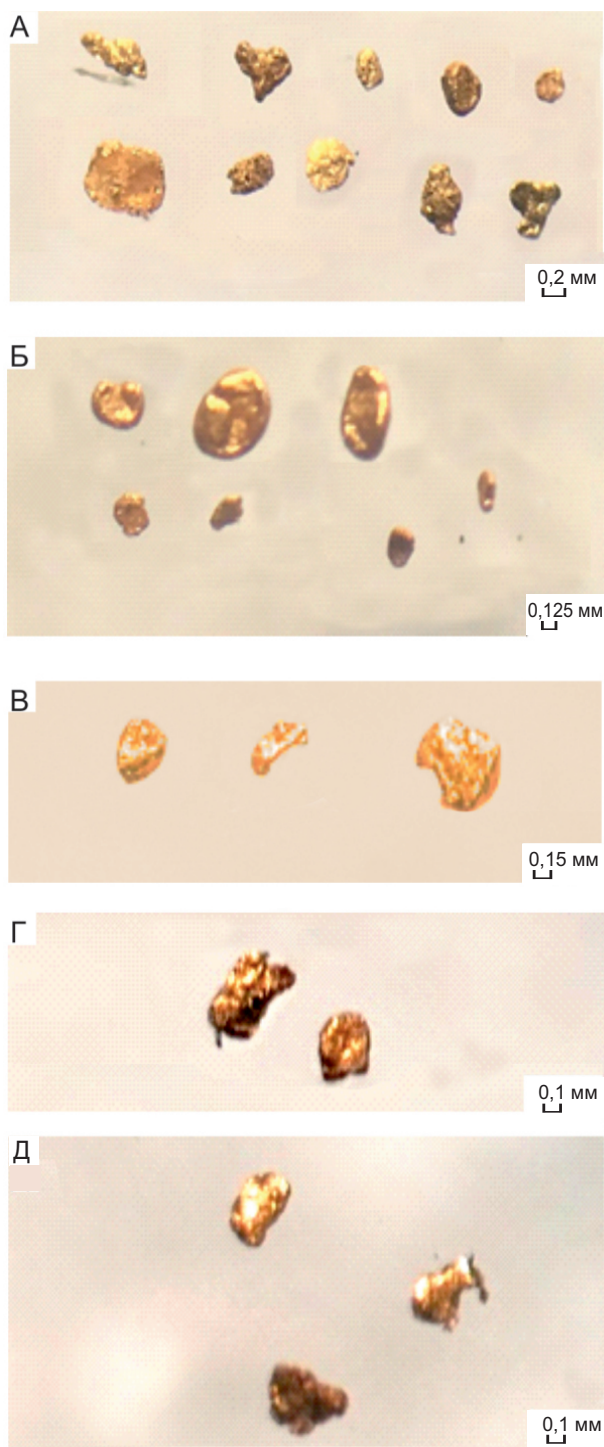


Рис. 2. Шлиховое золото с перспективных площадей на юге Сибирской платформы. Фото Т. А. Чикишевой:

площади: А – Усть-Илимская (из аллювиальных отложений р. Карапчанка), Б – Чернореченская (из аллювиальных отложений р. Чёрная Речка), В–Д – Бураевская: В – из делювиальных отложений на участке Дундай, Г – из аллювиальных отложений руч. Казаковский (участок Вершина), Д – из делювиальных отложений на участке Муринский

II тип – средне-низкопробное «хрупкое» золото (750–900 ‰) с содержанием серебра 10–25 %. Зёрна таблитчатой формы с шагреневой поверхностью, легко раскалываются на пластинки. По-видимому, они представляют собой псевдоморфозы по пириту. С поверхности зёрен и по микротрещинам средне-низкопробное золото замещается высокопробным золотом за счёт выщелачивания серебра и других элементов-примесей (см. рис. 4, Б). Распространено на Усть-Илимской и Бураевской площадях. Источником средне-низкопробного золота II типа может служить золото-серебряное оруденение, связанное с андезитовым вулканизмом в платформенных рифтогенных структурах, предположительно карбонового возраста. В республике Саха (Якутия) подобное золото установлено на Лено-Вилуйском междуречье в зоне Кемпендяйских дислокаций [8].

III тип – низкопробное ртутное золото (650–750 ‰) с содержанием Ag 25–35 % и Hg 2,02–2,84 %, в отдельных зёрнах до 15 %. Оно образует зёрна комковидной формы, светло-соломенного цвета (см. рисунки 2, В и 4, В), установленные в делювиальных отложениях проявления Дундай на Бураевской площади. Низкопробное ртутное золото III типа характерно для золото-ртутного оруденения карлинского типа [8].

IV тип – губчатое золото. Зёрна комковидной или овоидной формы губчатого строения, состоят из сростков мельчайших частиц высокопробного золота с гидроокислами железа и содержат вросстки серицита, пирита, кварца, ильменита, титанита. Для зёрен овоидной формы характерна мощная высокопробная оторочка (см. рис. 4, Г). Губчатое золото выявлено в аллювии р. Чёрная Речка на Черноречинской площади, в районе Ермаковского железорудного месторождения. Подобное золото широко распространено на Куранахском месторождении, а также в зоне Баппагайского глубинного разлома в устье р. Большой Патом [8]. По мнению М. М. Константинова, губчатое золото имеет гидрогенное происхождение и образуется в корях выветривания при окислении золотосодержащих сульфидов и химическом переотложении золота с участием метеорных вод [5].

Геологическое строение и перспективы золотонности изученных площадей. Усть-Илимская перспективная площадь (10 540 км²) расположена на сочленении Тунгусской синеклизы и Непско-Ботубинской антеклизы, в зоне интенсивного траппового магматизма (см. рис. 1). В пределах этой площади позднепермская–нижнетриасовая туфогенная толща мощностью 120–150 м (корвунчанская свита) залегает на отложениях верхнего палеозоя с размывом и корой выветривания в основании (рис. 5). Туфы прорываются мелкими телами долеритов и многочисленными туфовыми диатремами с месторождениями

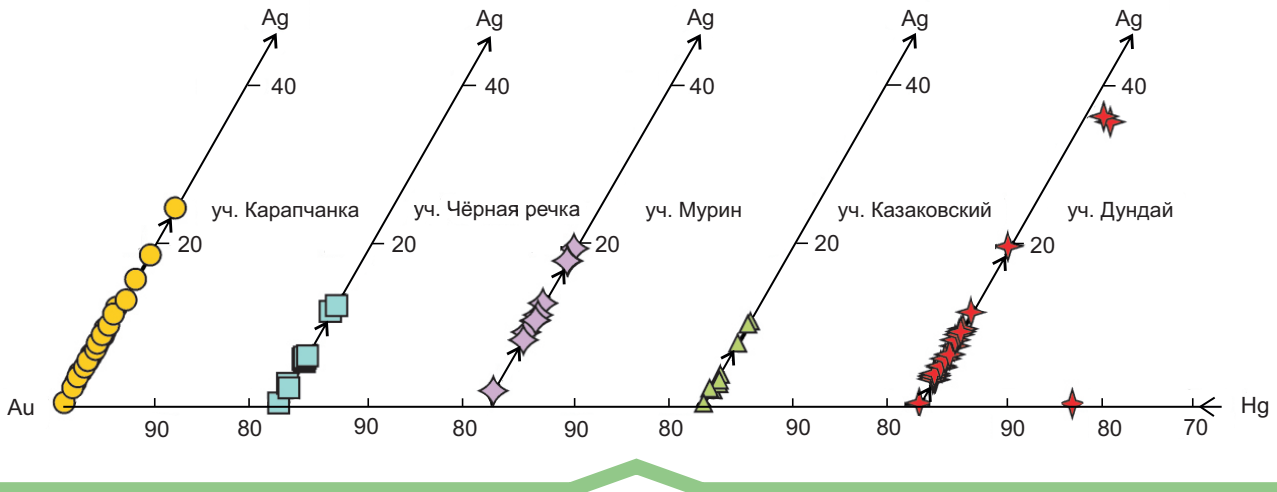


Рис. 3. Диаграмма химического состава шлихового золота в координатах Au–Ag–Hg

и проявлениями железных руд ангаро-илимского типа. Более крупные тела долеритов слагают мощные и протяжённые силлы, внедрившиеся в нижележащие пермо-карбоновые угленосные отложения (тушамская, катская и пеляткинская свиты).

Юрские континентальные отложения верхнего структурного яруса образуют крупные денудационные останцы на вершинах сопок. Они сложены песками, галечниками, валунниками с прослоями бурых углей. Эти отложения уплотнены и местами сцементированы до образования песчаников и конгломератов. В составе тяжёлой фракции установлены ильменит, магнетит, хромит, пирит, халькопирит, галенит, касситерит, золото. Зёрна золота, как правило, хорошо окатанны.

Усть-Илимская перспективная площадь приурочена к восточной границе Катского гравитационного максимума и структурно контролируется Илимo-Мурбайским глубинным разломом северо-северо-восточного простирания, который трассируется мощными долеритовыми силлами и цепочкой останцов юрских отложений. По существу, трапповые силлы в зоне разлома образуют единый сложнопостроенный многоэтажный силл мощностью 200–270 м и протяжённостью более 300 км при максимальной ширине до 50 км. О глубинном характере разлома свидетельствуют шлиховые ореолы хромита, единичные находки платины, пироба и алмазов в рыхлых отложениях. Следует отметить, что в зоне Илимo-Мурбайского глубинного разлома в подошве карбоновых отложений тушамской свиты установлены прослои туффитов, туфопесчаников и туфов с обломками кислых субвулканических пород.

В пределах Усть-Илимской перспективной площади установлены крупные шлиховые ореолы и от-

дельные шлиховые пробы с золотом (см. рис. 5). Наиболее изучен шлиховой ореол золота в истоках р. Карапчанка и правых притоков р. Туба. Поисковыми работами Северной экспедиции в верховьях р. Карапчанка выявлено россыпное проявление золота. По данным поисковых работ, золотоносный пласт с содержанием золота 0,27 г/м³ приурочен к приплотиковой части отложений первой надпойменной террасы. Золото золотисто-жёлтого цвета, иногда с красноватым оттенком, очень мелкое (0,01–0,1 мм), слабоокатанное или совсем неокатанное. Редкие более крупные зёрна (0,1–0,4 мм) пластинчатой формы и хорошо окатанные. Из минералов-спутников встречаются халькопирит, галенит, касситерит и осмистый иридий. Установлено, что источником осмистого иридия являются шпильеры микропегматита, развитые в эндоконтактных зонах трапповых силлов.

В валунно-галечной фракции золотоносного аллювия выявлены обломки халцедоновидного кварца, содержащие тонкие прожилки и вкрапленники альбита с просечками самородного золота. По данным пробирного анализа, содержания золота в халцедоновидном кварце 0,07–0,21 г/т. Халцедоновидный кварц характерен для золото-серебряной рудной формации, связанной с вулканизмом кислого состава. В пределах Усть-Илимской площади подобный вулканизм проявился в зоне Илимo-Мурбайского глубинного разлома в раннекарбоновое время, о чём свидетельствуют прослои туфов в песчаниках тушамской свиты с обломками кислых магматических пород: кератофилов, гранофилов, липаритовых и трахитовых порфилов, с признаками низкотемпературных гидротермальных изменений.

По данным минералогических исследований авторов статьи, в истоках р. Карапчанка преобладает

Химический состав шлихового золота на Юге Сибирской платформы
р. Карапчанка, Усть-Илимская площадь

Тип	Зерно	Номер	Минерал	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ag	Au	Hg	Σ, %
II	1_1	1	Au	0,9												99,1		100
	1_1	2	Au												10,89	89,11		100
	1_1	3	Au													100		100
	1_1	4	Au													100		100
	1_1	5	Au												10,18	89,82		100
II	1_2	6	Au	0,94											6,48	92,58		100
	1_2	7	Au	0,96											12,97	86,08		100
	1_2	8	Au	0,91											1,96	97,13		100
	1_2	9	Au	3,4											1,91	94,7		100
	1_2	10	Au	1,21												98,79		100
	1_3	11	Au	0,89											8,01	91,09		100
	1_3	12	Au												8,41	91,59		100
I	1_3	13	Qz	48,51				49,91								1,58		100
	1_3	14	Au	1,15											7,45	91,4		100
	1_4	16	Ser	47,5			10,17	30,28		11,46				0,58				100
	1_4	17	Au	1,29												98,71		100
IV	1_4	23	Ilmenit	26,26				0,57				26,75	1,67	31,89		12,87		100
	1_5	26	Au	1,29												98,71		100
II	1_5	27	Au+Ag												15,43	84,57		100
	1_6	30	Au	2,47											5,05	92,49		100
II	1_6	32	3Au+Ag	0,99											18,42	80,59		100
	1_6	33	Au+Ag	0											24,31	75,69		100
I	1_7	35	Au	1,24											6,06	92,7		100
	1_8	36	Au	10,67											2,7	86,63		100
II	1_8	37	Au	1,19											1,93	96,88		100
	1_8	38	Au	1,47											9,64	88,89		100
I	1_9	39	Au	1												99		100
	1_9	40	Au	1,35												98,65		100
I	1_10	41	Au	1,31											4,29	94,39		100
	1_10	46	Au	2,36											4,94	92,7		100

Продолжение таблицы

Тип	Зерно	Номер	Минерал	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ag	Au	Hg	Σ, %
р. Чёрная река, Черноречинская площадь																		
I	2_1	47	Au	3,2											5,47	91,33		100
	2_1	48	Au	0											5,36	94,64		100
	2_2	49	Au	0,98												99,02		100
IV	2_2	50	Qz+Au	45,06			0,35	38,49								16,1		100
	2_3	52	Au+Qz	10,32			0,53	2,32								86,82		100
I	2_3	55	Au	2,06												97,94		100
	2_4	59	Au	1,1										1,86	97,04		100	
IV	2_5	61	Au	0,97											99,03		100	
	2_6	64	Qz	49,43				50,57										100
I	2_6	65	Au	1,36											11,12	87,52		100
	2_6	66	Au	0										12,04	87,96		100	
	2_6	67	Ser+Oxide	44,39	4,03	2,02	8,95	26,32	0,7	1,91	0,74	0,82		3,49	2,27	4,38		100
IV	2_6	68	Ser+Oxide	48,66		1,23	8,29	24,91		6,93		1,05		2,31	2,1	4,53		100
	2_7	70	70_Au	2,89												97,11		100
	2_7	71	71_Au+Qz	35,42			0,3	21,29								42,99		100
IV	2_7	72	72_Au													100		100
	2_7	73	Au+Oxide+Ser	27,18		2,72	12	25,06		3,21	0,97			10,21		18,65		100
	2_7	75	Titanite+Au	24,72			1,06	5,53			8,15	7,8		0,65		52,1		100
II	2_7	76	Titanite+Au	20,9			0,74	4,46			6,26	6,55				61,08		100
	2_7	77	Qz+Au	34,73			0,48	20,54								44,25		100
	проявление Мурин, Буравская площадь																	
II	3_1	80	Au+Ag	1,79											18,16	80,05		100
	3_1	82	Au	1,19											12,06	86,75		100
	3_1	83	Au	1,26											10,87	87,87		100
I	3_1	84	Au+Ag	7,23				1,35							17,54	73,88		100
	3_1	85	Au+Ag												17,71	82,29		100
I	3_2	86	Au	0,79											1,41	97,8		100
	3_2	88	Au	1,3											7,89	90,8		100
	3_2	90	Au												10,37	89,63		100

Тип	Зерно	Номер	Минерал	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ag	Au	Hg	Σ, %
I	3_3	92	Au	1,26											8,78	89,96		100
	3_3	95	Au												8,76	91,24		100
III	4_1	96	Au												11,35	88,65		100
	4_1	97	Au+Ag+Hg	0,94											35,02	61,21	2,84	100
	4_1	98	Au+Ag	0,99											19,18	79,82		100
	4_1	99	Au	1,08											6,38	92,54		100
	4_1	101	Au	1,66											4,2	94,13		100
	4_1	102	Au+Ag+Hg	0,87											35,73	61,38	2,02	100
I	4_2	105	Au+Ser+Oxide	14,98			3,03	4,36		0,76				0,62	2,62	73,64		100
	4_2	107	Au	1,2											3,06	95,74		100
	4_2	109	Au												4,13	95,87		100
	4_2	110	Au												3,99	96,01		100
	4_2	112	Au	0											3,99	96,01		100
	4_3	113	Au					1,36							3,08	95,56		100
I	4_3	115	Au	0											4,87	95,13		100
	4_3	116	Au												5,5	94,5		100
	руч. Казаковский, проявление Вершина, Бураевская площадь																	
I	5_1	117	Au												2,31	97,69		100
	5_1	118	Au+Ser	4,72			0,33	0,92		0,36						93,68		100
	5_1	119	Au	7,72											2,86	89,42		100
	5_1	121	Au												2,05	97,95		100
II	5_2	122	Au													100		100
	5_2	123	Au	1,52											10,04	88,44		100
	5_2	125	Au												7,62	92,38		100
	5_2	128	Au	1,01												98,99		100
	5_2	129	Au	8,87											3,44	87,7		100
5_2	130	Au	1,45											9,86	88,69		100	

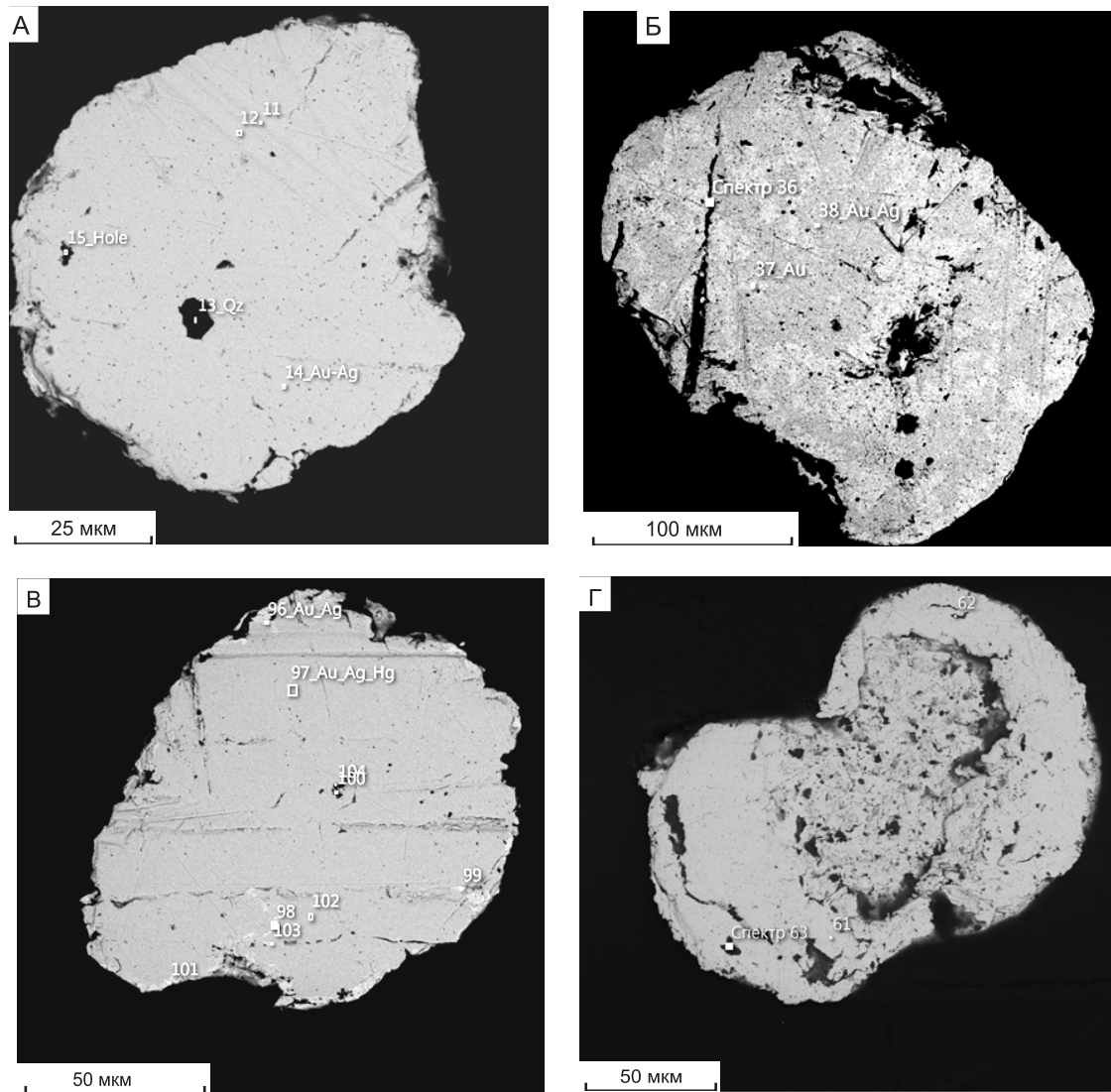


Рис. 4. Типы шлихового золота:

А – тип I (зерно 1_3, Усть-Илимская площадь, р. Карапчанка); Б – тип II (зерно 1_8, Усть-Илимская площадь, р. Карапчанка); В – тип III (зерно 4_1, Бураевская площадь, уч. Дундай); Г – тип IV (зерно 2_5, Чернореченская площадь, р. Чёрная Речка); числа на снимке – номера анализов в таблице

средне-низкопробное золото II-го типа с содержанием серебра от 10–18 до 24 % (см. табл. 1), что подтверждает возможный золото-серебряный тип источника. Выявлено так же высокопробное золото I типа, источник которого неясен. Им могут служить золото-содержащие магнетитовые руды ангаро-илимского типа или эндоконтактные зоны слабодифференцированных долеритовых силлов с золото-платиновой минерализацией. Обломки этих пород с повышенными содержаниями золота встречаются в русловом аллювии р. Карапчанка.

Второй крупный шлиховой ореол золота площадью 170 км² расположен на водоразделе рек Тилисьма–Кусман (см. рис. 5). В его пределах золото установлено в 12 шлиховых пробах в количестве до 15 знаков на шлих [1]. Цвет золота золотисто-жёлтый с красноватым оттенком. Размер зёрен 0,1–1,2 мм, окатанность – 40 %.

На северной окраине этого ореола, в долине левого притока р. Тилисьма, установлен шлиховой поток киновари в ассоциации с золотом (10 проб). Геологическими работами в головке потока выявлено

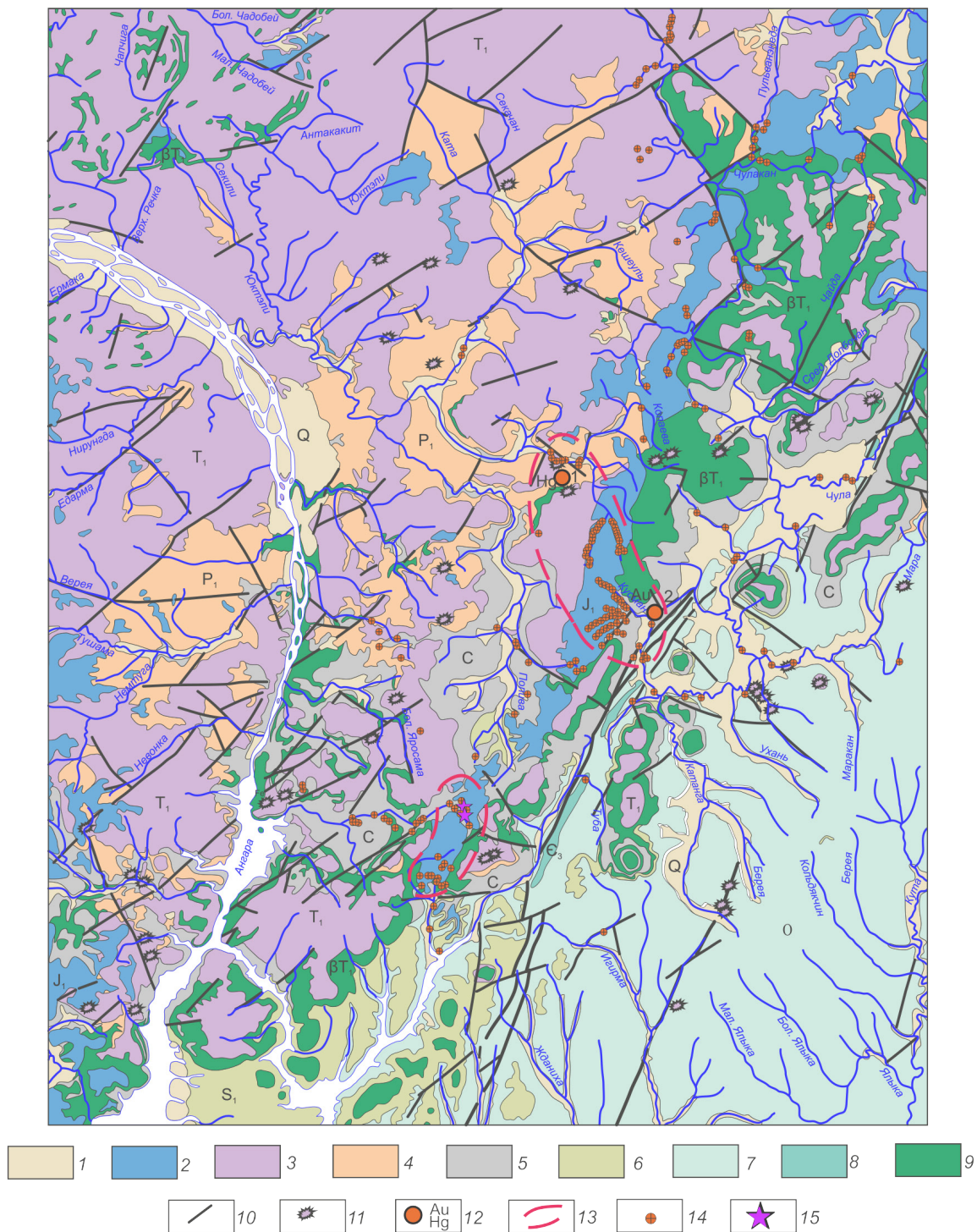


Рис. 5. Схема геологического строения Усть-Илимской площади:

1 – четвертичные отложения, Q; 2–8 – отложения чехла платформы: 2 – нижнеюрские терригенные, J₁, 3 – нижнетриасовые трапповые туфогенно-терригенные, T₁, 4 – нижнепермские терригенные, P₁, 5 – карбоновые терригенные угленосные, C, 6 – нижнесилурийские карбонатно-терригенные пестроцветные, S₁, 7 – ордовикские карбонатно-терригенные сероцветные, O, 8 – верхнекембрийские карбонатно-терригенные пестроцветные, C; 9 – раннетриасовые трапповые интрузии долеритов, βT₁; 10 – разрывные нарушения; 11 – туфовые диатремы с железорудной минерализацией (Fe); 12 – коренные проявления золота и ртути (1 – Вершина, 2 – Кусманское); 13 – шлиховые ореолы золота; 14 – шлиховые пробы с содержанием золота; 15 – места отбора шлихового золота на микрозондовый анализ

коренное проявление ртути под названием Вершина, приуроченное к туфовой диатреме (см. рис. 5).

На южной окраине ореола, в верховьях р. Кусман, в шлиховых пробах в ассоциации с золотом установлен касситерит до 12 зёрен на шлик. На этом участке р. Кусман дренирует тектоническую зону северо-северо-западного (субмеридионального) простирания, мощностью до 500 м. В пределах этой тектонической зоны локализовано Кусманское проявление золота (см. рис. 5). По данным геологосъёмочных работ (ГДП-200), оно представлено линзами и желваками лимонит-кремнистых пород с содержаниями золота в пределах 0,01–0,06 г/т, развитыми в катаклазированных и интенсивно лимонитизированных песчаниках катской свиты.

Минеральная ассоциация золото+касситерит+киноварь, установленная в пределах Тилисьминского ореола, характерна для слабоэродированных туфовых диатрем с железорудной минерализацией [10].

Проведённые авторами настоящей статьи минералогические исследования и данные предшественников свидетельствуют о наличии на Усть-Илимской площади золотого оруденения верхнепалеозой-мезозойского возраста, в том числе и промышленно значимых типов. По размерам и минерагенической специализации Усть-Илимская перспективная площадь соответствует крупному Ангаро-Катскому золото-железородному району. Рекомендуется продолжить минерагенические исследования этого района с целью уточнения его перспектив на золотое оруденение.

Чернореченская перспективная площадь (1700 км²) расположена на стрелке между Братским морем и Ийским заливом, в пределах крупной кольцевой морфоструктуры, хорошо выраженной в рельефе (см. рис. 1). В центре этой морфоструктуры расположена туфовая диатрема, вмещающая известное Ермаковское месторождение железа. Трапповый магматизм здесь проявился в полосе северо-восточного простирания в виде мелких долеритовых силлов, залегающих в ордовикских и силлурийских отложениях (рис. 6).

К северо-востоку от Ермаковского месторождения, в долине р. Чёрная Речка, выявлен крупный шлиховой ореол золота площадью около 20 км² [1]. В пределах этого ореола золото установлено в 26 пробах из аллювиальных отложений – в среднем течении реки и в её правых притоках. Форма зёрен тороидальная, реже угловатая, пластинчатая, кубическая, звёздчатая. Непосредственно под шлиховым ореолом гравиметрией установлены локальные минимумы Δg , которые интерпретируются как кальдеры обрушения. Штуфным опробованием повышенные содержания золота установлены в приконтактных зонах долеритовых траппов [1]. В породах

Ермаковского месторождения (магнетитовые руды, скарны, изменённые туфы) золота не обнаружено.

В контуре Черноречинского ореола из пойменного аллювия были отобраны и промыты 10 шлиховых проб весом 35–40 кг каждая (см. рис. 6). Извлечённое из проб шлиховое золото золотисто-жёлтое, овоидной лепёшковидной или комковидной формы, очень мелкое (см. рис. 2, Б). Размер золотин колеблется от 0,04 до 0,1 мм.

По данным электронной микроскопии, в пределах описанного шлихового ореола преобладает губчатое золото IV типа в виде мелких тороидальных зёрен с мощной высокопробной оторочкой (см. рис. 4, Г). Источником этого золота может быть оруденение гидрогенного типа. Округлые формы золотин характерны для верхней зоны кор выветривания [5]. Наличие гидрогенного золота свидетельствует об определённых перспективах Черноречинской площади на оруденение типа древних кор выветривания.

Реже в шлиховых пробах встречаются комковидные и призматические зёрна высокопробного золота I типа, источниками которых могут быть приконтактные зоны трапповых силлов, в которых при проведении геологосъёмочных работ установлены повышенные содержания золота. Трапповое золото может служить источником гидрогенного.

Бураевская перспективная площадь (5870 км²) расположена на правом берегу р. Ангары в 100 км северо-восточнее г. Иркутска (см. рис. 1). Структурно она приурочена к зоне сочленения Сибирской платформы с Хамар-Дабанским выступом фундамента. Активизация южного края платформы проявилась в интенсивных трещинных дислокациях и формировании угленосной юрской впадины, наложенной на палеозойские структуры чехла с корой выветривания в основании. В качестве перспективной Бураевская площадь выделена в процессе проведения ГДП-1000 листа N-48 с рекомендациями провести в её пределах специализированные поисковые работы на золотое оруденение невадийского (карлинского) типа [1]. Эти работы были выполнены Иркутской геологической экспедицией под руководством Е. Д. Дорохиной (2003–2005). При их проведении установлены проявления золоторудной минерализации нескольких генетических типов:

- 1) золоторудная минерализация карлинского типа в кембрийских карбонатно-терригенных породах литвинцевской и верхоленской свит (проявления Дундай, Вершина);
- 2) золото-серебряная (?) минерализация в юрских континентальных отложениях (Муринское проявление);
- 3) золотоносные предъюрские коры выветривания по минерализованным кембрийским алевролитам

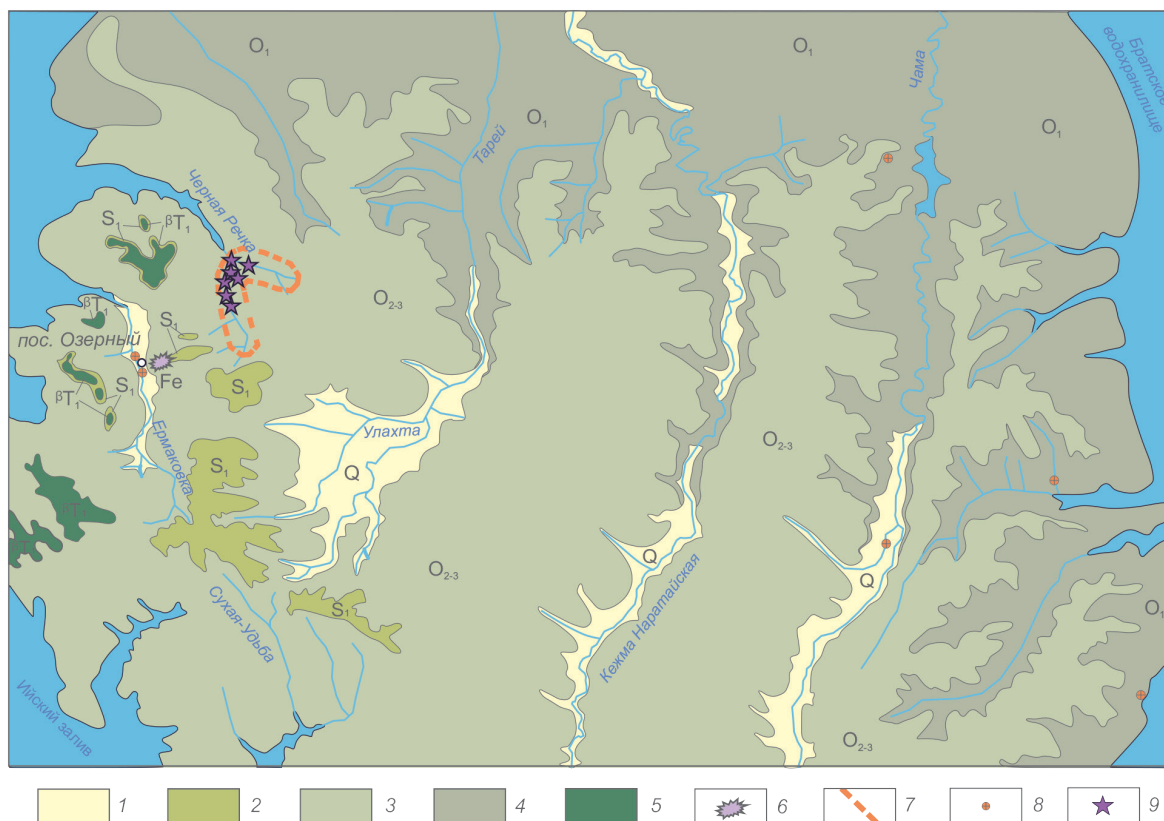


Рис. 6. Схема геологического строения Черноречинской площади:

1 – четвертичные отложения, Q; 2–4 – отложения чехла платформы: 2 – нижнесилурийские терригенные, S_1 , 3 – средне-, верхнеордовикские карбонатно-терригенные, O_{2-3} , 4 – нижнеордовикские карбонатно-терригенные, O_1 ; 5 – раннетриассовые трапповые интрузии долеритов, βT_1 ; 6 – Ермаковское месторождение железных руд; 7 – шлиховые ореолы золота; 8 – отдельные шлиховые пробы с золотом; 9 – места отбора шлихового золота на микрозондовый анализ

верхоленской свиты, которые контролируются поверхностью несогласия между кембрийскими карбонатно-терригенными отложениями и юрскими континентальными осадками угленосной впадины (проявления Укыр-1, Укыр-2);

4) линейные коры выветривания мел-палеогенового возраста по закарстованным доломитам литвинцевской свиты (проявление Грязнушка).

Проявление Дундай расположено в двух километрах северо-восточнее одноимённой деревни, на левом борту ручья – правого притока р. Ида. Горными работами здесь оконтурен делювиальный шлиховой ореол золота размером $1,5 \times 0,6$ км. Золото мелкое – $0,05-0,4$ мм, рудного облика. Отмечались сростки золота с баритом и кварцем. Сопутствующие минералы – пирит, арсенопирит, галенит, киноварь, барит, гематит. Шлиховой ореол сопровождается вторичными геохимическими ореолами золота, мышьяка, меди, олова, серебра, ртути, бария.

На площади ореола вскрыты пологозалегающие красноцветные отложения верхоленской свиты, испытавшие в зоне разлома гидротермально-метасоматические преобразования: аргиллизацию, хлоритизацию, карбонатизацию, пиритизацию, баритизацию, окварцевание. В метасоматически изменённых песчаниках и алевролитах выявлены субогласные минерализованные зоны мощностью $0,5-1,8$ м, с содержанием золота $0,2-1,5$ г/т. Оруденение отнесено к карлинскому типу, однако перспективы выявления промышленных рудных залежей по результатам поисковых работ оценивались невысоко.

Выполненные авторами статьи минералогические исследования подтверждают выводы авторов отчёта о поисковых работах. В делювиальном шлиховом ореоле установлено золото III типа – низкопробное, с высоким содержанием серебра и ртути (см. таблицу), что характерно для оруденения карлинского типа.

На участках *Вершина*, *Укыр-1* и *Укыр-2* выявлено два рудоконтролирующих фактора: пологая субсогласная тектоническая зона в кембрийских пестроцветных отложениях и зона структурного несогласия между кембрийскими и юрскими отложениями с древней корой выветривания.

На участке *Вершина* контакт между литвинцевской и верхоленской свитами тектонизирован и осложнён складками волочения в алевролитах верхоленской свиты. Доломиты литвинцевской свиты претерпели аргиллизацию, пиритизацию, баритизацию, окварцевание, вплоть до образования кварц-карбонатных метасоматитов (джаспероидов). Мощность линзовидных тел метасоматитов 0,5–0,7 м, протяжённость до 300 м. Минеральная ассоциация: тонкое золото, пирит, халькопирит, касситерит, киноварь, барит. Содержание золота в метасоматитах 0,1–2,2 г/т, меди – 0,02–0,04 %, серебра – 0,0006 %, бария до 1 %. Вышележащие алевролиты верхоленской свиты в зоне контакта аргиллизированы, сульфидизированы, окварцованы и имеют характерный голубоватый цвет. Содержания в них золота до 1,9 г/т.

Образования коры выветривания в подошве юрских отложений представлены ржаво-жёлтыми глинами с обломками алевролитов верхоленской свиты, интенсивно трещиноватых и лимонитизированных. Содержание золота в выветрелых породах достигает 3,9 г/т.

Авторами статьи опробованы аллювиальные отложения руч. Казаковский, дренирующего проявление золота в кембрийских отложениях на участке *Вершина*. В аллювии установлено высокопробное золото I типа и средне-низкопробное золото II типа (см. таблицу). Незначительный объём опробования не позволяет уверенно судить об источнике золота. Возможно, им является не минерализованная зона проявления *Вершина*, а юрские континентальные отложения, развитые в истоках руч. Казаковский.

Структурная позиция и геологическое строение описанных рудопоявлений аналогичны Куранахскому месторождению. Для уточнения генетического типа минерализации, необходимо исследовать золото непосредственно из минерализованных зон.

Муринское проявление локализовано в ядре Муринской антиклинали, осложняющей юго-восточный фланг Иркутской угленосной впадины. Оруденение локализовано в отложениях черемховской свиты, в разрезе которой, по данным авторов поисковых работ, выявлены вулканогенные породы (андезиты и их туфы). Последние подвержены эпигенетическим преобразованиям – окремнению, карбонатизации, гидрослюдизации и лимонитизации. Содержание в них золота до 3,0 г/т. Мощности рудных интервалов от 0,3 до 1,1 м. Золоторудная минерализация

сопровождается шлиховым ореолом золота, в ассоциации с пиритом, марказитом, баритом. Содержания золота знаковые, но в отдельных пробах достигают 150 знаков на шлик. На участке развиты вторичные ореолы золота, серебра, меди, мышьяка, ртути, марганца и хрома. Прогнозируемый тип оруденения – золото-серебряный.

Выполненное авторами данной статьи переопробование поисковых канав не подтвердило наличие там вулканитов, за которые, вероятно, были приняты пиропороды («горелики» по пластам бурых углей). В делювиальном шлиховом ореоле распространены высокопробное золото I типа и средне-низкопробное серебристое золото II типа (см. табл. 1). Содержания серебра в золоте II типа составляют 11–18 %, что характерно для низкотемпературного золото-серебряного типа оруденения. Примеси ртути в самом золоте не установлено, однако на участке широко развиты вторичные ореолы рассеяния ртути. Возможно, на участке *Мурин* мы имеем дело с новым, ещё не исследованным типом гидротермального оруденения в пиропородах («гореликах»). Пиропороды образуются при подземном горении угольных пластов, когда вмещающие песчаники плавятся до состояния магмы. При остывании и раскристаллизации подобных «магматических» тел могут формироваться обычные малоглубинные гидротермальные метасоматиты.

На Государственной геологической карте листа N-48 масштаба 1:1 000 000 (третье поколение) в границах Бураевской площади выделен Бураевский золоторудный район, включающий пять перспективных проявлений золота, выявленных поисковыми работами. Выполненные авторами статьи минералогические исследования подтверждают мнение авторов карты о том, что Бураевская площадь перспективна на оруденение карлинского и, возможно, золото-серебряного типов. Низкая эффективность поисковых работ объясняется дефицитом финансирования и незначительными объёмами бурения, в то время как выполненные маршрутные, геофизические, геохимические и горные работы в условиях равнинного рельефа с мощным чехлом рыхлых отложений оказались неэффективны.

Дискуссия и выводы. Наличие золотого оруденения в чехле Сибирской платформы не является чем-то экстраординарным и исключительным. Крупные месторождения золота в отложениях чехла известны и разрабатываются на Американской, Африканской и Австралийской платформах. Золоторудная минерализация установлена и в чехле Русской платформы [4, 12]. По данным Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН (г. Якутск), который давно занимается золотоносностью Сибирской

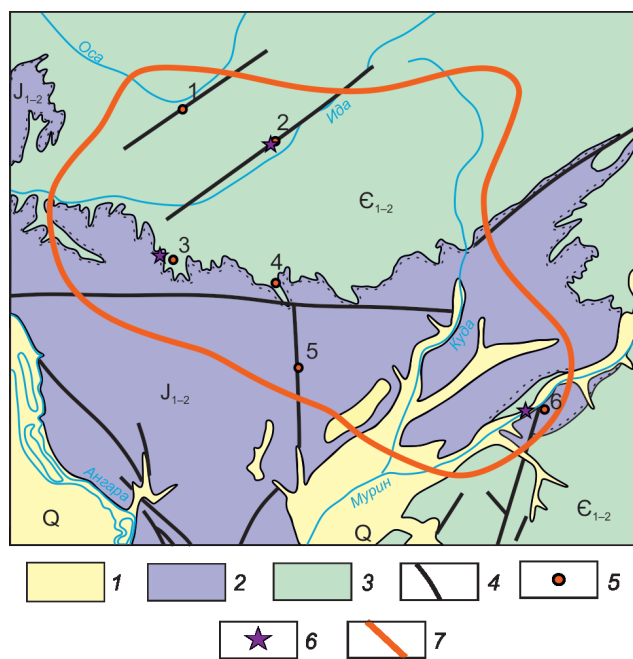


Рис. 7. Схема геологического строения Буреавской золотоносной площади:

1 – четвертичные отложения, Q; 2–3 – отложения чехла платформы: 2 – нижне-, среднеюрские терригенные, J₁₋₂; 3 – нижне-средне-кембрийские карбонатно-терригенные, C₁₋₂; 4 – разрывные нарушения; 5 – проявления золота (1 – Грязнушка, 2 – Дундай, 3 – Вершина, 4 – Укыр-1, 5 – Укыр-2, 6 – Муринское); 6 – места отбора шлихового золота на микрозондовый анализ; 7 – Буреавский прогнозируемый золото-рудный район

платформы, перспективы выявления коренных золоторудных месторождений установлены на многих её участках [8]. В обрамлении Анабарского щита прогнозируются месторождения карлинского типа, приуроченные к Молодо-Попигайской зоне разломов (Уджинский палеорифт). На р. Лена в районе устья Большого Патомы прогнозируются месторождения куранахского типа, локализованные в зоне Баппагайского глубинного разлома. На Лено-Виллюйском междуречье, в зоне Кемпендяйских дислокаций (Виллюйский палеорифт), прогнозируются месторождения золото-серебряной формации, приуроченные к полям вулканитов андезит-дацитового состава мелового (?) возраста. Здесь же установлены признаки золото-платиновой формации, связанной с трапповыми интрузиями долеритов.

На юге Сибирской платформы наибольший поисковый интерес представляет оруденение карлинского типа в палеозойских карбонатно-терригенных отложениях осадочного чехла. Для этого типа характерны крупные месторождения с запасами золота

до 500 т и более [5]. О наличии такого типа оруденения свидетельствует шлиховое золото с высоким содержанием серебра и ртути, установленное на Буреавской площади.

О наличии руд гидрогенного типа в древних корках выветривания (в том числе куранахского типа) может свидетельствовать губчатое золото, имеющее вид мелких тороидальных зёрен с губчатой сердцевиной и мощной высокопробной оторочкой. Округлые формы золотин характерны для верхней зоны коры выветривания. Авторами статьи губчатое золото установлено на Черноречинской площади, что свидетельствует о её перспективах на оруденение типа древних кор выветривания.

Возможно также выявление месторождений золото-серебряного типа в связи с позднепалеозойским субщелочным магматизмом кислого состава в зонах глубинных разломов. На это указывает наличие средне-низкопробного «хрупкого» золота в виде зёрен характерной таблитчатой формы, выявленного на Усть-Илимской и Буреавской площадях.

В заключение хочется отметить, что в южной части платформы шлихо-геохимические ареалы золота распространены на площади более 700 тыс. км², что по масштабам соответствует крупной золоторудной провинции (см. рис. 1). Тематическими работами Иркутского ПГО на этой площади оконтурены около 20 шлиховых ареалов золота, из них 7 ареалов рекомендованы в качестве перспективных площадей для постановки поисковых работ. Исследования авторов статьи выполнены только на трёх наиболее доступных площадях и по небольшому числу проб. Однако первые результаты обнадеживают. Очевидно, что опережающие шлихо-геохимические исследования с использованием электронной микроскопии помогут разбраковать известные ареалы шлихового золота по степени перспективности на определённые типы руд и более целенаправленно проводить поисковые работы.

При проектировании поисковых работ следует учесть наличие промежуточных коллекторов, особенно юрских континентальных отложений с кластогенным золотом. Дело в том, что при размыве этих отложений формируются обширные шлиховые и геохимические ореолы рассеяния золота, затрудняющие поиск коренных рудных объектов в палеозойских отложениях. Осложняющим моментом является также кардинальное изменение речной сети при катастрофических сбросах воды по р. Ангара из Байкала [13]. Негативное влияние на эффективность поисковых работ оказывают трапповые sillы, бронирующие обширные площади на водоразделах рек, и перекрытые четвертичными отложениями, заболоченные долины.

Равнинная слабообнажённая поверхность и наличие промежуточных коллекторов являются основными причинами того, что промышленных месторождений золота на платформе до настоящего времени не выявлено. Как показал опыт поисковых работ на Бураевской площади, для их эффективного проведения в условиях платформы потребуется разработка нового прогнозно-поискового комплекса с упором на картировочное и поисковое бурение.

Электронно-микроскопические исследования золота выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ 16-17-10068 и в рамках «программы повышения конкурентоспособности ТПУ». Авторы благодарят ООО ПК «СПИРИТ» и Инжиниринговый центр ИГУ за помощь в организации полевых исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист N-48. Объяснительная записка. – Иркутск–СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2009. 574 с.+12 вкл. (Минприроды России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГУНППГ «Иркутскгеофизика»).
2. Кандер В. М., Ключанский Н. Г. Эпитермальная рудная минерализация на юге Сибирской платформы и её связь с трапповым магматизмом // Траппы Сибирской платформы и их металлогения: тезисы докладов второго Всесоюзного совещания. – Иркутск, 1971. – С. 104–105.
3. Киселев А. И., Ярмолюк В. В., Иванов А. В., Егоров К. Н. Пространственно-временные отношения среднепалеозойских базитов и алмазоносных кимберлитов на северо-западном плече Вилюйского рифта (Сибирский кратон) // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 2. – С. 185–196.
4. Кальниченко С. С., Иванов Н. М., Филиппов В. П. и др. Основные типы золотосодержащих месторождений осадочного чехла центральной части Восточно-Европейской платформы // Руды и металлы. – 1995. – № 6. – С. 5–15.
5. Константинов М. М. Золоторудные провинции мира. – М.: Научный мир, 2006. – 355 с.
6. Мазуров М. П., Быкова В. Г. Моделирование процесса формирования неизотермической зональности магнетитовых скарнов в рудно-магматических флюидных системах интрузивных траппов юга Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58 (5). – С. 661–673.
7. Мазуров М. П., Гришина С. Н., Истомин В. Е., Тутов А. Т. Метасоматизм и рудообразование в контактах долеритов с соленосными отложениями чехла юга Сибирской платформы // Геология рудных месторождений. – 2007. – Т. 49, № 4. – С. 306–320.
8. Никифорова З. С. Перспективы золотоносности востока Сибирской платформы // Наука и образование. – 2016. – № 4. – С. 25–34.
9. Олейников Б. В. Возможности и характер связи свинцовой и золотой минерализации с трапповым магматизмом на основе геохимических данных // Траппы Сибирской платформы и их металлогения: тезисы докладов второго Всесоюзного совещания. – Иркутск, 1971. – С. 106–108.
10. Страхов Л. Г. Рудоносные вулканические аппараты Юга Сибирской платформы. – Новосибирск: Изд-во Наука, Сибирское отделение, 1978. – 117 с.
11. Тверитинов Ю. И., Тверитинова Т. Ю., Брант С. Б. и др. Прогнозирование золотого оруденения на юге Восточной Сибири и Дальнего Востока. Геологические и изотопно-геохимические аспекты. – Иркутск, 2006. – 224 с.
12. Филиппов В. П., Краснов А. Н., Иванов Н. М. Основные черты геолого-металлогенической позиции комплексных золотоносных россыпей центральной части Русской платформы и перспективы их освоения // Отечественная геология. – 2018. – № 6. – С. 14–24.
13. Arzhannikov S. G., Ivanov A. V., Arzhannikova A. V. et al. Catastrophic events in the Quaternary outflow history of Lake Baikal // Earth-Science Reviews. – 2018. – V. 177. – P. 76–113.
14. Burgess S.D., Bowring S.A. High-precision geochronology confirms voluminous magmatism before, during, and after Earth's most severe mass-extinction // Science Advances. – 2015. – V. 1. e1500470.
15. Ivanov A. V., Demonterova E. I., Marfin A. E. et al. PGE and Au in ore-free dolerite sills of the Siberian Traps: Estimation of initial metal concentrations in mafic melts // Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits. – 2019. – V. 39. – P. 107–108.
16. Latyshev A. V., Veselovskiy R. V., Ivanov A. V. Paleomagnetism of the Permian-Triassic intrusions from the Tunguska syncline and the Angara-Taseeva depression, Siberian Traps Large Igneous Province: Evidence of contrasting styles of magmatism // Tectonophysics. – 2018. – V. 723. – P. 41–55.
17. Sluzhenikin S. F., Mokhov A. V. Gold and silver in PGE–Cu–Ni and PGE ores of the Noril'sk deposits, Russia // Mineralium Deposita. – 2015. – V. 50. – P. 465–492.

REFERENCES

1. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'ye pokoleniye). Seriya Angaro-Yeniseyskaya. List N-48. Ob'yasnitel'naya zapiska* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Angara-Yenisei series. Sheet N-48. Explanatory letter], Irkutsk–St. Petersburg, Kartfabrika VSEGEI publ., 2009, 574 p.+12 vkl. (Minprirody Rossii, Rosnedra, FGUP «VSEGEI», FGUNPGP «Irkutskgeofizika»). (In Russ.).
2. *Kander V. M., Klyuchanskiy N. G. Epitermal'naya rudnaya mineralizatsiya na yuge Sibirskoy platformy i yeye svyaz' s trappovym magmatizmom* [Epithermal ore mineralization in the south of the Siberian platform and its relationship with trap magmatism], Trappy Sibirskoy platformy i ikh metallogeniya: tezisy dokladov vtorogo Vsesoyuznogo soveshchaniya, Irkutsk, 1971, P. 104–105. (In Russ.).
3. *Kiselev A. I., Yarmolyuk V. V., Ivanov A. V., Yegorov K. N. Prostranstvenno-vremennyye otnosheniya srednepaleozoyskikh bazitov i almazonosnykh kimberlitov na severozapadnom pleche Vilyuyskogo rifta (Sibirskiy kraton)* [Spatial-temporal relationships of Middle Paleozoic basic rocks and diamondiferous kimberlites in the north-western shoulder of the Vilyui rift (Siberian craton)], *Geologiya i geofizika*, 2014, V. 55, No. 2, P. 185–196. (In Russ.).
4. *Kal'nichenko S. S., Ivanov N. M., Filippov V. P. et al. Osnovnyye tipy zolotosoderzhashchikh mestorozhdeniy osadochnogo chekhla tsentral'noy chasti Vostochno-Yevropeyskoy platformy* [The main types of gold-bearing deposits of the sedimentary cover of the central part of the East European platform], *Rudy i metally*, 1995, No. 6, P. 5–15. (In Russ.).
5. *Konstantinov M. M. Zolotorudnyye provintsii mira* [Gold ore provinces of the world] (In Russ.), Moscow, Nauchnyy mir publ., 2006, 355 p. (In Russ.).
6. *Mazurov M. P., Bykova V. G. Modelirovaniye protsessa formirovaniya neizotermicheskoy zonal'nosti magnezial'nykh skarnov v rudno-magmaticheskikh flyuidnykh sistemakh intruzivnykh trappov yuga Sibirskoy platformy* [Modeling of the formation process of non-isothermal zoning of magnesian skarns in ore-magmatic fluid systems of intrusive traps in the south of the Siberian platform], *Geologiya i geofizika*, 2017, V. 58 (5), P. 661–673. (In Russ.).
7. *Mazurov M. P., Grishina S. N., Istomin V. Ye., Titov A. T. Metasomatizm i rudoobrazovaniye v kontaktakh doleritov s solenosnymi otlozheniyami chekhla yuga Sibirskoy platformy* [Metasomatism and ore formation in the contacts of dolerites with salt-bearing sediments of the southern Siberian platform cover], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2007, V. 49, No. 4, P. 306–320. (In Russ.).
8. *Nikiforova Z. S. Perspektivy zolotonosnosti vostoka Sibirskoy platformy* [Prospects for gold content in the east of the Siberian platform], *Nauka i obrazovaniye*, 2016, No. 4, P. 25–34. (In Russ.).
9. *Oleynikov B. V. Vozmozhnosti i kharakter svyazi svintsovoy i zolotoy mineralizatsii s trappovym magmatizmom na osnove geokhimicheskikh dannykh* [Possibilities and nature of the relationship between lead and gold mineralization and trap magmatism based on geochemical data], Trappy Sibirskoy platformy i ikh metallogeniya: tezisy dokladov vtorogo Vsesoyuznogo soveshchaniya, Irkutsk, 1971, P. 106–108. (In Russ.).
10. *Strakhov L. G. Rudonosnyye vulkanicheskiye apparaty Yuga Sibirskoy platformy* [Ore-bearing volcanic devices in the South of the Siberian platform], Novosibirsk, Nauka Sibirskoye otdeleniye publ., 1978, 117 p. (In Russ.).
11. *Tveritinov Yu. I., Tveritinova T. Yu., Brant S. B., Raskazov S. B., Brant I. S. Prognozirovaniye zolotogo orudneniya na yuge Vostochnoy Sibiri i Dal'nego Vostoka. Geologicheskiye i izotopno-geokhimicheskiye aspekty* [Forecasting gold mineralization in the south of Eastern Siberia and the Far East. Geological and isotope-geochemical aspects], Irkutsk, 2006, 224 p. (In Russ.).
12. *Fillipov V. P., Krasnov A. N., Ivanov N. M. Osnovnyye cherty geologo-metallogenicheskoy pozitsii kompleksnykh zolotonosnykh rosspyey tsentral'noy chasti Russkoy platformy i perspektivy ikh osvoyeniya* [The main features of the geological and metallogenic position of complex gold-bearing placers in the central part of the Russian platform and the prospects for their development], *Otechestvennaya geologiya*, 2018, No. 6, P. 14–24. (In Russ.).
13. *Arzhannikov S. G., Ivanov A. V., Arzhannikova A. V., Demonterova E. I., Jansen J. D., Preusser F., Kamenetsky V. S., Kamenetsky M. B. Catastrophic events in the Quaternary outflow history of Lake Baikal*, *Earth-Science Reviews*, 2018, V. 177, P. 76–113.
14. *Burgess S. D., Bowring S. A. High-precision geochronology confirms voluminous magmatism before, during, and after Earth's most severe mass-extinction*. *Science Advances*, 2015, V. 1, e1500470.
15. *Ivanov A. V., Demonterova E. I., Marfin A. E., Dudkin T. V., Fiorentini M. L., Kamenetsky V. S. PGE and Au in ore-free dolerite sills of the Siberian Traps: Estimation of initial metal concentrations in mafic melts*, *Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits*, 2019, V. 39, P. 107–108.
16. *Latyshev A. V., Veselovskiy R. V., Ivanov A. V. Paleomagnetism of the Permian-Triassic intrusions from the Tunguska syncline and the Angara-Taseeva depression, Siberian Traps Large Igneous Province: Evidence of contrasting styles of magmatism*. *Tectonophysics*. 2018, V. 723, P. 41–55.
17. *Sluzhenikin S. F., Mokhov A. V. Gold and silver in PGE–Cu–Ni and PGE ores of the Noril'sk deposits, Russia*. *Mineralium Deposita*. 2015, V. 50, P. 465–492.

70-летие Анатолия Иннокентьевича Иванова



17 февраля 2021 г. исполнилось 70 лет известному специалисту по геологической съёмке, поискам и оценке месторождений с подсчётом запасов рудных и неметаллических полезных ископаемых, научному руководителю ЦНИГРИ, академику Российской академии естественных наук, доктору геолого-минералогических наук **Анатолию Иннокентьевичу Иванову**.

Заслуженный геолог РФ, Почётный разведчик недр, первооткрыватель трёх месторождений золота и двух месторождений неметаллических полезных ископаемых Анатолий Иннокентьевич Иванов награждён медалями «За заслуги в разведке недр» (1984), «За трудовую доблесть» (1985), Почётной грамотой Президента Российской Федерации с нагрудным знаком (2019), медалью «Геолог Игорь Грамберг» (2020), удостоен звания «Человек года: ветеран-геологоразведчик России – 2019 г.». Он прошёл замечательный путь в профессии, внёс существенный вклад в укрепление минерально-сырьевой базы страны и сегодня прилагает много сил для того, чтобы ЦНИГРИ успешно работал и развивался.

Анатолий Иннокентьевич Иванов более 45 лет посвятил геологической съёмке, поискам и разведке месторождений полезных ископаемых. После окончания Иркутского государственного университета геологическая судьба подарила Анатолию Иннокентьевичу

годы интересных исследований на Патомском нагорье, в Западном Прибайкалье, в Восточном Саяне – именно тогда в полной мере раскрылся его талант геолога-поисковика. В 1973–1991 гг. он работал в ПГО «Иркутскгеология» геологом, старшим геологом, начальником партии, ведущим геологом. С 1992 по 2011 г. занимал пост генерального директора ЗАО «Офит» и ЗАО «Сибирская геологическая компания».

На основе составленных А. И. Ивановым прогнозных оценок и при его непосредственном участии выявлены Витимский железорудный узел и Тонодский олово-вольфрамовый район, месторождения рудного золота Ожерелье, Ыканское, Аройское, а также Усть-Куретское месторождение гипса, месторождение талька Камчадал, ряд перспективных рудопроявлений золота, олова, вольфрама, молибдена. Созданные А. И. Ивановым методические и технологические приёмы поисков золоторудных месторождений, в том числе в сложных горно-таёжных ландшафтах, в условиях вечной мерзлоты, многократно апробированы в Восточной Сибири, в других перспективных рудных регионах Российской Федерации.

Анатолий Иннокентьевич начал работать в ЦНИГРИ в 2012 г. в должности первого заместителя директора. Возглавив институт в 2014 г., он успешно руководил крупными проектами по государственным контрактам. Завершая свою миссию на посту директора в 2018 г., он сумел в короткие сроки провести преобразование института из унитарного предприятия в бюджетное учреждение: ФГБУ «ЦНИГРИ» сохранил научный коллектив и на новом этапе наращивает свой потенциал в системе Государственной геологической службы.

В настоящее время Анатолий Иннокентьевич Иванов осуществляет научное руководство исследованиями института, уделяя особое внимание одному из наиболее важных направлений деятельности ЦНИГРИ – научно-методическому сопровождению геологоразведочных работ, проводимых за счёт средств федерального бюджета, а также курирует ряд важных проектов по приросту прогнозных ресурсов золота Российской Федерации.

Обладая огромным опытом полевых работ, Анатолий Иннокентьевич прекрасно понимает их значение для роста молодых специалистов, для формирования научных воззрений геолога и сегодня делает всё возможное, чтобы расширить географию экспедиций ЦНИГРИ, дать коллегам возможность полноценно работать в поле. По его инициативе создан

Совет молодых учёных и специалистов ЦНИГРИ. В 2019 г. учреждена кафедра прогноза, поисков и разведки рудных месторождений – совместная структура ЦНИГРИ и геологоразведочного факультета МГРИ. Заведование базовой кафедрой принял профессор, доктор геолого-минералогических наук А. И. Иванов. С 2020 г. в стенах института проводится Молодёжная научно-образовательная конференция «МСБ алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче» – новый проект, вдохновителем которого также стал научный руководитель ЦНИГРИ Анатолий Иннокентьевич Иванов. Он курирует проведение организуемой ЦНИГРИ Международной научной конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов», возглавляет диссертационный совет института, руководит работой ряда соискателей учёной степени кандидата наук, является научным консультантом по подготовке докторских диссертаций, определяет редакционную

политику двух научно-технических журналов «Отечественная геология» и «Руды и металлы».

А. И. Иванов – автор более 80 научных трудов, трёх монографий. Его исследования в области научно-методических основ прогноза, поисков и оценки крупнообъёмных месторождений золота в черносланцевых толщах хорошо известны коллегам в России и за рубежом. В комплексе с другими научными направлениями института эти работы позволяют ЦНИГРИ взаимодействовать с широким кругом производственных и академических организаций, играть заметную роль в сфере международного сотрудничества.

Поздравляем Анатолия Иннокентьевича с юбилеем и желаем ему новых увлекательных маршрутов, интригующих геологических находок, талантливых учеников и крепкого здоровья!

*Учёный совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

60-летие Сергея Гавриловича Кряжева



18 февраля 2021 г. исполнилось 60 лет известному специалисту в области минералогических, изотопно-геохимических и термобарогеохимических исследований рудных месторождений, заведующему отделом минералогии и изотопной геохимии ФГБУ «ЦНИГРИ», члену-корреспонденту Российской академии естественных наук, доктору геолого-минералогических наук **Сергею Гавриловичу Кряжеву**.

С. Г. Кряжев создал поисковые минералого-геохимические модели эталонных золоторудных месторождений основных геолого-промышленных типов, на основе которых разработан комплекс поисковых критериев и методов их выявления. Изотопно-геохимические и термобарогеохимические критерии прогноза и поисков золоторудных месторождений в черносланцевых толщах были им успешно апробированы в производственных условиях при проведении поисковых работ в Иркутской области и Чукотском АО. При активном участии Сергея Гавриловича в ЦНИГРИ разработан, запатентован и внедрён в практику геологоразведочных работ ионно-сорбционный метод

литохимических поисков скрытых полиметаллических месторождений.

Сергей Гаврилович Кряжев в 1983 г. окончил Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова по специальности «Геологическая съёмка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» и поступил на работу в ЦНИГРИ. Вся его трудовая деятельность связана с этим институтом, в котором он прошёл путь от инженера до заведующего отделом. В 2000 г. Сергей Гаврилович Кряжев защитил кандидатскую диссертацию «Геолого-генетические особенности и изотопно-геохимический режим формирования месторождения Мурунтау», а в 2017 г. – докторскую диссертацию на тему «Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах». Последние 18 лет он руководит отделом минералогии и изотопной геохимии ФГБУ «ЦНИГРИ».

На объектах геологоразведочных работ, проводимых ФГБУ «ЦНИГРИ» в рамках Государственного задания за счёт средства Федерального бюджета, С. Г. Кряжев руководит минералогическими, петрографическими, изотопно-геохимическими и термобарогеохимическими исследованиями с применением комплекса современных инструментальных методов анализа пород, руд и минералов. Основная цель этих исследований – уточнение генетических аспектов рудогенеза, минерального состава и параметров зональности руд и метасоматитов, а также других вещественных характеристик, влияющих на результативность поисков. За достижения в данном направлении работ Сергею Гавриловичу Кряжеву в 2017 г. присуждено звание «Почётный разведчик недр».

Результаты исследований С. Г. Кряжева представлены в 170 отчётах по НИР и опубликованы в более чем 100 научных работах, в числе которых две монографии и 60 статей в ведущих зарубежных и российских журналах.

Поздравляем Сергея Гавриловича с юбилеем и желаем дальнейших успехов в его плодотворной научной работе!

*Учёный совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

85-летие Бориса Игоревича Беневольского



13 марта 2021 г. исполнилось 85 лет Заслуженному деятелю науки Российской Федерации, Почётному разведчику недр, доктору геолого-минералогических наук **Борису Игоревичу Беневольскому**.

Борис Игоревич Беневольский – крупный специалист, совмещающий значительный опыт полевых исследований и многолетней аналитической работы в Министерстве геологии СССР, эксперт высокого уровня в области геолого-экономического мониторинга и конъюнктуры минерального сырья. В числе его важнейших проектов – создание на рубеже XX и XXI веков информационно-аналитической системы прогноза и воспроизводства минерально-сырьевой базы РФ, ставшей основой оценки сбалансированного развития, и долгосрочных государственных программ изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы ТПИ.

Борис Игоревич в 1958 г. окончил геологический факультет Московского Государственного Университета им. М. В. Ломоносова. Трудовую деятельность он начал в Геологическом Управлении «Севостгеология» в Центрально-Колымском районе и за одиннадцать лет прошёл путь от горного мастера круглогодичной партии до главного инженера крупной экспедиции, которая вела поиски коренных и разведку россыпных месторождений золота. При непосредственном участии Б. И. Беневольского раз-

веданы крупные россыпи верховья р. Колыма (Валунный, Болотный и др.). В 1958–1969 гг. он занимался оценкой ресурсного потенциала коренного и россыпного золота этой перспективной территории, укрепляя сырьевую базу золотодобывающих предприятий региона. В дальнейшем Борис Игоревич участвовал в исследованиях золотоносных территорий Монголии и работе геолого-экономической экспедиции Министерства геологии СССР, а в 1972 г. он был назначен главным геологом управления благородных металлов Мингео СССР и проработал в этой должности семнадцать лет.

Борис Игоревич Беневольский внёс огромный вклад в открытие и промышленную оценку знаменитых ныне коренных и россыпных месторождений золота (Олимпиадинского, Дукацкого, Кубакинского, Покровского, Мужиевского, Большой Канмансур и др.), в создание сырьевой базы золота в Камчатской области, Корякском автономном округе, Республике Коми и других регионах России. При его участии разработаны эффективные государственные программы геологоразведочных работ, в результате которых создана одна из крупнейших в мире минерально-сырьевых баз золото- и серебродобывающей промышленности России и стран СНГ. В первые десятилетия XXI века этот сырьевой фундамент обеспечил стабильно высокую добычу благородных металлов.

В период работы в Мингео СССР Борис Игоревич активно участвовал в создании современных методических руководств по поискам, разведке и геолого-экономической оценке коренных и россыпных месторождений, что способствовало развитию сырьевой базы страны и формированию отечественной школы геологоразведчиков.

В 1989 г. с переходом в ЦНИГРИ начался следующий плодотворный этап исследований Бориса Игоревича Беневольского. Его научно-аналитические и прикладные разработки имеют большое научное и практическое значение для эффективного недропользования в новых условиях рыночной экономики. Совместно с другими учёными ЦНИГРИ им разработаны средне-долгосрочная (до 2020 г.) государственная программа развития минерально-сырьевой базы золотодобывающей промышленности и концепция национальной минерально-сырьевой безопасности в условиях динамично развивающихся процессов глобализации минерально-сырьевого комплекса. В 2002 г. за эту работу Борис Игоревич Беневольский

был удостоен звания лауреата премии им. А. Н. Косыгина. На рубеже XX и XXI веков вышли монографии «Минерально-сырьевая база благородных и цветных металлов к 2025 году. Мир и Россия», «Золото России», «Проблемы использования и воспроизводства МСБ», издан комплект карт золотоносности федеральных округов и субъектов Российской Федерации. В этих и других трудах Б. И. Беневольский и его соавторы обосновали идеологию государственной стратегии в развитии сырьевой базы золотодобычи, её использовании и воспроизводстве в новой системе недропользования и свободного рынка.

В начале 1990-х годов Б. И. Беневольский совместно с другими учёными ЦНИГРИ разработал и внедрил систему мониторинга использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы твёрдых полезных ископаемых, создал единую информационную систему «Минерально-сырьевые ресурсы России». Кроме того, он продолжил исследования по переоценке прогнозных ресурсов благородных и цветных металлов и подготовке соответствующих методических руководств. В этот период он многое делал для создания правовой основы системы недропользования в условиях экономических преобразований: участвовал в экспертных группах Государственной Думы, занимавшихся разработкой проектов законов о недрах, соглашений о разделе продукции, о драгоценных металлах и драгоценных камнях и других, направленных на развитие и рациональное использование сырьевой базы, привлечение отечественных и зарубежных инвесторов.

Под высококвалифицированным руководством и при непосредственном участии Б. И. Беневольского проведена геолого-экономическая оценка и разработаны технико-экономические обоснования про-

мышленного освоения в новых условиях недропользования месторождений цветных и благородных металлов (Озерновского, Каменского, Покровского, Павловского, Сейнавского узла и Федоровой тундры и др.).

Вместе с коллегами он актуализировал методические рекомендации по оценке прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых и классификации запасов и прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых и стадийности геологоразведочных работ в соответствии с современным международным регламентом. Впервые в отечественной геологии и разработана и успешно внедрена не знающая аналогов система кадастрового учёта прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых.

В течение многих лет Борис Игоревич Беневольский выполнял большую научно-организационную работу как заместитель председателя секции Учёного совета ЦНИГРИ, председатель секции конъюнктуры минерального сырья Межведомственного экспертного научно-методического совета МПР России по геологии алмазов, благородных и цветных металлов, член секции россыпей Межведомственного комитета по рудообразованию и металлогении РАН, главный научный эксперт МПР России по благородным металлам, эксперт ГКЗ.

Борис Игоревич Беневольский – автор 150 научных трудов, в том числе 10 монографий. Он действительный член Академии горных наук и Международной академии информатизации. Его многолетняя и плодотворная деятельность высоко оценена государством и профессиональным сообществом.

Поздравляем Бориса Игоревича с 85-летием и желаем ему здоровья, семейного благополучия!

*Учёный совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

Памяти Владимира Ильича Куторгина



1939–2021

27 февраля 2021 г. ушёл из жизни, крупный специалист в области геологии, поисков, разведки и геолого-экономической оценки россыпных месторождений, кандидат геолого-минералогических наук, лауреат Государственной премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники **Владимир Ильич Куторгин**.

Владимир Ильич Куторгин участвовал в изучении экзогенных месторождений России, Монголии, Болгарии, Турции, Анголы, США (Аляска), Боливии. Свой путь в профессии он начал в геологоразведке: в 1959 г. после окончания с отличием Магаданского горно-геологического техникума был принят на должность техника во Всесоюзный научно-исследовательский институт золота и редких металлов (ВНИИ-1). В 1970 г. Владимир Ильич окончил Всесоюзный заочный политехнический институт, в 1982 г. защитил кандидатскую диссертацию. В середине 1980-х годов Владимир Ильич Куторгин обладал уже значительным опытом изучения золотых россыпей на Северо-Востоке и Дальнем Востоке СССР и в 1984 г. был приглашён работать в многопрофильный головной институт Министерства геологии СССР ЦНИГРИ на должность заведующего сектором в под-

разделении, объединившем методистов по разведке и оценке месторождений благородных, цветных металлов и алмазов. В ЦНИГРИ Владимир Ильич трудился более 30 лет.

Важной задачей Владимира Ильича Куторгина и его коллег стала характеристика неоднородности строения аллювиальных россыпей золота. Методические разработки В. И. Куторгина, основанные на результатах его дальневосточных исследований, были апробированы в разных районах страны, и это помогло специалистам ЦНИГРИ определить весь диапазон дальнейших исследований объектов, включая поисковые, поисково-оценочные, а также разведочные работы на предварительной, детальной и эксплуатационной стадиях разведки. Разработанная Владимиром Ильичом Куторгиным и его соавторами «Методика разведки золота и платиноидов» (1992) до сегодняшнего дня – основное практическое пособие для недропользователей при разведочных работах и подсчёте запасов россыпных месторождений.

В начале 1990-х годов Владимир Ильич Куторгин принял активное участие в создании многофакторных моделей основных геолого-промышленных типов месторождений золота для разработки эффективных методик разведки. Эти пионерные исследования имели большое значение, в частности, для дополнительного изучения известных золотосодержащих районов страны, где запасы россыпей были исчерпаны, а новые найти не удавалось. В 1991 г. В. И. Куторгин с коллегами впервые успешно применили многофакторные модели при составлении «Методического руководства по разведке и оценке аллювиальных россыпей золота Кузнецкого Алатау и Салаира».

В 1992 г. Владимир Ильич Куторгин возглавил отдел методики разведки ЦНИГРИ. На основе созданных им многофакторных моделей россыпных месторождений благородных металлов разработана классификация россыпей, залегающих в различных геолого-геоморфологических обстановках. В 2002 г. под редакцией В. И. Куторгина вышла книга «Системы оценки и разведки россыпных месторождений золота и платиноидов на основе многофакторных моделей», которой он по праву гордился.

Владимир Ильич Куторгин внёс большой вклад в наращивание минерально-сырьевой базы платиноидов Дальнего Востока, разработав рекомендации по промышленной оценке их запасов в россыпях

Корякии, создавая концентрационные модели платиноидов, непосредственно участвуя в разведке и подсчёте запасов крупнейших россыпей платиноидов региона. Его заслуги отмечены Правительством Корякского автономного округа: Владимиру Ильичу было вручено свидетельство об открытии новых россыпей.

С самого начала поисков и предварительной разведки на массиве Кондёр в Хабаровском крае Владимир Ильич осуществлял методическое сопровождение этих работ. Им совместно с коллегами были впервые оценены техногенные запасы отвалного комплекса месторождения Кондёр и разработано ТЭО кондиций техногенного комплекса. В 2004 г. под руководством Владимира Ильича в ЦНИГРИ разработаны методические рекомендации по применению разведочных технологий к нетрадиционным геолого-промышленным типам россыпей, в том числе техногенным и золотосодержащим корам химического выветривания. В современных условиях предложенные подходы приобретают всё большую актуальность. Подготовку этого методического пособия к изданию Владимир Ильич завершил относительно недавно, и его последний труд ожидает публикации.

Владимир Ильич Куторгин – автор около 50 опубликованных и 70 рукописных научно-исследовательских работ. Многие годы он был членом Учёного совета ЦНИГРИ, заместителем председателя научно-методического совета отдела конъюнктуры минерального сырья. С 1988 г. он являлся экспертом Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых. Работал в составе ряда экспертных комиссий ЦНИГРИ и МПР РФ, в частности, анализировал материалы по нормативам потерь ТПИ при добыче, возглавлял комиссию, проводившую экологическую экспертизу при промышленном освоении россыпей золота и платиноидов.

За большой вклад в разработку моделей россыпей благородных металлов и методических принципов их оценки Владимир Ильич Куторгин в 2007 г. удостоен Государственной премии Правительства Российской Федерации.

Владимир Ильич был очень увлечён своей работой и, даже уйдя на пенсию, продолжал консультировать коллег, помогал молодым специалистам, аспирантам и сотрудникам ЦНИГРИ, выезжал на объекты. Он чувствовал ответственность за результат исследований, которыми занимался всю жизнь. Был большим патриотом ВНИИ-1 и ЦНИГРИ, в которых трудился долгие годы – в общей сложности 60 лет. Вёл общественную работу в совете ветеранов Магаданского землячества, добивался присвоения геологическому музею СВКНИИ имени его организатора и первого директора Г. Ф. Павлова. Владимир Ильич воплотил в жизнь мечту Г. Ф. Павлова – издал его мемуары «Что было, то было», взяв на себя заботы о финансировании, редактировании и оформлении книги после кончины её автора. Эту книгу он дарил людям, которым небезразлична история развития науки, история Магаданской области и нашей страны.

Уже многого добившись в профессии, Владимир Ильич Куторгин продолжал серьёзно заниматься вольной борьбой, стал мастером спорта, чемпионом Магаданской области – его потенциал в профессиональном спорте оценивали настолько высоко, что в конце 1970-х годов Владимира Ильича пригласили войти в сборную СССР по вольной борьбе. Это означало бы крутую перемену в его судьбе, новые возможности. Но он, конечно, выбрал геологию. Впоследствии Владимир Ильич Куторгин достиг высочайшего уровня как специалист в области геологической разведки россыпных месторождений благородных металлов. И лишь жизненные обстоятельства не позволили ему оформить свой профессиональный статус защитой докторской диссертации.

Работы Владимира Ильича Куторгина востребованы практикой. Его исследования продолжают ученики и последователи. Память о нём хранят в Центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте цветных и благородных металлов и во многих организациях геологоразведочной отрасли России.

*Учёный совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

Х международная научно-практическая конференция

«Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов»

13–16 апреля 2021 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»

Тематика конференции:

- минералогия АБЦМ;
- приоритетные направления прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ на АБЦМ;
- перспективные объекты для постановки геологоразведочных работ на АБЦМ различных стадий;
- опыт проведения и результаты геологоразведочных работ на АБЦМ;
- научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков, оценки и разведки;
- использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки АБЦМ;
- разработка и реализация инновационных методов, методик и технологий ГРР.

Место проведения:

117545, Москва, Варшавское шоссе, дом 129, корп. 1

ФГБУ «ЦНИГРИ»

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГБУ «ЦНИГРИ») проводит 13–16 апреля 2021 г. Х международную научно-практическую конференцию «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов».

Конференция проводится при поддержке Федерального агентства по недропользованию, Российской академии наук, Российского геологического общества, Ассоциации геологических организаций.

К сведению участников:

Для участия в конференции приглашаются представители территориальных органов Роснедр, геологических предприятий, компаний недропользователей, научно-исследовательских отраслевых, академических институтов и ВУЗов.

Программа конференции включает пленарное заседание, устные и стендовые доклады на тематических секциях, а также полевую экскурсию на полиметаллические и золоторудные месторождения Рудного Алтая. Участие в экскурсии платное.

Окончание приема заявок и оплаты участия в полевых экскурсиях 22.02.2021

Конференция будет проходить в смешанном (очном и онлайн) формате. У докладчиков будет возможность присутствовать в зале, а для тех, кто не сможет приехать, доступно выступление онлайн. Все лекции и выступления будут транслироваться в прямом эфире.

Подробная информация на сайте <http://conf2021.tsnigri.ru>

Программа конференции будет разослана в электронном виде зарегистрированным участникам. Регистрация участников и прием тезисов будет проводиться на сайте ЦНИГРИ.

Организационный взнос с участников не взимается.

Официальный язык конференции – русский и английский.

Окончание регистрации и приема тезисов 15.03.2021 на сайте <http://conf2021.tsnigri.ru/>

Подтверждение включения докладов в программу конференции 01.04.2021.

Контакты:

Третьякова Ирина Геннадьевна
учёный секретарь
тел.: (495) 315-26-83
email: conference@tsnigri.ru