



Вестник



Январь 2019 г., № 1 (289)

Института геологии Коми научного центра УрО РАН

Научно-информационное издание, основанное академиком Н. П. Юшкиным в 1995 г.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ журнала (2017) — 0.316

Содержание

Научные статьи

- | | | | |
|--|----|--|----|
| Минералы элементов платиновой группы в нижних рудных телах месторождения Северный Каменник, Кольский полуостров
<i>А. Н. Иванов, А. В. Чернявский, Н. Ю. Грошев, Е. Э. Савченко</i> | 3 | Типоморфные особенности золота аллювиальных отложений Фроловского участка (Усть-Куломский район, Республика Коми)
<i>Н. С. Ковальчук, С. И. Исаенко, Н. В. Конанова, Т. Г. Шумилова, Ю. В. Данилова</i> | 35 |
| Строение типового разреза нижнекаменноугольных отложений восточной подзоны Лемвинской зоны (Полярный Урал): часть 2. Реконструкция
<i>В. А. Салдин</i> | 13 | Перспектива развития методов прогноза, поисков, оценки и переработки рудных месторождений: завещание легендарного проспектора
<i>В. И. Силаев, А. Ф. Хазов, И. Н. Размыслов, В. А. Петровский</i> | 44 |
| Землетрясения 22.09.2008 г. и 20.10.2009 г. на северо-востоке Русской плиты
<i>Н. Н. Носкова</i> | 20 | | |
| Оценка селевой опасности на Малом Кавказе (на примере реки Тергерчай)
<i>С. А. Тарихазер, Г. Л. Набиев</i> | 29 | | |

Хроника, события, факты

- | | | | |
|---|----|---------------|----|
| Есть такое слово — «надо» (к 85-летию со дня рождения Н. И. Тимонина) | 58 | Хроника | 60 |
|---|----|---------------|----|

Главный редактор А. М. Асхабов, зам. главного редактора О. Б. Котова,
ответственный секретарь Т. М. Безносова, тех. редактор Г. Н. Каблис, зав. редакцией Т. А. Некучаева

Редакционный совет — 2019:

- | | |
|--|--|
| <i>А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия</i> | <i>С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия</i> |
| <i>М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия</i> | <i>М. Мартинс, Ору-Прету, Бразилия</i> |
| <i>И. Н. Бурцев, Сыктывкар, Россия</i> | <i>Т. П. Майорова, Сыктывкар, Россия</i> |
| <i>Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия</i> | <i>Ж. К. Мелгарехо, Барселона, Испания</i> |
| <i>Ю. Л. Войтеховский, Санкт-Петербург, Россия</i> | <i>Ф. Мон, Пекин, Китай</i> |
| <i>А. Д. Гвишиани, Москва, Россия</i> | <i>П. Мянник, Таллин, Эстония</i> |
| <i>И. В. Козырева, Сыктывкар, Россия</i> | <i>А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия</i> |
| <i>М. Комак, Любляна, Словения</i> | <i>К. М. Соджа, Гамильтон, Нью-Йорк, США</i> |
| <i>Р. И. Конеев, Ташкент, Узбекистан</i> | <i>О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия</i> |
| <i>В. А. Коротеев, Екатеринбург, Россия</i> | <i>М. А. Федонкин, Москва, Россия</i> |
| <i>С. В. Кривовичев, Санкт-Петербург, Россия</i> | |



Content

Scientific articles

- Minerals of platinum group elements in the lower orebodies of the North Kamennik deposit, Kola Peninsula
A. N. Ivanov, A. V. Chernyavsky, N. Yu. Groshev, Ye. E. Savchenko..... 3
- Structure of the typical section of the Lower Carboniferous deposits of the east subzone of the Lemva zone (Polar Urals):
Part 1. Reconstruction
V. A. Saldin 13
- Earthquakes 22.09.2008 and 20.10.2009 in the Northeast of the Russian Plate
N. N. Noskova 20
- Estimation of mudflow risk in the Lesser Caucasus (on example of the Terterchay river)
S. A. Tarikhazer, G. L. Nabiyeu..... 29
- Typomorphic features of gold from the Frolovsky region alluvial deposits (Ust'-Kulom district, Komi Republic)
N. S. Kovalchuk, S. I. Isaenko, N. V. Konanova, T. G. Shumilova, Yu. V. Danilova..... 35
- The perspective of development of methods for forecast, searches, estimation and processing of ore deposits: will of legendary prospector
V. I. Silaev, A. F. Khazov, I. N. Razmyslov, V. A. Petrovsky..... 44

Chronicle, events, facts

- There is such a word — «must»
(85 years since birthday of N. I. Timonin) 58
- Chronicle 60

Chief Editor A. M. Askhabov, **Deputy Chief Editor** O. B. Kotova,
Executive Director T. M. Beznosova, **Technical Editor** G. N. Kablis, **Managing Editor** T. A. Nekuchaeva

2019 Editorial Board:

- | | |
|---|--|
| <i>Anna I. Antoshkina</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Sergey K. Kuznetsov</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Maarten A.T.M. Broekmans</i> , Trondheim, Norway | <i>Maximiliano de Souza Martins</i> , Ouro Preto, Brazil |
| <i>Igor N. Burtsev</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Tatyana P. Mayorova</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Dmitry A. Bushnev</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Joan Carles Melgarejo</i> , Barcelona, Spain |
| <i>Yury L. Voytekhsy, Saint Petersburg, Russia</i> | <i>Fancong Meng</i> , Beijing, China |
| <i>Alexey D. Gvishiani</i> , Moscow, Russia | <i>Peep Männik</i> , Tallinn, Estonia |
| <i>Irina V. Kozyreva</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Alexander M. Pystin</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Marko Komac</i> , Ljubljana, Slovenia | <i>Constance M. Soja</i> , Hamilton, NY, USA |
| <i>Rustam I. Koneev</i> , Tashkent, Uzbekistan | <i>Oksana V. Udoratina</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Viktor A. Koroteev</i> , Ekaterinburg, Russia | <i>Mikhail A. Fedonkin</i> , Moscow, Russia |
| <i>Sergey V. Krivovichev</i> , Saint Petersburg, Russia | |



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 553.4

DOI: 10.19110/2221-1381-2019-01-3-12

МИНЕРАЛЫ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В НИЖНИХ РУДНЫХ ТЕЛАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРНЫЙ КАМЕННИК, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ

А. Н. Иванов, А. В. Чернявский, Н. Ю. Грошев, Е. Э. Савченко

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты
nikolaygroshchev@gmail.com

Малосульфидное Pt-Pd-месторождение Северный Каменник приурочено к Северному платиноносному рифу, залегающему в 800 м от подошвы Западно-Панского массива палеопротерозойского федорово-панского расслоенного комплекса Кольского полуострова. Основное рудное тело этого месторождения сопровождается нижележащими рудными телами, что нетипично для других участков Северного рифа (месторождение Киевей). Нижние рудные тела, отличаясь от основного по составу вмещающих пород и геохимическим характеристикам, разделяются на три типа. Проведенные минералогические исследования позволяют определить каждый из типов по ассоциации минералов платиновой группы — станнидно-теллуридной (тип 1), арсенидно-сульфидно-теллуридной (тип 2) и сульфидно-теллуридной (тип 3). При изучении станнидно-теллуридной и арсенидно-сульфидно-теллуридной ассоциаций было установлено три новых для Северного рифа минерала: арсенопалладинит, изомертиит и койоненит.

Ключевые слова: Западно-Панский массив, Северный риф, элементы платиновой группы, минералы платиновых металлов.

MINERALS OF PLATINUM GROUP ELEMENTS IN THE LOWER ORE BODIES OF THE NORTH KAMENNIK DEPOSIT, KOLA PENINSULA

A. N. Ivanov, A. V. Chernyavsky, N. Yu. Groshev, Ye. E. Savchenko

Geological institute KSC RAS, Apatity

The North Kamennik low-sulfide Pt-Pd-deposit is associated with the North PGE Reef occurring in 800 m above the bottom of the West-Pana intrusion of the Paleoproterozoic Fedorova-Pana Layered Complex, Kola Peninsula. The main ore body of the deposit is accompanied by lower ore bodies that is very unusual for other sites of the reef (e.g., Kievev deposit). The lower ore bodies having a different composition of host lithology and geochemical features are divided into three types. Results of mineralogical research allow defining each type using an assemblage of PGE minerals: stannide-telluride (type 1), arsenide-sulfide-telluride (type 2) and sulfide-telluride (type 3). Mineralogical finds have been made within the ore bodies of stannide-telluride and arsenide-sulfide-telluride PGM assemblage and are presented by arsenopalladinite, isomertieite and kojonenite (new minerals for the North Reef).

Keywords: West-Pana intrusion, North Reef, platinum group elements, platinum group minerals.

Введение

Федорово-панский палеопротерозойский расслоенный комплекс располагается в центральной части Кольского полуострова и вмещает несколько открытых в последние годы малосульфидных Pt-Pd-месторождений, включая одно из крупнейших в Европе — месторождение Федоровой тундры [1]. Значительная часть запасов комплекса сосредоточена в Северном платинометалльном рифе Западно-Панского массива, в котором разведано два месторождения: Киевей и Северный Каменник (рис. 1).

Северный платинометалльный риф, выделенный на месторождении Киевей в восточной части Западно-Панского массива, представляет собой несколько маломощных (1–2 м) минерализованных уровней, ассоциирующих с

нижним расслоенным горизонтом (НРГ). НРГ средней мощностью 40 м залегает примерно в 800–1000 м от подошвы массива, вдоль которой он тянется около 20 км (рис. 1). НРГ имеет контрастно расслоенное ритмичное строение, в котором принимают участие пироксениты, меланориты, нориты, оливковые нориты, лейкогаббронориты, лейкогаббро и анортозиты [3]. Идеальный ритм имеет трехчленное строение: в нижней части залегает меланорит или плагиоксенит ($\pm Ol$); средняя часть сложена мезократовыми габброноритами, в этой части можно встретить тонкое переслаивание габброноритов с анортозитами; в верхней части преобладают анортозиты, лейкократовые габбро и лейкогаббронориты. Платинометалльное оруденение горизонта приурочено к подошвам ритмических единиц (общим

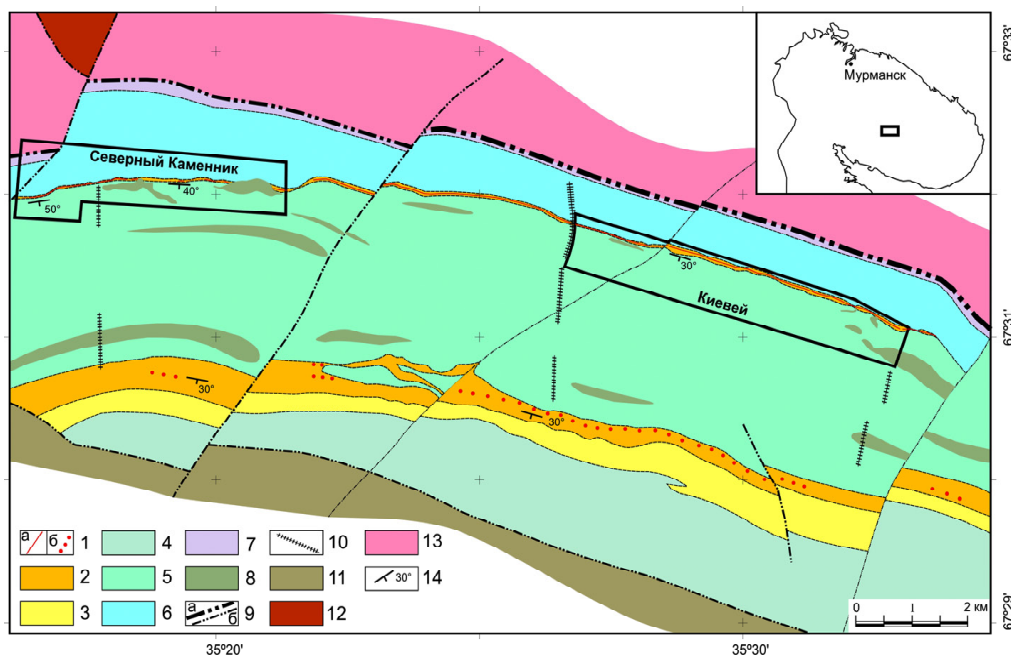


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Западно-Панского массива, с изменениями по [4]. Расположение Pt-Pd-месторождений околонушено черной линией. 1 — платиноносные рифы: Северный (а) и Южный (б); 2 — расслоенные горизонты (нижний и верхний); 3 — расслоенный горизонт оливинсодержащих пород; 4—6 — породы третьей (4), второй (5) и первой подзон (6) габброноритовой зоны; 7 — норитовая зона; 8 — магнетитовое габбро; 9 — тектонизированный нижний контакт массива (а) и разрывные нарушения (б); 10 — дайки метадолеритов, 11 — вулканогенно-осадочные породы зоны Имандра-Варзуга, 12 — архейские анортозиты Цагинского массива; 13 — архейские щелочные граниты; 14 — элементы залегания

Fig. 1. Schematic geological map of the West-Pana massif, modified from [4]. The location of the Pt-Pd-deposits is outlined by a black line: 1 — PGE reefs: North (a — established, b — supposed) and South (c); 2 — layered horizons (lower and upper); 3 — layered horizon of olivine-bearing rocks; 4—6 — the rocks of the third (4), the second (5) and the first subzone (6) of the gabbronorite zone; 7 — noritic zone; 8 — magnetite gabbro; 9 — tectonized lower contact of the massif (a) and faults (b); 10 — dikes of metadolerites, 11 — volcanogenic sedimentary rocks of the Imandra-Varzuga zone, 12 — Archean anorthosites of the Tsaginsky massif; 13 — Archean alkaline granites; 14 — dipping

числом от двух до четырех-пяти), за исключением первого ритма, в подошве которого залегает маркирующий слой мелко- и среднезернистого безрудного плагиоипроксенита. Этот слой маркирует подошву НРГ, ниже которой оруденение не встречается. Основное рудное тело (ОРТ) месторождения Киев (риф sensu stricto), связанное со вторым ритмом, протягивается почти без перерывов на 6 км при средней мощности 1.7 м. Верхнее рудное тело и рудные линзы, ассоциирующие с третьим и четвертым ритмами, развиты в центральной части месторождения и являются прерывистыми — максимально они тянутся на расстояние до 900 м. Среднее содержание суммы элементов платиновой группы (ЭПГ) и золота в рифе составляет 4 г/т, отношения Pd/Pt и Cu/Ni варьируют в пределах 6—7 и 0.9—1.2 соответственно [6].

Месторождение Северный Каменник (рис. 2, далее в тексте — Каменник) располагается на западном фланге НРГ, вблизи предполагаемого питающего магматического канала [4]. Повторяющиеся меланократовые слои на этом фланге из разреза горизонта исчезают. В результате этого без пироксенитов и норитов НРГ теряет контрастный характер своего строения и выделяется в монотонном разрезе массивных габброноритов по чередованию преимущественно мезократовых и лейкократовых пород, в которых конкретные ритмы трудно выделить. ОРТ месторождения залегает внутри чередования габброноритов и анортозитов НРГ, где нередко ассоциирует с их оливиновыми разностями. Геохимические характеристики и минеральный состав основного рудного тела аналогичны

месторождению Киев [4]. Важной особенностью месторождения Каменник является увеличение концентраций ЭПГ в рудном теле в местах синформных перегибов НРГ, для которых характерно развитие мощной толщи такситовых перекристаллизованных габброноритов ниже чередования габброноритов и анортозитов. В этой толще и ниже по разрезу, за пределами НРГ, встречаются линзовидные (так называемые нижние) рудные тела с платино-металлической минерализацией. Такое строение НРГ и Северного рифа характеризует их русловую фацию [2], в которой отсутствуют верхние рудные тела, в отличие от нормальной фации на месторождении Киев.

Нижние рудные тела месторождения Каменник часто более богаты ЭПГ, чем ОРТ, и имеют сильно варьирующие геохимические характеристики. Например, в скважине 126, вскрывающей разрез полной русловой фации, содержание благородных металлов в такситовых габброноритах достигает 17.5 г/т, отношение Pd/Pt варьирует от 2 до 6, отношение Cu/Ni — от 0.8 до 2.3 [2]. Оруденение в такситовых габброноритах образует нижние рудные тела типа 1 (рис. 3). Другой тип этих тел с относительно невысокими концентрациями ЭПГ (тип 2) локализован в нескольких метрах ниже подошвы НРГ. Помимо этого, на глубине нескольких десятков метров от НРГ встречаются линзы геохимически однородного (Pd/Pt 6.5 и Cu/Ni 1.5) и относительно богатого (5 г/т Pt + Pd + Au) оруденения (тип 3).

Таким образом, с востока на запад в НРГ происходит смена фаций и появляются нетипичные для Северного рифа нижние рудные тела, которые в большинстве случа-

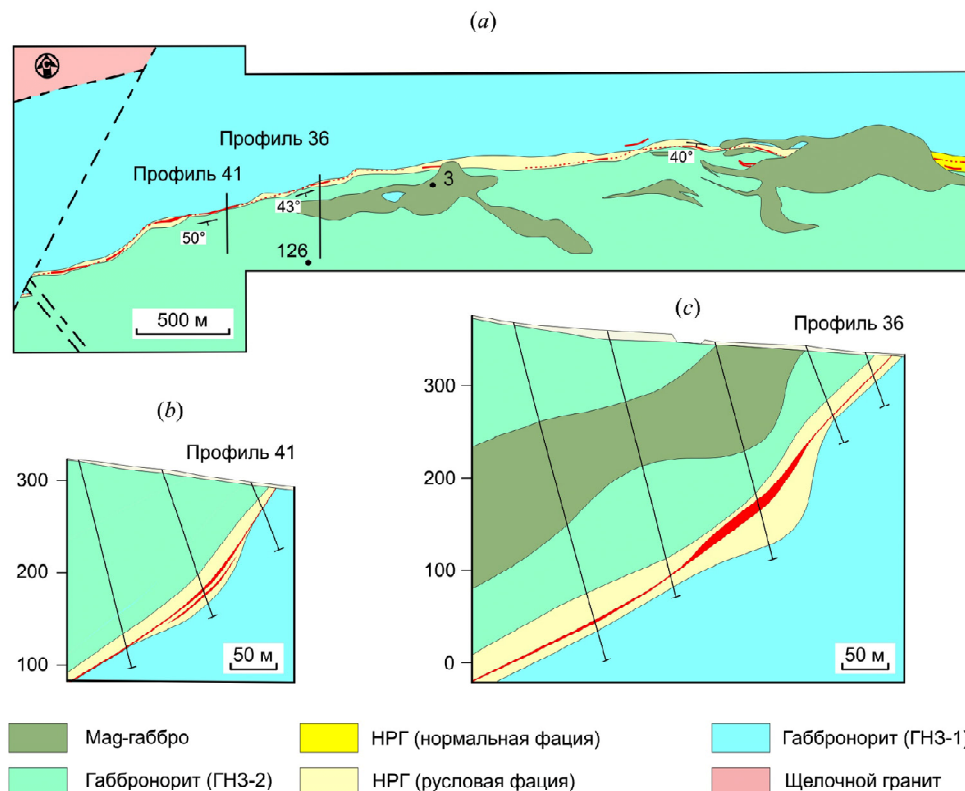


Рис. 2. Упрощенная геологическая карта (а) и разрезы (b, c) малосульфидного Pt-Pd-месторождения Северный Каменник. Распределение нормальной и русловой фации НРГ отражено в тонах желтого цвета. Красным цветом показаны рудные тела, которые встречаются не только в пределах НРГ, но и ниже его; пунктир — участки некондиционных руд. Черная штриховая линия соответствует разломам и тектонизированному контакту Западно-Панского массива. Сокращения: ГНЗ — габброноритовая зона (1 и 2), Маг — магнетит. Изменения по [4]

Fig. 2. Simplified geological map (a) and cross-sections (b, c) of the North Kamennik low-sulfide Pt-Pd-deposit. The distribution of normal and channel facies of the Lower Layered Horizon is shown by yellow tones. Note that red lines showing ore bodies occur below the horizon. Black dashed lines are faults and tectonized margin of the West-Pana intrusion. Abbreviations: ГНЗ — Gabbro-norite zone (1 and 2), Mag — magnetite. Modified from [4]

ев резко отличаются по своей геохимии и по геологическому положению от ОПТ. Целью настоящего исследования является выявление особенностей минерального состава оруденения из нижних рудных тел месторождения Каменник, а также установление черт их сходства и различия с Северным рифом (*sensu stricto*) или ОПТ.

Материалы и методы исследования

Нижние тела малосульфидного платинометалльного оруденения изучены в 8 аншлифах, отобранных в западной части месторождения из скважин 126 и 3 (рис. 2, 3). Оруденение типа 1 изучено в аншлифах из скважины 126, отобранных с глубин 347.6, 348.3, 349.5, 350.5, 355.2 м, также как и оруденение типа 2 — в аншлифе с глубины 365.25 м; третий тип оруденения изучался в аншлифах из скважины 3 с глубин 147.6 и 151.0 м.

Минеральный состав оруденения (табл. 1, 2) исследовался на сканирующем электронном микроскопе Leo-1450 с рентгеновским энергодисперсионным спектрометром Bruker XFlash-5010 и программным обеспечением Quantax-200 (ГИ КНЦ РАН, аналитик Е. Э. Савченко) при следующих установках: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 1.5 нА, экспозиция 200 секунд на спектр. Всего с целью диагностики МПМ сделано 528 изображений в обратноотраженных электронах (BSE) и 222 анализа минералов благородных металлов в режиме без стандартов, с использова-

нием следующих характеристических линий: для Pt, Ir, Os, Re, Au, Bi, Pb, Hg — Мб; для Pd, Ag, Rh, Te, As, Se, Sn, Sb, Mo — Лб; для S, Fe, Ni, Co, Cu — Кб. Состав основных МПМ приведен в табл. 3, полная таблица химического состава минералов доступна по запросу у авторов.

Результаты исследований и обсуждение

Минералы элементов платиновой группы в нижних рудных телах месторождения Каменник. Нижние рудные тела представлены линзами убогой сульфидной вкрапленности, расположенными под пластовым основным рудным телом (ОПТ) месторождения Каменник (рис. 3). Мощность отдельных линз достигает 10 м, суммарная мощность всей нижней минерализованной зоны может превышать 30 м. Геологическая позиция рудных тел позволяет разделить их на три типа. Оруденение первого типа расположено в такситовых габброноритах, которые относятся к НРГ [4]. Это оруденение пространственно сближено с ОПТ и часто примыкает к нему (скв. 126, рис. 3). Руды второго типа встречаются в подстилающих массивных породах ниже подошвы НРГ, от которой они находятся на расстоянии до 10 м (та же скважина). Оруденение третьего типа является наиболее удаленным от НРГ и залегает на глубине до 55 м от ОПТ (скв. 3, рис. 3).

Первый тип оруденения представлен неравномерной, участками гнездовой (в пегматоидных и крупнозернистых

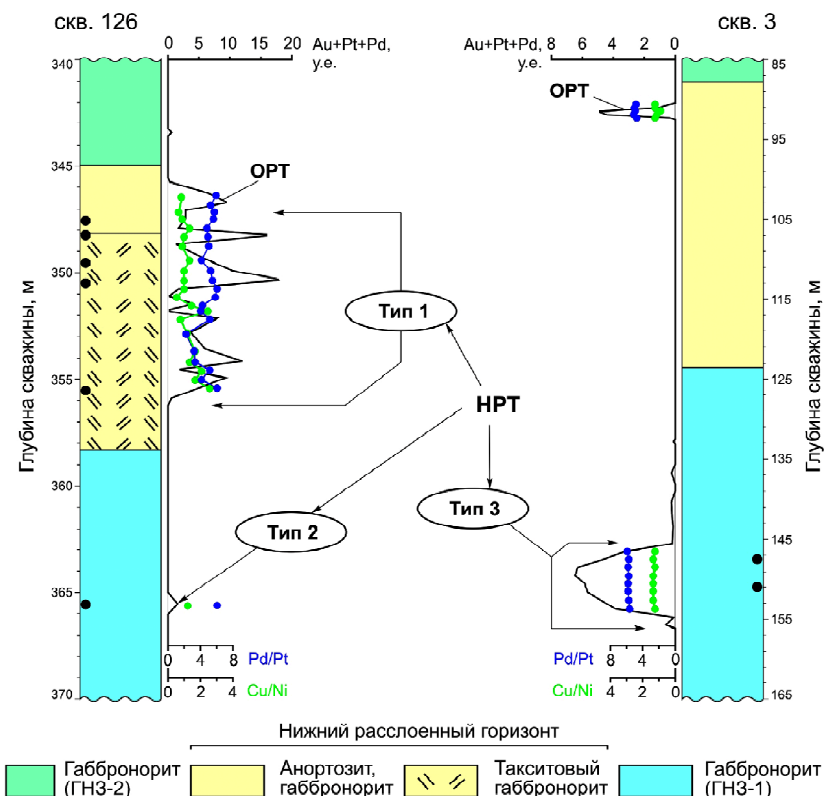


Рис. 3. Положение нижних рудных тел (НРТ) месторождения Северный Каменник на геологических колонках скважин с вариациями содержаний благородных металлов (черная линия) и отношений Pd/Pt (синие кружки) и Cu/Ni (зеленые кружки) в руде. Черные кружки обозначают положение изученных аншлифов. Сокращения: ОПТ — основное рудное тело; ГНЗ — габброноритовая зона. По геохимическим данным [2]

Fig. 3. Location of the lower orebodies of the North Kamennik deposit on geological borehole columns with variations of precious metals concentrations (black line) and Pd/Pt (blue circles) & Cu/Ni (green circles) ratios. Black circles show a location of thick sections of this study. Abbreviations: ОПТ — Main orebody; ГНЗ — Gabbronorite zone. Geochemistry data were taken from [2]

габброноритах) вкрапленностью с содержанием сульфидов от 0.3 до 10 об. %. Вкрапленность занимает интерстициальное положение по отношению к плагиоклазу и пироксенам. В составе пирротин-пентландит-халькопиритовой вкрапленности преобладает халькопирит, количество которого варьирует от 50 до 75 % от общего количества сульфидов. По составу в этом типе оруденения было диагностировано 462 зерна минералов платиновых металлов (МПМ), серебра и золота (табл. 1 и 2). Размер зерен колеблется от 1 до 40 мкм. Более половины минералов благородных металлов (80 %) находятся в силикатах. Около 15 % минералов представляют собой сростания с сульфидами и располагаются на границе силикат/сульфид; 5 % зерен полностью включены в сульфиды. По относительной объемной распространенности основными минералами (> 10 об.% от всех МПМ) являются рустенбургит, мончеит и котульскит, определяющие стannидно-теллуридную ассоциацию МПМ. Морфология и взаимоотношения МПМ с другими минералами показаны на рис. 4, а–е.

Тип ассоциации МПМ в оруденении первого типа показывает обогащение оловом относительно ОПТ. Помимо рустенбургита в нем присутствуют еще четыре минерала и одна минеральная фаза с видообразующей ролью олова: паоловит, атоцит, паларстанид, койоненит и фаза MPh-2 (табл. 1, 2). Койоненит ($\text{Pd}_{6.5}\text{Fe}_{0.1}\text{Sn}_{1.1}\text{Te}_{2.3}$,

недавно открытый в расслоенном комплексе Стиллуотер минерал [9], является первой находкой в Северном платиноносном рифе (рис. 5, а). То же относится и к ассоциирующей с ним минеральной фазе MPh-2 ($\text{Pd}_{1.2}\text{Ag}_{0.8}\text{Te}_{2.0} \times (\text{Te}_{0.6}\text{Sn}_{0.2}\text{Se}_{0.2})_{1.0}$ [7]. Кроме этого, в качестве примеси олово отмечается в торнроозите (до 5.1 мас. %), стиллуотерите (до 4.7 мас. %), винцентите (до 6.1 мас. %) и кейтконните (до 3.9 мас. %). Вероятно, примесь олова присутствовала изначально также и в мончеите, в котором рустенбургит образует структуру распада твердого раствора (рис. 4, d).

Относительно высоким распространением в оруденении этого типа пользуются минералы золота и серебра, самородные соединения которых относятся к часто встречающимся минералам (табл. 1). Среди МПМ отмечаются минералы с видообразующей ролью серебра — теларгпалит, сопчеит, лукулайсваарит и минеральная фаза MPh-2, относящиеся к категории редких. Собственно серебряные минералы представлены гесситом, акантитом, науманнитом, аргентопентландитом (рис. 6, d). Примесь серебра отмечается в паоловите (до 6.58 мас. %) и меренскиите (до 4.21 мас. %), примесь золота — в лафламмеите (до 1.17 мас. %), что также выделяет этот тип оруденения среди остальных.

К типоморфным примесям в МПМ из оруденения первого типа помимо олова, золота и серебра можно отнести свинец. Концентрация свинца в котульските дос-



Таблица 1. Минералы платиновых металлов, золота и серебра из нижних рудных тел месторождения Северный Каменник в сравнении с ОПТ

Table 1. Minerals of platinum metals, gold and silver from the lower orebodies of the North Kamennik deposit compared to the main orebody

Минерал / Mineral	Сокращение Abbreviation	Формула Formula	ОПТ ¹ МОБ ¹	Нижние РТ / Lower OB		
				Тип 1 Type 1	Тип 2 Type 2	Тип 3 Type 3
Элементы / Elements						
Золото / Gold	Au	Au	••	•••		••
Серебро / Silver	Ag	Ag	•	•••	••	
Теллуриды-Висмутиды / Tellurides-Vismutides						
Гессит / Hesseite	Hes	Ag ₂ Te	•	••		
Теларгпалит / Telargpalite	Tlr	(Pd,Ag) ₃ Te	••	••		
Котульский / Kotulskite	Kot	Pd(Te,Bi)	••••	••••	••••	••••
Майчнерит / Maychnerite	Mch	(Pd,Pt)BiTe	•			
Меренский / Merenskyite	Mer	PdTe ₂	••••	••		••••
Мончеит / Moncheite	Mon	Pt(Te,Bi) ₂	••••	••••	••	••••
Теллурупалладинит / Telluriopalladinite	Tlp	Pd ₉ Te ₄	•	•••		
Кейтконнит / Caitconnite	Keit	Pd ₂₀ Te ₇	••	•		
Сопчеит / Sopcheite	Sop	Ag ₄ Pd ₃ Te ₄	••	••	•••	
Лукулайсваараит / Lukalaisvaaraite	Luk	Pd ₁₄ Ag ₂ Te ₉		• ^{2?}	• ^{2?}	
Торнроозит / Tornroosite	Tor	Pd ₁₁ As ₂ Te ₂	••	•••	••••	
Койоненит* / Coyonenite *	Kjn	Pd _{7-x} SnTe ₂		••		
Темагамит / Temagamite	Tmg	Pd ₃ HgTe ₃	•			
Соболевский / Sobolevskite	Sob	PdBi	••			
Интерметаллиды-Арсениды-Сульфидарсениды / Intermetallides-Arsenides-Sulfoarsenides						
Хонгшиит / Hongshiite	Hng	PtCu	•			
Паоловит / Paolovite	Plv	Pd ₂ Sn	•	••		
Атокит / Atokite	Atk	(Pd,Pt) ₃ Sn	•	••		
Звягинцевит / Zvyagintsevite	Zvg	Pd ₃ Pb	•			
Паларстанид / Palarstanide	Pls	Pd ₅ (Sn,As) ₂	•			
Изоферроплатина / Isoferroplatinum	Ifp	Pt ₃ Fe	•	•		
Рустенбургит / Rustenburgite	Rust	(Pt,Pd) ₃ Sn	•	••••		
Арсенопалладинит* / Arsenopalladinite*	Apd	Pd ₈ (As,Sb) ₃			•••	
Мертиит / Mertiite	Mrt	Pd ₁₁ (Sb,As) ₄	•	•		
Изомертиит* / Isomertyite*	Iso	Pd ₁₁ Sb ₂ As ₂			•••	
Сперелит / Sperryite	Sper	PtAs ₂	••	••	•••	••
Винцентит / Vincentite	Vin	Pd ₃ As	•	•		
Атенеит / Atheneite	Atn	Pd ₂ (As _{0.75} Hg _{0.25})			••• ²	
Палладоарсенид / Palladoarsenide	Pal	Pd ₂ As	•			
Стиллуотерит / Stillwaterite	Stl	Pd ₈ As ₃	••	••	••••	
Холлигуортит / Holliguortite	Hol	RhAsS	•		•••	
Ирарсит / Irarsite	Irs	(Ir,Ru,Rh,Pt)AsS	•			
Меньшиковит / Menshikovite	Men	Pd ₃ Ni ₂ As ₃		• ²		
Сульфиды-селениды / Sulphides-selenides						
Акантит / Acanthite	Akn	Ag ₂ S	•	••		
Аргентопентландит / Argentopentlandite	Apn	Ag(Fe,Ni) ₈ S ₈	•	••		
Брэггит / Braggite	Br	(Pt,Pd,Ni)S	•••	•••	•••	
Высоцкий / Vysotskite	Vys	(Pd,Pt,Ni)S	••••	•••	••••	••••
Лафламмеит / Laflammeite	Lfl	Pd ₃ Pb ₂ S ₂		• ²		
Лаурит / Laurite	Lrt	(Ru,Os)S ₂	•			
Маланит / Malanite	Mln	Cu(Pt,Ir) ₂ S ₄	•	•		
Науманнит / Naumannite	Nau	Ag ₂ Se	•	••		
Колдуэллит / Caldwellite	Cdw	Pd ₃ Ag ₂ S		• ²		

Примечание: • — единичные зерна, •• — редкий, ••• — часто встречающийся, •••• — основной минерал; * — первая находка в Северном рифе; ¹ и ² — данные из [6] и [4] соответственно; ОПТ — основное рудное тело, РТ — рудные тела.

Note: • — single grains, •• — rare, ••• — often found, •••• — main mineral; * — the first find in the Northern reef; ¹ and ² — data from [6] and [4], respectively; МОБ — main ore body, OB — ore bodies.

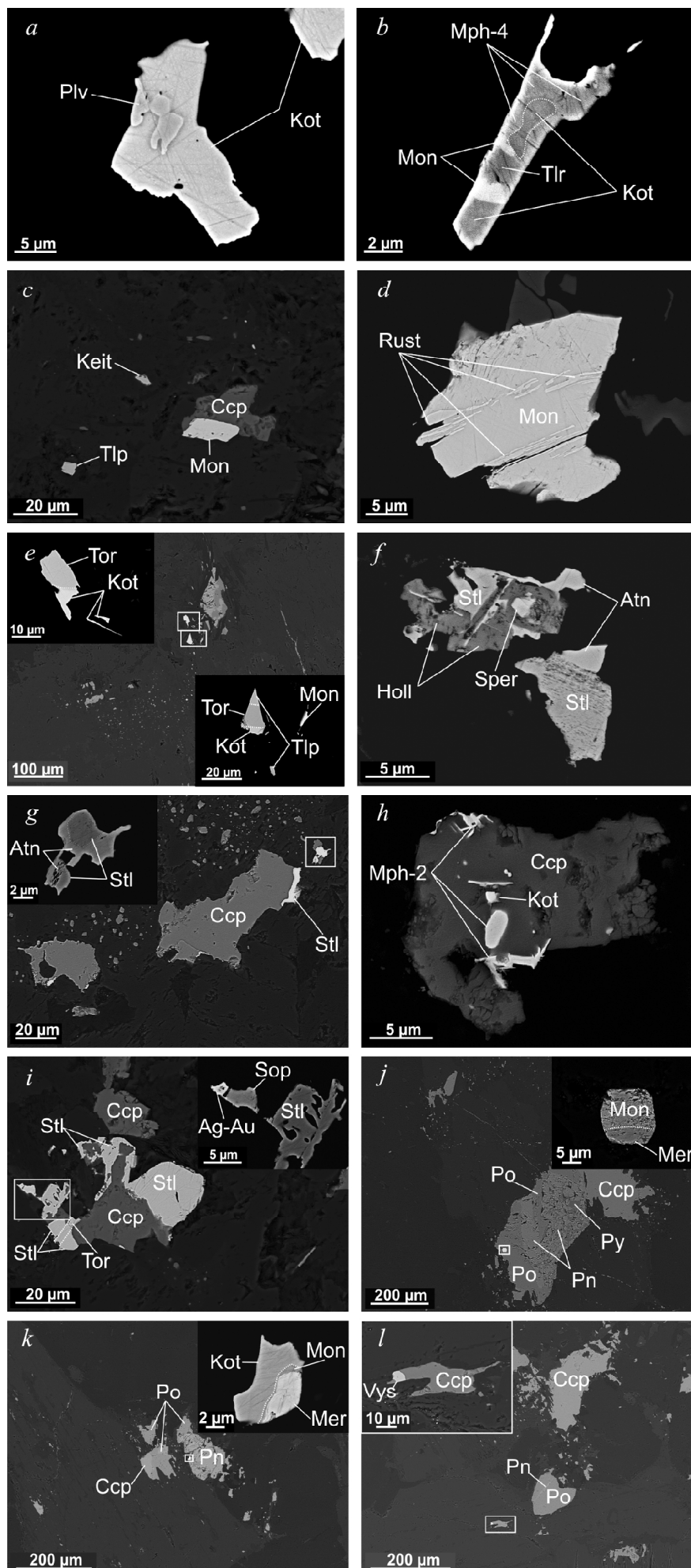


Рис. 4. Морфология выделений МПМ из различных типов нижних рудных тел Северного рифа (*a–e* — 1 тип, *f–i* — 2 тип, *j–l* — 3 тип). Сокращения минералов см. в табл. 1, за исключением: Ag-Au — сплав серебра и золота, Ccp — халькопирит, Mph — минеральная фаза, Po — пирротин, Pn — пентландит, Py — пирит. BSE-изображения

Fig. 4. Morphology of PGM grains from different types of lower orebodies of the North reef (*a–e* — 1 type, *f–i* — 2 type, *j–l* — type 3). Mineral abbreviations see tabl. 1, except: Ag-Au — silver and gold alloy, Ccp — chalcopyrite, Mph — mineral phase, Po — pyrrhotite, Pn — pentlandite, Py — pyrite. BSE images



Таблица 2. Минеральные фазы платиновых металлов из нижних рудных тел месторождения Северный Каменник в сравнении с ОПТ

Table 2. Mineral phases of platinum metals from the lower ore bodies of the North Kamennik deposit compared to the main ore body

Фаза Phase	Формула Formula	ОПТ ¹ МОБ ¹	Нижние ПТ / Lower OB	
			Тип 1 Type 1	Тип 2 Type 2
MPh-1	Pd ₂ Te			••
MPh-2	(Pd, Ag) ₂ (Te, Sn)		•	••
MPh-3	(Cu, Pt, Rh) ₂ S ₃			•
MPh-4	(Pd, Ag) ₃ (Ag, Pb)(Te, Sc)		••	
MPh-5	(Re, Cu, Pt)S ₂	•		
MPh-6	Pd _{2-x} (Bi, Pb)(S, Se)	•		
MPh-7	(Pd, Au) _{2+x} (As, Sn)	•		
MPh-8	Pt ₅ Te ₇	•		
MPh-9	(Ni, Fe, Cu, Co) ₂ (Rh, Pt)S ₄		• ²	
MPh-10	(Pd, Ag) ₇ Se ₅		• ²	
MPh-11	Pd ₃ (Pb Bi) ₂		•	

Примечание: см. табл. 1.

Note: see Table 1

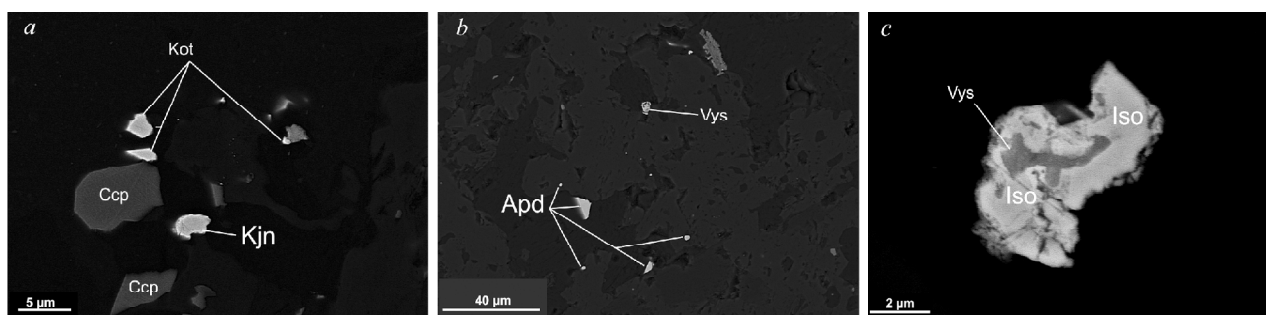


Рис. 5. Койоненит (а), арсенопалладинит (b) и изомертиит (с) — новые для Северного рифа МПМ из месторождения Северный Каменник. а — аншлиф 126@348.3; b, c — аншлиф 126@365.25. Сокращения минералов см. в табл. 1 и на рис. 4

Fig. 5. Kojonenite (a), arsenopalladinite (b) and isomertieite (c) — new for the North Reef PGMs from the North Kamennik deposit. a — thick section 126@348.3; b, c — thick section 126@365.25. For mineral abbreviations see table 1 and fig. 4

тигает 2.1 мас. %, в мончите и теларгпалите — 1.6 и 11.8 мас. % соответственно (рис. 6, г). Минералы с видообразующей ролью свинца представлены редким сульфидом ЭПГ лафламмеитом $(\text{Pd}_{3.0}\text{Pt}_{0.2}\text{Au}_{0.1})_{3.3}(\text{Pb}_{1.9}\text{Bi}_{0.3})_{2.2}\text{S}_{1.6}$ и минеральной фазой MPh-11 $\text{Pd}_{3.2}(\text{Pb}_{1.4}\text{Bi}_{0.5})_{1.9}$.

Второй тип характеризуется тонкой неравномерной эмульсионной вкрапленностью сульфидов. Сульфиды для невооруженного глаза едва заметны, их количество не превышает 0.5 об. %. Главными сульфидными минералами являются пирротин, миллерит и халькопирит; пентландит относится к второстепенным минералам. По химическому составу в руденении диагностировано 929 зерен минералов благородных металлов. Размер зерен варьирует от 2 до 20 мкм. МПМ большей частью (82 %) представляют собой включения в силикатах. Из них 55 % — самостоятельные включения и 27 % — сростания МПМ между собой. В сростании с сульфидами отмечено порядка 17 % минералов, а в виде включений в них — лишь единичные зерна. По относительной объемной распространенности МПМ-руды относятся к арсенидно-сульфидно-теллуридной минеральной ассоциации. В группу основных МПМ (> 10 об. %) входят стиллуотерит, торнроозит, высокоцит и когульскит (табл. 1; рис. 4, f—i).

Теллуриды платины и палладия из руденения второго типа (в отличие от первого) характеризуются составом, близким к стехиометрическому (рис. 6, b, c). Незначительные примеси олова и сурьмы устанавливаются в стиллуотерите $(\text{Pd}_{8.0-8.5}\text{Pt}_{0-0.1})_{8.0-8.5}(\text{As}_{2.4-3.0}\text{Te}_{0-0.2}\text{Sn}_{0-0.4} \times \text{Sb}_{0-0.2})_{2.5-3.0}$ и торнроозите $(\text{Pd}_{11.0-11.3}\text{Pt}_{0-0.2}\text{Bi}_{0-0.1})_{11.0-11.4} \times (\text{As}_{1.6-2.2}\text{Sn}_{0-0.2})_{1.7-2.3}(\text{Te}_{1.4-1.8}\text{Sb}_{0-0.5})_{1.5-1.9}$, что в целом характерно для системы Pd—As. Минеральная фаза MPh-2 $(\text{Pd}_{1.3-1.8}\text{Ag}_{0.3-0.8})_{2.0-2.1}(\text{Te}_{0.3-0.5}\text{Sn}_{0.3-0.4}\text{Se}_{0.1}\text{As}_{0-0.1})_{0.9}$ обладает наибольшей концентрацией олова. Необходимо отметить, что некоторые серебросодержащие минералы (сопчеит, MPh-2) встречаются здесь чаще, чем в первом типе руденения (табл. 1 и 2).

В составе руденения второго типа установлены арсенопалладинит $\text{Pd}_{8.0}(\text{As}_{2.6}\text{Sib}_{0.4})_{3.0}$ и изомертиит $\text{Pd}_{11.0-11.2} \times (\text{Sb}_{1.5-1.6}\text{Te}_{0.3})_{1.8-1.9}\text{As}_{2.1}$ — минералы, которые не отмечались ранее в Северном рифе (рис. 5, b, c).

Третий тип руденения представлен равномерной сульфидной вкрапленностью с содержанием сульфидов 5—7 об. %. В составе вкрапленности преобладают пирротин, пентландит и халькопирит. Доля халькопирита, как и в ОПТ, составляет 40—50 % от общего объема сульфидов. Несмотря на высокие концентрации ЭПГ, в этом типе руд встре-

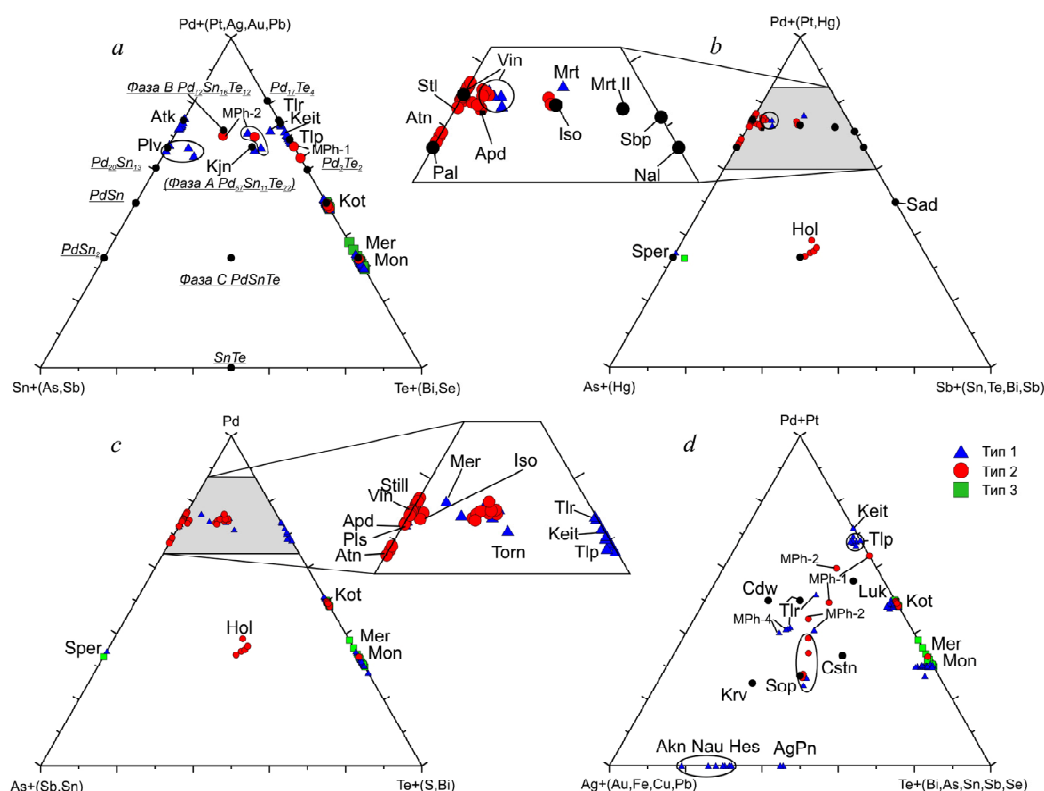


Рис. 6. Тройные диаграммы составов (ат. %) Pd-Sn-Te (a), Pd-As-Sb (b), Pd-As-Te (c), Pd-Ag-Te (d). Черными точками обозначены идеальные составы известных минералов и минеральных фаз. Цветные значки — наши данные. Курсивом с чертой выделены синтетические минеральные фазы [10]. Сокращения минералов приведены в табл. 1, исключения: AgPn — аргентопентландит, Akn — акантит, Cstn — хрисстанлейт, Hes — гессит, Krv — кравцовит, Mrt II — мертиит II, Nal — налдреттит, Nau — науманнит, Sad — садбериит, Sbp — стибипалладинит

Fig. 6. Ternary diagram (at. %) Pd-Sn-Te (a), Pd-As-Sb (b), Pd-As-Te (c), Pd-Ag-Te (d) systems. Black dots indicate ideal compositions of known minerals and mineral phases. Color icons represent our data. Synthetic mineral phases [10] are italicized. Mineral abbreviations see tabl. 1, except: AgPn — argentopentlandite, Akn — acanthite, Cstn — chrisstanleyite, Hes — hessite, Krv — kravtsovite, Mrt II — mertieite II, Nal — naldrettite, Nau — naumannite, Sad — sudburyite, Sbp — stibiopalladinite

чено лишь 51 зерно минералов благородных металлов. Размер зерен колеблется от 1 до 10 мкм. В силикатах располагаются 64 % зерен, на границе силикат/сульфид — 24 %; включения в сульфидах образуют 12 % зерен. Сульфидно-теллуридная ассоциация МПМ, обусловленная набором основных по относительной объемной распространенности минералов (котульскит, мончеит и висоцкит), близка к ассоциации ОРТ (табл. 1; рис. 4, j–l). По данным анализов на энергодисперсионном спектрометре, МПМ из оруденения этого типа не содержат примесей, при расчете кристаллохимических формул состав минералов близок к стехиометрическому.

Сравнение основного и нижних рудных тел месторождения Каменник. Детальные исследования минерального состава ОРТ, проведенные на месторождениях Киевей [6] и Каменник [4], показали тесную пространственную и генетическую связь МПМ с сульфидами железа, меди и никеля. Более 70 % зерен МПМ крупнее 10 мкм включены в сульфиды или находятся на границе сульфидных и силикатных минералов. Для зерен МПМ меньшей размерности этот показатель снижается до 50 %. Среди нижних рудных тел по характеру микроассоциаций МПМ наиболее близок к ОРТ третий тип оруденения, в котором 36 % зерен напрямую контактируют или включены в сульфиды. В рудах первого и второго типов число таких зерен не превышает 20 %.

ОРТ на каждом из месторождений характеризуется преобладанием сульфидов и теллуридов ЭПГ, представленных бреггитом, висоцкитом, мончеитом, котульскитом и меренскиитом (табл. 1). В. В. Субботин с коллегами [6] отмечает, что состав доминирующих теллуридов ЭПГ отвечает стехиометрическому. Несмотря на относительно небольшое число обнаруженных зерен МПМ, третий тип нижних рудных тел обладает, как показывает табл. 1, такой же минеральной ассоциацией благородных металлов, как и ОРТ. Необходимо отметить, что теллуриды ЭПГ из оруденения третьего типа также не содержат нарушающих стехиометрию примесей (рис. 6, d).

Сходство минерального состава Северного рифа и нижнего рудного тела третьего типа приводит нас к предположению, что этот тип руд образовался в результате миграции обогащенной ЭПГ сульфидной жидкости в подстилающие кумулаты. По-видимому, это стало возможным благодаря локальному частичному плавлению последних (на уровне интеркумуляусного пространства пород) при повышении температуры в связи с первыми дополнительными порциями рудоносной магмы, с которой связывают образование НРГ [3, 5]. Локальность плавления определялась существующими вблизи питающего магматического канала градиентами скорости течения и температуры магмы, которые, по всей вероятности, ответствен-



Таблица 3. Состав основных МПМ (мас. %) из нижних рудных тел месторождения Северный Каменник

Table 3. Composition of common platinum group minerals (wt. %) from the lower ore bodies of the North Kamennik deposit

Минерал Mineral	Pd	Pt	Te	Bi	S	Fe	Ni	Pb	As	Sn	Сумма Total
Kot	40.42		43.4	9.04		0.32					93.18
Kot	39.82		43.05	7.91		0.81		1.43			93.02
Kot	40.83		44.19	7.28		0.4		1.96			94.66
Mer	23.66	2.19	52.78	13.19							91.82
Mer	24.04	2.13	51	12.77							89.94
Mer	28.32		55.7	8.66							92.68
Mon		34.88	49.06	3.76		0.7		0.85			89.25
Mon	0.17	35.47	46.5	7.41		1.18		0.8			91.53
Mon	1.25	34.05	51.38	1.46		0.62		1.23			89.99
Vys	59.58	2.77			20.92	0.73	5.04				89.04
Vys	58.86	1.11			20.41	0.36	5.95				86.69
Vys	69.04	1.02			22.49	0.71	6.02				99.28
Br	0.19	68.39			10.76		0.64				79.98
Br	15.48	46.64			13.49	0.38	3.48				79.47
Br	14.52	49.88			13.67	0.33	3.84				82.24
Stl	70.57								15.96		86.53
Stl	68.18								14.47	1.03	85.46 ¹
Stl	66.83		2.13						15.32	0.73	85.78 ²
Tor	65.43	0.49	7.89			1.03			5.94		90.60 ³
Tor	64.45		10.85			0.94			5.26		87.59 ⁴
Tor	64.35		12.44			0.57			6.22	2.4	88.07 ⁵
Rust	17.97	47.02				0.45				16.97	82.41

Примечание. Сокращение названий минералов — см. табл. 1; ¹⁻⁵ — в сумму включена Sb (мас. %): ¹ — 1.78; ² — 0.77; ³ — 9.82, ⁴ — 6.09; ⁵ — 2.09.

Note. Abbreviation of mineral names — see Table 1; ¹⁻⁵ — Sb included in total (wt. %): ¹ — 1.78; ² — 0.77; ³ — 9.82, ⁴ — 6.09; ⁵ — 2.09.

ны за формирование синформных перегибов и перекристаллизованных такситовых габброноритов в русловых фациях НРГ [2].

Положение нижних рудных тел первого и второго типов в разрезе указывает на возможность их формирования также в процессе просачивания сульфидной жидкости вниз от уровня движущегося магматического потока. Различия с ОРТ в минеральном составе (табл. 1 и 2), как и обогащение МПМ оловом и другими примесями, можно объяснить процессами переработки ранней сульфидной вкрапленности в результате серии дополнительных рудоносных магматических импульсов. Судя по количеству ритмических единиц в НРГ на месторождении Киевей [8], таких импульсов при его формировании было не менее четырех.

Редкие и новые минеральные виды. Как отмечалось выше, первый и второй типы нижних рудных горизонтов Северного рифа содержат редкий минерал койоненит и минеральные фазы MPh-1 и MPh-2, принадлежащие системе Pd — Sn — Te. В эксперименте [10] в системе Pd — Sn — Te были идентифицированы три тройные фазы: фаза A — Pd₆₇Sn₁₁Te₂₂, фаза B — Pd₇₂Sn₁₆Te₁₂ и фаза C — PdSnTe (рис. 6, а). Фаза A впоследствии была переведена в статус минерального вида — койоненита [9]. Было установлено, что синтетический койоненит стабилен до 596 °C, поэтому его присутствие в природных минеральных ассоциациях может свидетельствовать о кристаллизации при этой или более низкой температуре.

По данным эксперимента в той же системе, койоненит не может сосуществовать только с такими минерала-

ми ЭПГ, как котульскит, теллуropалладинит и паоловит. В системе присутствуют бинарные фазы состава Pd₃Te₂ и Pd₂₀Te₇, а также тройная фаза Pd₇₂Sn₁₆Te₁₂ (рис. 6, а), которые могут возникнуть в ассоциации с койоненитом в природе [10]. В результате наших исследований были установлены несколько неизвестных ранее природных соединений палладия, теллура и олова. Среди них минеральная фаза MPh-2 (Pd_{1.8}Ag_{0.3})_{2.1}(Te_{0.5}Sn_{0.4}Se_{0.1}As_{0.1})_{1.1} из второго типа оруденения близка по составу к минеральной фазе B, а MPh-1 при пересчете на пять формульных единиц Pd_{3.2}(Te_{1.4}Bi_{0.3}As_{0.2})_{1.9} — к синтетически полученному соединению Pd₃Te₂ (рис. 6, а).

Таким образом, изучение МПМ из нижних рудных тел первого и второго типов показывает высокие перспективы детального изучения их разрезов для выявления новых и редких минералов.

Практическое значение. Федорово-панский комплекс — один из крупнейших платиноносных интрузивов в Европе наряду с Мончегорским комплексом на Кольском полуострове и комплексом Портимо в Финляндии [1]. При этом шестая часть его запасов связана с Северным рифом. Каждый из нижних типов оруденения Северного рифа в виде серии линз, «висящих» в данный момент на единичных скважинах, участвуют в подсчете запасов месторождения Каменник [4]. Во время дальнейшей разведки и эксплуатации месторождения установленные минералогические отличия могут быть использованы при выделении рудных тел разного генезиса и промышленного значения.



К примеру, первый тип оруденения, в котором рустенбургит имеет статус основного минерала, можно отличить от остальных, включая ОРТ, где станниды встречаются лишь в единичных зернах. Кроме того, этот тип руд, вероятнее всего, будет резко отличаться по геохимии рассеянных элементов (As, Sb, Sn и др.).

Заключение

Проведенные минералогические исследования подтверждают разделение нижних рудных тел месторождения Северный Каменник на три типа и позволяют различать их по ассоциациям МПМ — станнидно-теллуридной, арсенидно-сульфидно-теллуридной и сульфидно-теллуридной. При изучении двух первых ассоциаций нами было установлено три новых для Северного рифа минерала: арсенопалладинит, изомертит и койоненит. Эти ассоциации являются перспективными на обнаружение новых минеральных видов в системе Pd — Sn — Te.

Авторы благодарят А. У. Корчагина за доступ к ядру скважин. Обсуждение первоначального варианта статьи с Ю. С. Полеховским и В. В. Субботиным, а также конструктивные критические замечания двух анонимных рецензентов привели к улучшению ее качества. Исследования проводились при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ (проекты 16-05-00367, 15-35-20501) в рамках госзадания № 0231-2015-0002.

Литература

1. Гурская Л. И., Додин Д. А. Минеральные ресурсы платиновых металлов России: перспективы расширения // Региональная геология и металлогения. 2015. № 64. С. 84—93.
2. Иванов А. Н., Грошев Н. Ю., Корчагин А. У. Трансгрессивные структуры Нижнего расслоенного горизонта на участке малосульфидного платинометалльного месторождения Северный Каменник // Труды ФНС. 2018. № 15. С. 156—159.
3. Корчагин А. У., Субботин В. В., Митрофанов Ф. П., Минева С. Д. Платинометалльное месторождение Киевей в Западно-Панском расслоенном массиве: геологическое строение и состав оруденения // Стратегические минеральные ресурсы — основа устойчивого развития Севера. Апатиты: КНЦ РАН, 2009. С. 12—33.
4. Корчагин А. У., Гончаров Ю. В., Субботин В. В., Грошев Н. Ю., Габов Д. А., Иванов А. Н., Савченко Е. Э. Геология и вещественный состав руд малосульфидного платинометалльного месторождения Северный Каменник в Западно-Панском массиве (Кольский полуостров, Россия) // Руды и металлы. 2016. № 1. С. 42—51.
5. Латыпов Р. М., Чистякова С. Ю. Механизм дифференциации расслоенного интрузива Западно-Панских тундр. Апатиты: КНЦ РАН, 2000. 315 с.
6. Субботин В. В., Корчагин А. У., Савченко Е. Э. Платинометалльная минерализация Федорово-Панского рудного узла: типы оруденения, минеральный состав, особенности генезиса // Вестник Кольского научного центра РАН. 2012. № 1. С. 55—66.
7. Чернявский А. В., Грошев Н. Ю., Корчагин А. У., Шиловских В. В. Минералы элементов платиновой группы в разрезе Южного рифа Западно-Панского массива // Труды ФНС. 2018. № 15. С. 392—395.
8. Groshev N. Yu., Rundkvist T. V., Korchagin A. U., Ivanov A. N. Concentrations of trace elements in rocks of the Lower

layered horizon of the West-Pana intrusion / Abstracts, 12th International Platinum Symposium. Ekaterinburg. 2014. P. 65—66.

9. Stanley C. J., Vymazalova A. Kojonenite, a new palladium tin telluride mineral from the Stillwater Layered Igneous Intrusion, Montana, U.S.A. // *American Mineralogist*. 2015. V. 100. P. 447—450.

10. Vymazalova A., Drabek M. The system Pd — Sn — Te at 400° C and mineralogical implications. II. The ternary phases // *The Canadian Mineralogist*. 2010. V. 48. № 5. P. 1051—1058.

References

1. Gurskaya L. I., Dodin D. A. *Mineralnyye resursy platinovykh metallov Rossii: perspektivy rasshireniya* (Mineral resources of platinum metals of Russia: perspectives for enlargement). Regional geology and metallogeny, 2015, No. 64, P. 84—93.
2. Ivanov A. N., Groshev N. Yu., Korchagin A. U. *Transgressivnyye struktury Nizhnego rassloennogo gorizonta na uchastke malosulfidnogo platinometal'nogo mestorozhdeniya Severnyy Kamennik* (Transgressive structures of the Lower layered horizon on the site of the Northern Kamennik low-sulfide PGE deposit). Trudy FNS, 2018, No. 15, P. 156—159.
3. Korchagin A. U., Subbotin V. V., Mitrofanov F. P., Mineev S. D. *Platinometalloye mestorozhdeniye Kiyevy v Zapadno-Panskom rassloennom massive: geologicheskoye stroeniye i sostav orudeneniya* (Kiev PGE-bearing deposit of the West-Pana layered intrusion: geological structure and ore composition). Strategic Mineral Resources of Lapland — Base for the Sustainable Development of the North. Apatity: KSC RAS, 2009, P. 12—33.
4. Korchagin A. U., Goncharov Yu. V., Subbotin V. V., Groshev N. Yu., Gabov D. A., Ivanov A. N., Savchenko Y. E. *Geologiya i veshchestvennyy sostav rud malosulfidnogo platinometal'nogo mestorozhdeniya Severnyy Kamennik v Zapadno-Panskom massive* (Geology and composition of the ores of the low-sulfide North Kamennik PGE deposit in the West-Pana intrusion). Ores and Metals. 2016, No. 1, P. 42—51.
5. Latypov R. M., Chistyakova S. Y. *Mekhanizm differentsiatsii rassloennogo intruziva Zapadno-Panskikh tundr* (Mechanism of differentiation of the West-Pana layered intrusion). Apatity: KSC RAS, 2000, 315 pp.
6. Subbotin V. V., Korchagin A. U., Savchenko Y. E. *Platinometal'naya mineralizatsiya Fedorovo-Panskogo rudnogo uzla: tipy orudeneniya, mineralnyy sostav, osobennosti genezisa* (PGE mineralization of the Fedorovo-Pana ore complex: types of mineralization, mineral composition, features of genesis). Herald of the Kola Science Center of the RAS, 2012, No. 1, P. 55—66.
7. Chernyavsky A. V., Groshev N. Yu., Korchagin A. U., Shilovskikh V. V. *Mineraly elementov platinovoy gruppy v razreze Yuzhnogo rifa Zapadno-Panskogo massiva* (Minerals of platinum group elements in the section of the South Reef, West-Pana intrusion). Proceedings of the FSS, 2018, I. 15, P. 392—395.
8. Groshev N. Yu., Rundkvist T. V., Korchagin A. U., Ivanov A. N. Concentrations of trace elements in rocks of the Lower layered horizon of the West-Pana intrusion / Abstracts, 12th International Platinum Symposium. Ekaterinburg, 2014, P. 65—66.
9. Stanley C. J., Vymazalova A. Kojonenite, a new palladium tin telluride mineral from the Stillwater Layered Igneous Intrusion, Montana, U.S.A. *American Mineralogist*, 2015, V. 100, P. 447—450.
10. Vymazalova A., Drabek M. The system Pd—Sn—Te at 400° C and mineralogical implications. II. The ternary phases. *The Canadian Mineralogist*, 2010, V. 48, No. 5, P. 1051—1058.



СТРОЕНИЕ ТИПОВОГО РАЗРЕЗА НИЖНЕКАМЕННОУГОЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ПОДЗОНЫ ЛЕМВИНСКОЙ ЗОНЫ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ): ЧАСТЬ 2. РЕКОНСТРУКЦИЯ

В. А. Салдин

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

litgeo@geo.komisc.ru

В статье рассматривается строение нижнекаменноугольной части яйюской свиты, распространенной в восточной подзоне Лемвинской структурно-формационной зоны Полярного Урала. Она является индикатором начала коллизионных процессов на севере Урала и отражает геологическую историю этого периода. В разрезе свиты чередуются пачки карбонатно-терригенных и карбонатных пород. Первые образованы подводными плотностными потоками, вторые представляют гемипелагические отложения. Их чередование в разрезе говорит о неоднократной смене гидродинамически спокойных условий осадконакопления катастрофическими. Состав обломочного материала карбонатно-терригенных и карбонатных пород яйюской свиты на р. Грубею свидетельствует о существовании в раннекаменноугольное время на востоке седиментационного бассейна (в современных координатах) мелководного карбонатного шельфа.

Ключевые слова: Урал, Лемвинская зона, нижнекаменноугольные отложения, яйюская свита, стратиграфия, осадочные породы, литологический репер.

STRUCTURE OF THE TYPICAL SECTION OF THE LOWER CARBONIFEROUS DEPOSITS OF THE EAST SUBZONE OF THE LEMVA ZONE (POLAR URALS): PART 1. RECONSTRUCTION

V. A. Saldin

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The article examines the composition and structure of the Lower Carboniferous part of the Yajyu Suite, common in the eastern subzone of the Lemva structural-formational zones of the Polar Urals. It is an indicator of the beginning of collision processes in the northern part of the Urals and reflects the geological history of this period. The scaly-thrust structure of the area, small isoclinal folds, numerous discontinuous disturbances, and redeposition of organic remains strongly obscured the succession of layers. The revealing of the lithological benchmark allowed to decipher the geological structure of one of the tectonic «scales» (plates) and to clarify the sequence of the Lower Carboniferous deposits in it.

The section of the Yajyu Suite presented alternating packs of carbonate-terrigenous and carbonate rocks. The first ones were formed by underwater density flows; the second ones represented hemipelagic deposits. Their alternation in the section indicates the repeated change of hydrodynamically quiet sedimentation conditions with catastrophic. The composition of detrital material of carbonate-terrigenous and carbonate rocks of the Yajyu Suite on the Grubeyu River testifies to existence of shallow-water carbonate shelf in the east of the sedimentation basin (in modern coordinates) in the Early Carboniferous time.

Keywords: Urals, Lemva zone, Lower Carboniferous deposits, Yajyu Suite, sedimentary rocks, stratigraphy, lithological benchmark.

Строение разреза нижнекаменноугольных отложений

В отдельных выходах после построения геологического разреза, используя текстурные признаки пород, можно более или менее точно восстановить последовательность отложений. Составить же единый стратиграфический разрез по отдельным обнажениям, если в них присутствует разновозрастный комплекс органических остатков, невозможно без маркирующего горизонта (репера).

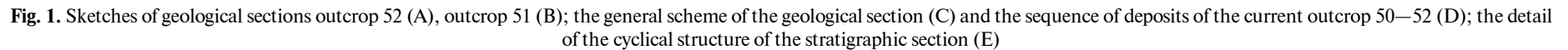
На основании литологического репера, встреченного в обн. 50—52, на участке длиной около 1000 м вкрест простирания слоев, и характера строения циклитов с последовательностью текстур Боума была восстановлена нормальная последовательность слоев (рис. 1). Литологический репер, охарактеризованный в первой части статьи [5], обнаружен пять раз: в нижней части обн. 50 в нормальном залегании, в самой верхней части обн. 51 в опрокинутом

залегании и трижды в обн. 52 (верхней, средней и нижней частях обнажения) в нормальном залегании. Геологическое строение обн. 52 наиболее сложное и представляет мелкие чешуи-дуплексы (рис. 1, А, С). Ниже приводится сводное (из разных обнажений) описание пачек снизу вверх по разрезу (рис. 1, D).

Пачка I. Существенно терригенно-карбонатная по составу и вскрыта лишь в средней части обн. 52, ближе к верхнему (по течению) концу:

А — переслаивание (0.2—0.3 м) известняков доломитистых и доломитов слабоизвестковых с прослоями (0.02—0.05 м) глинисто-известковых сланцев с радиоляриями — 10 м;

Б — переслаивание (0.10—0.25 м) известняков глинистых (часто переходящих в известково-глинистые сланцы) и известняков алевритистых, реже песчаных. По-





роды этой части разреза в обн. 52 деформированы в подобную антиклинальную складку. Среди основной массы тонкопереслаивающихся отложений выделяется слой песчанистого известняка мощностью 2 м, по которому можно наблюдать сброс с амплитудой в 5 м. В этих известняках найдены фораминиферы *Pseudoendothyra propinqua* Viss., *Archaediscus krestovnikovi koktjubensis* Raus., *A. krestovnikovi* Raus., *A. moelleri* Raus., *Globoendothyra globula* (Eichw.), *Omphalota omphalotis* (Raus. et Reitl.), *Endothyra prisca* Raus., *E. ranopsis crassus* (Brady), *E. cf. mosquensis E. similis lenocinosa* Shlykova, *Earlandia vulgaris* (Raus. et Reitl.); водоросли *Konincopora macropora* Masl. — 12 м;

В — известняки микрозернистые темно-серые, слабо доломитистые, с плитчатой отдельностью (0.06—0.40 м), с новообразованными полевыми шпатами — 4 м.

Пачка II. Переслаивание известковых песчаников, алевролитов и глинистых сланцев с постепенными переходами в известняки песчанистые, алевролитистые и глинистые (рис. 4). Выходы пачки повторяются трижды в обн. 52 и по одному разу в обн. 50 и 51:

А — переслаивание известняков алевроитовых с известняками глинистыми и тонко- и мелкозернистыми песчаниками. В последних наблюдается горизонтальная и тонкая косая слоистость — около 10 м;

Б — переслаивание известковых песчаников, алевролитов и глинистых сланцев (характер переслаивания показан на рис. 6, Д). В этих отложениях найдены фораминиферы *Endothyra* ex gr. *prisca* Raus., *Endothyra* sp., *Earlandia vulgaris* (Raus. et Reitl.), *Lituotubella* ex gr. *glomospiroides* Raus., *Propermodiscus krestovnikovi pusilla* (Raus.), *Eostaffella* cf. *proikensis* Raus., *Archaediscus* ex gr. *moelleri* Raus., *Omphalotis* ex gr. *omphalota* (Raus. et Reitl.) — 20 м;

В — переслаивание известняков глинисто-алевроитистых и известковых тонкозернистых песчаников. Встречаются известняки (0.35 м) глинистые с включениями радиолярий — 10 м.

Пачка III. Силициты, доломиты, глинистые и алевроитистые известняки:

А — литологический репер с фораминиферами *Endothyra* cf. *similis* Raus., *Endothyra prisca* Raus., *Globoendothyra* sp., *Earlandia vulgaris* (Raus. et Reitl.) — 0.9—3.3 м;

Б — переслаивание (0.1—0.4 м) фтанитов, глинистых известняков с перекристаллизованными радиоляриями и известняков алевроитистых — 8 м.

Пачка IV. Известковые песчаники, алевролиты и глинистые сланцы с плавными переходами в известняки песчанистые:

А — переслаивание алевроитовых известняков, известковых песчаников, алевролитов и глинистых сланцев. Наиболее полно эта часть разреза вскрыта в обн. 51. В верхнем конце обнажения наблюдаются тонкопереслаивающиеся (0.05—0.30 м) глинистые сланцы, известковые тонкозернистые песчаники с прослоями фтанитов. Здесь встречены конкреции кремнисто-известкового состава эллипсоидальной и цилиндрической форм (диаметром до 0.2 м). В них найдены аммоноидеи и пелециподы плохой сохранности. Под микроскопом в конкрециях наблюдается множество радиолярий и срезы пелеципод. В слабopесчанистых известняках с радиоляриями наблюдаются довольно большие остатки (до 20 см по удлинению) углефицированной растительности — 15 м;

Б — переслаивание известковых полимиктовых песчаников, алевролитов и глинистых сланцев. Для пород характерна градационная, горизонтальная, тонкослоистая и конволутная слоистость. Слои имеют мощность 0.03—1.00 м. В известняках песчанистых отмечается углефицированный растительный детрит. В одном из прослоев сильно песчанистого известняка найдены фораминиферы *Endothyra* cf. *prisca* Raus. et Reitl., *Omphalotis* ex gr. *omphalota* (Raus. et Reitl.); водоросли *Konincopora* cf. *micropora* Masl., в другом прослое найдены *Mediocris mediocris* (Viss.), *Tetrataxis angusta* Viss., *Archaediscus karreri* Brady, *Omphalotis* sp.; водоросли *Calcifolium okense* Schwet. et Bir. — 25—30 м;

В — переслаивание известняков глинистых, алевропесчанистых и микрозернистых. В верхней части пачки (обн. 50), в слабopесчанистом известняке определены фораминиферы *Endothyra* ex gr. *prisca* Raus. et Reitl., *Propermodiscus* cf. *krestovnikovi pusilla* (Raus.), *Omphalotis* sp.; водоросли *Calcifolium okense* Schwet. et Bir. и смешанный комплекс конодонтов из визейско-серпуховский форм *Gnathodus bilineatus* Roundy, *G. delicatus* (Branson et Mehl. *G. praebilineatus* Belka, *Lochriea commutata* (Branson et Mehl.) и верхнедевонского *Palmatolepis* cf. *rhomboidea* Sannemann — 10 м.

Пачка V. Известняки микрозернистые темно-серые. Наиболее полно они вскрыты в нижнем конце обн. 51. Судя по элементам залегания, они деформированы в складки, так же как и в обн. 50, где у подножия скальных выходов известняков находится родник, — около 30 м.

Согласно структурным построениям разрез наращивается породами верхней (по течению реки) части обн. 50 (рис. 2).

Пачка VI. Переслаивание тонкое известняков песчанистых и глинистых микрозернистых.

А — известняки песчанистые и микро- и тонкозернистые темно-серого цвета с прослоями глинистых известняков тонкоплитчатых. Переходы от песчанистых известняков в микрозернистые постепенные. Встречены песчанистые известняки (до 1 м) с фораминиферами *Lituotubella* cf. *glomospiroides* Raus., *Mediocris* cf. *ovalis* (Viss.), *Eostaffella* cf. *parastruvei* Raus., *Earlandia vulgaris* (Raus. et Reitl.). Выходы этой пачки слагают крутой берег высотой до 6—8 м. Отмечается слой (до 1 м) известняков глинистых, переходящих в известково-глинистые сланцы, — 15 м;

Б — известняки микрозернистые и песчанистые. Встречаются прослои (0.05—0.30 м) микрослоистых известняков. Слоистость выражена послойным изменением цвета и структуры кальцита. Часто микрослойки отделяются друг от друга по микростилолитам, а на некоторых участках наблюдается фрагментация микрослоев, и эти участки очень сходны по строению с некоторыми зелеными водорослями. В прослое песчанистого известняка найдены фораминиферы *Omphalotis* cf. *omphalota* (Raus. et Reitl.), *Archaediscus* cf. *moelleri* Raus. — 9 м;

В — микрозернистые известняки темно-серые переслаиваются с глинистыми известняками (калькалутитами) с прослоями известняков песчанистых (калькаренинов). Породы этой пачки вскрыты на р. Грубею непосредственно близ устья пересохшего ручья и сильно деформированы в складки и разбиты разрывными нарушениями. В песчанистых известняках (до 0.8 м) обнаружены фораминиферы *Archaediscus karreri nana* Raus., *Propermodiscus krestovnikovi koktjubensis* (Raus.), *Endothyra* cf. *similis lenocinosa* (Shluk.), *Omphalotis tantilla* (Shlyk.), *Mediocris mediocris* (Viss.), *M. breviscula* (Gan.), *Endothyranopsis* cf.

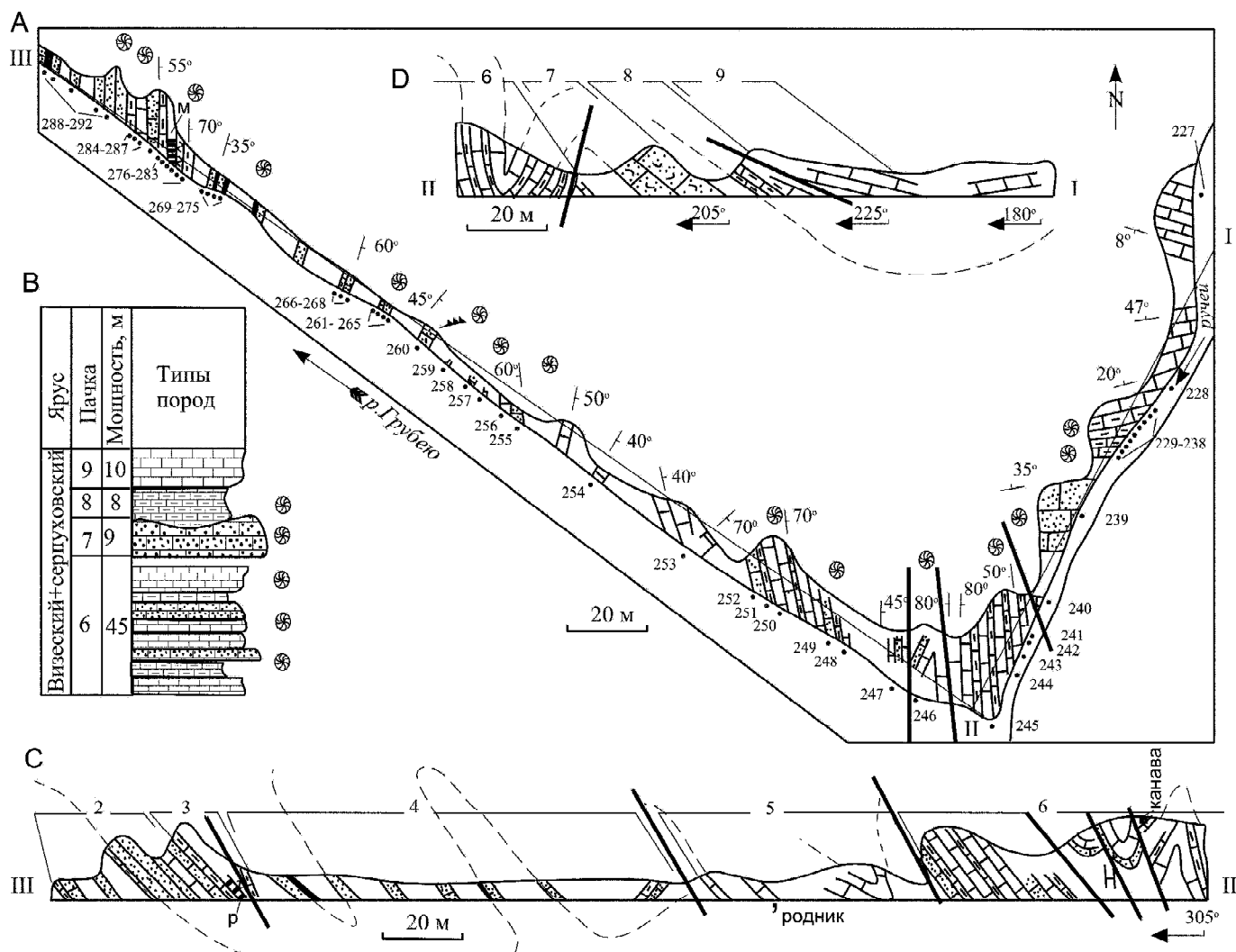


Рис. 2. Геологический план (А), литолого-стратиграфическая колонка (В) и геологические разрезы по профилям III—II (С) и II—I (D) нижнекаменноугольных отложений обн. 50

Fig. 2. The geological plan (A), the lithologic-stratigraphic column (B) and the geological sections along the profiles III—II (C) and II—I (D) of the Lower Carboniferous sediments in outcrop 50

crassus (Brady); водоросли *Konincopora macropora* Masl. Выходы этих отложений прослеживаются вверх по ручью, направление которого почти совпадает с их простиранием. — 20 м.

Через необнаженный участок (15 м) вверх по ручью с резко иными элементами залегания (вероятно, здесь развито разрывное нарушение) вскрываются отложения, сходные с отложениями обн. 48.

Пачка VII. Известняки биолитокластовые слабепесчаные, сильно выветрелые, с включениями фораминифер *Earlandia vulgaris* (Raus. et Reitl.), *Endothyranopsis* ex gr. *crassus* (Brady), *Forschia* aff. *michailovi* Dain., *Omphalothis infrequentis* (Ganelina), *Lituotubella glomospiroides* Raus., *Endothyra* cf. *prisca* Raus., *E.* ex gr. *similis* Raus. — 9 м.

Пачка VIII. В нижней части пачки тонкое переслаивание (0.05—0.15 м) глинистых известняков и микрозернистых «чистых» известняков, а в верхней переслаиваются (0.10—0.20 м) глинистые, алевроитистые известняки и встречаются песчаные известняки с тонкой косою слоистостью. В глинистых известняках часто наблюдаются многочисленные перекристаллизованные радиолярии. В песчаных

известняках найдены фораминиферы *Propermodiscus krestovnikovi koktjubensis* (Raus.), *Endothyra* sp. — 8 м.

Пачка IX. Известняки микрозернистые темно-серые, с плитчатой отдельностью 0.2—0.3 м, с прожилками флюорит-кальцитового состава. Слои деформированы в пологую синклиналию складку (рис. 2, D) — 15 м.

Мощность отложений обн. 50—52 около 230 м. В обн. 48 и 49 преобладают карбонатные породы, представленные биолитокластовыми песчанистыми (алевритистыми), глинистыми и микрозернистыми известняками. Они датированы многочисленными находками поздневизейско-серпуховских фораминифер. По структурно-тектоническим построениям мощность отложений обн. 48 — 100 м, а обн. 49 — 25 м. На основании литологического сходства данных отложений с пачками VI—IX (обн. 50) можно предположить две версии: или разрез повторяется, или данные отложения наращивают разрез. Пока мы склоняемся ко второй версии. Строение разреза отложений обн. 53 нами не изучалось, поэтому принимается мощность по данным А. И. Елисеева [2] — около 140 м. Их положение в разрезе также не выяснено. Общая мощность



опорного разреза нижнекаменноугольных отложений в западной полосе на р. Грубею около 500 м. Обширный комплекс фораминифер (более 20 родов и 70 видов) и их многочисленные местонахождения в изученных отложениях р. Грубею (в 40 наших пробах и в 25 пробах А. И. Елисеева) достаточно надежно обосновывают поздневизейско-серпуховский возраст всех вмещающих пород.

Обсуждение результатов

Необходимо подчеркнуть следующие особенности местонахождений фауны в нижнекаменноугольных отложениях на р. Грубею: 1) все многочисленные находки фораминифер связаны с обломочными породами биолито-кластовыми известняками, в различной степени включающими терригенный полимиктовый материал, или с известковыми граувакковыми песчаниками и алевролитами; 2) многочисленные находки фораминифер и одно местонахождение конодонтов указывают на поздневизейско-серпуховский возраст вмещающих отложений; 3) присутствие девонских конодонтов среди каменноугольных свидетельствует о процессах переотложения органических остатков, которое трудно заметить по фораминиферам. Широкое развитие процессов переотложения фауны в целом для каменноугольных отложений восточной подзоны Лемвинской зоны не исключение, а характерная особенность, установленная и в других подвижно-складчатых областях [1].

Выявленный литологический репер позволил восстановить последовательность отложений лишь в пределах одной тектонической пластины. В строении восстановленного разреза чередуются интервалы преимущественно карбонатных отложений (пачки I, III, V и IX мощностью 1130 м) и обломочных отложений карбонатно-терригенного или терригенно-карбонатного состава (пачки II, IV, VI мощностью до 40–55 м). Характерное циклитовое строение обломочных отложений и их текстурные особенности позволяют интерпретировать их как турбидиты с последовательностями Боума T_{a-e} , T_{b-e} , T_{c-e} , T_{d-e} [8]. В этих пачках циклиты относительно часто разделяются слоями темно-серых радиоляриевых известняков, радиоляриевых доломитов или, реже, радиоляриевых фганитов. Они достаточно уверенно сопоставляются с фоновыми отложениями, образованными в промежутке между турбидными потоками. Массивные литобиокластовые известняки с терригенной примесью, слагающие пачку VII, возможно, образованы обломочными потоками.

Разнообразный силикокластический материал алевропсаммитовой размерности свидетельствует о разрушении осадочных, метаморфических и изверженных пород в пределах орогенного поднятия. Большое количество биокластового материала, среди которого часто встречаются водоросли (багрянки), а также оолитов и пелоидов указывает на мелководно-морское их происхождение. Такой состав кластической части песчаников и известняков можно объяснить, предположив существование на востоке в поздневизейско-серпуховское время узкого карбонатного шельфа, разделяющего орогенное поднятие островной дуги и относительно глубоководный бассейн. Этот шельф служил поставщиком мелководных карбонатных образований, которые смешивались с поступающим с суши полимиктовым материалом и транспортировались вниз по склону турбидными (мутевыми) потоками в относительно глубоководные части моря. Вероятно, мощная толща доломитов восточной полосы нижнекаменноугольных отложений на р. Грубею относится к

этому восточному шельфу. Современное положение этих доломитов можно объяснить тектоническими причинами. Отнесение их к воргашорской свите, как показано на современных геологических картах, ошибочно. Даже на западе в пределах карбонатного шельфа (Елецкая структурно-формационная зона) в разрезах нижнего карбона нет такой мощной толщи доломитов [2]. Находки девонских конодонтов и распространение в кластической части карбонатно-терригенных пород силицитов свидетельствуют, что в области сноса уже в раннем карбоне находились и девонские кремнистые толщи, сходные с подстилающей няньворгинской свитой.

Образование темно-серых микрозернистых известняков, особенно мощной пачки V, объясняется относительно продолжительными остановками лавинной седиментации. Микрозернистые известняки по структуре соответствуют микроспаритам и могут образоваться многими способами [9]. Ассоциация микроспаритов в стратиграфическом разрезе на р. Грубею с турбидитами, а также с фоновыми радиоляриевыми известняками и радиоляриевыми фганитами предполагает их относительно глубоководный генезис. Если это предположение верно, то известняки могли образоваться в результате хемогенного процесса или привноса карбонатного микритового материала из мелководных сред в глубокие воды, где они могли подвергнуться грануляции с образованием структуры миоспарита. Остается открытым вопрос об отсутствии в микроспарите остатков планктонных организмов, какими являются радиолярии. Допустить их исчезновение при грануляции трудно, так как в выше- и нижезалегающих пачках их реликты сохранились в известняках и доломитах. Не исключено, что формирование микрозернистых известняков было связано с периодическими поднятиями отдельных участков дна бассейна.

Нехарактерным является распространение доломитов среди относительно глубоководных отложений. Вторичное их происхождение в нижнекаменноугольных отложениях р. Грубею обнаруживается при изучении пород в шлифах под поляризационным микроскопом, в которых отчетливо можно наблюдать замещение доломитом халцедона в остатках радиолярий. Многие версии доломитизации связываются с действием пресных метеорных вод, появление которых в отложившихся осадках на глубоководье, в удалении от суши труднообъяснимо. Для возникновения маломощных слоев доломитов наиболее подходит модель погребенной доломитизации, когда породы, погружаясь на большие глубины, испытывают высокие давления и температуры, и в результате трансформации минералов группы смектитов в гидрослюды поровые воды обогащаются ионами магния (Mg^{+2}) [9]. Возможным доказательством этой версии является состав глинистых минералов, установленный в нижнекаменноугольных отложениях [4]. Другим вариантом происхождения доломитов может быть влияние метаморфических и гидротермальных флюидов [9]. Признаками проявления гидротерм в изученных породах являются широко распространенные кварц-кальцитовые, барит-кварцевые, флюорит-барит-кальцитовые жилы. Гидротермальные баритопроявления в каменноугольных породах этого района — Грубешорское (обн. 1) и Грубевожское (обн. 2) — подтверждают эту версию [7]. Надо добавить, что баритопроявления, сходные с известными, обнаружены нами в породах обн. 50, 52 и 53. На основе геохимического изучения каменноугольных отложений Лемвинской СФЗ ранее была выд-



винута версия о повышенной магнезиальности карбонатной фазы в серпуховском интервале разреза [6]. Если эта версия верна, то изученные отложения на р. Грубею, возможно, относятся лишь к серпуховскому ярусу. Находки фауны не противоречат этому.

Доломитовая конглобрекция сходна с внутрiformационными конгломератами или интрокластами, которые обычно интерпретируются как мелководно-морские или субаэральные образования в результате эрозии слоя полуконсолидированного карбонатного осадка. Однако они могут образоваться и на глубинах в результате подводной фрагментации и переноса турбидными потоками [3]. Доломитовые конглобрекции литологического репера, по видимому, образованы именно подводными плотностными потоками. Вероятно, в седиментационно-диагенетическую стадию прошла доломитизация в приповерхностном слое радиоляриевого известняка или радиоляриевого силицита, который был под действием подводного плотностного потока разрушен. На это указывают состав обломков конглобрекции, слабозаметная тенденция уменьшения их размера от подошвы к кровле слоя и переход выше по разрезу в мощный слой микстолита, происхождение которого также связывается с плотностным потоком.

Выводы

1. Литологический репер и повторение характерных пачек позволили восстановить геологическое строение на этом участке и выявить нормальную последовательность нижнекаменноугольных отложений. В обн. 52 (рис. 5, С) пачки трижды повторяются в разрезе, образуя мелкоаппалачские чешуи толщиной 40–70 м. По-видимому, строение этого участка представляет дуплекс. Мощность нижнекаменноугольных отложений обн. 48–52, ранее оцененная в 1000 м, с учетом тектонических дислокаций уточнена и составляет около 350 м.

2. В строении разреза чередуются два типа пачек: существенно карбонатные, интерпретируемые как гемипелагические отложения (пачки I, III, V и IX), и карбонатно-терригенные или терригенно-карбонатные (пачки II, IV, VI и VII) отложения подводных плотностных потоков. Последовательность пачек в разрезе в восточной подзоне Лемвинской зоны отражает неоднократную смену в раннекаменноугольное время гидродинамически спокойных условий преимущественно карбонатного осадконакопления на лавинные карбонатно-терригенные. Эти данные противоречат представлению о закономерной и постепенной смене карбонатного осадконакопления на терригенное в разрезе нижнего карбона.

3. Состав литобиокластового материала карбонатно-терригенных и терригенно-карбонатных пород в нижней части яюской свиты на р. Грубею свидетельствует о существовании в раннекаменноугольное время на востоке седиментационного бассейна (в современных координатах) мелководного карбонатного шельфа.

4. Полученные результаты не дают представления о строении всего разреза нижнекаменноугольных верхневизейско-серпуховских отложений на р. Грубею, поэтому исследование следует продолжить.

Автор благодарен своему наставнику А. И. Елисееву, чья монография «Карбон Лемвинской зоны Севера Урала» была путеводителем для полевых исследований, а его устные советы помогли более ясно представить проблемы стратиграфии и литологии каменноугольных отложений района исследу-

ований. Статья не могла быть написана без определений органических остатков З. П. Михайловой (фораминиферы) и А. В. Журавлева (конодонты), которым автор выражает признательность.

Работа проводилась в рамках Госпрограммы ГРН № АААА-А17-117121270034-3 и частичной финансовой поддержки Программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект №18-5-5-31.

Литература

1. Аристов В. А., Чернышук В. П. Переотложение конодонтов и его значение для решения некоторых вопросов геологии // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1988. Т. 63. Вып. 6. С. 40–56.
2. Елисеев А. И. Карбон Лемвинской зоны севера Урала. Л.: Наука, 1973. 95 с.
3. Петтиджон Ф. Дж. Осадочные породы: Перевод с англ. М.: Недра, 1981. 751 с.
4. Попов С. А., Салдин В. А. Глинистые минералы яйюской свиты // Литогенез и геохимия осадочных формаций Тимано-Североуральского региона. 2000. № 3. С. 79–85. (Тр. Ин-та геологии Коми науч. центра УрО РАН. Вып. 104).
5. Салдин В. А. Строение типового разреза нижнекаменноугольных отложений восточной подзоны Лемвинской зоны (Полярный Урал): часть 1. Литологический репер // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 12. С. 31–38.
6. Юдович Я. Э., Шишкин М. А., Лютиков Н. В., Кетрис М. П., Беляев А. А. Геохимия и рудогенез черных сланцев Лемвинской зоны севера Урала. Сыктывкар: Пролог, 1998. 340 с.
7. Юшкин Н. П., Кунц А. Ф., Таранина Т. И. Бариты Уральско-Пайхойской провинции. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 337 с.
8. Deep-Water Turbidite Systems / Preprint series volume 3 of the International Association of Sedimentologists edited by Dorric A.V. Stow. Blackwell Scientific publications, 1992. 473 p.
9. Flugel E. Microfacies of carbonate Rocks (Analysis, Interpretation and Application) Berlin; N.Y. Springer-Verlag, 2004. 976 p.

References

1. Aristov V. A., Chernyshuk V. P. *Pereotlozhenie konodontov i ego znachenie dlya resheniya nekotorykh voprosov geologii* (Redeposition of conodonts and its importance for solving some problems of geology). Byull. MOIP. Otd. geol. 1988, V. 63, 6, pp. 40–56.
2. Eliseev A. I. *Karbon Lemvinskoi zony Severa Urala* (Carboniferous Lemva zone of the North of the Urals) Leningrad: Nauka, 1973, 95 p.
3. Pettidzhon F. J. *Osadochnyye porody* (Sedimentary rocks). Translation from English. Moscow: Nedra, 1981, 751 p.
4. Popov S. A., Saldin V. A. *Glinistyie mineral yaiyuskoj svity. Litogenez i geokhimiya osadochnykh formatsii Timano-Severoural'skogo regiona. № 3* (Clay minerals of the Yayyu Formation. Lithogenesis and geochemistry of sedimentary formations of the Timan-North Ural region No.3) Syktyvkar, 2000, pp. 79–85, (Proceedings of Institute of geology Komi SC UB RAS 104).
5. Saldin V. A. *Stroenie tipovogo razreza nizhnnekamenougolnykh otlozheniy vostochnoy podzony Lemvinskoy zony* (Polyarny Ural): chast 1. Litologicheskii reper (Structure of a typical section of Lower Carboniferous deposits in the eastern



subzone of the Lemvinsky zone (Polar Urals): part 1. Lithological reference). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2018, No. 12, pp. 31—38.

6. Yudovich Ya. E., Shishkin M. A., Lutikov N.V., Ketris M. P., Belyaev A. A. *Geokhimiya i rudogenez chernyh slantsev Lemvinskoi zony severa Urala* (Geochemistry and ore genesis of black shale of the Lemva zone in the north of the Urals). Syktyvkar, Prolog, 1998, 340 p.

7. Yushkin N. P., Kunts A. F., Taranina T. I. *Barity Uralsko-Paihoiskoi provintsii* (Barites of the Ural-Paykhoy province). Ekaterinburg: UB RAS, 2002, 337 p.

8. Deep-Water Turbidite Systems. Preprint series volume 3 of the International Association of Sedimentologists edited by Dorric A. V. Stow. Blackwell Scientific publications, 1992, 473 p.

9. Flugel E. Microfacies of carbonate Rocks (Analysis, Interpretation and Application) Berlin; N.Y. Springer-Verlag, 2004, 976 p.



ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 22.09.2008 г. И 20.10.2009 г. НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РУССКОЙ ПЛИТЫ

Н. Н. Носкова

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

noskova@geo.komisc.ru

Изучение сейсмичности слабоактивных территорий является актуальным в связи с их геодинамической активизацией, а также расположением в пределах платформы ответственных объектов и даже слабое сейсмическое событие может сопровождаться заметными рисками. Целью данной работы является определение параметров землетрясений 2008 и 2009 гг., сеймотектонической позиции гипоцентров и сопоставление их с расчетами других сейсмологических служб. В результате инструментальной обработки в программах WSG и NAS получены следующие параметры землетрясения 22 сентября 2008 г.: $t_0 = 23^h21^m00.5^s$, $61.276N$, $51.580E$, $R_{minor} = 6.2$ км, $R_{major} = 21.0$ км, $Az_{major} = 30^\circ$, $h = 10$ км, $Kp = 9.4/2$, $M_L = 3.2/2$, $M_s = 2.9/2$. По нашим расчетам, оно произошло в Корткеросском районе Республики Коми. Параметры землетрясения 20 октября 2009 г.: $t_0 = 04^h45^m43.9^s$, $57.777N$, $50.364E$, $R_{minor} = 6.6$ км, $R_{major} = 24.0$ км, $Az_{major} = 20^\circ$, $h = 5$ км, $Kp = 9.8/3$, $M_L = 3.4/3$, $M_s = 2.6/2$. Эпицентр расположен в Немском районе Кировской области. В тектоническом плане землетрясения 2008, 2009 гг. на северо-востоке Русской плиты относятся к Кировско-Кажимскому авлакогену Волго-Уральской антеклизы и прилегающих к нему сводам. Регистрируемые сейсмические события подтверждают, что авлакоген является активной сейсмогенерирующей структурой.

Ключевые слова: землетрясение, эпицентр, бюллетень, сейсмичность, Восточно-Европейская платформа, Русская плита, авлакоген.

EARTHQUAKES 22.09.2008 AND 20.10.2009 IN THE NORTHEAST OF THE RUSSIAN PLATE

N. N. Noskova

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The study of seismicity of low-magnitude areas is relevant in connection with their geodynamic activation, as well as the location of critical objects within the platform, when even a weak seismic event can cause serious damage. The purpose of this work is to determine parameters of earthquakes of 2008 and 2009, the seismotectonic position of hypocenters, and to compare them with calculations of other seismological services. As a result of instrumental data processing in the WSG and NAS programs, the following earthquake parameters were obtained on September 22, 2008: $t_0 = 23^h21^m00.5^s$, $61.276N$, $51.580E$, $R_{minor} = 6.2$ km, $R_{major} = 21.0$ km, $Az_{major} = 30^\circ$, $h = 10$ km, $Kp = 9.4/2$, $M_L = 3.2/2$, $M_s = 2.9/2$. According to our calculations, it occurred in the Kortkeross region of the Komi Republic. Parameters of the earthquake on October 20, 2009: $t_0 = 04^h45^m43.9^s$, $57.777N$, $50.364E$, $R_{minor} = 6.6$ km, $R_{major} = 24.0$ km, $Az_{major} = 20^\circ$, $h = 5$ km, $Kp = 9.8/3$, $M_L = 3.4/3$, $M_s = 2.6/2$. The epicenter was located in the Nemsky district of the Kirov region. Tectonically, the earthquakes of 2008, 2009 occurred in the area of the Kirov-Kazhim aulacogen of the Volga-Ural antecline. The earthquakes of the northeast of the Russian Plate are mainly associated with aulacogen and the adjacent arches. The recorded seismic events confirm that the aulacogen is an active seismic-generating structure.

Keywords: earthquake, epicenter, bulletin, seismicity, East European Platform, Russian Plate, aulacogen.

Введение

Восточно-Европейская платформа (ВЕП) характеризуется относительно слабой сейсмичностью. Однако изучение сейсмичности слабоактивных территорий является весьма актуальным в связи с тем, что наблюдается их геодинамическая активизация, ежегодно регистрируются низкомagnitude сейсмические события. Важность исследований обусловлена также расположением ответственных промышленных объектов на платформе, которым даже слабое сейсмическое событие способно нанести серьезный ущерб.

Кировская область и юг Республики Коми являются наиболее сейсмически активными территориями северо-востока ВЕП, здесь произошли одни из сильнейших землетрясений на Европейском Севере в XX в. — 7-балльное Сысольское землетрясение 1939 г., а также историческое 7-балльное землетрясение 1897 г., охватившее всю Вятскую губернию. 18 января 2000 г. в центральной части Ки-

ровской области случилось землетрясение, которое имело макросейсмические проявления. 9 ноября 2002 г. сейсмическими станциями по всему миру было зафиксировано землетрясение на юге Республики Коми. 18 мая 2004 г. в Нагорском районе Кировской области зарегистрировано землетрясение с локальной магнитудой $M_L=3.4$. 22 сентября 2008 г. произошло землетрясение в Республике Коми, а 20 октября 2009 г. — в Кировской области (рис. 1). Данные события 2008 и 2009 гг., хотя и представлены в каталогах сборников [3, 4, 7, 8, 15], однако из-за расхождения в местоположении эпицентров требуют более тщательного изучения.

Целью данной работы является определение параметров, сеймотектонической позиции гипоцентров землетрясений 2008 и 2009 гг. и сопоставление их с расчетами других сейсмологических служб. Обычной практикой в сейсмологии являются работы по уточнению параметров очагов ранее зарегистрированных землетрясений, поскольку

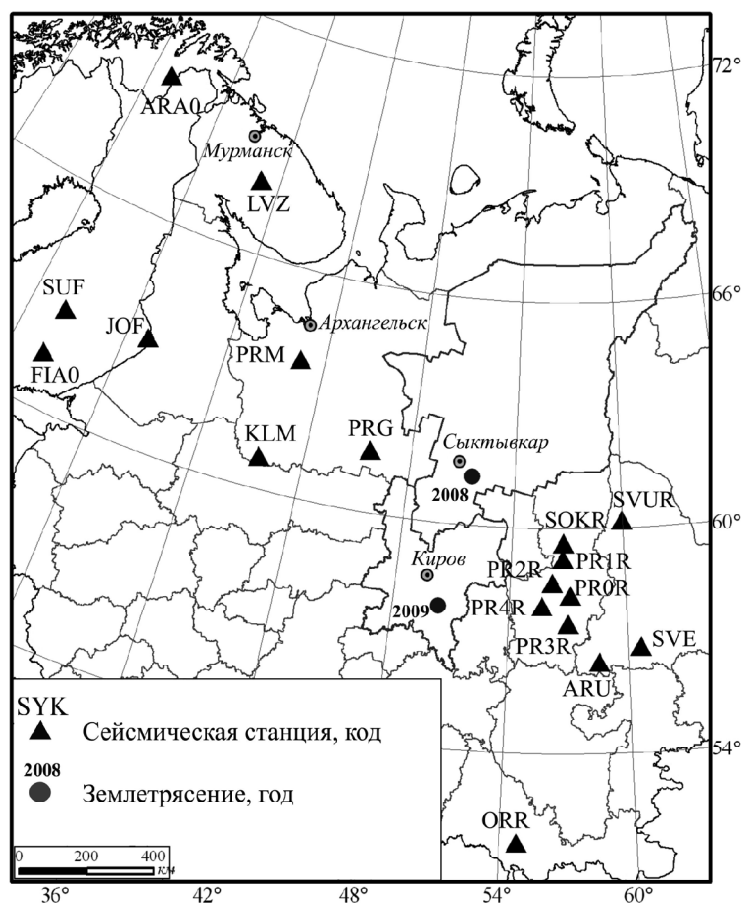


Рис. 1. Эпицентры землетрясений 22.09.2008 и 20.10.2009 гг. и зарегистрировавшие их станции
Fig. 1. Epicenters of earthquakes on September 22, 2008 and October 20, 2009 and registering stations

сведения, полученные в разных сейсмологических центрах и публикуемые в бюллетенях в оперативном режиме, основаны на данных лишь собственных станций и являются предварительными. Как правило, более детальная обработка событий происходит спустя некоторое время, когда появляется возможность привлечения записей сейсмических станций других сетей, появляются уточненные скоростные модели и новые методические подходы [9]. Реализация поставленной цели предусматривала решение следующих задач: сбор волновых форм с записями землетрясений, их обработку с использованием единой скоростной модели, методического подхода и всех доступных в настоящее время исходных данных, сопоставление полученных координат с расчетами других сейсмологических служб.

Исходные данные и методы вычисления

Землетрясения 2008 и 2009 гг. были зарегистрированы станциями Пермского края, Архангельской, Мурманской, Оренбургской, Свердловской областей, Финляндии и Норвегии (рис. 1). В 2008 и 2009 гг. в пределах Республики Коми функционировала сейсмическая станция «Сыктывкар», но собственные записи землетрясений отсутствуют по причине нестабильной работы станции. Сейсмограммы были любезно предоставлены коллегами из Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН) Архангельска [18] и Перми [14], а также получены через электронные ресурсы GEOFON [19], IRIS [20] и NORSAR [22].

Предварительное определение параметров гипоцентра на основе исходных цифровых данных производилось в программном комплексе WSG [6] методом минимизации невязок. Итоговое определение параметров гипоцентра производилось методом Generalized beamforming в усовершенствованном виде, реализованном в программе NAS (New Association System) [17], которая производит ассоциацию и уточнение координат и времени в области предварительно вычисленного гипоцентра. При вычислении параметров гипоцентров применялась скоростная модель для ВЕП [21], дополненная глубокими слоями модели АК-135. Для определения значений локальной магнитуды M_L (MWA) использовался реализованный в программе WSG способ расчета, основанный на осредненной по Северной Евразии калибровочной функции [2].

Землетрясение 22 сентября 2008 г.

22 сентября 2008 г. в Республике Коми произошло землетрясение, которое было зарегистрировано станциями Архангельской, Мурманской, Оренбургской, Свердловской областей, Пермского края, Финляндии и Норвегии. В обработке события 2008 г. участвовали цифровые записи 14 станций (рис. 2): «Пермогорье» (PRG), «Климовская» (KLM), «Оренбург» (ORR) ФИЦ ЕГС РАН совместно с Архангельской сейсмической сетью (ACC); «Пермилово» (PRM) ACC; «Арти» (ARU), «Ловозеро» (LVZ) ФИЦ ЕГС РАН и Международного центра данных Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядер-

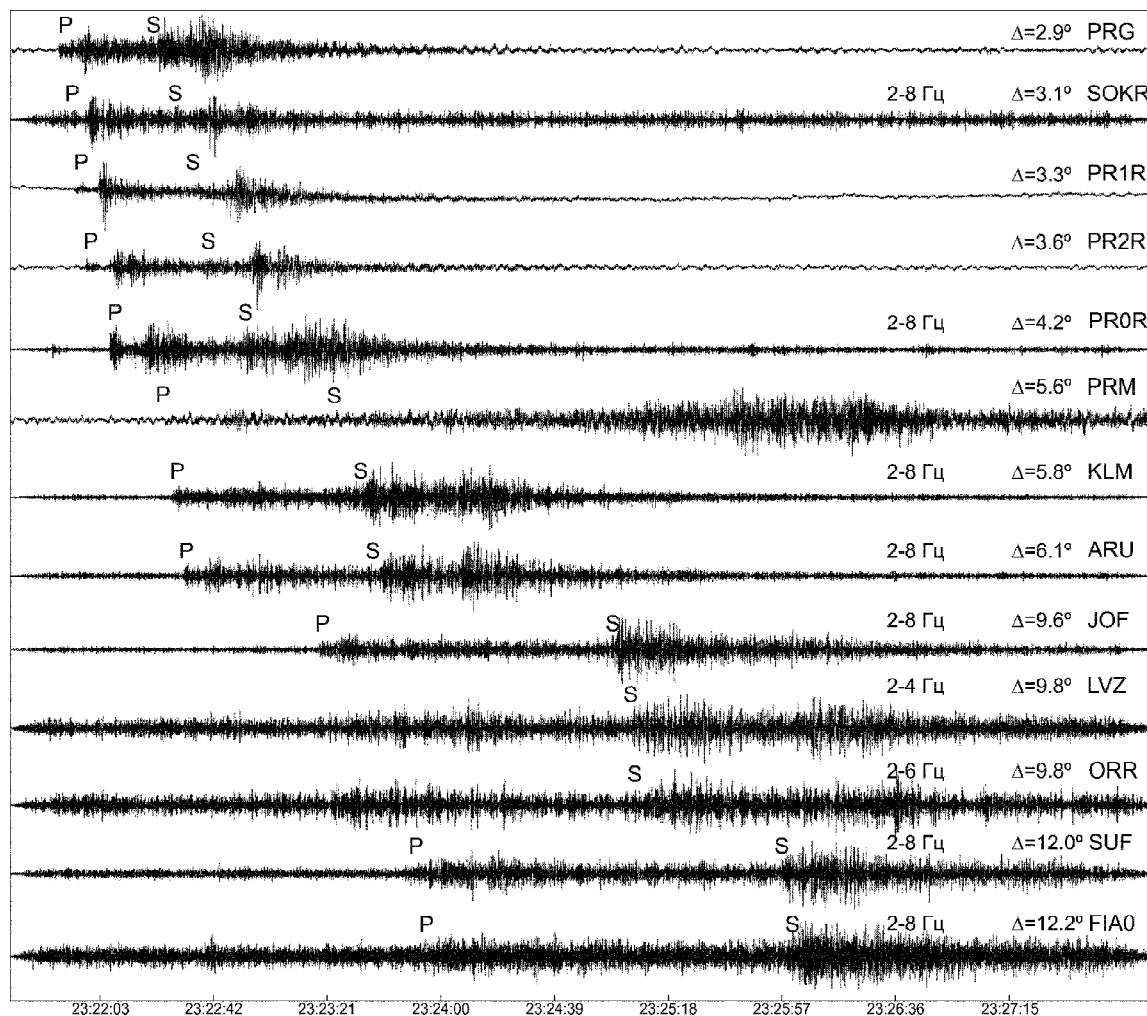


Рис. 2. Фрагменты записей вертикальной компоненты землетрясения 22 сентября 2008 г., расположенные по времени прихода первой фазы

Fig. 2. Fragments of records with vertical component of the earthquake on September 22, 2008, located at the time of arrival of the first phase

ных испытаний (СТВТО, Вена); «Верхнечусовские городки» (PR0R), «Добрянка» (PR2R) Горного института (ГИ) УрО РАН, Пермь; «Романово» (PR1R), «Соликамск» (SOKR) ГИ УрО РАН и ФИЦ ЕГС РАН; Joensuu (JOF), Sumiainen (SUF) Finnish National Seismic Network; скандинавских сейсмических групп NORSAR ARCESS Array Site A0 (ARA0), FINESSE Array Site A0 (FIA0). Расположение этих станций показано на рис. 1. Диапазон эпицентральных расстояний составил от 2.9 (D_{min}) до 13.5° (D_{max}), азимутальный охват — 120–320°, максимальная азимутальная брешь (Gap) — 161°.

Параметры землетрясения, рассчитанные в WSG: $t_0 = 23^h21^m01^s$, 61.298N, 51.572E, при фиксированной глубине $h = 10$ км, $K_p = 9.4/2$, $M_L = 3.2/2$, $M_s = 2.9/2$. В NAS получено близкое решение: $t_0 = 23^h21^m00.5^s$, 61.276N, 51.580E, эллипс ошибок — $R_{minor} = 6.2$ км, $R_{major} = 21.0$ км, $Az_{major} = 30^\circ$. Бюллетень землетрясения состоит из 26 сейсмических фаз P- и S-волн (табл. 1).

Сведения о параметрах очага землетрясения 2008 г. имеются также в 3 российских и норвежском сейсмологических центрах (табл. 2). По нашим расчетам (IGKOMI), событие произошло в Корткеросском районе Республики Коми, в 55 км юго-восточнее Сыктывкара, по данным

ФИЦ ЕГС РАН (OBGSR) — в Сыктывдинском районе, по АСС (FCIAR) и ГИ УрО РАН (MIRAS) — в Койгородском районе, автоматической системе обработки NORSAR — в Корткеросском районе Республики Коми (рис. 3).

Землетрясение 20 октября 2009 г.

20 октября 2009 г. произошло землетрясение в юго-восточной части Кировской области. Расчет производился по записям 11 станций: «Добрянка» (PR2R), «Кунгур» (PR3R), «Власы» (PR4R) ГИ УрО РАН; «Романово» (PR1R), «Североуральск» (SVUR) ГИ УрО РАН и ФИЦ ЕГС РАН; «Пермогорье» (PRG), «Климовская» (KLM) ФИЦ ЕГС РАН и АСС; «Арты» (ARU), «Свердловск» (SVE) ФИЦ ЕГС РАН; Joensuu (JOF), Sumiainen (SUF) Finnish National Seismic Network (рис. 4). $D_{min} = 2.9^\circ$, $D_{max} = 13^\circ$, азимутальное окружение 60–330°, неравномерное, Gap = 199°. Расположение эпицентра и станций показано на рис. 1.

В WSG рассчитаны следующие параметры: $t_0 = 04^h45^m44^s$, координаты 57.743N, 50.322E, $h = 5$ км, $K_p = 9.8/3$, $M_L = 3.4/3$, $M_s = 2.6/2$. В NAS получена полная сходимость координат: $t_0 = 04^h45^m43.9^s$, 57.777N, 50.364E, $R_{minor} = 6.6$ км, $R_{major} = 24.0$ км, $Az_{major} = 20^\circ$. Станционный бюллетень землетрясения представлен в табл. 3.



Таблица 1. Станционный бюллетень сейсмического события 22 сентября 2008 г.

Table 1. Phase picks for September 22, 2008

Код станции Station code	Время вступления сейсмических фаз, ч:мин:с Time of arrival of seismic phases, h:min:s		$\Delta, ^\circ$	$AZM, ^\circ$	$A, \text{мкм}$	$T, \text{с}$	Магнитуда Magnitude
	P	S					
PRG	23:21:48.6	23:22:23.2	2.9	279.4	0.18	3.0	$M_S = 2.8$
SOKR	23:21:51.7	23:22:28.8	3.1	121.1	0.044	0.5	$M_L = 3.1$
PR1R	23:21:54.1	23:22:32.6	3.3	127.2	0.055	0.3	$M_L = 3.3$
PR2R	23:21:58.0	23:22:37.8	3.6	137.8			
PR0R	23:22:06.2	23:22:53.2	4.2	135.4			
PRM	23:22:24.1	23:23:25.8	5.6	299.2			
KLM	23:22:27.1	23:23:32.1	5.9	270.9			
ARU	23:22:30.9	23:23:37.2	6.1	140.3			
JOF	23:23:18.3	23:25:01.8	9.6	288.6			
LVZ	23:23:19.2	23:25:04.9	9.8	319.7	0.053	6.1	$M_S = 2.9$
ORR		23:25:07.1	9.8	168.3			
SUF	23:23:49.7	23:25:58.0	12.0	287.9			
FIA0	23:23:51.9	23:26:01.4	12.2	281.9			
ARA0		23:26:32.1	13.5	318.6			

Таблица 2. Параметры землетрясения 22 сентября 2008 г. по данным различных сейсмологических центров

Table 2. Earthquake parameters on September 22, 2008, from various seismological centers

Источник / Source	Время в очаге, ч:мин:с Time in focus, h:min:s	$\varphi, ^\circ \text{N}$	$\lambda, ^\circ \text{E}$	Магнитуда Magnitude	Глубина, км Depth, km
ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, уточнение Institute of geology Komi SC UB RAS, update	23:21:00.5	61.276	51.580	$M_L = 3.2/2$ $K_p = 9.4/2$ $M_S = 2.9/2$	10f
ФИЦ ЕГС РАН, Обнинск [4] GS RAS, Obninsk	23:21:02.8	61.04	51.32	$M_L = 2.8$ $K_p = 8.9$	20
ACC [10] / ASN	23:21:04.4	60.58	51.04	$M_L = 3.3/2$	
ЕГС РАН, Пермь [7] / GS RAS, Perm	23:21:06	60.32	51.01	$M_L = 2.9$	5
NORSAR [22]	23:21:04	61.52	51.60	2.9	

Примечание: f — фиксированная глубина.

Note: f — fixed depth.

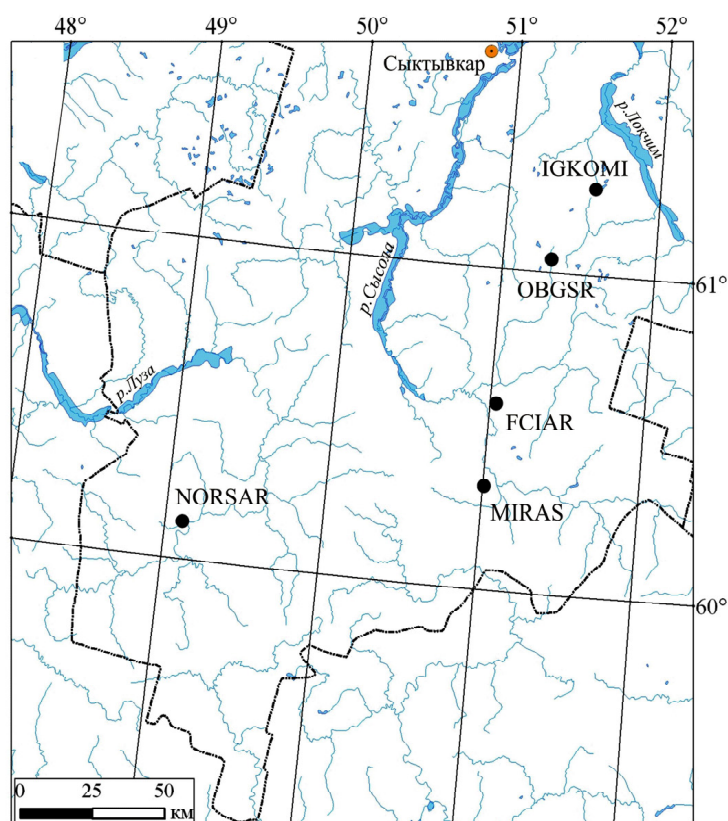


Рис. 3. Разные решения эпицентра землетрясения 22 сентября 2008 г.

Fig. 3. Different solutions of the earthquake epicenter on September 22, 2008

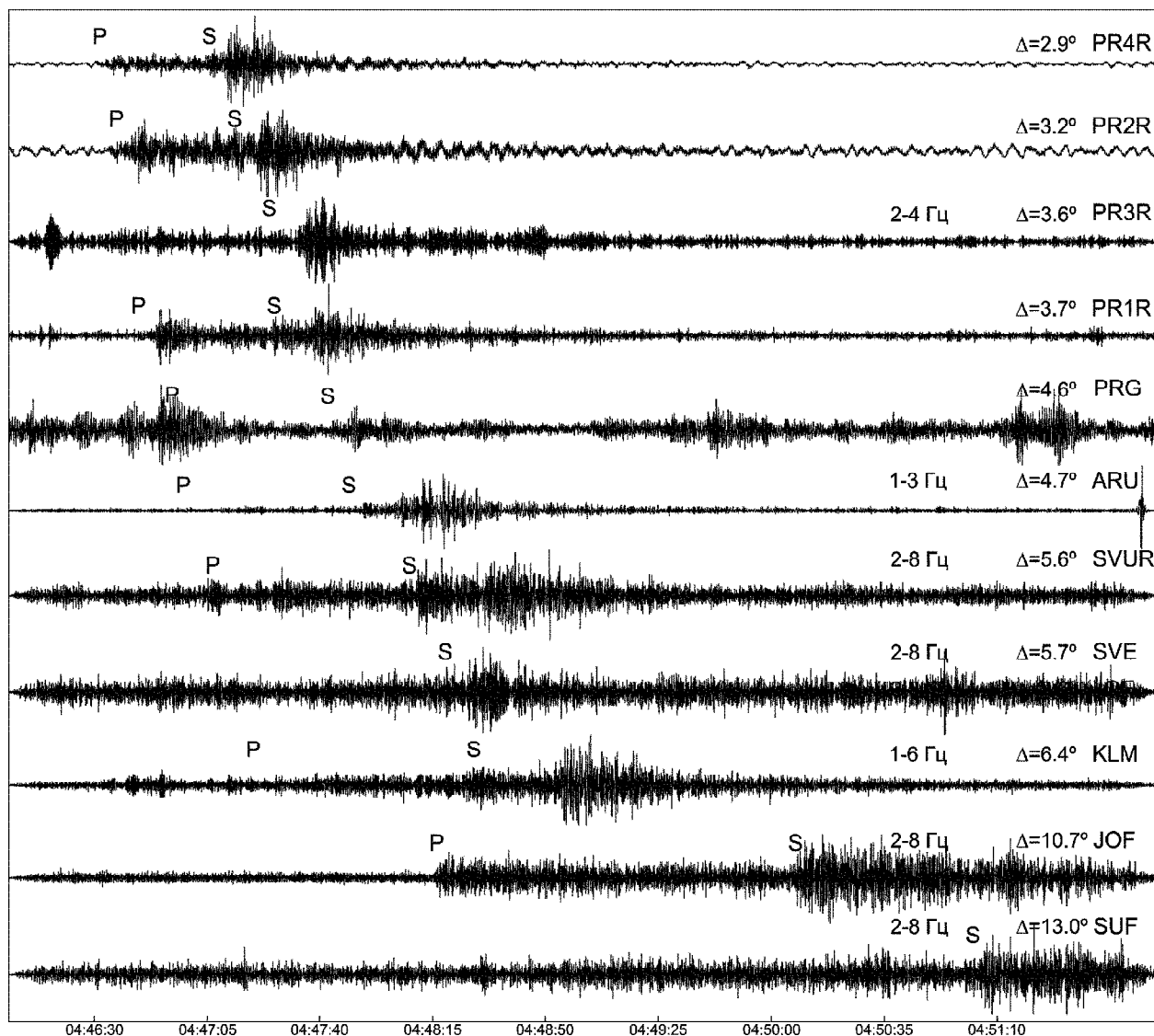


Рис. 4. Фрагменты записей вертикальной компоненты землетрясения 20 октября 2009 г., расположенные по времени прихода первой фазы

Fig. 4. Fragments of records with the vertical component of the earthquake on October 20, 2009, located on the arrival time of the first phase

Таблица 3. Станционный бюллетень землетрясения 20 октября 2009 г.

Table 3. Phase picks for October 20, 2009

Код станции Station code	Время вступления сейсмических фаз, ч:мин:с Time of arrival of seismic phases, h:min:s		$\Delta, ^\circ$	AZM, $^\circ$	A, мкм	T, с	Магнитуда Magnitude
	P	S					
PR4R	04:46:30.8	04:47:05.5	2.9	84.3			
PR2R	04:46:34.9	04:47:13.7	3.2	72.9	0.097	0.2	$M_L = 3.5$
PR3R		04:47:24.4	3.6	91.9			
PR1R	04:46:42.1	04:47:25.4	3.7	64.1	0.046	0.3	$M_L = 3.3$
PRG	04:46:53.3	04:47:45.5	4.6	330.6			
ARU	04:46:55.4	04:47:48.2	4.7	102.8	0.032 0.064	2.7 4.7	$M_L = 3.4$ $M_S = 2.5$
SVUR	04:47:05.9	04:48:09.3	5.6	59.7			
SVE		04:48:11.2	5.7	95.0			
KLM	04:47:17.3	04:48:27.9	6.4	303.9	0.053	5.3	$M_S = 2.6$
JOF	04:48:15.9	04:50:09.7	10.7	306.8			
SUF		04:51:03.2	13.0	302.7			



Другие решения эпицентра землетрясения показаны в табл. 4 и на рис. 5. По нашим расчетам, эпицентр находился в 4 км северо-западнее с. Ильинское Немского района Кировской области, в 5.8 км северо-восточнее слияния рек Суна и Воя. По данным ГИ УрО РАН (MIRAS), событие произошло на 17 км северо-восточнее, в Богородском районе, по NORSAR — в Кильмезском районе Кировской области.

Сейсмотектоническая позиция

В тектоническом плане землетрясения северо-востока Русской плиты (землетрясения 2008 и 2009 гг.) относятся к Кировско-Кажимскому авлакогену и прилегающим к нему сводам Волго-Уральской антеклизы (рис. 6).

Кировско-Кажимский авлакоген расположен в пределах северного окончания Волго-Уральской антеклизы и по существу представляет собой два палеорифта, вложенных друг в друга. Первый, средневерхнерифейский, занимая узкую площадь между Кировом и Сыктывкаром, раскрывается в Притиманский перикра-

тонный прогиб, погружается на север до глубины 4000 и более метров. Этот палеорифт известен в литературе как Кировско-Кажимский. На рифейскую структуру накладывается более широкий девонский грабен, который наращивает Вятскую систему нарушений в южном направлении вплоть до Жигулевского свода [1]. Этот палеорифт получил название Казанско-Кажимского. Протяженность его с юго-запада на северо-восток составляет 720 км при ширине от 25 до 100—120 км, поверхность фундамента расположена на глубине около 2000 м. Консолидированная кора авлакогена осложнена разломами субмеридионального, северо-восточного и субширотного простирания.

Землетрясение 2008 г. произошло в узком «внутреннем» грабене, который контролируется системой тектонических нарушений северо-восточного простирания и сбросами большой амплитуды. Здесь происходит резкое погружение кристаллического фундамента с поднятий в авлакоген по системе ступенеобразных сбросов, осложненных сдвигами, обусловленными погружением север-

Таблица 4. Параметры землетрясения 20 октября 2009 г. по данным различных сейсмологических центров

Table 4. Earthquake parameters on October 20, 2009, from various seismological centers

Источник / Source	Время в очаге, ч:мин:с Time in focus, h:min:s	φ, °N	λ, °E	Магнитуда Magnitude	Глубина, км Depth, km
ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, уточнение Institute of geology Komi SC UB RAS, update	04:45:43.9	57.777	50.364	$M_L=3.4/3$ $K_p=9.8/3$ $M_L=2.6/2$	5
ФИЦ ЕГС РАН, Обнинск, Пермь [3, 8] GS RAS, Obninsk, Perm	04:45:50	57.83	50.64	$M_L=3.0$	10f
NORSAR [22]	04:45:35	57.19	50.91	3.0	

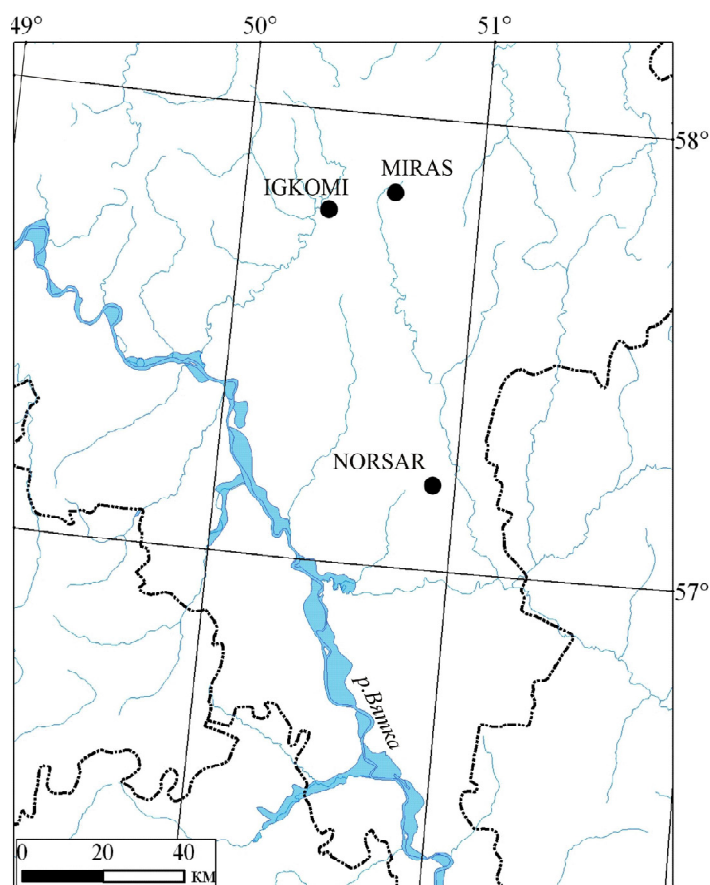


Рис. 5. Разные решения эпицентра землетрясения 20 октября 2009 г.

Fig. 5. Different solutions of the earthquake epicenter on October 20, 2009

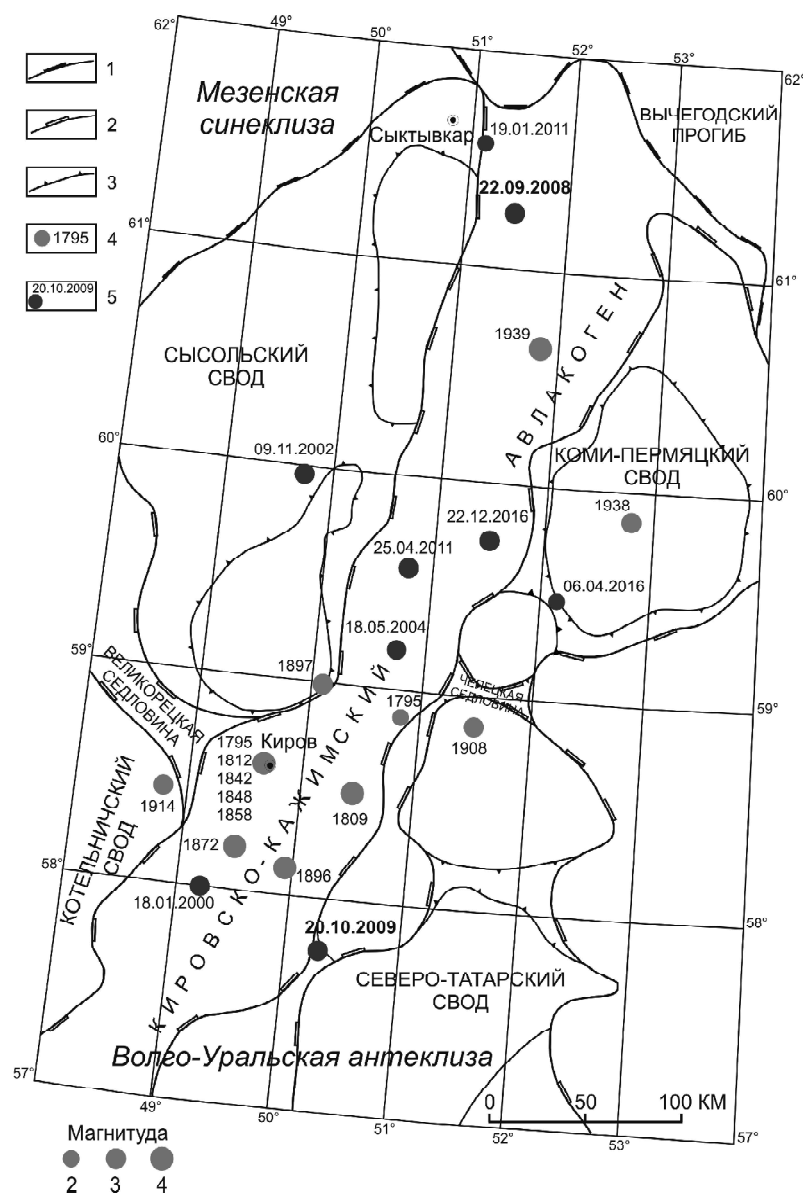


Рис. 6. Схематическая карта тектонического районирования поверхности фундамента Кировско-Кажимского авлакогена и его обрамления [16] с эпицентрами землетрясений 1795—2016 гг. [11, 12]. 1—3 — границы структур: 1 — надпорядковых, 2 — первого порядка, 3 — второго порядка; 4, 5 — эпицентры землетрясений: 4 — исторических, 5 — инструментальных

Fig. 6. Schematic map of the tectonic zoning of the surface of the basement of the Kirov-Kazhim aulacogen and its margins [16] with earthquake epicenters of 1795—2016 [11, 12]. 1—3 — the boundaries of the structures: 1 — above the order, 2 — of the first order, 3 — of the second order; 4, 5 — epicenters of earthquakes: 4 — historical, 5 — instrumental

ной части авлакогена в Вычегодский прогиб. Эпицентр 2009 г. приурочен к восточному борту южной части Кировско-Кажимского авлакогена, которая распадается на более мелкие грабенообразные трог.

Обсуждение результатов

Регистрация сейсмических событий в пределах Кировско-Кажимского авлакогена подтверждает, что данная структура древнего заложения до сих пор является тектонически активной и сейсмогенерирующей. Вместе с тем фиксируемые сейсмические события слабые, что обусловлено малой скоростью деформации земной коры в данном регионе. GPS-мониторинг [13] показал, что горизонтальные движения имеют характерные для Русской платформы направления и скорости смещений, которые составля-

ют около 25—30 мм/год на восток и около 5—10 мм/год на север. Скорости вертикальных движений в 2—3 раза превосходят горизонтальные. В работе Коппа и др. [5] подтверждается участие горизонтальной компоненты напряжений и разноранговые поля напряжений Вятско-Камского региона. Показаны два конкурирующих вида сбросового режима с растяжениями. Выявлена динамическая расслоенность новейшего поля напряжений в вертикальном разрезе, отражающая то, что передатчиком тектонического давления по горизонтали является консолидированная кора (к ней приурочено большинство гипоцентров землетрясений), включающая фундамент. В то же время ее чехол ведет себя пассивно: он практически не участвует в передаче напряжений, более того, гасит глубинные горизонтальные напряжения и трансформирует сжатие в растяжение.



Регистрация сейсмических событий на северо-востоке Русской плиты свидетельствует, что платформенная территория не является сейсмически пассивной. И хотя фиксируемые землетрясения в основном низкомagnitude и верхнекоровые, они отражают современную тектоническую активизацию земной коры.

В настоящее время без привлечения сейсмических записей соседних сейсмологических центров расчет координат и параметров эпицентров сейсмических событий невозможен из-за нестабильной работы устаревшей сейсмической аппаратуры и высокого уровня техногенных помех в местах установки станций. Исходя из вышеизложенного, актуальной задачей является обеспечение надежного сейсмологического мониторинга территории Республики Коми.

Автор глубоко признателен коллегам из ФИЦ ЕГС РАН Архангельска и Перми за предоставленные записи сейсмических событий.

Литература

1. Валеев Р. Н. Авлакогены Восточно-Европейской платформы. М.: Недра, 1978. 152 с.
2. Габсатарова И. П. Внедрение в рутинную практику подразделений Геофизической службы РАН процедуры вычисления локальной магнитуды // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы международ. сейсмол. шк., посвящ. 100-летию открытия сейсм. станций «Пулково» и «Екатеринбург». Обнинск: ГС РАН, 2006. С. 49—53.
3. Габсатарова И. П., Баранов С. В., Голубева И. В., Дягилев Р. А. и др. Каталог землетрясений Восточно-Европейской платформы, Урала и Западной Сибири в 2009 г. с $M \geq 1.3$ // Землетрясения России в 2009 году. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 123.
4. Габсатарова И. П., Голубева И. В., Дягилев Р. А. и др. Каталог землетрясений Восточно-Европейской платформы, Урала и Западной Сибири в 2008 г. с $M \geq 1.3$ // Землетрясения России в 2008 году. Обнинск: ГС РАН, 2010. С. 142—143.
5. Конн М. Л., Вержбицкий В. Е., Колесниченко А. А., Тверитинова Т. Ю., Васильев Н. Ю., Корчемагин В. А., Мострюков А. О., Иоффе А. И. Новейшее поле напряжений востока Русской плиты и Урала по макро- и мезоструктурным данным // Геотектоника. 2014. № 4. С. 23—43.
6. Красилов С. А., Коломиец М. В., Акимов А. П. Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы международ. сейсмол. шк., посвящ. 100-летию открытия сейсм. станций «Пулково» и «Екатеринбург». Обнинск: ГС РАН, 2006. С. 77—83.
7. Маловичко А. А., Дягилев Р. А., Маловичко Д. А., Верхоланцева Т. В., Верхоланцев Ф. Г., Голубева И. В. Урал // Землетрясения Северной Евразии, 2008. Обнинск: ГС РАН, 2014. С. 248—253.
8. Маловичко А. А., Дягилев Р. А., Верхоланцева Т. В., Верхоланцев Ф. Г., Голубева И. В. Урал // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. Обнинск: ГС РАН, 2015. С. 218—225.
9. Морозов А. Н., Ваганова Н. В., Конечная Я. В. Тектонические землетрясения 22.10.2005 и 28.03.2013 гг. на севере Русской плиты // Физика Земли. 2016. № 4. С. 52—66.
10. Носкова Н. Н., Конечная Я. В. Каталог землетрясений Республики Коми за 2008 г. (N=1) (на CD). Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. Обнинск: ГС РАН, 2014.
11. Носкова Н. Н. Землетрясение 22 декабря 2016 года в Кировской области // Результаты комплексного изучения сильнейшего Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 г., его место в ряду важнейших сейсмических событий XXI века на территории России: Материалы XXI Науч.-практ. Шукинской конф. с международ. участием. Москва, 1—4 октября 2018 г. С. 269—272.
12. Носкова Н. Н., Михайлова Р. С. Республика Коми и Кировская область // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 228—238.
13. Овчаренко А. В., Баландин Д. В. Оценка скоростей горизонтальных движений геодинамического полигона Кировской области. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2009. 22 с.
14. Сейсмологический мониторинг Западного Урала. URL: <http://pts.mi-perm.ru/region/> (дата обращения 01.09.2018).
15. Удоратин В. В., Носкова Н. Н., Французова В. И., Конечная Я. В. Республика Коми // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. Обнинск: ГС РАН, 2014. С. 241—247.
16. Уточнение геологического строения и оценка перспектив нефтегазоносности Казанско-Кажимского авлакогена и его обрамления: Отчет по теме № 291 за 2002 г. ООО «ТП НИЦ — 2»; отв. исполн.: Богацкий В. И., Богданов Б. П. Ухта, 2003. —157 с. № 89-02-20/1.
17. Фёдоров А. В., Асминг В. Э., Евтюгина З. А., Прокудина А. В. Система автоматического мониторинга сейсмичности Европейской Арктики, Сейсмические приборы. 2018. Т. 54. № 1. С. 29—39. DOI: 10.21455/si2018.1-3.
18. Arkhangelsk Seismic Network. URL: <https://doi.org/10.7914/SN/AN> (дата обращения 01.09.2018).
19. GEOFON Data Centre: GEOFON Seismic Network. DeutschesGeoForschungsZentrum GFZ. Other/Seismic Network, 1993.
20. Incorporated Research Institutions for Seismology. URL: <http://ds.iris.edu> DOI IRIS/IDA network II <http://dx.doi.org/doi:10.7914/SN/II> (дата обращения 01.09.2018).
21. Schueller W., Morozov I. B., and Smithson S. B. Crustal and uppermost mantle velocity structure of northern Eurasia along the profile Quartz // Bulletin of the Seismological Society of America, 1997. No. 87. Pp. 414—426.
22. Seismological agency NORSAR. URL: <http://www.norsardata.no> (дата обращения 25.05.2018).

References

1. Valeev R. N. *Avlakogeny Vostochno-Evropeyskoy platformy* (Aulacogenes of the East European Platform), Moscow: Nedra, 1978, 152 p.
2. Gabsatarova I. P. *Vnedrenie v rutinnuyu praktiku podrazdelenij Geofizicheskoy sluzhby RAN procedury vychisleniya lokalnoj magnitudy* (The Introduction of the Procedures for Calculating the Local Magnitude into the Routine Practice of Geophysical Survey Departments of the RAS). Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials from International seismological school dedicated to 100-anniversary foundation of seismic stations «Pulkovo» and «Ekaterrinburg», Ed. by A.A. Malovichko, Obninsk: GS RAS, 2006, pp. 49—53.



3. Gabsatarova I. P., Baranov S. V., Golubeva I. V., Dyagilev R. A. etc. *Katalog zemletryaseny Vostochno-Evropeyskoy platformy, Urala i Zapadnoy Sibiri v 2009 g. s $M \geq 1.3$* (The catalog of earthquakes of the East European Platform, the Urals and Western Siberia in 2009 from $M \geq 1.3$), Earthquakes of Russia in 2009. Obninsk: GS RAS, 2011, pp. 123.
4. Gabsatarova I. P., Golubeva I. V., Dyagilev R. A. etc. *Katalog zemletryaseny Vostochno-Evropeyskoy platformy, Urala i Zapadnoy Sibiri v 2008 g. s $M \geq 1.3$* (The catalog of earthquakes of the East European Platform, the Urals and Western Siberia in 2008 from $M \geq 1.3$), Earthquakes of Russia in 2008. Obninsk: GS RAS, 2010, pp. 142–143.
5. Kopp M. L., Verzhbitsky V. E., Kolesnichenko A. A., Tveritina T. Yu., Vasilev N. Yu., Korchemagin V. A., Mostryukov A. O., Ioffe A. I. *Noveysheye pole napryazheniy vostochno-Russkoy plity i Urala po makro- i mezostrukturnym dannym* (Recent stress field of the East of the Russian Plate and the Urals from Macro- and Mesosstructural Evidence), Geotectonics, 2014, No. 4, pp. 23–43.
6. Krasilov S. A., Kolomiec M. V., Akimov A. P. *Organizatsiya processa obrabotki cifrovyykh seismicheskikh dannyykh s ispolzovaniem programmnoy kompleksa WSG* (Management of seismic digital data processing using software complex WSG. Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials from International seismological school dedicated to 100-anniversary foundation of seismic stations «Pulkovo» and «Ekaterinburg», Ed. by A. A. Malovichko, Obninsk: GS RAS, 2006, pp. 77–83.
7. Malovichko A. A., Dyagilev R. A., Malovichko D. A., Verkholtantseva T. V., Verkholtantsev F. G., Golubeva I. V. *Ural*, Earthquakes of Northern Eurasia, 2008, Obninsk: GS RAS, 2014, pp. 248–253.
8. Malovichko A. A., Dyagilev R. A., Verkholtantseva T. V., Verkholtantsev F. G., Golubeva I. V. *Ural*, Earthquakes of Northern Eurasia, 2009, Obninsk: GS RAS, 2015, pp. 218–225.
9. Morozov A. N., Vaganova N. V., Konechnaya Ya. V. *Tektonicheskiye zemletryaseniya 22.10.2005 i 28.03.2013 gg. na severe Russkoy plity* (Tectonic earthquakes of October 22, 2005 and March 28, 2013 in the north of the Russian plate), Earth Physics, 2016, No. 4, pp. 52–66.
10. Noskova N. N., Konechnaya Ya. V. *Katalog zemletryaseny Respubliki Komi za 2008 g.* (Republic of Komi for 2008) (N=1) (on CD), Earthquakes of Northern Eurasia, 2008, Obninsk: GS RAS, 2014.
11. Noskova N. N. *Zemletryaseniye 22 dekabrya 2016 goda v Kirovskoy oblasti* (Earthquake on December 22, 2016 in the Kirov region), The results of a comprehensive study of the strongest Altai (Chui) earthquake of 2003, its place among the most important seismic events of the twenty-first century in Russia: materials of the XXI Scientific and Practical Schukin Conference with international participation. Moscow, October 1–4, 2018, pp. 269–272.
12. Noskova N. N., Mikhailova R. S. *Respublika Komi i Kirovskaya oblast* (The Republic of Komi and the Kirov region), Earthquakes of Northern Eurasia, 2011, Obninsk: EGS RAS, 2017, pp. 228–238.
13. Ovcharenko A. V., Balandin D. V. *Otsenka skorostey gorizontalnykh dvizheniy geodinamicheskogo poligona Kirovskoy oblasti* (Estimation of speeds of horizontal movements of the geodynamic test site of the Kirov region), Ekaterinburg: IGF UB RAS, 2009. 22 p.
14. *Seismological monitoring of the Western Urals*. URL: <http://pts.mi-perm.ru/region/> (accessed: 01.09.2018).
15. Udoratina V. V., Noskova N. N., Frantsuzova V. I., Konechnaya Ya. V. *Respublika Komi* (Komi Republic), Earthquakes of Northern Eurasia, 2008, Obninsk: GS RAS, 2014, pp. 241–247.
16. *Utochneniye geologicheskogo stroyeniya i otsenka perspektiv neftegazonosnosti Kazansko-Kazhinskogo avlakogena i ego obramleniya* (Clarification of the geological structure and assessment of the oil and gas potential of the Kazan-Kazhim aulacogen and its margins): Report on the topic No. 291 for 2002 of LLC TP SIC–2; principal investigator: Bogatsky V. I., Bogdanov B. P. Ukhta, 2003, 157 p. No. 89-02-20/1.
17. Fyodorov A. V., Asming V. E., Evtyugina Z. A., Prokudina A. V. *Sistema avtomaticheskogo monitoring seismicheskosti Evropejskoj Arktiki* (The system of automatic monitoring of the seismicity of the European Arctic). Seismic Instruments, 2018, Vol. 54, No 1, pp. 29–39. DOI: 10.21455/si2018.1-3
18. *Arkhangelsk Seismic Network*. URL: <https://doi.org/10.7914/SN/AH> (accessed: 01.09.2018).
19. *GEOFON Data Centre*: GEOFON Seismic Network. DeutschesGeoForschungsZentrum GFZ. Other/Seismic Network, 1993.
20. *Incorporated Research Institutions for Seismology*. URL: <http://ds.iris.edu> DOI IRIS/IDA network II <http://dx.doi.org/doi:10.7914/SN/II> (accessed: 01.09.2018).
21. Schueller W., Morozov I. B., and Smithson S. B. *Crustal and uppermost mantle velocity structure of northern Eurasia along the profile Quartz*, Bulletin of the Seismological Society of America, 1997, No. 87, pp. 414–426.
22. *Seismological agency NORSAR*. URL: <http://www.norsar.no> (accessed: 25.05.2018).



ОЦЕНКА СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ НА МАЛОМ КАВКАЗЕ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ТЕРТЕРЧАЙ)

С. А. Тарихазер, Г. Л. Набиев

Институт географии им. ак. Г. А. Алиева НАНА, Баку, Азербайджан

kerimov17@gmail.com, nabiye-qasan@rambler.ru

В статье рассматриваются геолого-геоморфологические и климатические условия формирования селей на юго-восточном склоне Малого Кавказа на примере реки Тертерчай и дается оценка их активности в условиях изменения климата. По характеру выносимой массы селевые потоки относятся к водокаменным, в геолого-геоморфологическом строении их бассейнов участвуют малоустойчивые горные породы. Проведено исследование бассейна реки Тертерчай на основе материалов дешифрирования космических снимков (КС) для выявления степени селевой опасности и типа селевых потоков. Проанализированы метеорологические условия, которые вызывают сели в бассейне реки Тертерчай. Выявлены количественные показатели селеобразующих дождей. Исследовано вертикальное распределение обильных осадков с суточной суммой ≥ 20 мм. Установлена связь селей с макроциркуляционными процессами над Европой и Западной Сибирью. С этой целью были использованы типы циркуляции по Г. Я. Вангенгейму и Б. Л. Дзердзеевскому. В исследуемом бассейне образование селей обусловлено макроциркуляционными условиями и интенсивными ливнями, экспозицией горных хребтов к ведущим воздушным потокам. Согласно анализу, в период селеобразования в Азербайджане отмечается резкое понижение температуры воздуха как на поверхности земли, так и на всех высотах тропосферы (особенно до поверхности 300—200 гПа), увеличение удельной и относительной влажности. В результате наблюдается неустойчивая стратификация атмосферы, что является причиной образования интенсивных селеобразующих ливневых осадков.

Ключевые слова: селевой поток, селеопасность, дешифрирование, космический снимок, атмосферная циркуляция, активность, антропогенное воздействие, метеорологические условия.

ESTIMATION OF MUDFLOW RISK IN THE LESSER CAUCASUS (ON EXAMPLE OF THE TERTERCHAY RIVER)

S. A. Tarikhazer¹, G. L. Nabiye²

Institute of Geography named by acad. H.A.Aliyev of ANAS, Azerbaijan, Baku

In the article the geological-geomorphological and climatic conditions of mudflow formation in the south-eastern slope of the Lesser Caucasus on the example of the Terterchay River are researched and their activity under climate change conditions is estimated. According to the carried mudflow mass the mud flows are subdivided into water-stone flows, low-stability rocks are involved in the geological-geomorphological structure of the basins. Investigation of the Terterchay River basin, based on the materials of interpretation of space images (SI), revealed the degree of mudflow risk and the type of mudflows. The article also analyzed meteorological conditions that caused mudflows in the basin of the Terterchay River. Quantitative indicators of mudflow-forming rain were revealed. The vertical distribution of abundant precipitation with a daily sum of ≥ 20 mm was investigated. The connection of the mudflows with macrocirculation processes over Europe and Western Siberia was established. To do that types of circulation according to G.Ya. Wangenheim and B. L. Dzerdzeevsky were used.

Keywords: mudflow, mudflow hazard, interpretation, space image, atmospheric circulation, activity, anthropogenic impact, meteorological conditions.

Введение

Изучение селевых процессов важно для Азербайджана. По официальным данным, 13 % территории страны (более 10 тыс. км²) подвержено воздействию опасных геодинамических процессов, в том числе в зоне действия селевых процессов находится 1.2 млн га территории. В настоящее время в Азербайджане происходит процесс интенсивного освоения горных территорий, что вызывает увеличение природных стихийно-разрушительных процессов, к которым относятся и селевые потоки, наносящие огромный ущерб населению и хозяйству республики. Селевые явления распространены почти во всех горных и предгорных районах страны. Нередко сели имеют катастрофический характер, вызывая разрушения населенных пунктов и инженерных сооружений в долинах и в местах выхода на предгорные равнины.

7 мая 2015 г. в Азербайджане в результате выпадения ливневых дождей в горных районах юго-восточного

склона Малого Кавказа прошел сель, который создал серьезные проблемы населенным пунктам Тертерского и Бардинского районов. Селевые потоки разрушили несколько домов вынужденных переселенцев. Нанесен серьезный ущерб около 20 домам, разрушены приусадебные участки, автомобильный и железнодорожный мосты, дороги, затоплены подвалы домов, погиб домашний скот. Часть Бардинского района осталась без электроэнергии. Сель смывал оказавшиеся на его пути автомобили. Кроме того, селевые потоки принесли с собой с оккупированных земель Азербайджана и нейтральных территорий линии соприкосновения множество неразорвавшихся противотанковых мин ПМН-72. Такая крупномасштабная ситуация сложилась здесь впервые за последние 30 лет. Для устранения последствий природного бедствия было привлечено большое количество техники, однако не сразу удалось осуществить необходимые мероприятия. Подобные явления в несколько меньшем мас-



штабе были зафиксированы и на прилегающих территориях.

Для поддержания безопасного функционирования любой системы, включающей природные ландшафты и антропогенные объекты, в первую очередь должны определяться вероятность риска и ее нарушения. Риски требуется выявить и оценить, не дожидаясь последствий — влияния реализованного риска на экосистему [4].

Объекты и методы исследования

Задачей исследования является изучение основных причин формирования селей на р. Тертерчай на основе материалов дешифрирования космических снимков (КС) и выявление степени селевой опасности и типа селевых потоков.

На территории Азербайджана селевые процессы развиваются в сложной природно-ландшафтной обстановке, где решающее значение имеют геолого-геоморфологические и гидрометеорологические факторы, а также антропогенная деятельность (перевыпас скота, вырубка лесов, добыча полезных ископаемых, сельскохозяйственная деятельность и др.). Кроме того, в последние десятилетия в горных районах активно развивается рекреационно-туристическая индустрия, в связи с чем все больше объектов инфраструктуры, а именно здания, автодороги и др. строятся без надлежащего учета опасных экзогеоморфологических процессов, в том числе и на селеопасных участках. В результате геолого-геоморфологические системы в процессе природопользования могут частично или полностью трансформироваться, что в конечном счете может привести к обострению взаимодействия человека с окружающей средой. Могут возникнуть районы экологического бедствия, способные привести к серьезным экологическим и социально-экономическим последствиям. В связи с этим проблемы изучения опасных природных и природно-антропогенных процессов, а также их картографирование становятся актуальными. Одним из эффективных методов для этих исследований является эколого-геоморфологическое картографирование на основе интерпретации материалов дешифрирования космических снимков (КС) и аэрофотоснимков (АС) с использованием ландшафтно-индикационных признаков. С помощью данного метода можно точно установить положение районов развития комплекса экзогеоморфологических процессов, их границы и дать оценку степени их опасности [2]. Следовательно, все большее значение имеет повышение точности прогноза развития и учета селеопасных процессов. В ходе исследования нами был применен современный метод дешифрирования. КС были взяты со спутника Landsat-8. Разрешение сцен — 30 м (панхроматический — 15 м). Снимки были сделаны в ближней инфракрасной зоне (OLI и TIRS).

Результаты исследований

Одним из наиболее репрезентативных для изучения селевых процессов и комплексов районов Малого Кавказа является юго-восточный склон, а именно бассейн р. Тертерчай. Здесь по характеру выносимой массы сели являются водокаменными. В геологическом строении территории принимают участие инженерно-геологические формации магматических (интрузивная и эффузивная), метаморфических (гранулитовая) и осадочных (терригенно-карбонатная и вулканогенно-конгломератовая) пород. Интрузивные породы представлены в основном дунита-

ми, перидотитами, пироксенитами и серпентинами. Породы часто разбиты многочисленными разнонаправленными трещинами. Магматические эффузивные породы представлены базальтами, туфами, залегающими на грубообломочном элювии подстилающих пород. Все эти комплексы сверху перекрыты рыхлыми четвертичными отложениями различного генезиса, среди которых выделяются аллювиально-пролювиальные, пролювиально-делювиальные, коллювиально-делювиальные отложения -- пески, галечники, супеси, суглинки. Мощность отложений достигает 6–8 м. В зависимости от состава пород коренной основы литологический состав их изменяется от обломочных до песков и супесей на юрских и меловых осадочных породах. Перечисленные условия являются благоприятными факторами для развития выветривания, гравитационных процессов (обвалы, осыпи, оползни и др.), которые могут и воздействовать на инженерно-технические сооружения, осложняя их эксплуатацию, и участвовать в селеформировании.

Современный рельеф юго-восточного склона Малого Кавказа характеризуется зоной высоких горных хребтов общекавказского простираения (Гарабагское вулканическое нагорье) и зоной относительно пониженного рельефа (Гейча-Акеринская и др.). Наличие высоких горных хребтов, вулканических нагорий, глубоких межгорных долин и котловин обуславливают резкую расчлененность рельефа. К югу от Шахдагского и Муровдагского хребтов в субмеридиональном направлении простирается Восточно-Гейчинский хребет, характеризующийся интенсивным эрозионным расчленением. Основными формами Гарабагского вулканического нагорья являются вулканические массивы и щиты (Беюк Ишыглы, Гызылбогаз), лавовые потоки и плато, шлаковые конусы. В центральной части исследуемой территории простирается Гарабагский хребет, для водораздельной части которого характерно наличие ряда кулисообразно расположенных горных вершин — Гырхгыз, Беюк Гирс (2725 м) и др. В формировании современной геоморфологической обстановки юго-восточного склона Малого Кавказа большую роль сыграли глубинные разломы — Гейча-Гарабагский, Гарабагский, Лачин-Башлыбельский и др. Однако в современном рельефе немалую роль играют и более мелкие разрывные нарушения — сбросы, надвиги и др. Кроме того, в проявлении экзодинамических рельефообразующих процессов огромное значение имеют знак и амплитуда тектонических движений и разрывные нарушения. Тектонические разрывы и разломы, соответствуя границам отдельных блоков, подвержены неравномерным движениям. Вместе с тем тектоническая трещиноватость играет значительную роль в развитии процессов выветривания, создавая зону дробления и способствуя тем самым накоплению рыхлообломочного материала в селевых очагах [1, 5]. К периодам усиления поднятий (до +9...+12 мм/год на Малом Кавказе) и активизации сейсмичности (до 7–8 баллов) часто приурочена и активизация таких опасных экзодинамических процессов, как оползни, обвалы, осыпи и др., которые, в свою очередь, подпитывают рыхлообломочным материалом сели, угрожающие населенным пунктам Тертерского и Бардинского районов. Высокая селеопасность здесь также вызвана раздроблением крупных продольных ступеней-блоков поперечными разрывными нарушениями. Разрывы, прерывая линейность продольных блоков, определяют морфологическое расчленение юго-восточного склона Малого Кавказа и создают благоприятные ус-



ловия для интенсивного развития экзодинамических процессов в пределах отдельных поперечных блоков.

В юго-восточной части Малого Кавказа речная сеть имеет сложный рисунок, характеризуется рядом особенностей, обусловленных орографией, климатом, почвенно-растительным покровом и др. условиями. Наибольшая густота речной сети встречается в среднегорном поясе — 1000—2500 м — 1—2 км/км² [8]. Наименее развита речная сеть на Гарабагском вулканическом нагорье. Реки имеют восточное и юго-восточное направления, характеризуются сложным строением и по соотношению со структурами расчленены на продольные и поперечные участки, т. е. древние и молодые.

Морфология речных долин юго-восточного склона Малого Кавказа определяется рядом факторов: структурными, литолого-петрографическими особенностями речных бассейнов, водностью рек и др. В верхнем течении долины рек имеют глубокую ущельеобразную форму, ступенчатое строение русел, загромажденных глыбами коренных пород, обрушившихся с прилегающих склонов. В высокогорной зоне речные долины имеют форму трогов, а реки со склонов массива Далидаг (3616 м) начинаются из небольших каровых озер. В пределах легкоразрушаемых горных пород в истоках рек развиты эрозионные воронкообразные долины с относительно пологими склонами, расчлененными многочисленными притоками. В среднегорном поясе долины рек глубокие, с выпуклыми склонами, крутизна которых увеличивается в их нижней части [3]. На всех участках долин рек юго-восточного склона Малого Кавказа развиты надпойменные террасы различного генезиса — аккумулятивные, эрозионные, структурные и др., различной сохранности и литологического строения. Террасы характеризуются прерывистым простираем и лучше всего выражены в котловинах расширенных долин рек. На юго-восточном склоне Малого Кавказа мощные конусы выноса рр. Тертерчай, Хачынчай, Гаргарчай, Акери и др. свидетельствуют о том, что здесь в прошлом также проходили структурные сели. Селеносные потоки наблюдаются на рр. Тертерчай, Гаргарчай, Акери и др.

Как видно из вышеизложенного материала, в исследуемом селеопасном районе существуют благоприятные геоморфологические, почвенно-растительные и другие условия. Однако и здесь главная роль в селеобразовании принадлежит синоптико-климатическим факторам, которые приводят к выпадению интенсивных ливневых осадков. Следует отметить, что исследователи подходили к решению этого вопроса разными путями. Одни авторы пытались выявить условия образования селей методом Г. Я. Вангенгейма [6], Б. Л. Дзердзеевского [7], другие учитывали направления вторжения воздушных масс с северных районов, воздействия приземных антициклонов, с выходами южных циклонов и местной циркуляцией, с различными высотными полями и др. Большинство связывало образование ливней и селей с перемещением с севера антициклонов и холодных фронтов. Некоторые учитывали влажность и упорядоченные вертикальные движения воздуха в образовании ливней.

Мы не согласны с мнением А. Д. Эйюбова [8] и А. А. Мадатзаде [9], принимающих обильные ливни за конвективные осадки местного происхождения. Судя по современной теории влагооборота, местная циркуляция не может дать такие ливневые осадки, которыми вызывалось селеобразование. Сущность местной циркуляции заключается в том, что быстрое нагревание воздуха в призем-

ном слое приводит к сильному испарению и образованию кучево-дождевых облаков, дающих ливни. Следует отметить, что в таких процессах в осадкообразовании присутствует незначительная часть местной влаги, а основная часть влаги приносится воздушными массами, вторгающимися извне. Экстремальные значения селеобразующих дождей над исследуемой территорией колеблются в пределах 22—60 мм/сутки с ливневой частью.

На Малом Кавказе, в том числе и в бассейне р. Тертерчай, сели бывают кратковременными. Почти 91 % селей имеют продолжительность от 1 до 4 часов, а остальные 4—6 часов. Максимум селей приходится на вечерние часы (18.00—22.00). Образование селей в вечерние часы, а также их внезапность увеличивают последствия их прохождения и чрезвычайно усложняют наблюдения за ними. Если можно говорить о соответствии хода селевых явлений ходу ливней, то в отношении повторяемости селей проводить подобные аналогии с ливнями нельзя, т. к. для образования селя помимо выпадения атмосферных осадков необходимо также скопление достаточного количества рыхлообломочного материала.

Исследуемый район по повторяемости обильных осадков превышает другие селеопасные районы Малого Кавказа. Здесь особенно отличается территория Верхнего Гарабага. Основной максимум осадков наблюдается в мае-июне, а минимум — в августе. В бассейне р. Тертерчай ход обильных осадков почти совпадает с ходом прохождения селевых потоков, т. е. максимум селей наблюдается именно в период максимальной повторяемости обильных осадков с суточной суммой более 20 мм. С увеличением высоты над поверхностью число дней с такими осадками увеличивается. На высоте 1500—1600 м число таких дней составляет 5—10, а выше количество дней уменьшается (до 5 дней) (рис. 1).

Причиной увеличения повторяемости обильных осадков в бассейне р. Тертерчай помимо других факторов является форма рельефа, которая способствует накоплению холодных и влажных масс воздуха, вторгающихся с запада и отчасти с востока. В теплом полугодии здесь обильные осадки являются ливневыми. Несмотря на то, что в исследуемом районе наблюдается большая повторяемость ливневых осадков, сели образуются редко. Это объясняется тем, что здесь склоны гор покрыты в большинстве случаев лесами и другими видами растительности, а также относительно малой крутостью склонов, которая уступает крутости склонов в других селеопасных районах Малого Кавказа. В исследуемом бассейне образование селей обусловлено макроциркуляционными условиями и интенсивными ливнями, экспозицией горных хребтов к ведущим воздушным потокам.

В большинстве случаев в дни выпадения селеобразующих ливневых осадков в средней тропосфере над территорией Южного Кавказа господствовали юго-западные и западно-юго-западные воздушные течения. В дни селеобразования высотная фронтальная зона проходит через территории Южного Кавказа, при развитии атмосферных процессов она усиливается и горизонтальная разность температур в ней превышает нередко 8—10°/1000 км. Согласно анализу, при всех процессах, приводящих к вторжению холодных и влажных масс воздуха, на территории Южного Кавказа, в частности Азербайджана, в период селеобразования отмечается резкое понижение температуры воздуха как на поверхности земли, так и на всех высотах тропосферы (особенно до поверхности 300—200 гПа), увели-

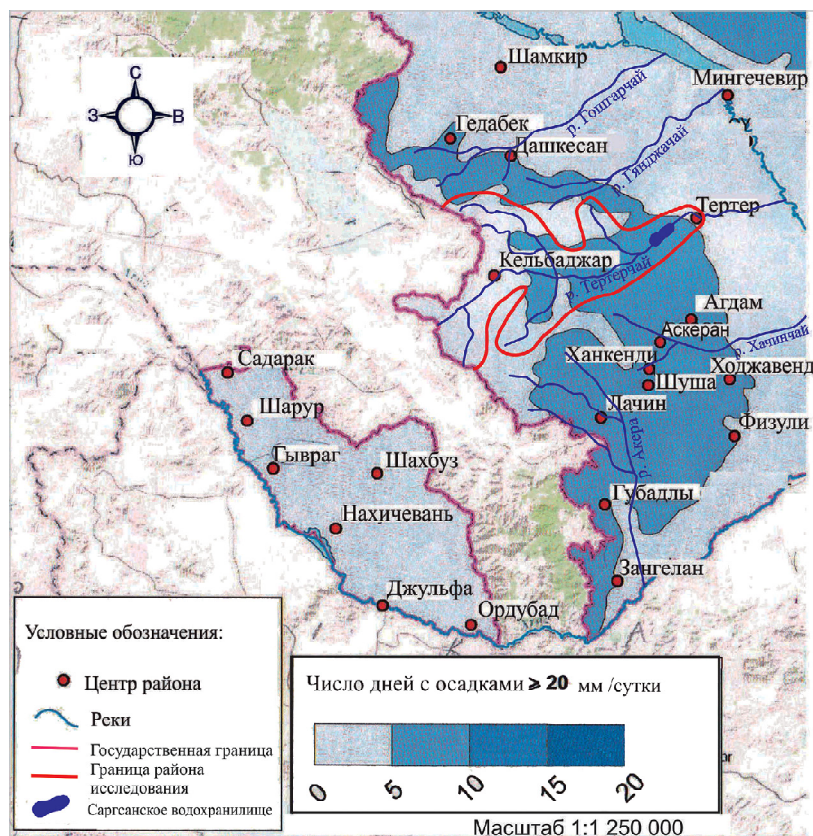


Рис. 1. Распределение числа дней с осадками ≥ 20 мм/сутки в селеопасные периоды в районе Малого Кавказа

Fig.1. The distribution of the number of days with precipitation ≥ 20 mm/day in the mudflow periods in the region of the Lesser Caucasus

чение удельной и относительной влажности. В результате наблюдается неустойчивая стратификация атмосферы, что важно для образования интенсивных селеобразующих ливневых осадков.

Охарактеризуем наиболее селеносную реку исследуемой территории — р. Тертерчай, которая от других рек юго-восточного склона Малого Кавказа отличается по частоте и масштабности проявления (рис. 2, табл.). Последние исследования здесь проводились в 70—80-е годы прошлого столетия. На КС нами выявлено резкое расширение площадей селевых очагов в среднегорной и высокогорной зонах, что связано с вырубкой лесов, добычей золотосодержащих и медных руд, а также сожжением пастбищ на площади около 18 тыс. га.

Бассейн р. Тертерчай охватывает площадь в 2650 км², пересекая ряд различных тектонических структур. По продольному профилю р. Тертерчай делится на несколько участков. Ее истоки расположены в высокогорной зоне интенсивно расчлененного и крутосклонного рельефа, составляющего часть области центрального сводового поднятия Малого Кавказа. Значительная площадь верховьев р. Тертерчай покрыта вулканическими лавами. Характером обнажений лавовых потоков, образующих отвесные склоны, обуславливается морфология левого берега долины р. Тертерчай на всем ее протяжении к северу от источника Истису. Здесь, на левом берегу реки, располагается 45-метровая цокольная терраса, сложенная крупными валунно-галечными отложениями. По правому берегу реки на той же высоте расположена терраса, которая сложена травертинами. Ниже по течению распространены многочисленные лавовые осыпи и конусы выносов пра-

вых притоков р. Тертерчай. Вся долина реки имеет форму глубокого V-образного вреза.

В районе города Кельбаджар располагается терраса, погребенная потоками лав, которая сложена слабо отсортированными валунно-галечными отложениями мощностью 30—35 м. Общая глубина эрозионного вреза долины р. Тертерчай от бровки лавового потока равна 125 м [3]. Ниже города Кельбаджар р. Тертерчай протекает в узком V-образном ущелье, местами переходящем в типичный каньон. К каньонобразному участку относится часть долины реки, пересекающей северо-западную часть Гарабагского хребта, выполненная известняками, образующими отвесные и высокие скалистые склоны долины. Здесь широко распространены осыпные, россыпные и обвалочные процессы. В пределах Атеркского участка р. Тертерчай протекает в широкой террасированной долине. Данный участок в структурном отношении отвечает юго-восточной части Тоурагачайского синклинария и Тертерскому поперечному разлому. Здесь развиты аккумулятивные и эрозионно-аккумулятивные террасы высотой 1.5—2, 10—12, 30, 50, 75—80, 100, 150 м. При выходе из гор в пределы Гарабагской степи р. Тертерчай образует мощный конус выноса, сложенный галечными отложениями. Обычно галька полуокатанная, округлая, но встречается и плоскоокатанная галька.

Выводы

На юго-восточном склоне Малого Кавказа водокаменные сели практически имеют повсеместное распространение. Существенная роль в образовании селевых явлений на исследуемой территории наряду с геолого-гео-

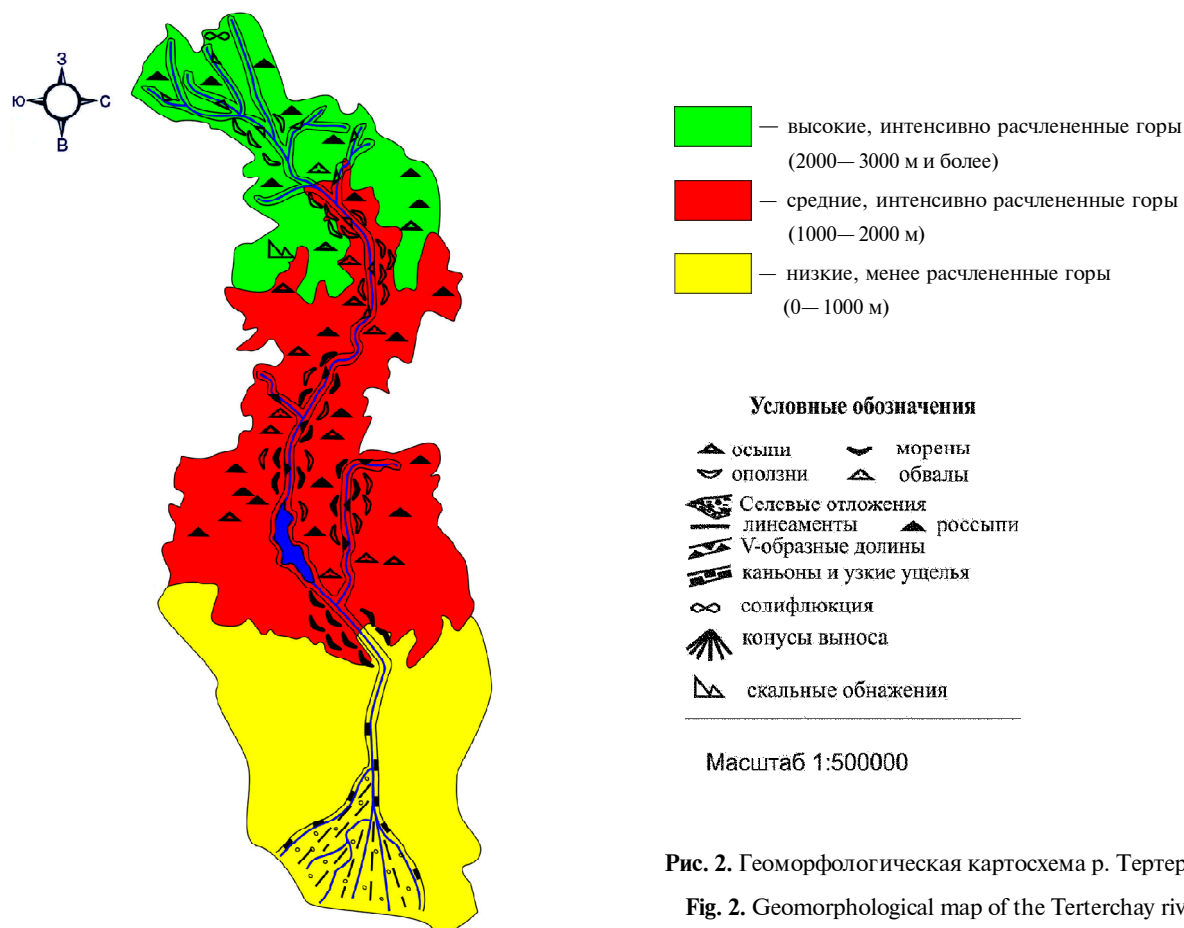


Рис. 2. Геоморфологическая картосхема р. Тертерчай

Fig. 2. Geomorphological map of the Terterchay river

Даты прохождения наиболее опасных селевых потоков на р. Тертерчай

Date of occurrence of the most dangerous mudflows at the Tertechay River

№	Даты прохождения селе Dates of mudflow occurrence	Время прохождения селе (часы) Time of mudflow occurrence (hours)	Продолжительность селе (часы) Duration of mudflow (hours)	Причины селе Reasons	Последствия селе Consequences
1	10.05.1963 г.	14 ⁰⁰	2	Ливень Heavy rain	Материальный ущерб составил 11 млн руб. Material damage amounted to 11 million rubles
2	07.07.1974 г.	20 ⁰⁰	2—3	—//—	Разрушено несколько домов близ р. Тертерчай Several houses were destroyed near the Terterchay river
3	28.09.2009 г.	ночь / at night	4—5	—//—	Затоплены и повреждены жилые дома села Гасымбейли Residential houses of Gasimbeyli village were flooded and damaged
4	01.10.2009 г.	23 ⁰⁰	3—4	—//—	Затоплены жилые дома села Бурудж. Разрушены несколько домов, автомобильная и железная дороги Houses were flooded of the village of Buruj. Several houses were destroyed, roads and railways
5	26.05.2010 г.	ночь / at night	5	—//—	Повреждено несколько жилых домов села Хусенли Several houses were damaged in the village of Husenli
6	31.10.2014 г.	22 ⁰⁰	2—3	—//—	Ущерб примерно 100 домам, затоплены приусадебные участки, подвалы домов The mudflow caused damage to about 100 houses, flooded household plots, basements of houses
7	07.05.2015 г.	20 ⁰⁰	3	—//—	Разрушены приусадебные участки, автомобильный и железнодорожный мосты, дороги, затоплены подвалы домов, погиб домашний скот. Селевые потоки принесли с собой с оккупированных земель Азербайджана множество неразорвавшихся противотанковых мин ПМН-72 Household plots, automobile and railway bridges, roads, basements of houses were flooded, livestock were destroyed. Mudflows brought with them many unexploded anti-tank mines PMN-72 from the occupied lands of Azerbaijan



морфологическими и климатическими факторами принадлежит антропогенному воздействию. Произошедшее 7 мая 2015 г. селевое событие в очередной раз подтверждает точку зрения о необходимости постоянного мониторинга стихийно-разрушительных событий на горных территориях Азербайджана. Однако эта задача не решается в силу объективных причин.

На территории Южного Кавказа, в частности Азербайджана, без вторжения холодных и влажных воздушных масс из северных и северо-западных районов Европы обильные осадки не выпадают и сели не образуются. При всех процессах холодные и влажные массы воздуха проникают на территорию республики за холодными фронтами, при меридиональных преобразованиях высотного деформационного поля тропосферы, в результате которого увеличивается значение удельной и относительной влажности, а также неустойчивость стратификации. Все эти перечисленные условия приводят к выпадению интенсивных обильных ливней и формированию селей.

Литература

1. Ализاده Э. К. Закономерности морфоструктурной дифференциации горных сооружений восточного сегмента центральной части Альпийско-Гималайской шовной зоны (на основе материалов дешифрирования КС): Автореф. док. дис. Баку, 2004, 53 с.
2. Ализاده Э. К., Тарихазер С. А. Высотно-ландшафтная обусловленность развития селевых процессов в горных геосистемах южного склона Большого Кавказа // Наука, образование, культура и информационно-просветительская деятельность — основы устойчивого развития горных территорий: Избранные материалы VIII Международ. науч.-практ. конф., 2015. № 4(26). С. 33—41.
3. Ализاده Э. К., Тарихазер С. А. Экогеоморфологическая опасность и риск на Большом Кавказе (в пределах Азербайджана). М.: МАКС Пресс, 2015. 207 с.
4. Баринов А. Ю. Геоморфологический анализ ливневой селеопасности щели Широкая Балка (Черноморское побережье Кавказа) // Геоморфология. 2010. № 2. С. 19—25.
5. Будагов Б. А. Новейшая тектоника Большого Кавказа // Рельеф Азербайджана. Баку: Элм, 1993. С. 75—78.
6. Вангенгейм Г. Я. Опыт применения синоптических методов к изучению и характеристике климата. М.: Гидрометеиздат, 1935. 109 с.
7. Дзердзеевский Б. Л. Общая циркуляция и климат // Избранные труды. М., 1975. 288 с.
8. Эйюбов А. Д. Климатические факторы формирования селей в горах Азербайджана. Баку, 1962. С. 49—55.
9. Мадатзаде А. А. Синоптические условия выпадения обильных осадков, обуславливающих паводки в Азербайджане // Материалы V Всесоюзного совещания по изу-

чению селевых потоков и мер борьбы с ними. Баку, 1962. С.153—156.

References

1. Alizade E. K. *Zakonomernosti morfostrukturnoy differentsiatsii gornyykh sooruzheniy vostochnogo segmenta tsentral'noy chasti Al'piysko-Gimalayskoy shovnoy zony (na osnove materialov deshifirovaniya KS): avtoref. dis. ... dok. geogr. nauk* (Regularities of The Morphostructural Differentiation of Mountain Structures in The Eastern Segment of The Central Part of The Alpine-Himalayan Suture Zone (Based On The Materials For Deciphering The Cs)). Synopsis of Dr. geogr. sci. diss. Baku, 2004, 53 p.
2. Alizade E. K., Tarikhazer S. A. *Vysotno-landshaftnaya obuslovlennost' razvitiya selevykh protsessov v gornyykh geosistemakh yuzhnogo sklona Bol'shogo Kavkaza*. (High-Landscape Conditionality of Development of Mudflow Processes in Mountain Geosystems of The Southern Slope of The Greater Caucasus). Proceedings of conference «*Nauka, obrazovanie, kul'tura i informatsionno-prosvetitel'skaya deyatel'nost' — osnovy ustoychivogo razvitiya gornyykh territoriy*». Vladikavkaz, 2015, V. 4 (26), pp. 33—41.
3. Alizade E. K., Tarikhazer S. A. *Ekogeomorfologicheskaya opasnost' i risk na Bol'shom Kavkaze (v predelakh Azerbaydzhana)* (Ecogeomorphological Danger and Risk in The Greater Caucasus (Within Azerbaijan)). Moscow, 2015, pp. 207.
4. Barinov A. Yu. *Geomorfologicheskiy analiz livnevoy seleopasnosti shcheli Shirokaya Balka (Chernomorskoe poberezh'ye Kavkaza)* (Geomorphological Analysis of The Mudflow Hazard of The Shirokaya Balka Gap (The Black Sea Coast of The Caucasus)). *Geomorfologiya*—Geomorphology, Moscow, 2010, V. 2, pp. 19—25.
5. Budagov B. A. *Noveyshaya tektonika Bol'shogo Kavkaza* (The Newest Tectonics of The Greater Caucasus. in the collection «The relief of Azerbaijan»). *Rel'yef Azerbaydzhana*. Baku, 1993, pp. 75—78.
6. Vangengeym G. Ya. *Opyt primeneniya sinopticheskikh metodov k izucheniyu i kharakteristiki klimata* (Experience in Applying Synoptic Methods to The Study and Characteristics of The Climate). Moscow, 1935, pp. 109.
7. Dzerdzeevskiy B. L. *Obshchaya tsirkulyatsiya i klimat* (General Circulation and Climate). Moscow, 1975, pp. 288.
8. Eyyubov A. D. *Klimaticheskie faktory formirovaniya seley v gorakh Azerbaydzhana* (Climatic Factors of Mudflow Formation in The Mountains of Azerbaijan). Baku, 1962, pp. 49—55.
9. Madatzade A. A. Synoptic conditions for heavy precipitation, causing floods in Azerbaijan. In: Proceedings of 5th All-Union Conference on the Study of Mudflows and Control Measures against them. Baku, 1962, pp. 153—156.



ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТА АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ФРОЛОВСКОГО УЧАСТКА (УСТЬ-КУЛОМСКИЙ РАЙОН, РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Н. С. Ковальчук¹, С. И. Исаенко¹, Н. В. Конанова¹, Т. Г. Шумилова¹, Ю. В. Данилова²

¹Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, kovalchuk@geo.komisc.ru,

²Институт земной коры СО РАН, Иркутск

Впервые исследованы типоморфные особенности россыпного золота из аллювиальных отложений Фроловского участка (Усть-Куломский район, Республика Коми). Выявлены основные характерные признаки самородного золота: морфология, геохимические особенности, минеральные включения и сопутствующие минералы. Установлено, что состав золотин неоднородный, внутренние участки частиц характеризуются неравномерным распределением примеси Ag (до 14.83 мас. %). Все частицы золота имеют высокопробные каймы. Минеральный состав тяжелой фракции представлен широким спектром минералов, характерных для метаморфических и магматических пород, что свидетельствует о наличии двух разных питающих провинций для аллювиальных отложений Фроловского участка. Типоморфизм россыпного золота данной территории указывает на его принадлежность к золото кварцевой формации и близость источника, предположительно связанного с промежуточным коллектором пермского возраста.

Ключевые слова: россыпное золото, морфология, granulometria, внутреннее строение, химический состав, микровключения.

TYPOMORPHIC FEATURES OF GOLD FROM THE FROLOVSKY REGION ALLUVIAL DEPOSITS (UST'-KULOM DISTRICT, KOMI REPUBLIC)

N. S. Kovalchuk¹, S. I. Isaenko¹, N. V. Konanova¹, T. G. Shumilova¹, Yu. V. Danilova²

¹Institute of Geology, Komi SC UB RAS, Syktyvkar

²Institute of Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk

We have studied typomorphic features of alluvial gold from alluvial deposits of the Frolovsky region (Ust'-Kulom district, Komi Republic). We revealed main characteristic features of native gold: morphology, geochemical features, mineral inclusions and accompanying minerals. We found that the golden particles had heterogeneous composition. The inner parts of the particles were characterized by an irregular distribution of Ag impurities (up to wt. 14.83 %). All particles had high weight Au content. The mineral composition of the heavy fraction was described representing a wide spectrum of specific minerals of metamorphic and magmatic associations pointing to presence of two different source provinces for alluvial deposits of the Frolovsky region. The typomorphic features of the placer gold of the region indicated its belonging to the gold-quartz formation and the proximity of the source, presumably associated with intermediate collector of the Permian age.

Keywords: alluvial gold, morphology, granulometry, internal structure, chemical composition, microinclusions.

Введение

В результате полевых наземных магнитометрических работ 2016—2017 гг. в районе Фроловского участка Усть-Куломского района Республики Коми были впервые обнаружены изометричные локальные магнитные аномалии с повышенными значениями магнитного поля. Также выявлена минерагеническая специфика Фроловской аномалии, связанная с многочисленными находками высокохромистых хромшпинелидов октаэдрического габитуса, на основании чего сделано предположение о присутствии здесь производных основных или щелочно-ультраосновных мантийных магм [6]. В ходе полевых работ 2017 г. на территории Фроловского участка при шлиховых исследованиях, выполненных с целью выявления алмазов и их спутников, в аллювиальных отложениях ручьев Пармаэль, Луктырнаэль и Седьель (правые притоки среднего течения р. Прупт) нами установлены знаковые содержания золота. Ранее по данным производственных работ 1987—1989 гг. в современном русловом аллювии на

изучаемом участке была установлена знаковая золотоносность [2]. Единичные знаки (от 1 до 5 на 10 л) встречены в шлиховых пробах аллювия реки Прупт и др. Однако на текущий момент коренные источники золота на изучаемой территории остаются неизвестными и их обнаружение является одной из важнейших задач для определения генезиса и условий залегания россыпей и уточнения перспектив территории. В данной работе приводятся результаты детального изучения типоморфных особенностей россыпного золота Фроловского участка с целью геолого-генетических реконструкций и прогнозирования коренных источников золотоносного оруденения.

Объект и методы исследования

Район работ находится в области сочленения Кирово-Кажимского авлакогена и Коми-Пермяцкого свода Волго-Уральской антеклизы с Вычегодским прогибом Мезенской синеклизы, осложненной присутствием высокомагнитных пород Локчимского траппового поля в

районе Зимстанского узла пересечения систем ортогональных глубинных разломов.

По данным А. К. Ивченко [2], в геологическом строении района принимают участие два структурно-формационных этажа. Нижний соответствует кристаллическому фундаменту платформы, сложен метаморфогенными породами архея и нижнего протерозоя. Верхний представлен образованиями осадочного чехла рифейско-вендского, девонского, каменноугольного и пермского возрастов, перекрытых покровом четвертичных отложений.

Шлиховые пробы отбирались путем отмывки до черного шлиха (объем пробы около 0.01 м³) примерно через 200 м снизу вверх по течению руч. Седьель, Локтырнаель и Пармаель. Отобраны и промыты на месте 27 проб в 9 точках наблюдения (рис. 1). Выделенная тяжелая фракция шлихов подверглась электромагнитной сепарации и минералогическому анализу тяжелой немагнитной фракции. Из шлихов пяти точек наблюдения выделено 50 частиц золота. Размеры золотинок измерялись при помощи программы ABViewer по изображениям сканирующей электронной микроскопии. Толщина частиц определялась с помощью оптического микроскопа Olympus BX-41, объектив X50, моторизованный столик для 3D-сканирования Tango (Marzhauser Wetzlar). За толщину золотины принималась разница вертикальных отметок, возникающая при

фокусировке оптического изображения на самом крупном участке золотины и на плоской площадке около золотины, точность фокусировки около 1 мкм. Масса частиц золота вычислялась произведением их объема и плотности. Границы классов крупности приняты в соответствии с классификацией ЦНИГРИ [7]. Коэффициент уплощенности (КУ) золотинок рассчитывался как отношение среднегеометрического размера (квадратный корень из площади) к их толщине [3].

Изучение морфологии и химического состава золота, а также минеральных включений проводилось при помощи сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионной приставкой Oxford Instruments X-Max (аналитик Е. М. Тропников) в ЦКП «Геонаука» (ИГ Коми НЦ УрО РАН). После изучения поверхности частиц золота несколько зерен было изучено в полированных срезах.

Результаты исследований

На ручьях Седьель и Локтырнаель встречаются единичные знаки золота (1 и 2 знака на 0.01 м³) размером 0.1–0.2 мм. Шлиховые пробы с повышенным знаковым содержанием золота установлены на руч. Пармаель (от 4 до 30 знаков на 0.01 м³). Обнаруженные концентрации золота варьируют в пределах от 0.33 до 179 мг/м³ (табл. 1).

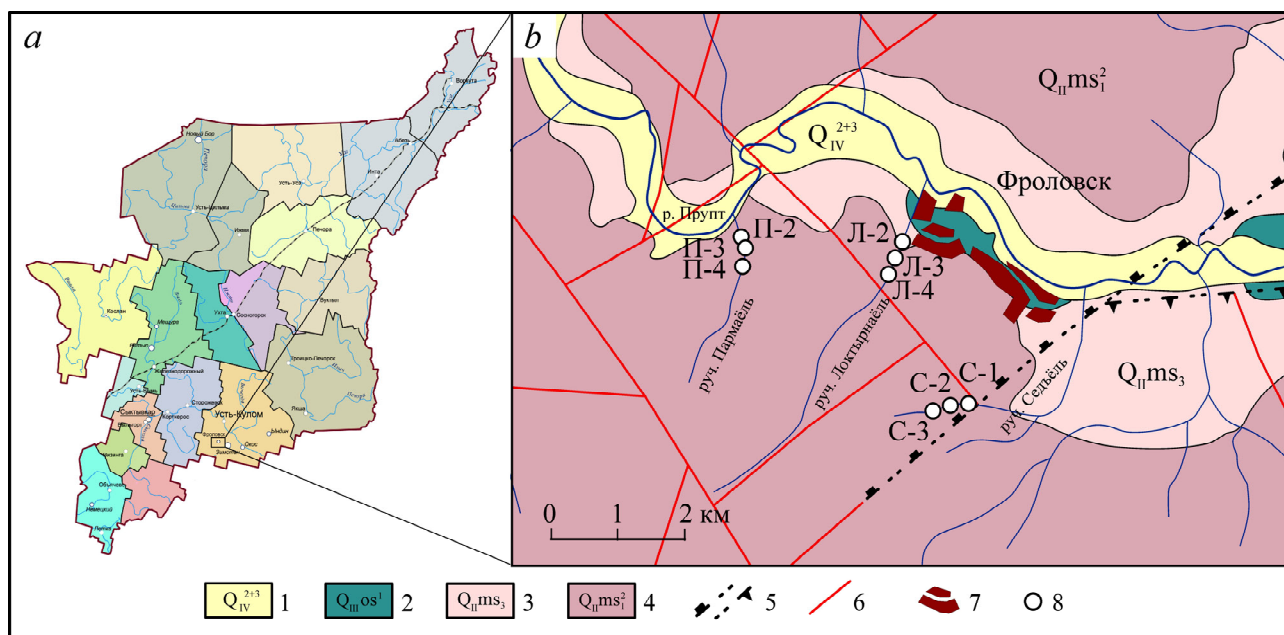


Рис. 1. Схематические карты: *a* — административно-территориальная карта Республики Коми, *b* — геологическая схема района работ и отбора проб, составлена на основе листа Р-39-XXX [2].

1–4 — четвертичные отложения: 1 — аллювиальные отложения пойм и первых надпойменных террас (пески, суглинки, прослой торфа), 2 — озерно-ледниковые отложения террас и аллювиальные отложения (пески, алевролиты, глины, прослой галечников), 3 — озерно-ледниковые отложения (пески, прослой гравийников, галечников, алевролитов), 4 — озерно-ледниковые отложения (пески, пески с галькой, прослой галечников); 5 — предполагаемые разломы; 6 — установленные разрывные нарушения; 7 — населенный пункт; 8 — точки отбора проб

Fig. 1. Schematic maps: *a* — administrative-territorial map of Komi Republic, *b* — geological map of the studied area, compiled on the basis of the geological map Р-39-XXX [2].

1–4 — Quaternary deposits: 1 — alluvial deposits of floodplains and the first supra-floodplain terraces (sands, loams, peat interbedding), 2 — lacustrine-glacial deposits of terraces and alluvial deposits (sands, aleurolites, clays, pebble interbedding), 3 — lacustrine-glacial deposits (sands, interbeds of gravels, pebbles, aleurolites), 4 — lacustrine-glacial deposits (sands, sands with pebbles, interbeds of pebbles); 5 — suspected faults; 6 — established disjunctive dislocations; 7 — settlement; 8 — sampling points



Таблица 1. Золотоносность аллювиальных отложений Фроловского участка

Table 1. Gold concentrations of the alluvial deposits of the Frolovsky region

Номер пробы Sample No.	Район сбора Collection area	Количество знаков золота в 0.01 м ³ Number of gold signs in 0.01 m ³	Концентрация золота, мг/м ³ Gold concentration, mg/m ³
С-1	руч. Седьель	1	0.33
Л-4	руч. Локтырнаель	2	0.20
П-2	руч. Пармаель	4	6.77
П-3	руч. Пармаель	13	179.51
П-4	руч. Пармаель	30	16.18

Гранулометрия. В соответствии с нормативами классов крупности преобладающая часть золотин (более 96 %) относится к весьма мелкому (0.1—0.25 мм) и мелкому (0.25—1.0 мм) классам. При этом большая часть золота (62 %) сосредоточена в гранулометрическом классе 0.1—0.25 мм. В единичных случаях частицы соответствуют тонкому (0.05—0.1 мм) и среднему (1.0—2.0 мм) классам крупности (рис. 2, а). Иная картина по золоту наблюдается при учете массы частиц, 86 % от общей массы золота принадлежит одной золотине с массой 8.5 мг, остальные 24 % равномерно распределены по классам крупности от 0.15 до 0.50 мм.

Вариации частиц золота по гранулометрическим параметрам показаны на рис. 2 (b—d). Распределение частиц по максимальному размеру (длине) логнормальное с модой ~0.4—0.5 мм и характерным сильно вытянутым правым крылом. Аналогичное в целом распределение с модой ~0.2 мм имеют среднегеометрические значения размеров частиц золота. Используя диаграмму, выстроенную по степени уплощенности (КУ), все частицы золота условно можно подразделить на изометричные (КУ < 2, составляют 6 %), умеренно уплощенные (КУ от 2 до 10, составляют 92 %) и сильно уплощенные (КУ > 10, составляют 2 %). Такое же распределение частиц золота по геомет-

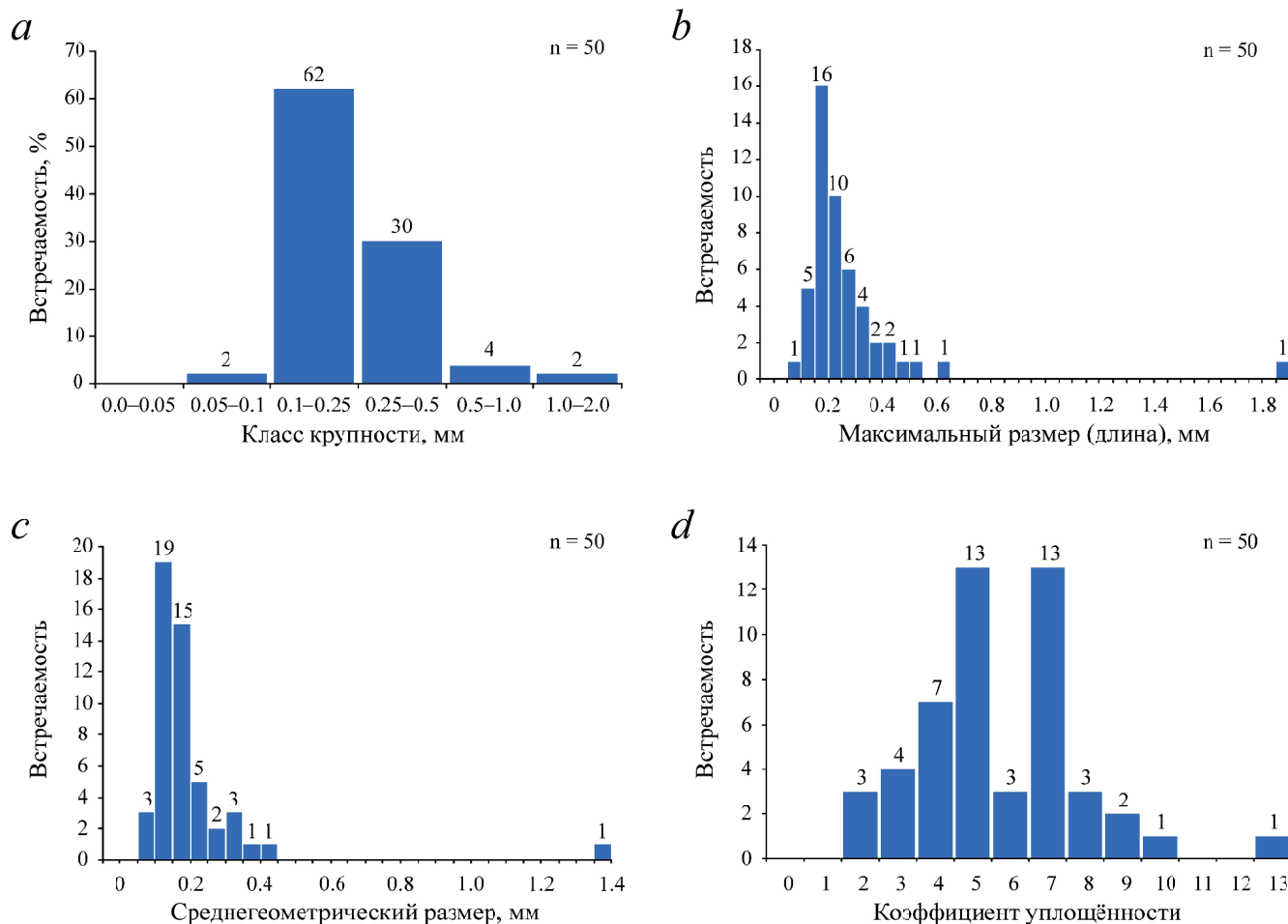


Рис. 2. Встречаемость золота разных классов крупности (а) и вариации золота по гранулометрическим параметрам: максимальному размеру (длине) (b), среднегеометрическому размеру (с), коэффициенту уплощенности (d)

Fig. 2. Gold occurrences frequency of different sizes (a) and variations of gold particles by size parameters: maximum dimension (length) (b), general geometric dimension (c), flatness coefficient (d)

рическими характеристиками в аллювиальных отложениях Среднекумского района (Средний Тиман) описывает Ю. В. Глухов с соавторами [3], делая вывод о ближних коренных источниках сноса.

Морфология и химический состав золота. Анализ морфологии золота Усть-Куломского района позволяет предположить аллотигенную природу большинства частиц. Признаками дальнего переноса предположительно можно считать уплощенные, пластинчатые и дисковидные формы золотинок со сглаженными очертаниями (рис. 3, *a–p*) и нередко торцевыми валиками (рис. 3, *a, c, f–k, n*), приобретаемыми золотом в результате механического вальцевания при эоловой деятельности [13] и в водотоках [12]. Частицы золота в основном овальные и округлые, реже пря-

моугольные и треугольные. Вместе с тем встречаются угловато-округлые частицы, сохранившие неровности и микрорельеф ростовых поверхностей, среди них и редкие частицы крупного золота (рис. 3, *m, h*), вероятно, указывающие на близко расположенные коренные источники или свидетельствующие о более позднем поступлении золота в аллювий. Частицы золота характеризуются следами механического воздействия, нередко наличием борозд, а также сквозных отверстий.

Несмотря на то, что оптически золотины характеризуются однородным желтым цветом и ярким блеском, их поверхность испещрена субмикронными порами, часто корродирована и содержит примазки минеральных включений. С помощью микронного анализа при исследо-

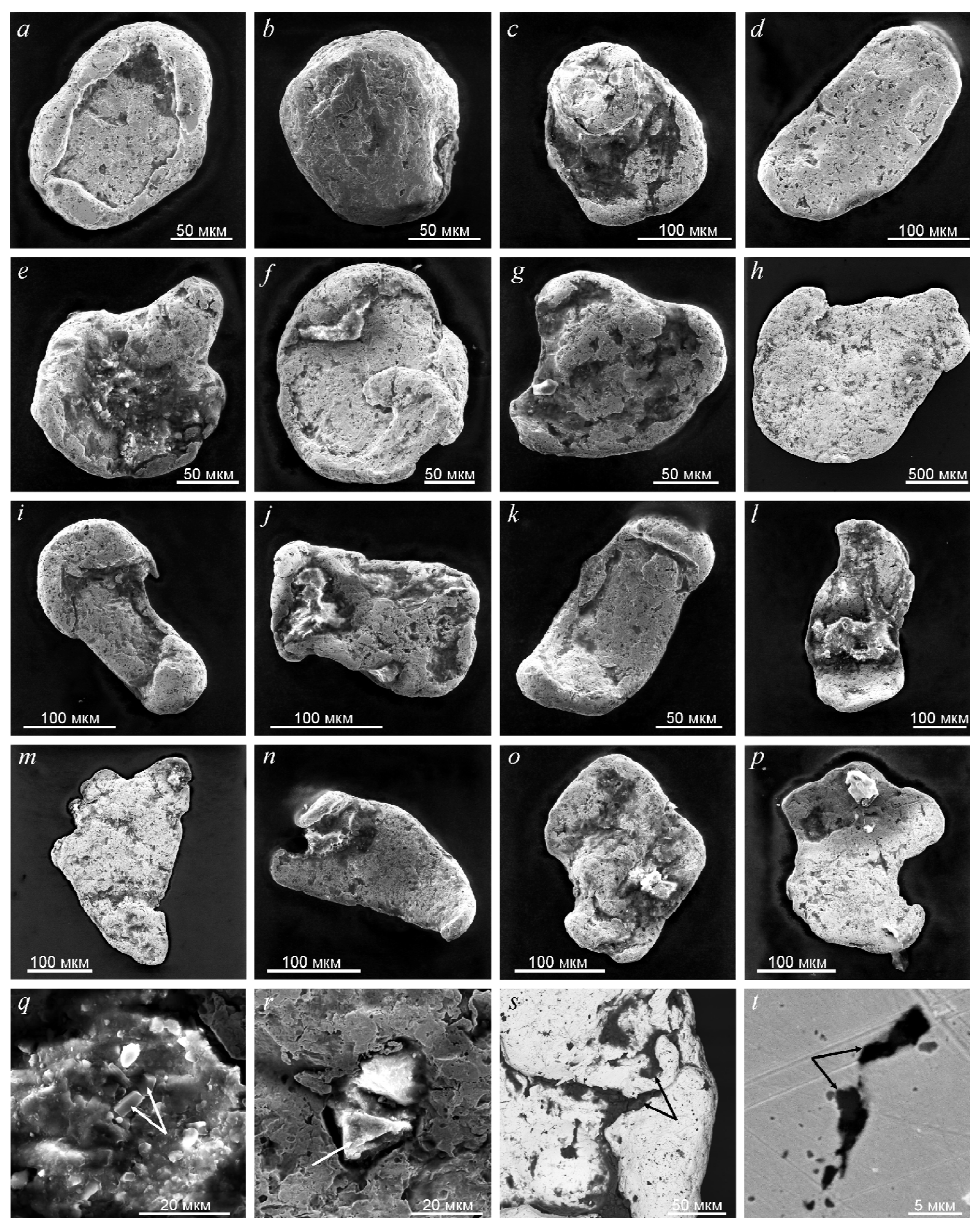


Рис. 3. Морфология и характер поверхности золота из аллювиальных отложений Усть-Куломского района (*a–r, t* — изображения во вторичных электронах, *s* — в отраженных электронах): формы россыпного золота (*a–p*), минеральные включения в золоте (*q–t*): *q* — кристаллы эпидота в алюмосиликатной массе; *r* — включение кварца; *s, t* — включения алюмосиликатов в трещинах и порах (*s* — на поверхности, *t* — в срезе золотины)

Fig. 3. Morphology and features of particles surface for gold from alluvial deposits of the Ust'-Kulom district (*a–r, t* — images in secondary electrons, *s* — in back scattered electrons): morphology of placer gold particles (*a–p*), mineral inclusions in gold (*q–t*): *q* — crystals of epidote in aluminosilicate mass; *r* — inclusion of quartz; *s, t* — inclusions of aluminosilicates in fractures and pores (*s* — on surface, *t* — in section of a gold particle)



вании поверхности золота были диагностированы включения порообразующих и акцессорных минералов, в том числе кварца, эпидота и рутила, возможно полевого шпата и биотита (рис. 3, *q–t*).

Согласно данным микрозондового анализа, шлифованные срезы частиц золота имеют неоднородный состав, при этом внутренние участки частиц характеризуются неравномерным распределением примеси Ag (до 14.83 мас. %), а приповерхностные зоны являются высокопробными, достигая 1000 ‰ (табл. 2). Распределение Au и Ag в шлифованных золотилах указывает на наличие высокопробных каём (рис. 4). Кроме того, внутри частиц золота отмечено присутствие микроминеральных включений, представленных кварцем и алюмосиликатами (табл. 3, анализ 28; рис. 3, *t*).

При исследовании естественной поверхности золоти́н выявлено, что самый поверхностный слой является исключительно высокопробным, достигая 1000 ‰, лишь в редких случаях в его составе выявлена небольшая примесь Ag (до 3.28 мас. %), еще реже Al (до 0.27 мас. %) и в единичном случае была обнаружена примесь Cu (0.80 мас. %) (табл. 2). На поверхности частиц золота при микрозондовых наблюдениях в режиме упругоотраженных электронов нередко наблюдаются примазки Са-К-Мg-Fe-содержащих алюмосиликатов, редко карбонатов с органическим материалом илстой фракции, вероятно захваченных в водном потоке (табл. 3).

Минеральный состав тяжелой фракции. Сопутствующие минералы из аллювиальных отложений Усть-Куломского района можно разделить на три основные группы:

Таблица 2. Химический состав золота в центральных частях срезов и на естественной поверхности по данным микрозондового анализа, мас. %

Table 2. Chemical composition of gold in the central parts of sections and of the natural surface, microprobe analysis data, wt. %

№ обр. Sample No.	В срезах / In sections			На поверхности / On surface				
	Ag min/max	Au min/max	Пробность (%) Fineness (‰)	Al min/max	Cu min/max	Ag min/max	Au min/max	Пробность (%) Fineness (‰)
С-1	—	—	—	—	—	—	100.00	1000
Л-4	—	—	—	0.25/0.27	—	1.14/3.22	96.78/99.74	968—997
П-2	1.35/14.83	85.17/98.65	852—987	—	—	—	100.00	1000
П-3	0.67/13.05	86.95/99.33	870—993	0.17/0.23	0.00/0.80	0.60/3.28	95.92/100.00	959—1000
П-4	0.00/12.85	87.15/100.00	872—1000	—	—	—	100.00	1000

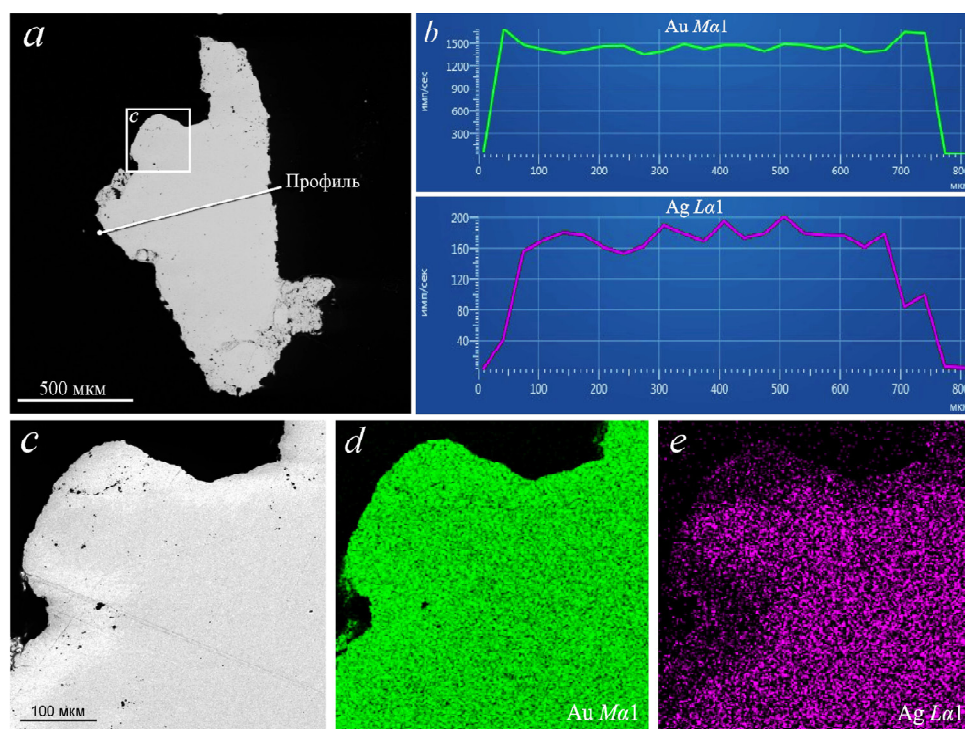


Рис. 4. Распределение Au и Ag в золоте (обр. П-3): *a* — микроизображение золота в срезе в отраженных электронах; *b* — распределение Au и Ag по профилю; *c* — изображение области картирования шлифованной поверхности золоти́ны в отраженных электронах (фрагмент участка на рис. *a*); *d, e* — данные поэлементного картирования по золоту (*d*) и серебру (*e*)

Fig. 4. Distribution of Au and Ag within a gold particle (sample П-3): *a* — microimage of gold particle in polished section, reflected electrons image; *b* — distribution of Au and Ag in profile on the fig. *a*; *c* — an image of mapping area, a back scattered electron image (fragment of the area in *a*); *d, e* — data of element mapping for gold (*d*) and silver (*e*)



Таблица 3. Химический состав минеральных включений на поверхности и в срезе золотинок по данным микрозондового анализа, мас. %

Table 3. Chemical composition of mineral inclusions on the natural and cut surfaces of the gold particles, microprobe analysis data, wt. %

n	№ обр. Sample No.	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
1	Л-4/1-3	2.03	6.07	23.98	47.40	—	2.81	2.75	1.90	—	13.06
2	Л-4/1-5	3.14	2.09	29.74	51.42	—	2.08	1.36	0.57	—	9.60
3	Л-4/2-3	—	—	—	98.88	—	—	—	—	—	1.12
4	Л-4/2-4	—	—	30.96	50.61	—	2.06	5.21	1.69	—	9.47
5	П-3/2-3	—	—	4.79	86.64	—	0.49	0.22	5.35	—	2.51
6	П-3/2-4	—	—	—	100.00	—	—	—	—	—	—
7	П-3/2-5	—	—	—	100.00	—	—	—	—	—	—
8	П-3/3-3	—	—	0.91	99.09	—	—	—	—	—	—
9	П-3/3-4	—	0.84	34.33	56.67	—	0.35	0.72	0.29	—	6.79
10	П-3/3-5	—	2.31	28.97	56.97	—	1.45	1.04	0.33	—	8.93
11	П-3/4-3	—	—	1.78	97.21	—	—	—	—	—	1.01
12	П-3/4-4	—	—	—	100.00	—	—	—	—	—	—
13	П-3/5-3	—	—	1.72	96.48	—	—	—	0.76	—	1.05
14	П-3/5-4	—	—	1.45	97.07	—	—	—	0.00	—	1.48
15	П-3/5-5	—	—	—	—	—	1.23	2.42	81.37	—	14.98
16	П-2/1-2	—	—	—	100.00	—	—	—	—	—	—
17	П-2/1-3	—	2.23	19.48	64.73	—	1.85	1.50	0.73	—	9.48
18	П-2/1-4	—	—	38.41	49.50	—	—	—	—	—	12.10
19	П-2/2-3	—	0.66	4.92	92.08	—	0.39	0.39	0.20	—	1.36
20	П-2/2-4	0.86	3.67	28.65	57.03	—	3.51	0.90	0.67	—	4.71
21	П-2/2-5	—	—	0.80	98.93	—	—	—	—	—	0.27
22	П-2/4-3	—	—	—	97.89	—	—	—	2.11	—	0.00
23	П-4/8-3	—	—	29.97	52.03	—	2.41	1.71	—	—	13.89
24	П-4/8-4	—	—	41.31	41.65	—	—	—	—	—	17.04
25	П-4/3-3	0.98	3.19	22.59	55.62	—	2.07	1.31	0.57	—	13.67
26	П-4/3-4	1.17	1.31	9.21	81.73	1.13	0.75	1.31	0.44	—	2.95
27	П-4/3-5	—	—	—	99.51	—	—	—	—	—	0.49
28	П-3/11-6	—	0.61	12.00	74.18	—	0.38	1.16	3.11	0.33	8.23

Примечание: составы микроминеральных включений нормированы на 100 % в связи с полученными некорректными суммами из-за неровности поверхности частиц золота. Анализ 28 — включение полифазного минерального агрегата (предположительно алюмосиликатной породы) в срезе частицы золота.

Note: compositions of micromineral inclusions are normalized to 100 %, due to incorrect amounts because of surface roughness of the gold particles. Analysis 28 — an inclusion of a polyphase mineral aggregate (presumably aluminosilicate rock) in a polished section of the gold particle.

— обломочные минералы, представленные магнитной фракцией в виде магнетита. Минерал имеет хорошую сохранность и слабую окатанность.

— обломочные минералы, относящиеся к электромагнитной фракции, главные из которых гранат, эпидот, ильменит, ставролит, хромшпинелиды, амфиболы, в единичных количествах встречается пироксен, турмалин и гидроксиды Fe. Гранат в основном имеет пироп-альмандиновый, спессартин-альмандиновый и андрадит-альмандиновый состав. Хромшпинелиды являются высокохромистыми (от 39.40 до 56.56 мас. % Cr₂O₃), представлены в различной степени окатанными зернами, а также их об-

ломками.

— минералы немагнитной фракции, среди которых встречаются циркон, кианит, рутил, лейкоксен, силлиманит. В единичных зернах — титанит, анатаз, корунд, шпинель, апатит, лопарит и брукит.

Минеральный состав тяжелой фракции (хромшпинелид-ставролит-ильменит-эпидот-гранатовый) из аллювиальных отложений Фроловского участка Усть-Куломского района показан на круговых диаграммах (рис. 5).

Анализируя в целом минеральный состав проб, можно отметить широкое представительство характерных минералов метаморфических и магматических пород. Боль-

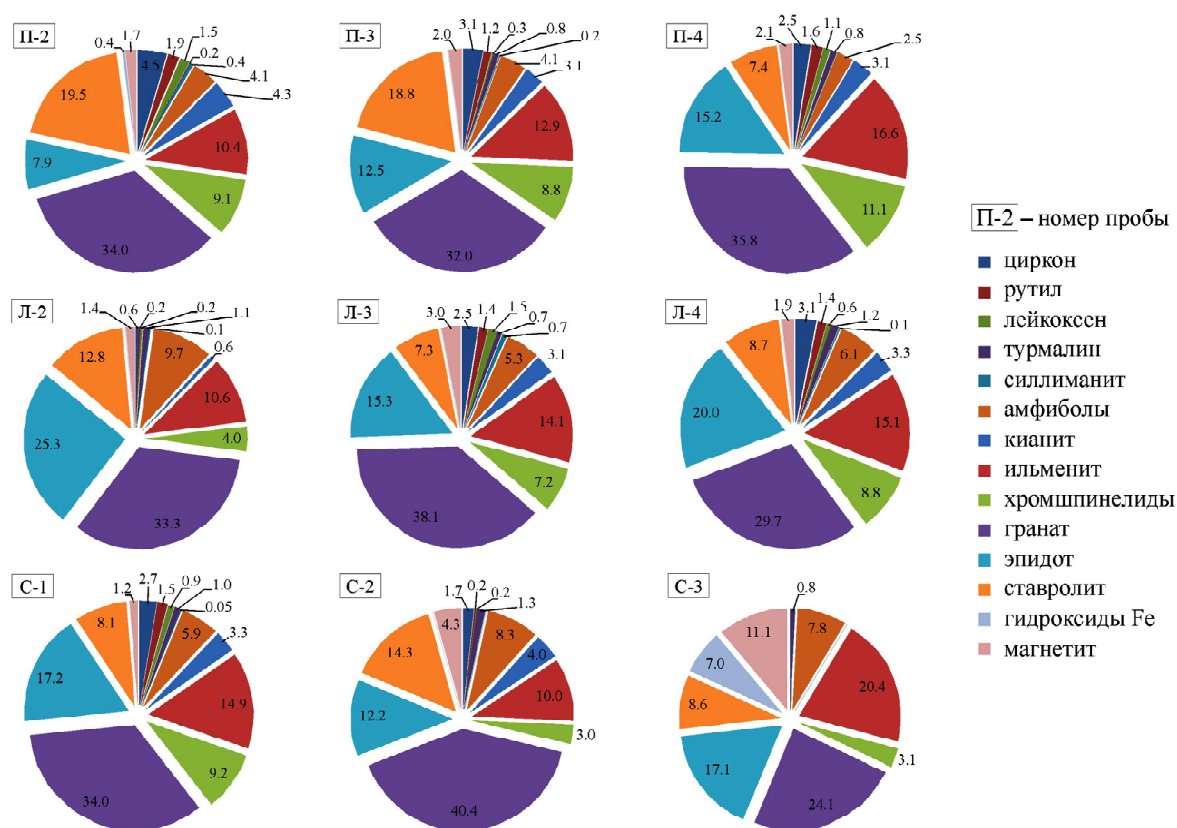


Рис. 5. Минеральный состав тяжелой фракции из аллювиальных отложений Фроловского участка Усть-Куломского района (об. %)

Fig. 5. Mineral composition of heavy fraction from alluvial deposits of the Frolovsky region of the Ust'-Kulom district (vol. %)

шинство минералов, таких как гранат, кианит, ставролит, амфиболы, а также силлиманит, относятся к минералам метаморфической ассоциации и могут быть связаны со Фенноскандинавской питающей провинцией и ее докембрийскими метаморфическими комплексами [4]. Присутствие эпидота в осадках кайнозоя Восточно-Европейской платформы обычно связывают с влиянием Уральской питающей провинции [1]. Важной особенностью россыпей Усть-Куломского района является постоянное присутствие хромшпинелидов, содержание которых достигает в тяжелой фракции 11 %, а также наличие ильменита, единичных знаков корунда и шпинели. Наличие хромшпинелидов и ильменита обычно объясняют ультрабазитовыми источниками [5]. Поступление этих минералов уместно связывать с разрывом протяженных региональных поднятий, в которых широко развиты не только метаморфические, но и магматические комплексы пород.

Как видно из представленных данных, ведущие шлиховые минералы непосредственно связь с золотом не отражают. Обращает на себя внимание наличие в шлихах единичных знаков корунда и шпинели, указывающее на некоторую аналогию с золотоносными юрскими базальными отложениями Сысольской структуры [5]. По минеральному составу тяжелой фракции проб для исследуемого района можно предположить наличие двух разных питающих провинций.

Коренные источники россыпного золота в Усть-Куломском районе до настоящего времени не известны. Подобное исследованному золоту было описано в чет-

вертичных аллювиальных отложениях на северо-востоке Северо-Восточной платформы, источниками которого предположительно являются разные осадочные коллекторы в широком возрастном диапазоне — от докембрия до палеозоя [4], а также в отложениях чехла Сибирской платформы [11]. Крупное золото по гранулометрическим характеристикам описывалось на Среднем Кыввоже (Средний Тиман) в работе [3], в которой авторы делают выводы о непосредственной близости коренных источников. Однако на Тимане под чехлом маломощных четвертичных отложений залегают породы рифея, в которых могут быть локализованы коренные проявления золота. Фроловский же участок принадлежит к области развития платформенного чехла, причем под покровом четвертичных отложений залегают пермские осадочные породы, в которых в качестве возможного источника золота могут присутствовать промежуточные коллекторы в виде базальных конгломератов [4]. Отмеченные признаки вдавливания на поверхности золотин микроминеральных включений и алюмосиликатных минералов, а также наличие борозд и сквозных отверстий, возникших, вероятно, в результате литостатического давления вышележащих толщ [8], позволяют сделать предположение о поступлении золота из древнего коллектора пермского возраста.

Анализ морфогенетических особенностей, минеральных включений, пробности и примесного состава золота из аллювиальных отложений Фроловского участка указывают на то, что его коренной источник относится к золото кварцевой формации, о чем свидетельствуют микро-



включения кварца, однообразное распределение серебра в золоте и отсутствие других примесей. Присутствие высокопробных каём у золотин может указывать на его преобразование золота в корях выветривания, наложенных на зоны гидротермальной минерализации, либо непосредственно в россыпи [10; 11].

Несмотря на предполагаемое наличие разных питающих источников минеральной ассоциации исследованных россыпей, золото Фроловского участка, скорее всего, можно отнести к одному источнику, учитывая его единообразный химический состав и внутреннее строение. Плохая сортировка золотин по гранулометрическому составу, а также присутствие весьма крупного золота указывает на близость источника. Наличие валиков по периферии частиц свидетельствует о том, что золото подвергалось механическому преобразованию в эоловых условиях или в водотоках. Влияние эоловых процессов на преобразование и формирование россыпей в других областях детально рассмотрено в статье З. С. Никифоровой с соавторами [9]. На основании имеющегося относительно ограниченного фактического материала судить уверенно о дальности/близости коренного источника пока затруднительно. И все же имеющиеся данные позволяют сделать некоторые предположения.

В настоящее время сведения о достоверно установленных магматических и гидротермальных образованиях для исследованной территории отсутствуют [4]. Однако данные космо- и аэрофотосъемки, а также геофизические исследования [2, 6] свидетельствуют о наличии в районе долгоживущих зон тектонических нарушений северо-восточного простирания и ортогональных разломов, которые могли служить рудоподводящими каналами для золотоносного оруденения.

Заключение

В результате детального изучения россыпного золота Фроловского участка Усть-Куломского района выявлен ряд типоморфных особенностей: высокая пробность, отсутствие элементов-примесей, высокопробные каймы всех частиц золота, плохая гранулометрическая сортировка, присутствие весьма крупного золота, микровключения кварца и алюмосиликатных минералов, морфология частиц (уплощенные, пластинчатые и дисковидные формы золотин) со сглаженными очертаниями и нередко торцевыми валиками, а также наличие борозд и сквозных отверстий.

Совокупность имеющихся морфогенетических признаков указывает на близость россыпного золота к коренному источнику и его связь с малосульфидной золотокварцевой формацией, а также позволяет сделать предположение о поступлении золота в аллювиальную россыпь Фроловского участка из древнего коллектора пермского возраста.

Полученные данные о типоморфных особенностях россыпного золота аллювиальных отложений Фроловского участка имеют значение для анализа золотоносности южных районов Республики Коми.

Авторы выражают благодарность А. А. Зубову за проведение илихтового опробования, Е. М. Тропникову за помощь в выполнении аналитических работ, Ю. В. Глухову, И. Х. Шумилову за научные консультации, З. С. Двойниковой за проведение минералогического анализа. Работа выполнена в рамках темы НИР ГР № АААА-А17-117121270036-7.

Литература

1. Андреечева Л. Н. Плейстоцен Европейского Северо-Востока / УрО РАН. Екатеринбург, 2002. 322 с.
2. Аэрофотогологическая карта междуречья Вычегды и Камы масштаба 1:200 000: Серии Тиманская, Пермская. Листы Р-39-XXIV (Усть-Кулом); XXIX (Лопыдино); XXX (Верх. Лупья); Р-40-XXV (Нижний Воч). Объяснительная записка. Сост. А. К. Ивченко и др. СПб.: Изд-во СПб. картфабрики ВСЕГЕИ, 2001. 130 с. + 6 вкл. (МПР РФ, «Аэрогеология»).
3. Глухов Ю. В., Кузнецов С. К., Савельев В. П., Котречко Е. Ю. Золото из аллювиальных отложений среднего Кывожа (Вольско-Вымская гряда, Тиман) // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2018. № 1(33).
4. Глухов Ю. В., Филиппов В. Н., Исаенко С. И., Макеев Б. А. Мелкое золото северо-востока Восточно-Европейской платформы (Сысольская и Мезенская впадины) // Минералы и минералообразование, структура, разнообразие и эволюция минерального мира, роль минералов в происхождении и развитии жизни, биоминеральные взаимодействия. Сыктывкар: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 2008. С. 350–385.
5. Глухов Ю. В., Щербаков Э. С., Макеев Б. А., Исаенко С. И., Феоктистова А. Н. Распространённость акцессорных минералов и их ассоциации в осадочных отложениях Сысольской впадины // Сыктывкарский минералогический сборник. 2007. № 35. С. 22–36.
6. Конанова Н. В., Удоратин В. В., Магомедова А. Ш. Магнитные аномалии зоны сочленения северо-восточной части Волго-Уральской антеклизы и Вычегодского прогиба // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 12. С. 25–30.
7. Методика разведки россыпей золота и платиноидов / Под ред. И. Б. Флерова и В. И. Куторгина. М.: ЦНИГРИ, 1992. 288 с.
8. Никифорова З. С., Филиппов В. Е. Золото псевдорудного облика в древних конгломератах // Докл. АН СССР. 1990. Т. 311. № 2. С. 455–457.
9. Никифорова З. С., Филиппов В. Е., Герасимов Б. Б. Влияние эоловых процессов на образование золотоносных россыпей в различные эпохи развития Земли // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 5. С. 517–528.
10. Николаева Л. А. Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. Москва: Недра, 1978. 102 с.
11. Петровская Н. В. Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса). М.: Наука, 1973. 347 с.
12. Перспективные геотехнологии / Отв. редактор Н. П. Юшкин. СПб.: Наука, 2010. С. 112–118.
13. Филиппов В. Е., Никифорова З. С. Формирование золота при воздействии эоловых процессов. Новосибирск: Наука, 1998. 160 с.

References

1. Andreicheva L. N. *Pleistotsen Evropeiskogo Severo-Vostoka* (Pleistocene of the European North-East). Ekaterinburg: UB RAS, 2002, 322 pp.
2. *Aerofotogeologicheskaya karta mezhdurechya Vychedy i Kamymasshtaba 1:200 000: Serii Timanskaya. Permskaya. Listy R-39-XXIV (Ust-Kulom); XXIX (Lopydino); XXX (Verh. Lup'ya); R-40-XXV (Nizhnii Voch). Ob'yasnitel'naya zapiska.* (Aerophotogeological map of area between the Vychegda and Kama riv-



ers, scale 1:200000: Series Timan, Perm. Sheets R-39-XXIV (Ust-Kulom); XXIX (Lopydino); XXX (Verh. Lup'ya); R-40-XXV (Nizhnii Voch)). Explanatory note. Eds. A. K. Ivchenko et al. St. Petersburg: VSEGEI, 2001, 130 pp.

3. Gluhov Yu. V., Kuznetsov S. K., Savelev V. P., Kotrechko E. Yu. *Zoloto iz alluvialnykh otlozhenii srednego Kyvvozh (Volsko-Vymskaya gryada, Timan)* (Gold from alluvial deposits of Middle Kyvvozh (Volsko-Vym ridge, Timan). Proceedings of Komi Science Center UB RAS, No.1(33), Syktyvkar, 2018.

4. Gluhov Yu. V., Filippov V. N., Isaenko S. I., Makeev B. A. *Melkoe zoloto severo-vostoka Vostochno-Evropeiskoi platformy (Sysolskaya i Mezenskaya vpadiny) (Small gold of North-East of East European platform (Sysola and Mezen troughs))*. In: *Mineraly i mineraloobrazovanie, struktura, raznoobrazie i evolyutsiya mineralnogo mira, rol mineralov v proishozhdenii i razviti zhizni, biomineralnye vzaimodeistviya* (Minerals and mineral formation, structure, diversity and evolution of mineral world, role of minerals in life genesis, biomineral interactions). Syktyvkar: Institute of geology of Komi SC UB RAS, 2008, pp. 350–385.

5. Gluhov Yu. V., Scherbakov E. S., Makeev B. A., Isaenko S. I., Feoktistova A. N. *Rasprostranennost aktsessornykh mineralov i ih assotsiatsii v osadochnykh otlozheniyakh Sysol'skoi vpadiny* (Distribution of accessory minerals and their associations in sedimentary deposits of Sysola trough). *Syktyvskii mineralogicheskii sbornik* (Syktyvkar collection of mineralogical works). Syktyvkar, 2007, No. 35, pp. 22–36.

6. Konanova N. V., Udoratin V. V., Magomedova A. Sh. *Magnitnye anomalii zony sochleneniya severo-vostochnoi chasti Volgo-Uralskoi anteklizy i Vychegodskogo progiba* (Magnetic

anomalies of junction zone of north-eastern part of Volga-Ural antecline and Vychegda trough). *Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS*, 2017, No. 12, pp. 25–30.

7. *Metodika razvedki rossypei zolota i platinoidov* (Methods of exploration for gold placers). Ed. I. B. Flerov and V. I. Kutorgin. Moscow: TsNIGRI, 1992, 288 pp.

8. Nikiforova Z. S., Filippov V. E. *Zoloto psevdorudnogo oblika v drevnikh konglomeratakh* (Gold of pseudoore appearance in old conglomerates). *Doklady Earth Sciences*, 1990, V. 311, No. 2, pp. 455–457.

9. Nikiforova Z. S., Filippov V. E., Gerasimov B. B. *Vliyaniye eolovykh protsessov na obrazovaniye zolotonosnykh rossypey v razlichnyye epokhi razvitiya Zemli* (Influence of eolian processes on formation of gold placers in different epochs of Earth history). *Geologiya i geofizika*, 2005, V. 46, No. 5, pp. 517–528.

10. Nikolaeva L. A. *Geneticheskiye osobennosti samorodnogo zolota kak kriterii pri poiskakh i otcenke rud i rossypey* (Genetic features of native gold as criteria at search and evaluation of ores and placers). Moscow: Nedra, 1978, 102 pp.

11. Petrovskaya N. V. *Samorodnoe zoloto (obschaya kharakteristika, tipomorfizm, voprosy genezisa)* (Native gold (general characteristics, typomorphism, genesis). Nauka, 1973, 347 pp.

12. *Perspektivnye geotekhnologii* (Advanced geotechnologies). Ed. N. P. Yushkin. St. Petersburg: Nauka, 2010, 376 pp.

13. Filippov V. E., Nikiforova Z. S. *Formirovaniye zolota pri vozdeistvii eolovykh protsessov* (Formation of gold affected by eolian processes). Novosibirsk: Nauka, 1998, 160 pp.



ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И ПЕРЕРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ: ЗАВЕЩАНИЕ ЛЕГЕНДАРНОГО ПРОСПЕКТОРА

В. И. Силаев, А. Ф. Хазов, И. Н. Размыслов, В. А. Петровский

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

silae@geo.komisc.ru

Статья посвящена российскому геологическому проспектору и первооткрывателю многих золотороссыпных месторождений и местонахождений ископаемого детрита плейстоценовых мегамлекопитающих А. А. Котову и содержит примеры, подтверждающие справедливость выдвинутых им идей в области геотехнологий поисков, оценки и переработки месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: Александр Андреевич Котов, интеллектуальное наследство, прогноз, поиски и оценка рудных месторождений.

THE PERSPECTIVE OF DEVELOPMENT OF METHODS FOR FORECAST, SEARCHES, ESTIMATION AND PROCESSING OF ORE DEPOSITS: WILL OF LEGENDARY PROSPECTOR

V. I. Silaev, A. F. Khazov, I. N. Razmyslov, V. A. Petrovsky

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar,

In memory of the outstanding Russian geological prospectus and pioneer of many gold-placer deposits and locations of the fossil detritus of the Pleistocene mega-mammals with examples illustrating and confirming the validity of his ideas in the field of geotechnologies of prospecting, evaluation and processing of mineral deposits.

Keywords: Alexandr Andreevich Kotov, intellectual heritage, forecast, searches and estimation of ore deposits.

Введение

Александр Андреевич Котов (1934—2014) уже при жизни считался легендарным геологическим проспектором¹ и знаменитым первооткрывателем россыпных месторождений титана, золота и алмазов не только в России (Восточная Сибирь, Приполярный Урал, Северный Тиман), но и за рубежом² [18]. Теперь его можно смело включать в международный ряд выдающихся проспекторов — Фреда Штрубена (золотоурановые месторождения Витватерсранда), Шона Райана (золотоносные россыпи на р. Клондайк), Б. Шафигуллина (россыпи на территории Западной Чукотки), М. Кононова и С. Гайфуллина (россыпи на Колыме). Наш герой был, безусловно, одаренной творческой личностью, но при этом относился к редкому типу образно мыслящих («правополушарных») интеллектуалов-интуитивистов, многие выводы которых возникают раньше того, как коллеги-трудяги приступят к героической систематизации непомерных объемов эмпирической информации [25].

А. Котов родился в 1934 г. в Ленинградской области, но в школу пошел уже в Мурманской области, где и увлекся на всю жизнь математикой. После получения среднего образования он подался в Ленинградский госуниверситет, но почему-то не на математический, а на

географический факультет, что тоже было очевидным проявлением незаурядной натуры. Специализировался на кафедре геоморфологии, пописывая время от времени курсовые работы под невероятными названиями, например «Геоморфологическая терминология в русских летописях и былинах» или «А. Эйнштейн об асимметрии речных долин». Окончив университет, А. Котов распределился в Якутский ФАН СССР, в группу так называемых россыпников. Но там — среди ученых — ему быстро наскучило, и он перевелся ближе к «геологическому телу», а именно в Якутскую центральную геологосъемочную экспедицию.

Упомянутое «тело» не подвело, и уже в первом полевом сезоне А. Котов открывает свой первый рудоносный район — с богатыми аллювиальными россыпями титана. Об этом он отчитался не только рутинной геологической информацией, но и математической моделью. Такой карамболь³ в те далекие 1950-е годы был для геологического начальства безусловной ересью. Но начальство оказалось умным (спасибо ему за это) и не стало мешать Александру Андреевичу в создании геолого-математической партии, автоматизации процедур обработки разведочной информации, аналитической геометрии рудных тел, вероятностной оценке ресурсов-запасов и других премудрос-

¹ Специалист по выявлению площадей, перспективных на обнаружение рудных месторождений.

² В 1995 г. А. А. Котов возглавлял геолого-разведочное бюро одной из российских компаний с выездами в Мали, Танзанию, Намибию и Гвинею. Однажды вместе с В. И. Тумановым он прошел более пяти тыс. км по маршруту Лесная Гвинея — Фута-Джаллон (Средняя Гвинея) — Бафинг (Кот-д'Ивуар).

³ Удар на бильярде, при котором пушенный шар поражает последовательно не менее двух прицельных шаров.



тах. Среди последних оказалось, между прочим, открытие в междуречье Омолон-Яна (запад Яно-Индигирской низменности) крупного захоронения костных остатков мамонтовой фауны. Теперь там ходят орды палеонтологов-четвертичников, сочиняющих свои премудрые диссертации. Так прошло 20 лет.

В 1976 г. А. Котов был приглашен гендиректором ПГО «Полярноуралгеология» И. С. Бредихиным для организации поисков золотоалмазных россыпей на Европейском Северо-Востоке России. Целых два невыносимо продолжительных для него года А. Котов анализировал накопленную к тому времени геологическую информацию, а уже в 1978–1979 гг. под его руководством был открыт Кожимский золотороссыпной район (рис. 1). В 1980 г. здесь началась старательская добыча на речных террасах, которая за последующие 19 лет дала около 3.5 т шлихового и самородкового золота. В середине 1980-х гг. по ини-

циаций. Среди редких публикаций А. Котова есть одна особенно важная для нарождающегося поколения геологов и геотехнологов, поскольку ее можно рассматривать как своего рода завещание легендарного Проспектора. Это был доклад на Сыктывкарском минералогическом семинаре в 2012 г., в котором А. Котов примерно за два года до своей кончины сформулировал несколько принципиальных задач, без решения которых, как он считал, невозможен действительный прогресс в поисках, разведках, оценках и утилизации золотороссыпных месторождений [7]. Понятно, что не всё в этом послании является чудесным откровением в силу кажущейся тривиальности, но сосредоточенное изложение идей и неизбежная их проекция на личность самого автора делает упомянутое послание для нас очень важным. Очевидно также, что идеи А. Котова лишь поверхностно могут быть отнесены только к отрасли золотодобычи. В действительности они приложимы к



Рис. 1. К истории открытия и утилизации аллювиальных россыпей в Кожимском золотороссыпном районе

Fig. 1. To the history of discovery and utilization of alluvial placers in the Kozhim gold-placer region

циативе и при активном участии А. Котова на Среднем Тимане была обнаружена так называемая Ичетьюская полиминеральная россыпь⁴ с высококачественными алмазами уральско-бразильского морфологического типа. Так на геологической карте России появился новый алмазоносный район — Среднетиманский.

А. Котов не защищал диссертаций и очень редко публиковался, ограничиваясь лишь лаконичными пунктирно-смысловыми текстами. Однако это не следует считать слабостью нашего героя — творцы-интуитивисты никогда не оставляют после себя многословно-дремучих сочи-

поискам, разведкам, оценкам и технологиям освоения практически любых рудных месторождений. Итак, переходим к делу.

О ветхозаветных идеях и средневековых технологиях

А. А. Котов: *До сих пор в золотодобыче преобладают устаревшие идеи, в частности так называемый закон о «россыпнеобразующих формациях», и древнейшие, едва ли не средневековые, технологии обогащения: механическое дробление, промывка на наклонной плоскости (использование гравитационного*

⁴ Сам А. А. Котов считал объект на Ичетью именно россыпью, залегающей в основании среднедевонской пижемской свиты и образовавшейся в результате дефляции титаноносных песчаников нижнедевонской малоручейской свиты. Однако на этот счет имеется и другое авторитетное мнение: А. Я. Рыбальченко по аналогии с Северным Уралом считает эту «россыпь» — всю или частично — телом инъекционных флюидизитов, внедрившихся в кайнозойское время по границе между среднепротерозойским фундаментом Русской плиты и девонской терригенной толщей осадочного чехла.

эффекта), сепарация методом флотации и с использованием естественных магнитных свойств.

Действительно, основные методы, по крайней мере методы первоначального обогащения, за последние 100—150 лет, т. е. начиная как минимум с эпохи первых «золотых лихорадок» принципиально не изменились. В на-

стоящее время почти все в добыче и обогащении руд происходит почти так же, как это делали старатели во времена героев Джека Лондона: копают, дробят, отмывают в воде, концентрируют, используя гравитацию, трение и магнитные свойства (рис. 2). При этом именно такие очень древние процедуры продолжают почему-то отно-



Рис. 2. Методы первичного гравитационного обогащения речных россыпей в эпоху первых «золотых лихорадок» 1880—1915 гг. (а) и в конце XX — начале XXI в. (б)

Fig. 2. Methods of primary gravitational enrichment of river placers in the era of the first «gold fevers» of 1880—1915 years (a) and in the late 20th — early 21st centuries (b)



силь к «перспективным геотехнологиям» [33]. Очевидно, что подобный консерватизм и является основной причиной отмеченной А. Котовым архаичности идей и методов.

Конечно, в практике современных обогатителей имеют место и более сложные процедуры — цианирование, гидровыщелачивание, бактериальное выщелачивание, пирометаллургия и т. п. Но все это ничего не меняет принципиально, поскольку продолжает традицию лишь пассивного использования заповеданных природой свойств минерального сырья. Тем не менее в России уже в 1970-е годы появились признаки перехода к активной форме обогащения, когда исходные свойства природных руд удаётся модифицировать в нужных для обогатителей направлениях и со значительным приростом эффективности извлечения полезных компонентов [20]. В настоящее время эта идея получила развитие в работах российских ученых и начала активно обсуждаться зарубежными коллегами [9, 15, 21, 24, 29, 35—37, 39]. Конкретным примером успехов на таком направлении может служить измельчение руд при воздействии на них мощными наносекундными электромагнитными импульсами (метод ЭМИ), в результате которого степень раскрываемости частиц полезных компонентов может повышаться на 200 % и более. Другой пример — электрохимический метод увеличения эффективности флотационного обогащения (метод ЭХО), обеспечивающий прирост степени извлечения, например, алмазов на 25—30 %.

Особенный интерес в рамках рассматриваемой темы представляет радиационно-термический метод изменения механических и физико-химических свойств руд вследствие нагревания и последующего облучения ускоренными (высокоэнергетичными) электронами (метод РТУЭ). В этом случае могут быть достигнуты не только увеличение производительности измельчения руд и прирост степени извлечения полезных компонентов [24], но и полезное для промышленников изменение фазового состава руд, позволяющее расширять схему обогащения за счет извлечения новообразованных и достаточно фазово-обособленных полезных компонентов, иногда гораздо более ценных, чем фазовые компоненты в исходных рудах.

Размерность частиц как фактор торможения или ускорения

А. А. Котов: *Главный классификационный признак руды — размерность частиц полезного компонента — давно тормозит золотодобычу. Необходим принципиальный переход к освоению микронанодисперсного минерального сырья. В сущности, это является главной предпосылкой к обеспечению потенциала развития горнодобывающей отрасли в условиях продолжающегося промышленного роста.*

Суть данного соображения Проспектора состоит в том, что именно нацеленность обогатителей на так называемую гравитационную размерность частиц (более 100 мкм) в рудах и обуславливает в значительной степени застой как в геологических теориях, так и практиках обога-

щения руд. Однако не исключено, что истинный смысл рассматриваемой посылки лежит гораздо глубже, чем упомянутый выше застой в знаниях и умениях. В настоящее время есть внятное ощущение того, что, ориентируясь на извлечение частиц гравитационной размерности, мы никогда не сможем иметь полного представления о рудном месторождении, какими бы способами мы его ни оценивали [31]. Причина этого состоит в том, что в рудном месторождении самые ценные компоненты могут оказаться за пределами возможностей современных технологий обогащения, т. е., грубо говоря, рудное месторождение может быть вовсе не таким, как его воспринимают современные потребители. Очевидно, что для преодоления такого рода коллизии необходимо переходить к регистрации полезных компонентов с размером частиц в диапазоне от десятков микрон до сотен нанометров [6], а в перспективе и десятков нанометров [17]. Приведем соответствующий пример.

В 1988 г. в Юго-Восточной Якутии было открыто беспрецедентное сульфидно-марганцевое месторождение со средним содержанием Mn в пределах 48—52 мас. % [4]. Таковым оно и считалось до 2010 г., когда в сульфидно-марганцевых рудах была выявлена вкрапленность множества индиевых и индийсодержащих минералов с размером частиц преимущественно от сотен нанометров до первых десятков микрон (рис. 3): лафаретита AgInS_2 , рокезита CuInS_2 , манганоиндита $(\text{Mn, Fe})\text{InS}_2$, петрукита состава $(\text{Cu, Mn, Fe, In, Sn})_3\text{S}_4$, сакураита $(\text{Cu, Zn, Fe, In, Sn})\text{S}$, In, Sn-содержащих алабандина и арсенопирита, In-содержащего сфалерита, сульфоарсенитов In-Sn-Ag-Fe-Zn, сульфоантимонидов In-Sn-Cu, In-Sn-Pb, In-Zn-Cu, In-Pb-Zn [5, 26, 38]. Валовое содержание индия в рассматриваемых сульфидно-марганцевых рудах составляет 30—300 г/т, что почти на порядок превышает его содержание в свинцово-цинковых колчеданных месторождениях — традиционных первоисточниках индия для современной промышленности. В итоге получилось, что в силу выдающейся актуальности индия месторождение Высокогорное, обнаруженное в Восточной Сибири, следует рассматривать как не столько марганцевое, сколько уникальное индиевое, фактически «открытое под микроскопом» [27]⁵.

Другой пример, иллюстрирующий важность и необходимость перехода при оценке месторождений минерального сырья в микронанометровый диапазон размеров частиц, дает опыт исследований природных пигментов. Как известно, доля пигментного сырья из российских месторождений в потребности предприятий отечественной лакокрасочной промышленности составляет не более 10 %, хотя учтенные запасы природных пигментов в российских месторождениях весьма велики — до 45 кг на душу населения. Считается, что такой парадокс обусловлен системно низким качеством российских пигментных руд. Однако проведенные нами исследования с использованием сканирующей и просвечивающей электронной и зондовой атомно-силовой микроскопии, рентгеновской дифрактометрии и мёссбауэровской спектроскопии [11, 12] показали, что в действительности проблема отечествен-

⁵ Между прочим, после опубликования первых данных об обогащении Высокогорного месторождения индием китайцы провели ревизию и совершили у себя что-то вроде научно-технической революции — многие их сульфидно-полиметаллические рудопроявления оказались существенно индиеносными, сразу же превратившись в особенно ценные месторождения. В нашем же отечестве руки до уникального индиево-марганцевого месторождения так пока и не дошли.

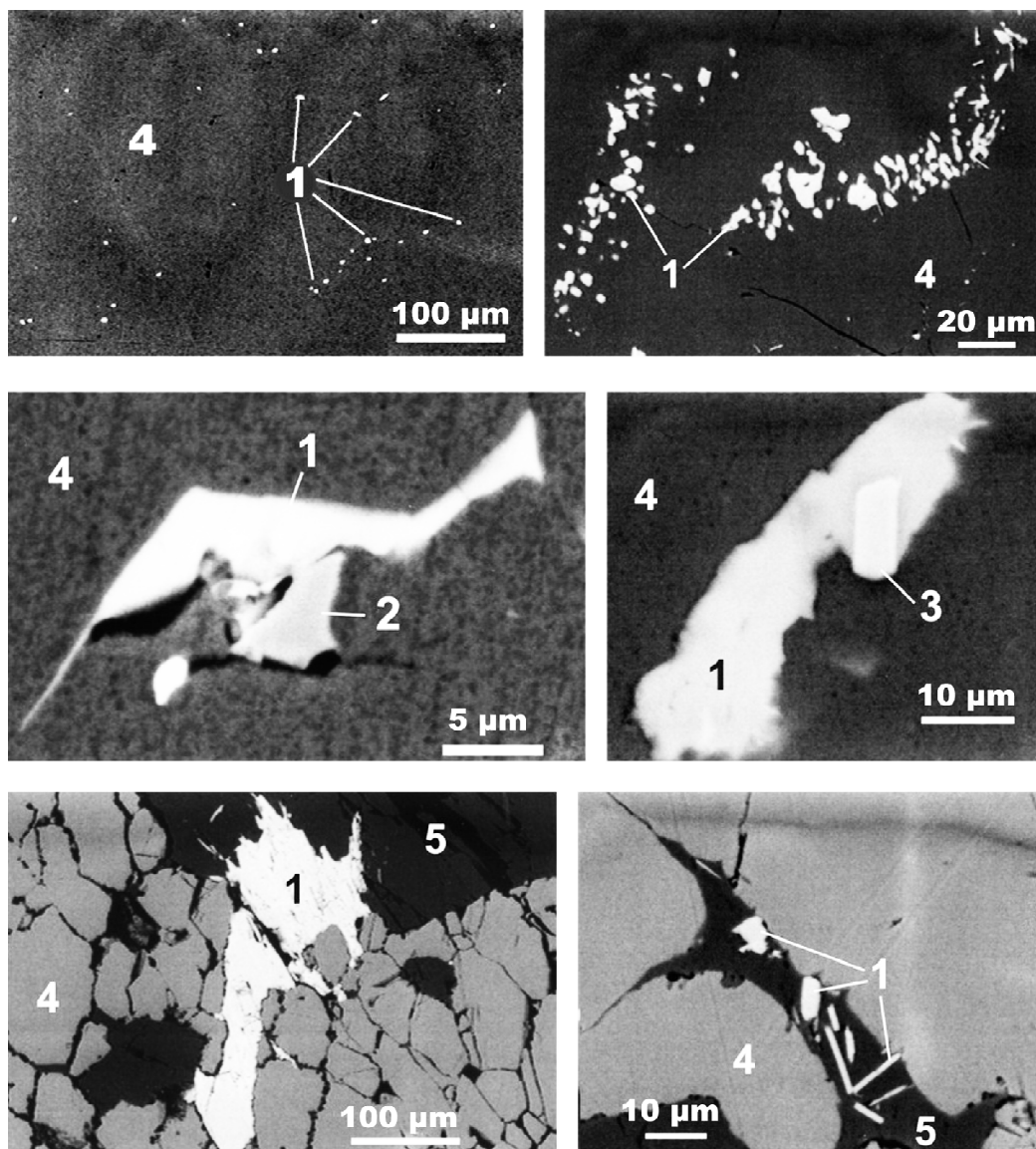


Рис. 3. Сульфидно-марганцевые руды из месторождения Высокогорного с мезонаномикрометровой вкрапленностью индиевых и индийсодержащих минералов. СЭМ-изображения в режиме упругоотраженных электронов. Минералы: 1 — индиевые сульфиды и сульфосоли, 2 — арсенопирит, 3 — касситерит, 4 — алабандин, 5 — родохрозит

Fig. 3. Sulphide-manganese ores from the Vysokogorny deposit with meson-micrometer impregnation of indium and indium-bearing minerals. SEM images in the mode of elastically reflected electrons. Minerals: 1 — indium sulphides and sulfosalts, 2 — arsenopyrite, 3 — cassiterite, 4 — alabandite, 5 — rhodochrosite

ного пигментного сырья состоит не в тотально низком его качестве, а в широких вариациях этого качества — от действительно низкого до достаточно высокого в зависимости от колебаний дисперсности, формы и степени кристалличности частиц красящего вещества. С увеличением размера частиц в среднем от 100—200 до 600—800 нм и более, изменением формы частиц от глобулярной до угловатой, с ростом степени кристалличности оксидов железа по мере снижения содержания гидрогетита, замещающегося гематитом, и с ростом степени магнитной упорядоченности железистых минералов качество пигментного сырья быстро ухудшается. Статистически это отвечает последовательности перехода от желтых охр к турбитам, далее к коричневым охрам и бурым железнякам (рис. 4). Однако обнаруживается, что в пределах каждого из выстроившихся в упомянутую выше последовательность типов

пигментов их качество достаточно широко варьируется. Очевидно, что в условиях организации непрерывного мониторинга и селективной добычи такого сырья можно легко увеличить долю промышленного потребления отечественных природных пигментов, сильно сэкономив на дорогом импорте.

Прогресс как функция внедрения новых технологий

А. А. Котов: *Существенный прогресс в золотодобыче возможен только после внедрения в практику принципиально новых технологий переработки минерального сырья, например технологии «уголь в пульпе».*

Этот постулат в завещании Проспектора представляется наиболее универсальным и важным для модернизации горнодобывающей отрасли России, поскольку имен-

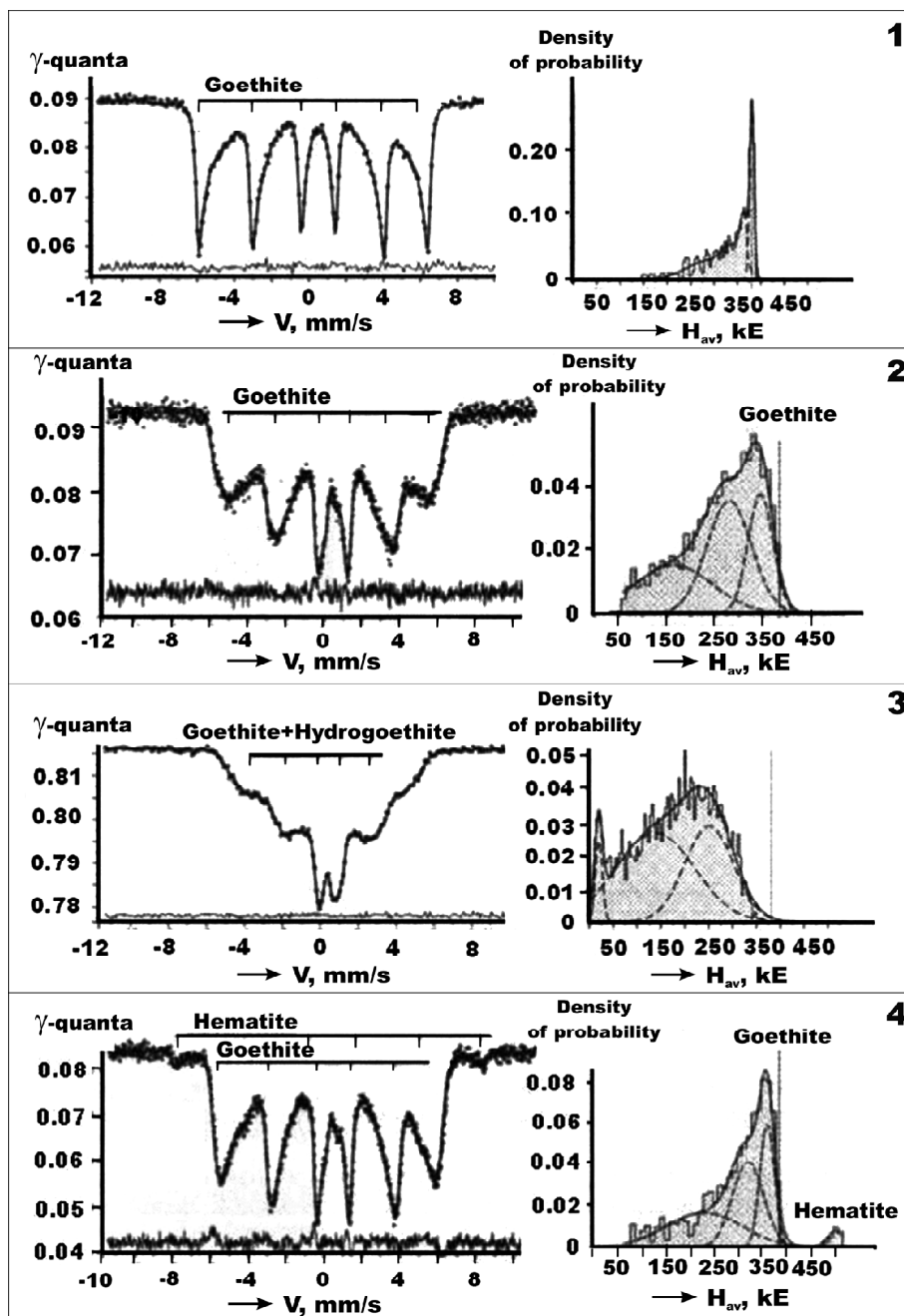


Рис. 4. Мёссбауэровские спектры (слева) и восстановленные распределения параметров магнитной сверхтонкой структуры секстетов (справа), полученные от желтых охр (1), туритов (2), коричневых охр (3) и бурых железняков (4)

Fig. 4. Mossbauer spectra (left) and reconstructed distributions of the parameters of the magnetic hyperfine structure of the sextets (right) obtained from yellow ochers (1), turites (2), brown ochers (3), and brown iron ores (4)

но он соответствует переходу от многовековой традиции пассивного приспособленчества к новому принципу целенаправленного и разнообразного модифицирования в целях кардинального улучшения ситуации в области геотехнологий [19].

Такой переход, разумеется, не может произойти сам по себе. Для этого необходимо настойчиво повышать в геотехнологических процедурах роль минералогии, поскольку с интервенцией в микронанометровый диапазон дисперсности резко возрастает значение фазовой гетерогенности сырья, вариаций химической неоднородности и степени окристаллизованности минералов, за-

кономерностей их изоморфизма и полиморфизма. Для понимания всего этого необходимо согласованное использование множества высокотехнологичных методов [8, 16] — высокоточной рентгеновской дифрактометрии, высокоразрешающей термографии, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, зондовой атомно-силовой микроскопии, локального рентгено-спектрального анализа, масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, разных вариантов спектроскопии (ИКС, ЯГР, ЭПР) и др. Кроме того, для значительного повышения степени и качества утилизации руд необходимо научиться использовать энергетические

(термические, электромагнитные, радиационные) воздействия на первичное минеральное сырье, что может повысить эффект доизвлечения тонких и сублимированных компонентов.

В качестве доказательства эффективности технологичной модификации природных руд могут рассматриваться уже зарекомендовавшие себя эксперименты по омагничиванию некондиционных железных руд [14]. Суть этих экспериментов состоит в том, что исходные буро-железные немагнитные руды в процессе нагревания до 500–700 °С в присутствии восстановителя, например крахмала, приобретают значительные магнитные свойства (омагничиваются) вследствие превращения слабомагнитных оксигидроксидов и оксидов железа (гидрогетита, гетита, гематита) в сильномагнитные (маггемит, магнетит). Понятно, что в результате именно такого превращения резко повышается производительность магнитного обогащения. Приведем три примера.

Были выполнены эксперименты по омагничиванию аподжеспилитовых бурых железняков гипергенного происхождения на Ингулецком месторождении железистых кварцитов в Криворожском железорудном бассейне [28]. Исходные образцы имели преимущественно гетит-гидрогетитовый состав с примесью гематита. Они нагревались до 650 °С в присутствии восстановителя железа, потом охлаждались со скоростью 60–70 °С/мин в режиме непрерывной регистрации взаимодействия магнитного момента образцов с неоднородным магнитным полем. Полученные результаты показали (рис. 5), что после такого нагревания происходит значительное увеличение магнитного момента, обусловленное, судя по рентгендифракционным данным, переходом гематита, гетита и гидрогетита в маггемит ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) и магнетит.

В качестве второго примера можно сослаться на опыты по омагничиванию оолитовых буро-железных руд из Керченского железорудного бассейна [1, 13], недавно вернувшегося под юрисдикцию России. Железняки при-

урочены к морским терригенным отложениям нижнего-среднего палеозоя [23, 34], их минерально-фазовый состав определяется парагенезисом Fe-аллофаноидов, гидрогетита-гетита, смектитов, гидрохлоритов и гидрослюда, Fe-Mn-карбонатов, фосфатов ряда вивианит — оксикерченит. Среднее валовое содержание железа в рудах составляет около 30 мас. %. В ЯГР-спектрах исходных образцов наблюдается релаксированная магнитная сверхтонкая структура, отвечающая плохо окристаллизованному гетиту (гидрогетиту), и дублет Fe^{2+} в железистых силикатах и фосфатах. В процессе нагревания в присутствии крахмала буро-железные руды дегидратируются и изменяют окраску с желтовато-бурой на черную. Магнитная восприимчивость увеличивается в 300 раз, а в мёссбауэровских спектрах проявляется хорошо разрешенная секстетная структура, отвечающая магнетиту (рис. 6). Таким образом, в результате эксперимента плохообогащаемые бурые железняки превращаются в качественную магнетитовую руду.

Третий пример изменения первичных свойств некачественного минерального сырья — результаты экспериментов над некондиционными бёмит-гетит-гидрогетитовыми бокситами из среднетиманских месторождений [9, 22]. В этом случае в результате нагревания до 600 °С в сочетании с воздействием на руды электрическими полями или высокоэнергетичными электронами сначала происходит термическая диссоциация бёмита и гетита-гидрогетита с образованием $\lambda\text{-Al}_2\text{O}_3$ и гематита, а затем следует преобразование слабомагнитного гематита в сильномагнитные маггемит и магнетит. Последнее способствует эффективному отделению от продуктивной алюминиевой фракции условно вредной железистой фракции. Хотя «вредная» фракция при этом может оказаться вовсе и не вредной, а вполне полезной как ценный побочный промышленный продукт.

Таким образом, приведенные примеры модификации буро-железных и железоалюминиевых руд

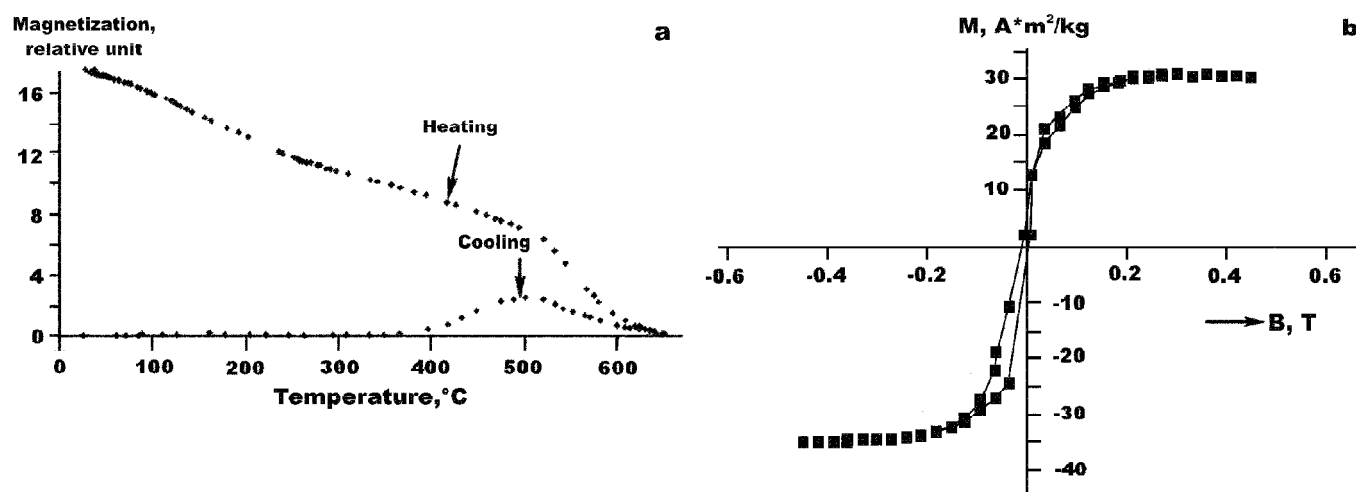


Рис. 5. Термомангнитные кривые (а; стрелками показаны точки достижения максимума магнитного момента) и кривые намагниченности после нагревания и последующего охлаждения (б) для аподжеспилитовых бурых железняков

Fig. 5. Thermomagnetic curves (a, the arrows indicate the points of reaching the maximum of the magnetic moment) and the magnetization curves after heating and subsequent cooling (b) for apodjesspilite brown irons

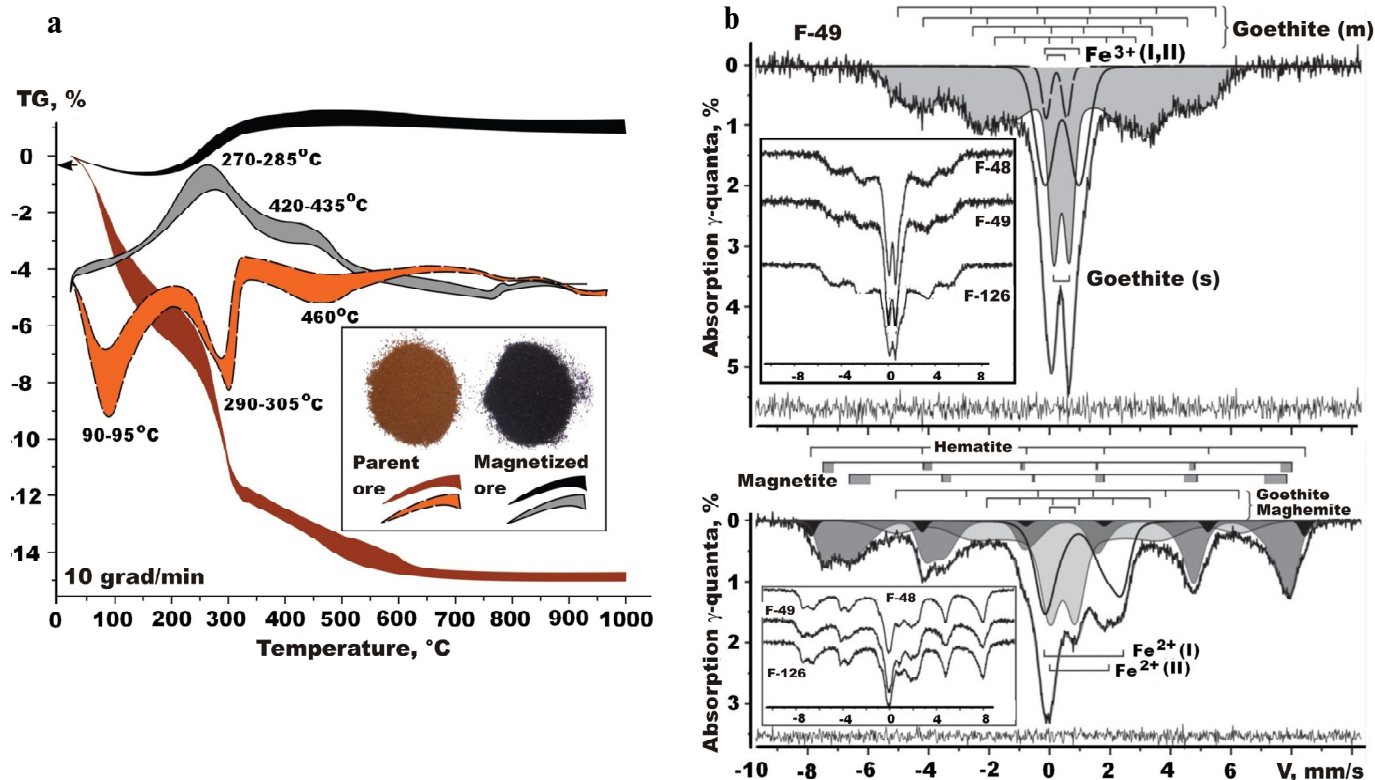


Рис. 6. Результаты термического анализа (а) и мёссбауэровские спектры (б) образцов технологической пробы керченских бурожелезняковых руд до и после омагничивания

Fig. 6. Thermal analysis results (a) and Mössbauer spectra (b) of specimens of the technological sample of the Kerch brown-lime-rich ores before and after magnetization

демонстрируют универсальную картину превращений в ходе нагревания в присутствии восстановителя и облучений некондиционных слабомагнитных руд в качественные маггемит-магнетитовые руды, что, безусловно, открывает замечательную перспективу утилизации громадных объемов труднообогатимого минерального сырья.

К вышеизложенному следует добавить, что в ходе нагревания образцов железистых бокситов с последующим их облучением пучками ускоренных электронов при определенной напряженности магнитного поля нами наблюдался неизвестный ранее эффект фазовой гетерогенизации, обусловленной образованием собственных минералов промышленно ценными микроэлементами, ранее эндокриптно рассеянными в исходном веществе и потому неизвлекаемыми.

Приватно-государственное сотрудничество, привлечение молодежи и романтика современной геологии

А. А. Котов: *Возвращение России в мир большой золотодобычи потребует предварительного решения целого ряда социально-экономических задач, включая востребованность со стороны государства современного старательства «тумановского» типа, сокращение чрезмерного в настоящее время влияния на горнодобывающую отрасль бюрократов и вовлечение молодёжи в крупные научно-технические и производственно-новаторские проекты, характеризующиеся высокой культурой и романтикой творчества.*

А. Котов был убежденным сторонником многоукладности российской экономики, имеющей глубокие исторические корни [10]. При этом у самого Проспектора имелся личный опыт сотрудничества с выдающимися продолжателями традиций знаменитого российского предпринимательства, демонстрировавших высокую эффективность даже в самое неблагоприятное для этого советское время. Наиболее известный пример — история необыкновенного человека и старателя с большой буквы — Вадима Ивановича Туманова.

В. И. Туманов (1927 г.р.) в 16—17 лет успел повоевать, потом окончил школу морских штурманов. Но в 1948 г. был осужден на 8 лет по ст. 58 УК РСФСР («шпионаж, террор, антисоветская агитация»). После освобождения в 1956 г. он окончил курсы горных мастеров и занялся старательским промыслом, создав первую в СССР «скоропроходческую» бригаду на колымских золотороссыпных месторождениях. Впоследствии Вадим Иванович организовывал и возглавлял множество старательских артелей и кооперативов: «Семилетка» (1966), «Прогресс» (1966), «Алдан» (1969), «Восток (Амур)» (1973), «Витим» (1973), «Лена» (1976). Считается, что за весь период предпринимательства коллективы В. И. Туманова добыли примерно 400 т самородного золота.

После открытия Кожимского золотороссыпного района В. И. Туманов был приглашен в Республику Коми, где собрал старательскую артель «Печора» (с 1980 г. кооператив на хозрасчете), которая успешно вела добычу до 1986 г. (рис. 7). Артельщики-печорцы работали вахтами, практически круглосуточно, зарабатывая ежемесячно по

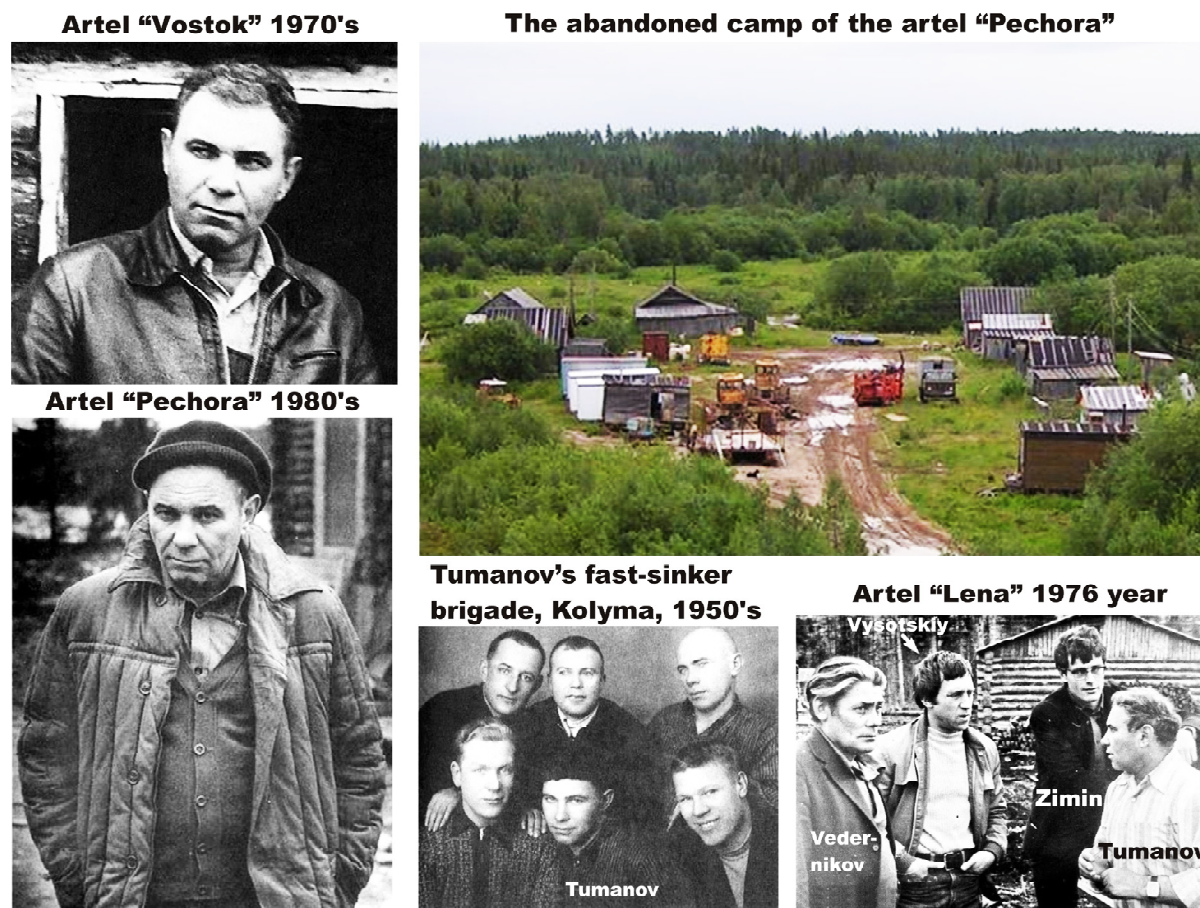


Рис. 7. Основоположник современного горного старательства «тумановского» типа и некоторые из его команды
Fig. 7. The founder of modern mining of «Tumanovsky» type and some people of his team

2000 руб. (раз в 10 больше средней зарплаты в СССР в те времена). Очень показательно, что сам глава кооператива получал лишь в два раза больше своих проходчиков, что в сравнении с современными беловоротничковыми «премиями» и «золотыми парашютами» выглядит каким-то экзистенциализмом.

Тем не менее в 1987 г., после короткого следствия, проведенного бригадой следователя-«важняка» Нагорнюка А. Н. по инициативе члена ПБ ЦК КПСС Лигачева Е. К., министра цветной промышленности СССР Дурасова В. А. и первого секретаря Коми обкома КПСС Мельникова В. И. и при активном соучастии начальника управления бухучета и контроля Минцветмета Одарюк Л. С. и авторов статьи «Вам и не снилось» в газете ЦК КПСС «Социалистическая индустрия» Цекова В. и Капелькина В., кооператив «Печора» был ликвидирован. Правда, до осуждения кого-либо по причине отсутствия реальных злоупотреблений дело не дошло. Уже в 1987 г. В. И. Туманов организовал новый кооператив — «Строитель» — с пропиской в Карелии, строил там в течение многих лет автомобильные дороги и мосты, благоустраивал территории, за что в 2017 г. получил звание «Почетный гражданин Республики Карелия».

Теперь кратко о действительных результатах деятельности «Печоры». Тумановский кооператив работал в Ко-

жимском золотороссыпном районе семь лет, ежегодно добывая в среднем около 300 кг золота. После ликвидации кооператива добычу возобновили в 1989 г., создав для этого подконтрольную государству компанию ОАО «Терра». В 1997 г. «Терру» из-за ее малой эффективности заменили артелью «Комсомольская», но это уже стало и вовсе агонией золотодобычи на Приполярном Урале.

Сравнительный анализ результатов деятельности золотодобытчиков в Кожимском золотороссыпном районе (см. таблицу) приводит к следующему заключению. Тумановский кооператив оказался, безусловно, самым эффективным. ОАО «Терра» уступило «Печоре» в среднегодовой добыче в 1.7 раза, а в общем объеме добычи — в 1.5 раза. Деятельность артели «Комсомольская» оказалась еще менее продуктивной — она уступила «Печоре» и «Терре» в среднегодовой добыче соответственно в 16.7 и 9.7 раз, а в общем объеме добычи — в 33.3 и 22 раза. Вот таким оказался экономический эффект борьбы государства с «злоупотреблениями» в тумановской артели⁶. Очень показательно, что если тумановцы после ликвидации «Печоры» создали эффективный строительный кооператив, то о поздней судьбе их преемников вообще ничего не известно — растаяли как утренний туман.

Однако остался вопрос, в чем именно состояла причина замены наиболее социально-экономически эффек-

⁶ Есть, однако, и другая точка зрения, согласно которой причиной «затухания» золотодобычи на Приполярном Урале послужило включение соответствующей территории в состав национального парка «Югыд ва» [30].



Результаты старательской добычи золота в Кожимском золотороссыном районе в период 1980—2000 гг.

The results of gold mining in the Kozhim gold-placer area in the period 1980—2000 years

Золотодобычное предприятие (руководитель) Gold Mining enterprise (head)	Годы добычи Years of production	Размах объемов добычи, кг Scope of production, kg	Общий объем добычи, кг Total production, kg	Среднегодовая добыча ± СКО, кг (коэффициент вариации, %) Average annual production ± ± standard deviation, kg (coefficient of variation, %)
Артель (кооператив) «Печора» от объединения «Уралзолото» (В. И. Туманов) Artel (cooperative) «Pechora» from the association «Uralzoloto» (V. I. Tumanov)	1980—1986 (7 лет / years)	196—342	2041	292 ± 52 (18)
ОАО «Терра» от Ухтинской ГРЭ (Л. В. Акимов) OJSC «Terra» from the Ukhta prospecting expedition (L. V. Akimov)	1989—1996 (8 лет / years)	45—352	1358	170 ± 112 (66)
ЗАО Артель старателей «Комсомольская» (О. А. Чакров) CJSC Artel of prospectors «Komsomolskaya» (O. A. Chakrov)	1997—2000 (4 года / years)	9—26	73	18 ± 8 (44)

Примечание. Исходные данные заимствованы у А. А. Иевлева [3].

Note. The initial data were borrowed from A. A. Iyevlev [30].

тивного предприятия гораздо более слабыми, если не сказать ничтожными, последователями. Лучше всех это объяснил сам В. И. Туманов: «Причина уничтожения «Печоры» заключалась в том, что такой пример производительного труда не был нужен ни до, ни после 1987 года...» [32].

Остается прокомментировать идею А. Котова о молодежи и современном понимании геологической романтики. Понятно, что российскую молодежь XXI века в геологию и горное производство только лозунгами и мобилизациями не наwerbueшь. Для этого необходимо, подобно В. И. Туманову, уважать людей и учитывать их частные интересы. Это в настоящее время более или менее понятно. Но вот с романтикой не так все однозначно.

Еще лет 50—60 назад, в эпоху «золотого века советской геологии», замечательно воспеваю О. Куваевым, геологическую романтику видели прежде всего в героическом исхаживании труднодоступных территорий, собирании камней и поисковом фарте. Точно так, как это было в эпоху «великих географических открытий», когда на первом месте была романтика кругосветных плаваний и открытий новых материков. Однако тогда после обнаружения новых земель надо было переходить к их освоению, что потребовало несколько иной романтики.

Примерно то же самое происходит в настоящее время и в отечественной геологии, в которой практически непрерывно повышается роль аналитических и научно-исследовательских работ, хотя это и не всем прежним романтикам нравится⁷. Что-то подобное предвидел еще советский академик А. Е. Ферсман, большой, надо сказать, путешественник и первооткрыватель. В 1940-х гг. он утверждал, что истинная романтика в геологии состоит вовсе не в бродяжничестве, а «лежит за третьим десятичным

знаком». Более развернуто об этом написал в начале 1970-х гг. профессор Ростовского госуниверситета В. В. Закруткин, много путешествовавший по Якутии, Африке и преподававший в университетах России, Гвинеи, Алжира, Туниса, Конго, Заира. По его мнению, настоящая романтика в геологии «... это романтика исследований... это поиски не только в глубинах Земли, это поиски в глубинах вещества, это тончайшие химические анализы, это скрупулёзные рентгеноструктурные исследования, это изучение даже не элементов, а изотопов. Это электронный микроскоп, это лазерный и квантовый анализаторы, это инфракрасная спектроскопия, это магнитный и квадрупольный резонансы. ... в общем, это не только костры по ночам и рюкзак за плечами. Это еще и белые халаты, и умные машины...» [2].

Вот так и расширяется формула завещанных Проспектором «научно-технических и производственно-новаторских проектов, характеризующихся высокой культурой и романтикой творчества» и к тому же привлекательных для современной хорошо образованной и умной молодежи. Надо только поменьше лениться.

Вместо заключения

Александр Андреевич Котов прожил почти 80 лет, практически непрерывно трудился и никогда по-настоящему не отдыхал. Был женат, оставил после себя достойных детей. Ученики у него, наверное, тоже были, но не в том смысле, что он кого-то учил, а в том, что находились умные и талантливые, которые сами у него учились вприглядку.

Удивительной особенностью А. А. Котова была, как теперь говорят, «мягкая сила» — внутренняя убежденность в своей правоте и молчаливая неуступчивость по принци-

⁷ Например, геофизик по образованию и профессии, но писатель-романтик по призванию О. М. Куваев в конце 1960-х гг. необратимо «разочаровался» в геологии именно из-за роста роли в ней так называемых камеральных работ.



пиальным для него вопросам. Он даже по телефону никогда не спорил, просто отключал трубку. При этом А. А. Котов мог быть и очень язвительным. Одна только его шутка в сторону известных геологов о том, что они «золото ищут, как солону на дороге», чего стоит. Кстати, как раз после этой шутки он и открыл свое «эльдорадо» на Приполярном Урале.

В общем, нет никаких сомнений в том, что завещание легендарного Проспектора не останется втуне, а еще долго будет отзываться в новых геологических и геотехнологических открытиях его коллег, учеников и последователей.

Работа выполнена по теме НИР «Научные основы эффективного недропользования, развития и освоения минерально-сырьевой базы, разработка и внедрение инновационных технологий, геолого-экономическое районирование Тимано-Североуральского региона» (ГР № ААА-А17-117121270037-4) при частичной финансовой поддержке программ УрО РАН (проект 18-5-5-44).

Литература

1. Брик А. Б., Иваницкий В. П., Дудченко Н. А., Польшин Э. В., Влайков Г. Г. Фазовый состав табачных руд Керченского железорудного бассейна и возможность их омагничивания // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2014): Материалы минералог. семинара с международ. участием. Сыктывкар: Геопринт, 2014. С. 248—249.
2. Закруткин В. В. Анабарский щит. Ростов н/Д: Ростовское книжное издательство, 1973. 220 с.
3. Иевлев А. А. История и перспективы добычи золота в Республике Коми // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. С. 341—344.
4. Кокин А. В. Минеральные ассоциации уникальных алабандиновых руд Восточной Якутии // Структура и разнообразие минерального мира: Материалы международ. минералог. семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2008. С. 393—394.
5. Кокин А. В., Силаев В. И., Киселева Д. В., Филиппов В. Н. Новый потенциально промышленный сульфидно-индиево-марганцевый тип оруденения // Доклады РАН. 2010. Т. 430. № 3. С. 372—377.
6. Конев Р. И. Наноминералогия золота. СПб.: Delta, 2006. 218 с.
7. Котов А. А., Петровский В. А., Сухарев А. Е. Введение в «новейшую» геологию // Кристаллическое и твердое некристаллическое состояние минерального вещества: Материалы минералог. семинара с международ. участием. Сыктывкар: Геопринт, 2012. С. 264—266.
8. Котова О. Б., Ожогина Е. Г., Рогожин А. А. Интервенция минералогии в технологии переработки труднообогатимых полезных ископаемых // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения — 2017): Материалы международ. науч. конф. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. С. 10—13.
9. Котова О. Б., Размыслов И. Н., Ростовцев В. И., Силаев В. И. Радиационно-термическое модифицирование железистых бокситов в процессах их переработки // Обогащение руд. 2016. № 4. С. 3—9.
10. Лешиков В. Г. Российское золото — государственная и старательская добыча (1719—2007). М.: Горная книга, 2008. 206 с.
11. Лютоев В. П., Грановская Н. В., Силаев В. И., Кочергин А. В., Лысюк А. Ю. Свойства и наноминералогические критерии технологической оценки природных ультрарадисперсных пигментов // Минералого-технологическая оценка месторождений полезных ископаемых и проблемы раскрытия минералов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2011. С. 50—63.
12. Лютоев В. П., Лысюк А. Ю., Силаев В. И. Микро-наноминералогические тайны природных пигментов // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 9. С. 18—20.
13. Лютоев В. П., Силаев В. И., Лысюк А. Ю., Шевчук С. С. Керченские оолитовые железные руды и возможности их технологической модификации // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 1. С. 18—29.
14. Лютоев В. П., Силаев В. И., Пономаренко А. Н., Брик А. Б., Дудченко Н. А., Юшин А. А., Лысюк А. Ю., Шевчук С. С. Преобразование структуры природных оксидов/оксигидроксидов железа при восстановлении окисленных железозоксидных руд // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2013. № 1. С. 20—25.
15. Научное обоснование и разработка инновационных технологий комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья / С. А. Кондратьев, В. И. Ростовцев, Г. Р. Бочкарев, Г. И. Пушкарева, К. А. Коваленко // ФТПРПИ. 2014. № 5. С. 187—202.
16. Ожогина Е. Г., Котова О. Б., Якушина О. А. Минералогия горнопромышленных отходов // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 5. С. 44—48.
17. Олейникова Г. А., Панова Е. Г. Нанотехнологический способ определения золота в горных породах, рудах и продуктах их переработки // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований: Материалы Всерос. конф. с международ. участием. Москва, 2010. Т. 2. С. 114—116.
18. Петровский В. А. Александр Котов — лучший геолог-поисковик России // Уральский геологический журнал. 2015.
19. Пирогов Б. И. Генетическая природа технологических свойств минералов руд // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2018): Материалы минералог. семинара с международ. участием. Сыктывкар: Геопринт, 2018. С. 51—52.
20. Плаксин И. Н. Обогащение полезных ископаемых: Избранные труды. М.: Наука, 1970. С. 292—300.
21. Повышение магнитных свойств железосодержащих минералов при радиационно-термической обработке / Х. Ванг, Г. Р. Бочкарев, В. И. Ростовцев, Ю. П. Вейгельт, С. С. Лу // ФТПРПИ. 2004. № 4. С. 89—97.
22. Пономаренко А. Н., Брик А. Б., Дудченко Н. А., Лютоев В. П., Силаев В. И. Фазовые превращения в гематит-бемитовом боксите под воздействием электрических волн в восстановительной среде // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2013): Материалы минералог. семинара с международ. участием. Сыктывкар: Геопринт, 2013. С. 408—409.
23. Рейхард Л. Е. Коллоидное происхождение киммерийских оолитовых железных руд Таманского полуострова // Минералогические перспективы: Материалы международ. минералог. семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2011. С. 263—264.



24. Ростовцев В. И. Теоретические основы и практика использования электрохимических и радиационных (ускоренных электронов) воздействий в процессах рудо-подготовки обогащения минерального сырья // Вестник ЧГУ. 2010. № 8. С. 91—99.
25. Силаев В. И. Красные, синие, желтые, зеленые // В краю, где поздняя весна: Литературный сб. Апатиты, 2013. С. 200—203.
26. Силаев В. И., Кокин А. В., Лютов В. П., Пискунова Н. Н., Симакова Ю. С., Филиппов В. Н. Природный алабандин как индикатор аномальной обстановки минерало- и рудообразования // Минеральный вид: структура, разнообразие, конституция минералов, кристаллогенезис и минералообразование, биоминеральные взаимодействия, эволюция минералообразующих процессов. Сыктывкар: Геопринт, 2012. С. 77—102.
27. Силаев В. И., Кокин А. В., Пискунова Н. Н., Филиппов В. Н. Рудное месторождение, открытое под микроскопом // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 9 (1). С. 14—16.
28. Силаев В. И., Лютов В. П., Брик А. Б., Дудченко Н. А., Лысюк А. Ю. Джеспилиты Ингулекского месторождения и продукты их гипергенного изменения в связи с проблемой усовершенствования технологии переработки труднообогатимых железных руд // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. Вып. 1. С. 60—77.
29. Силаев В. И., Хазов А. Ф., Пискунова Н. Н. Оценка минеральных месторождений: химия, геохимия или минералогия // Минералого-технологическая оценка месторождений полезных ископаемых и проблемы раскрытия минералов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2011. С. 35—47.
30. Тарбаев М. Б., Кузнецов С. К. Золотоносность Тимано-Североуральского региона // Горный журнал. 2007. № 3. С. 57—61.
31. Ткачев Ю. А. Плата за недра. СПб.: Наука, 1998. 168 с.
32. Туманов В. И. Все потерять и вновь начать с мечты. М.: Новости, 2004. 110 с.
33. Шумилов И. Х. Исследование процессов рудоподготовки и обогащения золотосодержащих пород проявления Чудного (Приполярный Урал) // Перспективные геотехнологии. СПб.: Наука, 2010. С. 254—284.
34. Юрк Ю. Ю., Шнюков Е. Ф., Лебедев Ю. С., Куриченко О. Н. Минералогия железорудной формации Керченского бассейна. Симферополь: Крымиздат, 1960. 450 с.
35. Effect of magnetite particle size on adsorption and desorption of arsenite and arsenate / S. Yean, L. Cong, C. T. Yavuz, J. T. Mayo, W. W. Yu, A. T. Kan, V. L. Colvin, M. B. Tomson // Journal of Materials Research, 2005. Vol. 20. № 12. P. 3255—3264.
36. Prospects of electron accelerators used for realizing effective low-cost technologies of mineral processing / G. R. Bochkarev, V. A. Chanturiya, V. E. Vigdergauz, V. D. Lunin et al. // Proceedings of the the XX International Mineral Processing Congress, September 21—26, 1997, Aachen, Germany. Clausthal-Zellerfeld, GDMB, 1997. Vol. 1. P. 231—243.
37. Radiation-thermal treatment in ore dressing / M. V. Korablenikov, A. A. Bryazgin, V. V. Bezuglov et al. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2015. Vol. 81. P. 1—6.
38. Silaev V. I., Kokin A. V., Kiseleva D. V., Piskunova N. N., Lutoev V. P. New Potentially Industrial Type of Indium Sulfide-Manganese Ore // INDIUM: Properties, Technological Applications and Health Issues». Nova Science Publishers, Inc. 400 Oser Avenue, Suite 1600 Hauppauge, NY 11788-3619. 2013. P. 261—284.
39. Wang H., Lu S. Modifying effect of electron beam irradiation on magnetic property of ironbearing minerals // Physicochemical Problems of Mineral Processing, 2014. Vol. 50, Iss. 1. P. 79—86.

References

1. Brik A. B., Ivanitskiy V. P., Dudchenko N. A., Pol'shin E. V., Vlaykov G. G. *Fazovyy sostav tabachnykh rud Kerchenskogo zhelezorudnogo basseyna i vozmozhnost' ikh omagnichivaniya. Sovremennyye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy i prikladnoy mineralogii (Yushkinskiye chteniya — 2014): Materialy mineralogicheskogo seminara s mezhdunarodnym uchastiyem* (The phase composition of tobacco ores in the Kerch iron ore basin and the possibility of their magnetization. Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy (Yushkin memorial seminar — 2014): Proceedings of the mineralogical seminar with international participation). Syktyvkar: Geoprint, 2014, pp. 248—249.
2. Zakrutkin V. V. *Anabarskiy shehit* (Anabarsky shield). Rostov Publishing house, 1973, 220 pp.
3. Ievlev A. A. *Istoriya i perspektivy dobychi zolota v Respublike Komi* (History and Prospects for Gold Mining in the Komi Republic). *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal)*, 2011, pp. 341—344.
4. Kokin A. V. *Mineralnyye assotsiatsii unikal'nykh alabandinykh rud Vostochnoy Yakutii* (Mineral Associations of Unique Alabandine Ores of Eastern Yakutia). *Struktura i raznoobrazie mineral'nogo mira: Materialy mezhdunarodnogo mineralogicheskogo seminara* (Structure and Diversity of the Mineral World: proceedings of the International Mineralogical Seminar.). Syktyvkar: Geoprint, 2008, pp. 393—394.
5. Kokin A. V., Silaev V. I., Kiseleva D. V., Filippov V. N. *Novyy potentsialno promyshlennyy sulfidno-indiyevo-margantsevy tip orudneniya* (A new potentially industrial sulfide-indium-manganese type of mineralization). *Doklady Earth Sciences*, 2010, V. 430, No. 3, pp. 372—377.
6. Koneev R. I. *Nanominalogiya zolota* (Nanomineralogy of gold). St. Petersburg: Delta, 2006, 218 pp.
7. Kotov A. A., Petrovskiy V. A., Sukharev A. Ye. *Vvedeniye v «noveyshuyu» geologiyu. Kristallicheskiye i tverdoye nekristallicheskiye sostoyaniye mineral'nogo veshchestva: Materialy mineralogicheskogo seminara s mezhdunarodnym uchastiyem* (Introduction to the «newest» geology. Crystalline and solid non-crystalline state of the mineral substance: Materials of the mineralogical seminar with international participation). Syktyvkar: Geoprint, 2012, pp. 264—266.
8. Kotova O. B., Ozhogina Ye. G., Rogozhin A. A. *Interventsiya mineralogii v tekhnologii pererabotki trudnoobogatimyykh poleznykh iskopayemykh. Sovremennyye problemy kompleksnoy pererabotki trudnoobogatimyykh rud i tekhnogennogo syr'ya (Plaksinskiye chteniya — 2017): Materialy mezhdunarodnoy nauch. konf* (Intervention of mineralogy in the technology of processing of difficult minerals. Modern problems of complex processing of hard ores and technogenic raw materials (Plaksin readings — 2017): Materials of international scientific. conf). Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2017, pp. 10—13.
9. Kotova O. B., Razmyslov I. N., Rostovtsev V. I., Silaev V. I. *Radiatsionno-termicheskoye modifikirovaniye zhelezistykh boksitov v protsessakh ikh pererabotki* (Radiation-thermal modification of ferruginous bauxites in the processes of their processing). *Obogashcheniye rud*, 2016, No. 4, pp. 3—9.
10. Leshkov V. G. *Rossiyskoye zoloto — gosudarstvennaya i staratelskaya dobycha (1719—2007)* (Russian gold — state and



prospecting mining (1719—2007)). Moscow: Gornaya kniga, 2008, 206 pp.

11. Lyutov V. P., Granovskaya N. V., Silaev V. I., Kocherigin A. V., Lysyuk A. Yu. *Svoystva i nanomineralogicheskiye kriterii tekhnologicheskoy otsenki prirodnkh ul'tradispersnykh pigmentov. Mineralogo-tekhnologicheskaya otsenka mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh i problemy raskrytiya mineralov* (Properties and Nanomineralogical Criteria for Technological Evaluation of Natural Ultrafine Pigments. Mineralogical and Technological Evaluation of Mineral and Mineral Deposits mineral disclosure problems). Petrozavodsk: Karelian SC UB RAS, 2011, pp. 50—63.

12. Lyutov V. P., Lysyuk A. Yu., Silaev V. I. *Mikro-nanomineralogicheskiye tayny prirodnkh pigmentov* (Micro-nanomineralogical secrets of natural pigments). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2010, No. 9, pp. 18—20

13. Lyutov V. P., Silaev V. I., Lysyuk A. Yu., Shevchuk S. S. *Kerchenskiye oolitovyye zheleznyye rudy i vozmozhnosti ikh tekhnologicheskoy modifikatsii* (Kerch Oolitic Iron Ores and the Possibilities of Their Technological Modification). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2011, No. 1, pp. 18—29.

14. Lyutov V. P., Silaev V. I., Ponomarenko A. N., Brik A. B., Dudchenko N. A., Yushin A. A., Lysyuk A. Yu., Shevchuk S. S. *Preobrazovaniye struktury prirodnkh oksidov/oksidirovannykh zheleza pri vosstanovlenii oksidnykh zhelezooksidnykh rud* (Transformation structures of natural oxides/ oxyhydroxides of iron in the reduction of oxidized iron oxide ores). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2013, No. 1, pp. 20—25.

15. *Nauchnoye obosnovaniye i razrabotka innovatsionnykh tekhnologiy kompleksnoy pererabotki trudnoobogatimnykh rud i tekhnogennogo syr'ya* (Scientific substantiation and development of innovative technologies for complex processing of refractory ores and technogenic raw materials). S. A. Kondrat'yev, V. I. Rostovtsev, G. R. Bochkarev, G. I. Pushkareva, K. A. Kovalenko. FTPI, 2014, No. 5, pp. 187—202.

16. Ozhogina Ye. G., Kotova O. B., Yakushina O. A. *Mineralogiya gornopromyshlennyykh otkhodov* (Mineralogy of mining wastes). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2018, No. 5, pp. 44—48.

17. Oleynikova G. A., Panova Ye. G. *Nanotekhnologicheskiy sposob opredeleniya zolota v gornyykh porodakh, rudakh i produktakh ikh pererabotki. Samorodnoye zoloto: tipomorfizm mineral'nykh assotsiatsiy, usloviya obrazovaniya mestorozhdeniy, zadachi prikladnykh issledovaniy: Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* (Nanotechnological method for determining gold in rocks, ores and products of their processing. Native Gold: Typomorphism of Mineral Associations, Conditions for the Formation of Deposits, Problems of Applied Research: Materials of the All-Russian Conference with International Participation). Moscow, 2010, V. 2, pp. 114—116.

18. Petrovskiy V. A. *Aleksandr Kotov — luchshiy geolog-poiskovik Rossii* (Alexander Kotov - the best search geologist in Russia). Uralskiy geologicheskii zhurnal, 2015.

19. Pirogov B. I. *Geneticheskaya priroda tekhnologicheskikh svoystv mineralov rud. Sovremennyye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy i prikladnoy mineralogii (Yushkinskiye chteniya — 2018): Materialy mineralogicheskogo seminar s mezhdunarodnym uchastiyem* (The genetic nature of the technological properties of ore minerals. Modern Problems of Theoretical, Experimental and Applied Mineralogy (Yushkin memorial seminar — 2018): Proceedings of the mineralogical seminar with international participation). Syktyvkar: Geoprint, 2018, pp. 51—52.

20. Plaksin I. N. *Obogashcheniye poleznykh iskopayemykh: Izbrannyye trudy* (Mineral Processing. Selected Works). Moscow: Nauka, 1970, pp. 292—300.

21. *Povysheniye magnitnykh svoystv zhelezosoderzhashchikh mineralov pri radiatsionno-termicheskoy obrabotke* (Increasing the magnetic properties of iron-containing minerals during radiation-heat treatment). Kh. Vang, G. R. Bochkarev, V. I. Rostovtsev, Yu. P. Veygel't, S. S. Lu. FTPI, 2004, No. 4, pp. 89—97.

22. Ponomarenko A. N., Brik A. B., Dudchenko N. A., Lyutov V. P., Silaev V. I. *Fazovyye prevrashcheniya v gematitobomitovom boksite pod vozdeystviyem elektricheskikh voln v vosstanovitel'noy srede. Sovremennyye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy i prikladnoy mineralogii (Yushkinskiye chteniya — 2013): Materialy mineralogicheskogo seminar s mezhdunarodnym uchastiyem* (Phase transformations in hematite-boehmite bauxite under the influence of electric waves in a reducing environment. Modern problems of theoretical, Experimental and Applied Mineralogy (Yushkin memorial seminar — 2013): proceedings of the mineralogical seminar with international participation). Syktyvkar: Geoprint, 2013, pp. 408—409.

23. Reykhard L. Ye. *Kolloidnoye proiskhozhdeniye kimneriyskikh oolitovykh zheleznykh rud Tamanskogo poluostrova* (Colloidal origin of Cimmerian oolitic iron ores of the Taman Peninsula). Mineralogicheskiye perspektivy: Proceedings of seminar. Syktyvkar: Geoprint, 2011, pp. 263—264.

24. Rostovtsev V. I. *Teoreticheskiye osnovy i praktika ispol'zovaniya elektrokhimicheskikh i radiatsionnykh (uskorennykh elektronov) vozdeystviy v protsessakh rudopodgotovki obogashcheniya mineral'nogo syr'ya* (Theoretical foundations and practice of using electrochemical and radiation (accelerated electrons) effects in the processes of ore preparation of mineral raw materials enrichment). Vestnik CHGU, 2010, No. 8, pp. 91—99.

25. Silaev V. I. *Krasnyye, siniye, zheltyye, zelenyye. V krayu, gde pozdnyaya vesna.* (Red, blue, yellow, green. In the edge, where the late spring). Literature Collection. Apatity, 2013, pp. 200—203.

26. Silaev V. I., Kokin A. V., Lyutov V. P., Piskunova N. N., Simakova Yu. S., Filippov V. N. *Prirodnyy alabandin kak indikator anomal'noy obstanovki mineralo- i rudoobrazovaniya. Mineralnyy vid: struktura, raznoobraziye, konstitutsiya mineralov, kristallogenezis i mineraloobrazovaniye, biomineralnyye vzaimodeystviya, evolyutsiya mineraloobrazuyushchikh protsessov* (Natural alabandin as an indicator of the anomalous situation of mineral and ore formation. Mineral species: structure, diversity, mineral constitution, crystallogenes and mineral formation, biomineral interactions, evolution of mineral-forming processes). Syktyvkar: Geoprint, 2012, pp. 77—102.

27. Silaev V. I., Kokin A. V., Piskunova N. N., Filippov V. N. *Rudnoye mestorozhdeniye, otkrytoye pod mikroskopom* (Ore deposit discovered under a microscope). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2010, No. 9 (1), pp. 14—16.

28. Silaev V. I., Lyutov V. P., Brik A. B., Dudchenko N. A., Lysyuk A. Yu. *Dzhespilit Ingulekskogo mestorozhdeniya i produkty ikh gipergennogo izmeneniya v svyazi s problemoy usovershenstvovaniya tekhnologii pererabotki trudnoobogatimnykh zheleznykh rud* (Jespilites of the Ingulek deposit and the products of their hypergenic change in connection with the problem of improving the technology of processing iron ores). Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya, 2014, 1, pp. 60—77.

29. Silaev V. I., Khazov A. F., Piskunova N. N. *Otsenka mineralnykh mestorozhdeniy: khimiya, geokhimiya ili mineralogiya. Mineralogo-tekhnologicheskaya otsenka mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh i problemy raskrytiya mineralov* (Eval-



uation of mineral deposits: chemistry, geochemistry or mineralogy. Mineralogical and technological assessment of mineral deposits and problems of mineral disclosure). Petrozavodsk: Karelian SC UB RAS, 2011, pp. 35–47.

30. Tarbaev M. B., Kuznetsov S. K. *Zolotonosnosty Timano-Severouralskogo regiona* (The gold-bearing capacity of the Timan-North Ural region). Gorny gurnal, 2007, No. 3, pp. 57–61.

31. Tkachev Yu. A. *Plata za nedra* (Payment for mineral reserves). St. Petersburg: Nauka, 1998, 168 pp.

32. Tumanov V. I. *Vse poteryat i vnov nachat s mechty* (To lose everything and begin again with a dream). Moscow: Novosti, 2004, 110 .

33. Shumilov I. Kh. *Issledovaniye protsessov rudopodgotovki i obogashcheniya zolotosoderzhashchikh porod proyavleniya Chudnogo (Pripolyarnyy Ural). Perspektivnyye geotekhnologii* (Investigation of the processes of ore preparation and enrichment of gold bearing rocks of the manifestation of the Wonderful (Subpolar Ural). Promising geotechnologies). St. Petersburg: Nauka, 2010, pp. 254–284.

34. Yurk Yu. Yu., Shnyukov Ye. F., Lebedev Yu. S., Kirichenko O. N. *Mineralogiya zhelezorudnoy formatsii Kerchenskogo basseyna* (Mineralogy of the Kerch Ore Iron Ore Formation). Simferopol: Krymizdat, 1960, 450 pp.

35. Effect of magnetite particle size on adsorption and desorption of arsenite and arsenate. S. Yean, L. Cong, C. T. Yavuz, J. T. Mayo, W. W. Yu, A. T. Kan, V. L. Colvin, M. B. Tomson. Journal of Materials Research, 2005, V. 20, No. 12, pp. 3255–3264.

36. Prospects of electron accelerators used for realizing effective low-cost technologies of mineral processing. G. R. Bochkarev, V. A. Chanturiya, V. E. Vigdergauz, V. D. Lunin et al. Proceedings of the the XX International Mineral Processing Congress, September 21–26, 1997, Aachen, Germany. Clausthal-Zellerfeld, GDMB, 1997, V. 1, pp. 231–243.

37. Radiation-thermal treatment in ore dressing. M. V. Korobeinikov, A. A. Bryazgin, V. V. Bezuglov e. a. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2015, V. 81, pp. 1–6.

38. Silaev V. I., Kokin A. V., Kiseleva D. V., Piskunova N. N., Lutoev V. P. New Potentially Industrial Tipe of Indium Sulfide-Manganese Ore. INDIUM: Properties, Technological Applications and Health Issues. Nova Science Publishers, Inc. 400 Oser Avenue, Suite 1600 Hauppauge, NY 11788-3619. 2013, pp. 261–284.

39. Wang H., Lu S. Modifying effect of electron beam irradiation on magnetic property of ironbearing minerals, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 2014, V. 50, Iss. 1, pp. 79–86.



ЕСТЬ ТАКОЕ СЛОВО — «НАДО»

к 85-летию со дня рождения Н. И. Тимонина

THERE IS SUCH A WORD — «MUST»

(85 years since birthday of N. I. Timonin)

Main researcher of the Laboratory of Regional Geology of the Institute of geology, Honored Scientist of Komi SSR Nikolay Iosifovich Timonin would have turned 85 on January 2 this year. N. I. Timonin was a recognized specialist in Regional Geology and Geotectonics. His researches were used for tectonic maps of European North-East.

2 января текущего года д. г.-м. н., главному научному сотруднику лаборатории региональной геологии Института геологии, заслуженному деятелю науки Коми ССР Николаю Иосифовичу Тимонину исполнилось бы 85 лет.

Пожалуй, ключевая фраза Николая Иосифовича — «Есть такое слово — “надо”». Если он говорил так, это означало, что хочешь ты этого или нет, но придется выполнить ту или иную работу. Собственно говоря, всю жизнь он прожил под этим девизом.

Родился Николай Иосифович 2 января 1934 года в деревне Поруб Прилузского района Коми АССР, в 1952 году окончил Мохченскую среднюю школу Ижемского района.

В 1957 году он с отличием закончил геолого-разведочный факультет Свердловского горного института им. В. В. Вахрушева по специальности «техника разведки» и был направлен в пос. Ермолаево в Южно-Уральскую геолого-разведочную партию, позднее его перевели в Медногорскую поисково-разведочную партию Оренбургского геологического управления в поселке Херсонка. В ноябре 1960 г. он с семьей переехал в пос. Никель-Рудник, в связи с переводом в Восточно-Оренбургскую поисково-разведочную партию, в которой трудился до осени 1961 года. Затем принял решение перебраться в Сыктывкар, в созданный к тому времени Коми филиал АН СССР, в котором проработал пятьдесят лет.

Трудно сказать, когда и каким образом в душе мальчишки рождается большая мечта, которая потом ведет его всю жизнь. Эта мечта о дальних странствиях, невероятных открытиях привела Н. Тимонина в Свердловский горный, помогла ему с отличием закончить институт. Скорее всего, следуя за этой мечтой, он вернулся в республику,



поскольку работа бурового мастера показалась недостаточно увлекательной и романтической. Он всю жизнь интересовался Арктикой, географическими исследованиями, собирал книги про исследователей Арктики, до последних дней изучал новые материалы о геологическом строении арктического шельфа. Когда он сидел над картами, разрезами, казалось, что он пытается проникнуть в глубины и понять, как же все там устроено с геологической точки зрения.

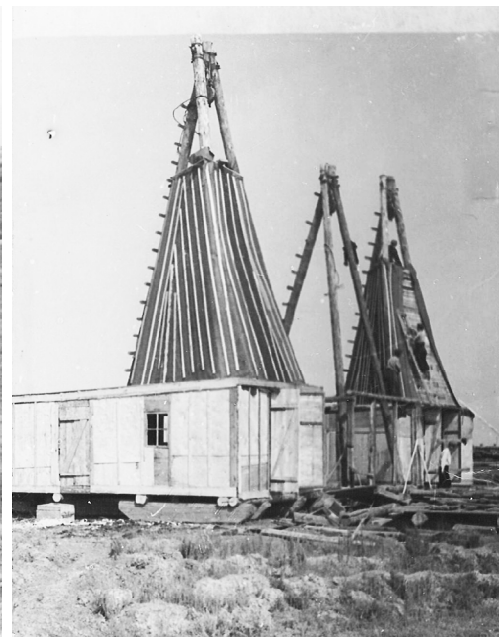
В 1973 и 1976 годах Институт геологии Коми филиала АН СССР проводил исследования геологического строения, стратиграфии, магматизма Южного острова Новой Земли. Были изучены разрезы, позднепротерозойские и палеозойские отложения, обследованы все известные рудные месторождения и рудопроявления, открыт ряд новых, выделены важнейшие рудные формации и основные закономерности их формирования. В то время в соответствии с Постановлением Совета министров СССР Новая Земля была объявлена Северным ядерным полигоном, на котором и проводились соответствующие испытания вплоть до принятия моратория в 1990 году. Во время од-

Н. И. Тимонин награжден: почетными грамотами Президиума АН СССР (1974), орденом «Знак Почета» (1976), почетным знаком «Ударник девятой пятилетки» (1976), бронзовой медалью ВДНХ СССР (1977), знаком «За активную работу» общества «Знание» СССР (1983), почетной грамотой Совета министров Коми АССР (1984), медалью «Ветеран труда» (1984), почетной грамотой Президиума Верховного совета Коми АССР (1985), званием «Заслуженный деятель науки Республики Коми» (1992), почетной грамотой РАН и профсоюза работников РАН (1999), нагрудным знаком «За заслуги в изучении недр РК» (2000), премией РК за создание трехтомной энциклопедии «Республика Коми» (2001), благодарственным письмом Главы РК (2008), знаком «Отличник разведки недр» (2008), знаком отличия «За безупречную службу Республике Коми» (2011).



Пос. Херсонка. 1959 г.

Khersonka Town. 1959



Буровая Бурьктальская ГРЭ. 1959 г.

Drilling Buryktalskaya Exploration Expedition. 1959

ной из экспедиций были найдены следы пребывания экспедиции известного полярного исследователя В. А. Русанова, пропавшей в 1913 году. Н. И. Тимонин буквально заболел этой темой, он разыскивал в архивах документы, касающиеся экспедиции, пытался найти стоянку В. А. Русанова на Новой Земле. Наверное, неслучайно одной из любимых книг Н. И. Тимонина были «Два капитана» В. - Каверина, принято считать, что прототипом капитана Татаринова послужил известный полярный исследователь В. А. Русанов. Следует сказать, что В. А. Русанов широко известен как исследователь Новой Земли, он совершил несколько экспедиций на острова, по результатам которых написал большое количество статей по геологии и полезным ископаемым архипелага. Во время последней экспедиции в 1912 году он попытался достичь на корабле «Геркулес» Берингова моря — осуществить свою мечту пройти Северным морским путем. Дальнейшая судьба корабля и его экипажа долгие годы оставалась неизвестной. Но результаты его исследований не пропали — предположения В. А. Русанова о полезных ископаемых на Новой Земле подтвердились через 62 года, когда экспедиции Коми филиала обнаружили значительное распространение медного оруденения, проявления свинцовых и цинковых руд.

В декабре 1975 года Н. И. Тимонин организовал в Сыктывкаре конференцию, посвященную 100-летию со дня рождения В. Русанова. Естественно, как было принято в то время, конференция проводилась под эгидой Коми обкома КПСС и Русского географического общества. В работе конференции принимали участие не только сотрудники Коми филиала АН СССР и СГУ, но и гости из Москвы: почетный полярник Г. А. Брегман и руководители полярной научной экспедиции «Комсомольской правды» кандидат физико-математических наук Д. И. Шпаро и кандидат географических наук А. В. Шумилов. Они рассказали об участниках последней экспедиции В. А. Русанова, ее поисках. Впоследствии, на протяжении долгого времени Н. И. Тимонин поддерживал связь с Д. Шпаро и А. Шумиловым, интересовался их исследованиями, находками.

Н. И. Тимонин был признанным специалистом в области региональной геологии и геотектоники, материалы его исследований положены в основу тектонических карт Европейского Северо-Востока. Его работы посвящены решению крупных проблем формирования структур платформенного чехла, установлению их связей со структурами фундамента и складчатого обрамления Урала, изучению структурных особенностей Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, палеотектоническим реконструкциям. Николай Иосифович был настоящим полевым геологом, он проводил экспедиционные исследования на Тимане, в Приуралье, на Северном, Приполярном и Полярном Урале, Пай-Хое, островах Вайгач и Новая Земля.

Николай Иосифович прожил интересную жизнь, оставил богатое научное наследие. Наряду с геологическими исследованиями на протяжении многих лет он проводил большую научно-организационную работу: был ученым секретарем Института геологии, заместителем председателя Президиума Коми филиала АН СССР, секретарем партийной организации Коми филиала, уделял большое внимание организации и координации научных исследований в Республике Коми, становлению и укреплению академических учреждений. Он всегда был исключительно требовательным к себе, постоянно учился. Если он брался за что-то, то старался сделать это максимально хорошо: редактировали Атлас Республики Коми или писал монографию, описывал разрез или рисовал карты. Ему нравилось заниматься своим делом. Результаты его работы до сих пор востребованы, специалисты постоянно обращаются к его книгам «Тектоника гряды Чернышева», «Печорская плита». Это самый лучший памятник и доказательство того, что геолог не зря прожил жизнь. Наверное, поменяются со временем модели геологического строения территории, но то, что сделал Николай Иосифович Тимонин, будет способствовать дальнейшему развитию геологических знаний и, хотелось бы надеяться, развитию научных исследований в Республике Коми.

Н. Тимонина



ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ТРУДЫ Н. И. ТИМОНИНА • N. I. TIMONIN'S MAIN SCIENTIFIC WORKS



Хроника

2 января — 85 лет со дня рождения главного научного сотрудника лаборатории региональной геологии Института геологии, заслуженного деятеля науки Коми ССР д. г.-м. н. Николая Иосифовича Тимонина.

11 января — 80-летний юбилей инженера группы эксплуатации и ремонта зданий, сооружений и автотранспорта Николая Петровича Калмыкова.

Chronicle

January 2 — marked 85 years since birthday of DSc, main researcher of the Laboratory of Regional Geology of the Institute of geology, honored scientist of Komi SSR Nikolay Iosifovich Timonin.

January 11 — 80th Jubilee of engineer of the group of maintenance and repair of buildings, constructions and transport Nikolay Petrovich Kalmykov.

Ответственный за выпуск:
Н. Н. Носкова

Редакторы издательства:
О. В. Габова,
К. В. Ордин (английский)

Компьютерная верстка
Т. В. Хазовой

Свид. о рег. средства массовой информации ПИ № ФС77-56817 от 29.01.2014, выданное Роскомнадзором.
Отпечатано: 25.02.2019. Формат бумаги 60×84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 7,5. Тираж 140. Заказ 1102.

Учредитель: ИГ Коми НЦ УрО РАН, обособленное подразделение ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Адрес: 167982, Сыктывкар, Первомайская, 54.

Редакция, издательство, типография: Издательско-информационный отдел Института геологии Коми НЦ УрО РАН.
Адрес: 167982, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 54. Тел.: (8212) 24-51-60. Эл. почта: vestnik@geo.komisc.ru

На обложке использованы фото Н. Ковальчук, Е. Кушмановой, Ю. Голубевой, Ю. Глухова