

ISSN 2221-3198

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 1 / 2018



**Геофизический институт
Владикавказского научного центра
Российской академии наук**

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 1 / 2018

Владикавказ 2018

Главный редактор

д.ф.-м.н., проф. В.Б. Заалишвили (ГФИ ВНЦ РАН)

Заместитель главного редактора

д.ф.-м.н., проф. И.А. Керимов (ИФЗ РАН)

Редакционная коллегия

академик РАН В.А. Бабешко (ЮНЦ РАН)
академик РАН А.Д. Гвишиани (ГЦ РАН)
академик РАН М.Ч. Залиханов (ГУ ВГИ)
академик РАН С.А. Федотов (ИФЗ РАН)
член-корр. РАН Д.Р. Каплунов (ИПКОН РАН)
член-корр. РАН А.В. Николаев (ИФЗ РАН)
член-корр. РАН В.А. Снытко (ИИЕТ РАН)
Ph. D. И.А. Береснев (Ун-т штата Айова, США)
д.г.-м.н., проф. М.Г. Бергер (ГФИ ВНЦ РАН)
д.т.н. П.Е. Марченко (КБНЦ РАН)
д.т.н., проф. И.Д. Музаев (ГФИ ВНЦ РАН)
д.г.-м.н., проф. С.Г. Парада (ЮНЦ РАН)
д.г.-м.н., проф. Е.А. Рогожин (ИФЗ РАН)
д.ф.-м.н., проф. Ю.К. Чернов (СевКав ГТУ)
д.г.-м.н. В.И. Черкашин (ИГ ДНЦ РАН)
д.г.-м.н. В.А. Широкова (ИИЕТ РАН)

И.о. ответственного секретаря

М.В. Майсурадзе (ГФИ ВНЦ РАН)

Выпускающий редактор

Х.О. Чотчаев (ГФИ ВНЦ РАН)

Высшей аттестационной комиссией (ВАК) журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

Журнал издается с 2011 года.

Периодичность издания -

4 номера в год

Учредитель:

Владикавказский научный центр РАН

Адрес учредителя:

362027, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркуса 22

тел. 8 (8672) 501841

e-mail: vnrcran@yandex.ru

<http://www.vnrcran.ru>

ISSN 2221-3198

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 29119

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

© Геофизический институт ВНЦ РАН, 2018

© Заалишвили В.Б. (ред.), 2018

Фото на обложке – Телевышка (К.С. Харебов)

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Башкуев Ю. Б., Доржиев В. С., Адвокатов В. Р., Ангархаева Л. Х. КАРТА ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ ЮГА РОССИИ И КAVKAZA..... | 5 |
| Бергер М. Г. О ВРЕМЕНИ ВОЗМОЖНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ СЛЕДУЮЩЕЙ КАТАСТРОФИЧЕСКОЙ ПУЛЬСАЦИИ ЛЕДНИКА КОЛКА..... | 17 |
| Гурбанов А. Г., Кусраев А. Г., Лолаев А. Б., Дзебоев С. О., Газеев В. М., Лексин А. Б., Цуканова Л. Е., Оганесян А. Х., Илаев В. Э., Гурбанова О. А., Баранова М. Н. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ МИЗУРСКОЙ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ (УНАЛЬСКОЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ, РЕСПУБЛИКА СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ) КАК ОСНОВА ДЛЯ ОЦЕНКИ МАСШТАБОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИМИ ПОЧВ ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ..... | 34 |
| Заалишвили В. Б., Мельков Д. А., Макиев В. Д. МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ, ОБУСЛОВЛЕННОЕ ВЛИЯНИЕМ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ И ФОРМИРОВАНИЕ КАРТ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ | 48 |
| Короновский Н. В. КЕЛЬСКОЕ ВУЛКАНИЧЕСКОЕ НАГОРЬЕ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ БОЛЬШОГО КAVKAZA) | 56 |
| Парада С. Г. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРЕДЕЛАХ МАЛКИНСКОГО УЛЬТРАБАЗИТОВОГО МАССИВА (КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА)..... | 69 |
| Яроцкий Г. П., Чотчаев Х. О. ВЕТРОВАЯМСКИЙ ВУЛКАНОГЕН И ЕГО РУДНЫЙ РАЙОН (ЮГО- ЗАПАД ЮГО-ВОСТОЧНО-КОРЯКСКОГО ПОЯСА) | 79 |

ДИСКУССИИ, ОБСУЖДЕНИЯ

| | |
|--|----|
| Бергер М. Г. ОБ УНИКАЛЬНОСТИ СЛУЧАЯ С ЛЕДНИКОМ КОЛКА | 93 |
|--|----|

НАШИ ГОСТИ

| | |
|--|-----|
| Файзиев Ф. А., Файзиев А. Р. СЕРЕБРО-ЗОЛОТОРУДНЫЙ ФОРМАЦИОННЫЙ ТИП ОРУДЕНЕНИЯ В ТАДЖИКИСТАНЕ..... | 109 |
|--|-----|

ПАМЯТЬ

| | |
|---|-----|
| ДЖИНЧВЕЛАШВИЛИ ГУРАМ АВТАНДИЛОВИЧ | 118 |
|---|-----|

CONTENS

| | |
|---|----|
| Bashkuev Yu. B., Dorzhiev V. S., Advokatov V. R., Angarkhaeva L. Kh. MAP OF GEOELECTRIC SECTIONS OF THE SOUTH OF RUSSIA AND THE CAUCASUS..... | 5 |
| Berger M. G. ABOUT THE TIME OF POSSIBLE MANIFESTATION OF THE NEXT CATASTROPHIC PULSATION OF THE KOLKA GLACIER..... | 17 |
| Gurbanov A. G., Kusraev A. G., Lolaev A. B., Dzeboev S. O., Gazeev V. M., Leksin A. B., Tsukanova L. E., Oganesyanyan A. Kh., Ilaev V. E., Gurbanova O. A., Baranova M. N. GEOCHEMICAL FEATURES OF MIZUR MINING AND CONCENTRATION FACTORY INDUSTRIAL WASTES (UNAL TAILING, REPUBLIC OF NORTHERN OSSETIA-ALANIA) AS A BASIS FOR THE ESTIMATION OF POLLUTION SCALE BY IT'S THE SOIL OF THE ADJACENT AREA..... | 34 |
| Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Makiev V. D. MACROSEISMIC EVIDENCE OF SEISMIC EVENTS CAUSED BY INFLUENCE OF GROUND CONDITIONS AND FORMATION OF MAPS OF SEISMIC MICROZONATION..... | 48 |
| Koronovsky N. V. KELI VOLCANIC HIGHLAND (CENTRAL GREATER CAUCASUS) | 56 |
| Parada S. G. DENSITYREGULARITIES OF COLORED AND NOBLE METALS IN THE BORDERS OF THE MALKIN ULTRABASIC MASSIVE (KABARDINO- BALKAR REPUBLIC) | 69 |
| Yarotsky G. P., Chotchaev Kh. O. THE VETROVAYAM VOLCANIC ROCKS AND THEIR ORE DISTRICT (SOUTH-WESTERN PART OF THE SOUTH-ESTERN KORYAK BELT)..... | 79 |

DISCUSSIONS, DISPUTES

| | |
|---|----|
| Berger M. G. ON THE UNIQUENESS OF THE CASE WITH THE GLACIER KOLKA | 93 |
|---|----|

OUR GUETS

| | |
|---|-----|
| Fayziev F. A., Fayziev A. R. SILVER-GOLD FORMATION TYPE ORE MINERALIZATION IN TAJIKISTAN | 109 |
|---|-----|

MEMORY

| | |
|--|-----|
| DZHINCHVELASHVILI GURAM AVTANDILOVICH..... | 118 |
|--|-----|

УДК 550.837.7 + 550.372

DOI 10.23671/VNC.2018.1.11185

КАРТА ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ ЮГА РОССИИ И КАВКАЗА

© 2017 Ю. Б. Башкуев, д. т. н., проф., В. С. Доржиев, к. г.-м. н.,
В. Р. Адвокатов, к. ф.-м. н., Л. Х. Ангархаева, к. ф.-м. н.

ФГБУН Институт физического материаловедения Сибирского отделения
Российской академии наук, Россия, 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул.
Сахьяновой, 6, e-mail: buddich@mail.ru

Детальное знание электрических свойств, строения и пространственного расположения различных комплексов горных пород необходимо при решении задач излучения и распространения электромагнитных волн в неоднородных средах с границами раздела сложной формы. Первичной основой образно-знаковых моделей электрического состояния верхней части земной коры могут служить разномасштабные карты электрических свойств (проводимости или геоэлектрических разрезов) стран и континентов, составленные в соответствии с определенными классификационными признаками. Неоднородная в электрическом отношении геологическая среда искажает амплитудно-фазовую структуру электромагнитного поля. Существенное повышение точности расчетов электромагнитного поля в широком диапазоне волн (от СДВ и до СВ-КВ) стало возможным с использованием прогнозных карт геоэлектрических разрезов (ГЭР), учитывающих слоистую структуру подстилающей среды. На них отражено площадное распределение различных типов ГЭР с указанием удельного электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости и толщины каждого слоя ГЭР. Эти параметры позволяют рассчитать необходимые для прогнозирования условий распространения электромагнитных волн значения поверхностного импеданса, функции ослабления и уровня поля в широком диапазоне частот. Статья содержит результаты геоэлектрического картирования территории юга России и Кавказа. Изложена методология геоэлектрического картирования. Создана карта геоэлектрических разрезов (ГЭР) юга России и Кавказа масштаба 1:2500000. Эта карта позволяет в 1,5-3 раза увеличить точность расчетов электромагнитных полей по сравнению с существующей картой Моргана-Максвелла.

Ключевые слова: горные породы, электрические свойства, геоэлектрический разрез, геоэлектрическое картирование.

Введение

Детальное знание электрических свойств, строения и пространственного расположения различных комплексов горных пород необходимо при решении задач излучения и распространения электромагнитных волн в неоднородных средах с границами раздела сложной формы, в частности при исследованиях электромагнитного излучения литосферной природы. Первичной основой образно-знаковых моделей электрического состояния верхней части земной коры могут служить разномасштабные карты электрических свойств (проводимости или геоэлектрических разрезов) стран и континентов, составленные в соответствии с определенными классификационными признаками. Так, например, на практике часто используется Мировой атлас проводимости почвы, подготовленный и изданный Международным союзом электросвязи [Мировой атлас..., 2012]. Также широко известны карты эффективной проводимости континентов мира Моргана-Максвелла, США, Канады, Финляндии, Италии, Японии и других стран [Doshu et al., 1967; Eliassen, 1957;

Fine, 1954; Ireland, 1961; Morgan, Maxwell, 1965], на которых систематизированы в рамках однородной модели среды данные об электрических свойствах горных пород. Эти карты составлены по результатам измерений напряженности поля ДВ-СВ радиовещательных станций. Они справедливы для конкретных частот отдельных радиостанций и не могут быть использованы в широком диапазоне частот. Работы по составлению подобных карт требуют наличия широко развитой сети радиостанций и больших затрат.

Неоднородная в электрическом отношении геологическая среда искажает амплитудно-фазовую структуру электромагнитного поля. Поскольку на структуру и уровень электромагнитного поля оказывает существенное влияние слоистость земной коры, то возникла необходимость учета этого фактора. Существенное повышение точности расчетов электромагнитного поля в широком диапазоне волн (от СДВ и до СВ-КВ) стало возможным с использованием прогнозных карт геоэлектрических разрезов, учитывающих слоистую структуру подстилающей среды. На них отражено площадное распределение различных типов ГЭР с указанием удельного электрического сопротивления ρ_j (величина, обратная удельной проводимости $\sigma_j=1/\rho_j$), диэлектрической проницаемости ϵ_j и толщины h_j каждого слоя ГЭР. Эти параметры позволяют рассчитать необходимые для прогнозирования условий распространения электромагнитных волн значения поверхностного импеданса δ , функции ослабления W и уровня поля E в широком диапазоне частот.

Целью работы является разработка принципов комплексной интерпретации данных различных методов геоэлектрики, обобщение фондовых геоэлектрических материалов; построение общих моделей геоэлектрического строения основных областей региона на глубину скин-слоя; выбор шкалы градаций (ρ_j, h_j); создание карты геоэлектрических разрезов юга России и Кавказа.

Методика геоэлектрического картирования и обработки информации об электрических свойствах горных пород

Под геоэлектрической моделью подстилающей среды обычно понимается описание последней с помощью семейства параметров, которые выражаются удобными для расчетов электромагнитного поля функциями координат. Простейшей геоэлектрической моделью подстилающей среды является модель, в которой различные ее области характеризуются своей, не зависящей от глубины, эффективной проводимостью σ (эффективным сопротивлением ρ). Более близкой к действительности является широко используемая в геоэлектрике модель с горизонтально-слоистой структурой отдельных областей [Вешев, 1980; Мельников, 1977; Цицишвили, 1980; Якупов, 1968]. Такая модель подстилающей среды в локальной точке описывает ГЭР, дифференцированный по ρ_j, ϵ_j и h_j каждого слоя [Башкуев, 1996; Цыдыпов и др., 1979]. Она реализуется в виде карт параметров ГЭР. По ней можно строить различные, в зависимости от назначения, частоты и критерия точности геоэлектрические модели подстилающей среды. Влияние подстилающей среды на электромагнитное поле обычно учитывается комплексной величиной поверхностного импеданса δ , определяемого электрическими параметрами и структурой подстилающей среды.

Под составлением карты параметров ГЭР нами понимается определение площадного распределения различных типов ГЭР, оценка сопротивления ρ_j и толщины h_j отдельных слоев разреза по всей площади карты на основе всего объема собран-

ных по региону фондовых (архивных) материалов или результатов измерений. Задача сводится к определению типа ГЭР (например, $\rho_1 > \rho_2$ или $\rho_1 < \rho_2$) однородной области и ее границ и статистической оценке параметров ρ_j и h_j . Карта ГЭР представляет генерализованное отображение реальной геоэлектрической ситуации, точность которого определяется детальностью наблюдений и их генерализацией в соответствии с масштабом построений (в картографии генерализация – это отбор главного, существенного и его целенаправленное обобщение соответственно назначению, тематике и масштабу карты).

Основным источником информации о параметрах ρ_j и h_j верхних горизонтов земной коры являлись материалы вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ). Основанием для широкого использования метода ВЭЗ при геоэлектрическом картировании явились хорошая сходимость значений расчетных по данным ВЭЗ и измеренных по данным радиоэлектромагнитного зондирования (РЭМЗ) частотных зависимостей значений модуля и фазы поверхностного импеданса, а также отсутствие частотной дисперсии проводимости талых горных пород в диапазоне частот до 5 МГц [Башкуев, 1996; Башкуев, Адвокатов, 2012; Башкуев и др., 2002, 2003; Доржиев и др., 1987]. Сходимость результатов ВЭЗ и РЭМЗ подтверждает правомочность комплексирования этих методов для изучения электрических параметров слоистой подстилающей среды в СДВ-ДВ-СВ диапазонах электромагнитных волн. Это дает возможность использовать многочисленные фондовые материалы ВЭЗ, что значительно ускоряет и удешевляет прогнозирование ГЭР больших регионов [Башкуев, 1996; Доржиев и др., 1987; Цыдыпов и др., 1979].

Исходными данными при составлении прогнозных карт ГЭР являются:

- 1) геологическая карта СССР масштаба 1:2500000 под редакцией Д. В. Наливкина [Геологическая карта..., 1965];
- 2) архивные и опубликованные материалы геоэлектрических исследований (преимущественно методом ВЭЗ) в Турции, Иране, Пакистане и Афганистане, в пустынях Средней Азии, в горных системах Памир и Кавказ [Джафаров, Лиадзе, 1977; Курские и др., 1982; Одеков и др., 1976; Цицишвили, 1980; Nomilius, 1969; Гаджиев и др., 1975];
- 3) результаты электроразведочных работ, проведенных на территории Сибири и Монголии [Башкуев, 1996; Доржиев и др., 1987; Цыдыпов и др., 1979].

При создании карты ГЭР юга России и Кавказа широко использованы фондовые (архивные) геофизические материалы производственного геологического объединения (ПГО) «Зарубежгеология», Управлений геологии Грузии, Туркменистана, Таджикистана. В карте нашли отражение экспериментальные материалы Института физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФМ СО РАН), полученные при геоэлектрических исследованиях в 1971-2017 гг. на территории Азии методами ВЭЗ и РЭМЗ [Башкуев, 1996; Доржиев и др., 1987; Цыдыпов и др., 1979; Башкуев, Адвокатов, 2012; Башкуев и др., 2002, 2003].

Геологическая служба России (бывшего СССР) имеет Всероссийский геологический фонд, в архивах которого хранятся все отчеты о выполненных российскими специалистами геолого-геофизических работах на территории России и других стран. На каждый лист масштаба 1:1000000 имеется схема геолого-геофизической изученности территории с указанием номера геологического отчета. В каждом отчете есть раздел геофизических работ, содержащий материалы электроразведочных работ с точной топографической привязкой профилей ВЭЗ и кривыми кажущего-

ся сопротивления ρ_k . Как правило, кривые ρ_k проинтерпретированы в рамках 2-4 слойной горизонтально-слоистой модели среды и приведено геологическое описание комплексов горных пород. Таким образом, в геологических отчетах имеются десятки проинтерпретированных кривых ВЭЗ с топографической и геологической привязкой по слоям к различным комплексам горных пород. Специалист-геофизик на первом этапе проводит сбор и обобщение большого количества экспериментальных данных об электрических свойствах различных по составу и генезису горных пород заданного региона. На втором этапе проводится статистическая обработка параметров геоэлектрических разрезов. При этом решающее значение имеет правильная геологическая оценка разрезов и последующее группирование данных по комплексам горных пород с учетом их вещественного состава, генезиса и возраста. Для выбора методов обработки входной информации, получения средних значений, оценки шкалы градаций ρ_j и h_j проводится определение статистического закона распределения электрических параметров.

Вероятностная модель ГЭР наиболее полно соответствует природе изучаемого объекта – слоистой подстилающей среды [Вешев, 1980; Мельников, 1977; Якупов, 1968; Тройан, Наукава, 2002]. При статистической обработке архивных данных об электрических свойствах горных пород принята гипотеза о логарифмически нормальном законе распределения удельного электрического сопротивления ρ_j и толщины слоя h_j горных пород. Эта гипотеза проверена нами по величине показателей асимметрии $A_{\lg \rho_j}$ и эксцесса $E_{\lg \rho_j}$ на примере наиболее распространенных и типичных литологических комплексов Азии (табл. 1).

Таблица 1.

Результаты проверки гипотезы о логнормальном распределении значений ρ_j горных пород

| Литологические комплексы | $\overline{\lg \rho_j}$ | $A_{\lg \rho_j}^*$ | $E_{\lg \rho_j}^*$ | $\frac{A_{\lg \rho_j}}{\sqrt{6/N^*}}$ | $\frac{E_{\lg \rho_j}}{2\sqrt{6/N}}$ |
|---------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Четвертичные отложения | 2,32 | 0,19 | -1,04 | 0,55 | -1,44 |
| Угленосные отложения | 1,7 | 0,67 | 1,14 | 1,85 | 1,58 |
| Вулканогенные образования | 2,51 | 0,19 | -1,17 | 0,52 | -1,63 |
| Мезозойские граниты | 2,51 | 0,32 | -0,62 | 0,88 | -0,86 |
| Палеозойские граниты | 3,0 | 0,58 | -0,13 | 1,61 | -0,19 |

$A_{\lg \rho_j}^*$, $E_{\lg \rho_j}^*$ – асимметрия и эксцесс выборки данных ρ_j , N – объем выборки (количество данных).

Знание законов распределения параметров геоэлектрических разрезов ρ_j , h_j позволило выбрать объективные критерии статистической обработки фоновых данных ВЭЗ. В частности, по оценкам математического ожидания параметров ρ_j и h_j слоев геоэлектрического разреза вычисляются наиболее вероятные значения поверхностного импеданса d слоистой среды. На основе приведенных результатов можно признать справедливым использование логарифмических шкал при составлении прогнозных карт геоэлектрических разрезов.

Изучение влияния различных факторов на электрические свойства горных пород в широком диапазоне частот является важной задачей при прогнозировании

параметров ГЭР и составлении карт электрических свойств подстилающей среды крупных регионов.

В результате анализа и обобщения большого количества данных ВЭЗ, полученных на территории Азии, нами выявлены закономерности в распределении электрических свойств горных пород в зависимости от геологического строения, возраста, трещиноватости и пористости горных пород, водонасыщенности и минерализации подземных вод.

Параметры ГЭР мезозойских и кайнозойских отложений в основном определяются гранулометрическим составом, степенью водонасыщенности и минерализацией подземных вод (табл. 2).

Четвертичные отложения развиты в средних широтах Азии почти повсеместно. Их состав разнообразен и включает галечники, щебни, пески, супеси, суглинки и реже глины и илы различного генезиса. Эоловые пески слагают поля значительных размеров в пустынно-степных областях Азии. Это преимущественно легко- и среднезернистые пески и супеси. Они слагают барханы, дюны и бугры. Толщина песков достигает 15-20 и более метров. ГЭР эоловых песков являются двухслойными с соотношением $\rho_1 > \rho_2$. Верхний слой представлен сухими песками, а нижний – влажными. Удельное сопротивление сухих песков от 470 до 2500 Ом. м при среднем значении, равном 1000 Ом. м. Удельное сопротивление влажных песков изменяется от 50 до

Таблица 2.

Удельное электрическое сопротивление вулканогенно-осадочных образований средних широт Азии

| Литологический состав | Число измерений по ВЭЗ, <i>N</i> | Пределы изменений ρ , Ом. м | Среднее значение $\bar{\rho}$, Ом. м |
|--|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| <u>Аллювиальные отложения</u> | | | |
| 1. Галечник | 33 | 180-5000 | 980 |
| 2. Песок с гравием и галькой | 45 | 100-530 | 220 |
| 3. Песок глинистый с гравием | 66 | 40-300 | 100 |
| <u>Четвертичные отложения</u> | | | |
| 1. Гравий, галька | 135 | 120-3000 | 510 |
| 2. Песок с гравием | 73 | 20-1390 | 270 |
| 3. Песок глинистый | 66 | 18-275 | 70 |
| 4. Глина песчаная | 48 | 18-75 | 35 |
| 5. Глина | 36 | 12-30 | 20 |
| <u>Неогеновые отложения</u> | | | |
| 1. Гравий, галька | 49 | 23-700 | 210 |
| 2. Песок | 53 | 60-3000 | 310 |
| 3. Песок глинистый | 89 | 20-300 | 70 |
| 4. Глина песчаная | 75 | 10-110 | 28 |
| 5. Глина | 62 | 2-26 | 9 |
| <u>Мезозойские отложения</u> | | | |
| 1. Угленосные нижнемеловые отложения | 74 | 20-192 | 50 |
| 2. Вулканогенно-осадочная толща | 23 | 20-690 | 150 |
| 3. Триас-юрский вулканогенный комплекс | 132 | 100-1620 | 320 |
| 4. Терригенные верхнемеловые отложения | 226 | 2-520 | 34 |

290 Ом. м и в среднем составляет 120 Ом. м. Средняя толщина верхнего горизонта сухих песков составляет 3,5 м, нижнего горизонта влажных песков около 10-13 м. Электрические свойства рыхлых отложений определяются в основном их гранулометрическим составом, степенью влажности и минерализацией подземных вод.

Электрические свойства кристаллических горных пород (метаморфических и магматических) практически не зависят от их петрографического состава, а определяются степенью трещиноватости пород, их водоносностью и минерализацией подземных вод. Кристаллические породы, обладающие общностью структурного положения и гидрогеологических условий, имеют, как правило, близкие значения удельного электрического сопротивления (табл. 3).

Таблица 3.

Удельное электрическое сопротивление кристаллических горных пород средних широт Азии

| Характер трещиноватости | Состав отложений, возраст интрузий | Число измерений по ВЭЗ, N | ρ , Ом. м | $\bar{\rho}$, Ом. м |
|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|----------------|----------------------|
| <u>Палеозойские отложения</u> | | | | |
| 1. Монолитные или слаботрещиноватые | Вулканогенные | 7 | 930-2600 | 1650 |
| | Вулканогенно-осадочные | 19 | 390-2500 | 1140 |
| | Терригенные | 38 | 400-3050 | 1250 |
| 2. Трещиноватые | Вулканогенные | 10 | 200-900 | 365 |
| | Вулканогенно-осадочные | 11 | 120-500 | 270 |
| | Терригенные | 35 | 200-800 | 430 |
| 3. Трещиноватые, водоносные | Вулканогенные | 17 | 40-220 | 80 |
| | Вулканогенно-осадочные | 10 | 90-200 | 130 |
| | Терригенные | 65 | 35-200 | 100 |
| <u>Интрузивные образования</u> | | | | |
| 1. Монолитные или слаботрещиноватые | Девон | 4 | 190-3000 | 1190 |
| | Пермь | 6 | 1280-5000 | 2930 |
| 2. Трещиноватые | Кембрий | 24 | 230-1500 | 890 |
| | Девон | 14 | 420-1400 | 690 |
| | Пермь | 9 | 500-1500 | 660 |
| 3. Трещиноватые, водоносные | Кембрий | 22 | 23-500 | 130 |
| | Девон | 32 | 20-250 | 80 |
| | Карбон | 6 | 55-185 | 120 |
| | Пермь | 17 | 50-290 | 160 |

Наиболее распространенными кристаллическими породами средних широт Азии являются гранитоиды, слагающие крупные массивы в пределах горных сооружений. ГЭР гранитоидов чаще являются трехслойными типа A ($\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$), где верхний горизонт слагают рыхлые элювиально-делювиальные образования, средний – трещиноватые, иногда водоносные граниты и нижний – монолитные породы.

Оценка ρ_j и h_j ключевых участков (отдельных типов горных пород) проводилась по ограниченной выборке на основе статистической обработки исходного массива ρ_j и h_j . Построение гистограмм ρ_j и h_j позволило определить законы распределения

ρ_j и h_j и в ряде случаев исключить грубые ошибки в оценке ρ_j и h_j . Построение прогнозной карты ГЭР выполнялось в условиях ограниченного и весьма неравномерно распределенного по площади количества исходных данных, не позволяющих производить формальную интерполяцию и экстраполяцию с необходимой детальностью и точностью. В этих условиях использовался метод аналогий, широко распространенный в науках о Земле. Прогнозирование величин ρ_j и h_j основывалось на изучении геоэлектрических особенностей конкретного района, на детальном рассмотрении ключевой и прогнозной областей. Работа выполнялась в следующем порядке. На некотором ключевом участке определялись наиболее вероятные параметры ρ_j и h_j верхних слоев земной коры. Представление о единстве ключевой и прогнозной областей по геолого-геофизическим характеристикам позволило нам распространить полученные на ключевом участке значения ρ_j и h_j на всю область прогноза со сходными свойствами.

Основные результаты и их обсуждение

Объект исследования – верхняя часть земной коры юга России и Кавказа – характеризуется значительной пространственной неоднородностью электрических свойств. На рисунке 1 приведена карта ГЭР юга России и Кавказа масштаба 1:2500000. Информация на карте ГЭР отображена в виде шифров, определяющих сопротивления ρ_j и толщины h_j слоев в логарифмически-равномерной шкале. Логарифм шага дискретизации ρ_j и h_j равен 0,333, принята шкала ρ_j , h_j с тремя градациями на декаду. По номеру ступени N по формулам $\rho_j = 10^{0,333(N-0,5)}$ Ом \times м ($N = 0, 15$), $h_j = 10^{0,333(N-3,5)}$ м ($N = 1, 15$) могут быть рассчитаны медианные значения ρ_j и h_j :

| Номер ступени | Медианное значение ρ_j , Ом \times м | Медианное значение h_j , м |
|---------------|---|------------------------------|
| 0 | 0,68 | – |
| 1 | 1,47 | 0,147 |
| 2 | 3,16 | 0,316 |
| 3 | 6,8 | 0,68 |
| ... | ... | ... |
| 10 | 1470 | 147 |
| 11 | 3160 | 316 |

Шифры на карте читаются следующим образом, например 6.5.5. – первая цифра обозначает номер ступени по шкале сопротивлений для первого слоя ρ_1 , вторая цифра – номер ступени по шкале толщины слоя h_1 , третья и последующие цифры – те же параметры для второго и последующих слоев. Диэлектрическая проницаемость слоев принята равной $\epsilon_j=10$. К карте составлена пояснительная записка, содержащая: 1) таблицы встречающихся геоэлектрических структур и частотные зависимости поверхностного импеданса в диапазоне 10-1000 кГц; 2) качественную оценку достоверности построенной карты; 3) обзор использованного материала и источники информации об электрических свойствах верхней части земной коры исследуемой территории.

Карта ГЭР Кавказа на площадь 0,44 млн. км² содержит 11 типов ГЭР одно-четырёхслойных геоэлектрических разрезов. По карте Моргана-Максвелла территория юга России и Кавказа имеет две градации по проводимости (10^{-2} , $3 \cdot 10^{-3}$ См/м), общий фон территории этого региона составляет 3×10^{-3} См/м.

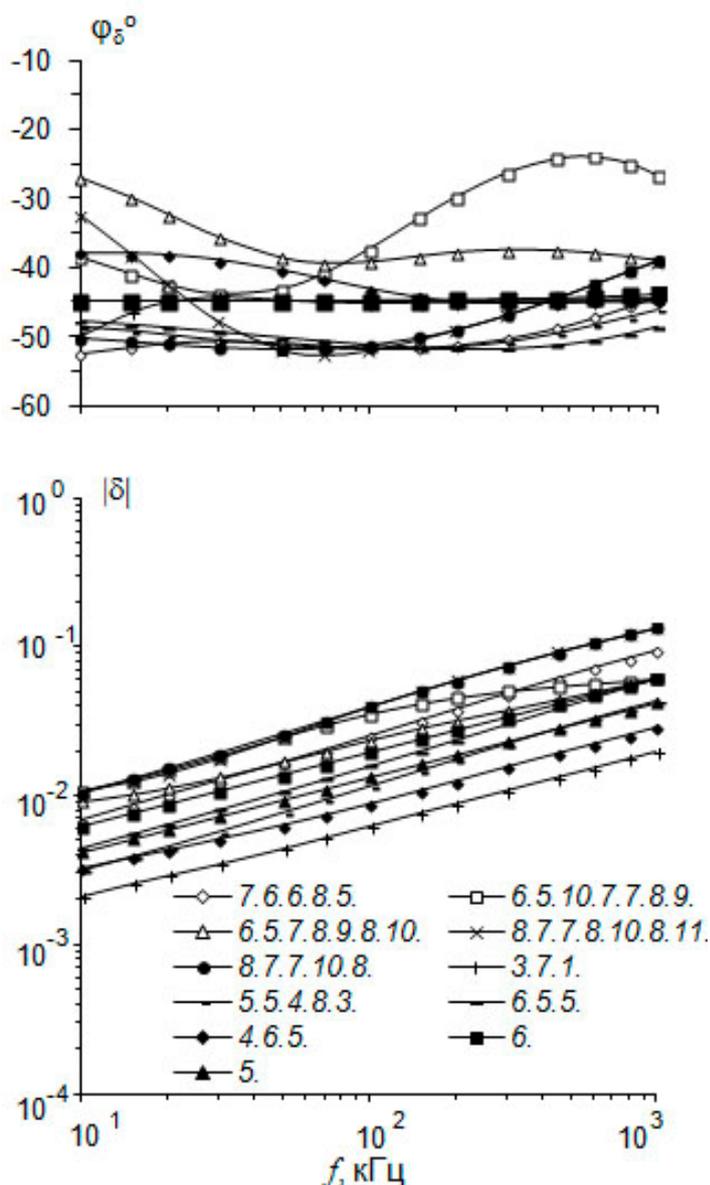


Рис. 2. Частотные зависимости модуля $|\delta|$ и фазы φ_{δ}° поверхностного импеданса для наиболее распространенных типов ГЭР юга России и Кавказа

Литература

1. Башкуев Ю.Б. Электрические свойства природных слоистых сред. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 1996. – 207 с.
2. Башкуев Ю.Б., Доржиев В.С., Цыдыпов Ч.Ц. и др. Карта геоэлектрических разрезов Монголии // Материалы VII научной конференции по тематической картографии. Иркутск, 20-22 ноября 2002 г. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2002. – С. 78-81.
3. Башкуев Ю.Б., Адвокатов В.Р., Ангархаева Л.Х. Карты геоэлектрических разрезов Восточного полушария // Физика Земли. – 2003. – №9. – С. 87-94.
4. Башкуев Ю.Б., Адвокатов В.Р. Прогнозная карта геоэлектрических разрезов Северной и Южной Америки // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы:

Тезисы докладов XVIII международного симпозиума. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2012. – С. 88.

5. Вешев А.В. Электропрофилирование на постоянном и переменном токе. – Л.: Недра, 1980. – 391 с.

6. Гаджиев Т.Г., Шахназарян А.А., Хесин Б.Э. Выделение мезокайнозойских структур электроразведкой ВЭЗ в восточных предгорьях Малого Кавказа и Талыша // Азербайджанское нефтяное хозяйство, Баку. – 1975. – № 8. – С. 20-24.

7. Геологическая карта СССР масштаба 1:2500000 под ред. Д.В. Наливкина. – 1965.

8. Джафаров Х.Д., Лиадзе В.В. Типы геоэлектрических разрезов нефтегазоносных областей Азербайджана // Изв. вузов. Нефть и газ. – 1977. – № 6. – С. 12-18.

9. Доржиев В.С., Адвокатов В.Р., Бодиев Б.Б. Геоэлектрические разрезы юга Сибири и Монголии. – М.: Наука, 1987. – 94 с.

10. Курскеев А.К., Белослюдцев А.Г., Бондаренко О.М. Геолого-геофизический анализ электрических свойств горных пород (на материалах Казахстана). – Алма-Ата: Наука КССР, 1982. – 172 с.

11. Мельников В.П. Электрофизические исследования мерзлых толщ. – Новосибирск: Наука, 1977. – 108 с.

12. Мировой атлас проводимости почвы. Рекомендация МСЭ-Р. Р. 832-3 (02/2012). Серия Р. Распространение радиоволн. – 49с.

13. Одеков О.А., Ларионов Е.И., Нурмамедов Д. Геоэлектрическая характеристика разреза осадочных отложений территории Туркменистана. – Ашхабад: Ылым, 1976. – 160 с.

14. Цицишвили Д.А. Инженерная геофизика в условиях горной страны. – Тбилиси: Мецниереба, 1980. – 218 с.

15. Цыдыпов Ч.Ц., Цыденов В.Д., Башкуев Ю.Б. Исследование электрических свойств подстилающей среды. – Новосибирск: Наука, 1979. – 176 с.

16. Якупов В.С. Электропроводность и геоэлектрический разрез мерзлых толщ. – М.: Наука, 1968. – 179 с.

17. Dosho K., Shimizu T., Hino N. On the characteristics equivalent ground conductivity in Japan // Electr. and Commun. in Japan. – 1967. – V. 50. №2. – Pp. 10-18.

18. Eliassen K.E. A survey of ground conductivity and dielectric constant in Norway within the frequency range 0,2-10 Mc/s // Geophys. Publ. – 1957. – V. 19. № 11. – Pp. 5-30.

19. Fine H. An effective ground conductivity map for continental United States // Proc. IRE. – 1954. – V. 42, №9. – Pp. 1405-1408.

20. Homilius J. Geoelectrical investigations in East Afganistan // Geophysics Prospect. – 1969. – V. 17. № 1. – Pp. 468-487.

21. Ireland G.C. A provisional ground conductivity map of Canada // Proc. IRE. – 1961. – V. 49. № 11. – Pp. 1674-1678.

22. Morgan R., and Maxwell E. Omega navigation System Conductivity Map. – Washington: Office of Naval Research, 1965. – 105 p.

23. Troyan V.N. and Hayakawa M. Inverse Geophysical Problems. – Tokyo: TERRAPUB, 2002. – 289 p.

MAP OF GEOELECTRIC SECTIONS OF THE SOUTH OF RUSSIA AND THE CAUCASUS

© 2017 Yu. B. Bashkuev, Sc. Candidate (Tech.), prof., V. S. Dorzhiev, Sc. Candidate (Geol.-Min.), V. R. Advokatov, Sc. Candidate (Phys.-Math.), L. Kh. Angarkhaeva, Sc. Candidate (Phys.-Math.)

Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the RAS, Russia, 670047, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Sakhyanova Str., 6, e-mail: buddich@mail.ru

Detailed knowledge of the electrical properties, structure and spatial arrangement of various rock complexes is necessary in solving problems of radiation and propagation of electromagnetic waves in inhomogeneous media with interfaces of complex shapes. The maps of electrical properties (conductivity or geoelectric sections) of continents and countries constructed on various scales according to certain criteria can serve as initial information for models of the electrical condition of the underlying medium. The electrical inhomogeneous geological medium distorts amplitude-phase structure of an electromagnetic field. Essential increase of accuracy of calculations of an electromagnetic field in a wide frequency band (from VLF and up to MF-SF) became possible with use predictive maps of geoelectric sections (GES), taking into account for the layered structure of the underlying medium. These maps reflect the areal distribution of various GES types, with the electrical resistivity, dielectric permittivity and thickness specified for each layer of GES. These parameters enable the calculation of values of surface impedance, attenuation function and field level in a wide range of frequencies. These values are necessary for prediction of electromagnetic waves propagation conditions. The article contains the results of geoelectric mapping of the territory of the south of Russia and the Caucasus. The methodology of geoelectric mapping is considered. A map of GES of the south of Russia and the Caucasus at a scale of 1:2500000 is created. This map makes it possible to increase the accuracy of the calculation of electromagnetic fields by 1,5 to 3 times in comparison with the existing Morgan-Maxwell map.

Keywords: rocks, electrical properties, geoelectric section, geoelectric mapping.

References

1. Bashkuev Ju. B. Jelektricheskie svojstva prirodnyh sloistyh sred [Electrical properties of natural layered media]. Novosibirsk, Izdatel'stvo SO RAN, 1996. 207 p. (in Russian)
2. Bashkuev Ju. B., Dorzhiev V. S., Cydygov Ch. C. i dr. Karta geoelektricheskikh razrezov Mongolii [Map of geoelectric sections of Mongolia]. Materialy VII nauchnoj konferencii po tematicheskoy kartografii. Irkutsk, 20-22 nojabrja 2002 g. Irkutsk: Izd-vo Instituta geografii SO RAN, 2002. Pp. 78-81. (in Russian)
3. Bashkuev Ju. B., Advokatov V. R., Angarkhaeva L. H. Karty geoelektricheskikh razrezov Vostochnogo polusharija [Maps of geoelectric sections of the Eastern Hemisphere]. Fizika Zemli, 2003. No. 9. Pp. 87-94. (in Russian)
4. Bashkuev Ju. B., Advokatov V. R. Prognoznaja karta geoelektricheskikh razrezov Severnoj i Juzhnoj Ameriki [Forecast map of geoelectric sections of North and South America]. Optika atmosfery i okeana. Fizika atmosfery. Tezisy dokladov XVIII mezhdunarodnogo simpoziuma. Tomsk, Izd-vo IOA SO RAN, 2012. Pp. 88. (in Russian)
5. Veshev A. V. Jelektroprofilirovanie na postojannom i peremennom toke [Electroprofiling with direct and alternating current]. L. Nedra, 1980. 391 p. (in Russian)
6. Gadzhiev T. G., Shahnazarjan A. A., Hesin B. Je. Vydelenie mezokajnozojskikh struktur jelektrozvedkoj VJeZ v vostochnyh predgor'jah Malogo Kavkaza i Talysha [Isolation of Meso-Cenozoic structures by electrical sounding VES in the eastern foothills of the Lesser Caucasus and Talysh]. Azerbajdzhanskoe neftjanoe hozjajstvo, Baku. 1975. No. 8. Pp. 20-24. (in Russian)
7. Geologicheskaja karta SSSR masshtaba 1:2500000 [Geological map of the USSR at a scale of 1: 2500000]. pod red. D. V. Nalivkina. 1965. (in Russian)

8. Dzhafarov H. D., Liadze V. V. Tipy geoelektricheskikh razrezov neftegazonosnykh oblastej Azerbajdzhana [Types of geoelectric sections of oil and gas regions of Azerbaijan]. *Izv. vuzov. Neft' i gaz.* 1977. No. 6. Pp. 12-18. (in Russian)
9. Dorzhiev B. C., Advokatov V. R., Bodiev B. B. Geoelektricheskie razrezy juga Sibiri i Mongolii [Geoelectric sections of the south of Siberia and Mongolia]. M. Nauka, 1987. 94 p. (in Russian)
10. Kurskeev A. K., Belosljudcev A. G., Bondarenko O. M. Geologo-geofizicheskij analiz jelektricheskikh svojstv gornyh porod (na materialah Kazahstana) [Geological and geophysical analysis of electrical rocks properties (on materials of Kazakhstan)]. Alma-Ata, Nauka KSSR, 1982. 172 p. (in Russian)
11. Mel'nikov V. P. Jelektrofizicheskie issledovaniya merzlykh tolshh [Electrophysical studies of frozen layers]. Novosibirsk, Nauka, 1977. 108 p. (in Russian)
12. Mirovoj atlas provodimosti pochvy [World atlas of soil conductivity]. Rekomendacija MSJe-R. P. 832-3 (02/2012). Serija R. Rasprostranenie radiovoln. 49 p. (in Russian)
13. Odekov O. A., Larionov E. I., Nurmamedov D. Geoelektricheskaja harakteristika razreza osadochnykh otlozhenij territorii Turkmenistana [Geoelectric characteristics of the sedimentary deposits in the territory of Turkmenistan]. Ashhabad, Ylym, 1976. 160 p. (in Russian)
14. Cicishvili D. A. Inzhenernaja geofizika v uslovijah gornoj strany [Engineering geophysics in a mountainous country]. Tbilisi: Mecniereba, 1980. 218 p. (in Russian)
15. Cydypov Ch. C., Cydenov V. D., Bashkuev Ju. B. Issledovanie jelektricheskikh svojstv podstilajushhej sredy [Investigation of the electrical properties of the underlying medium]. Novosibirsk, Nauka, 1979. 176 p. (in Russian)
16. Jakupov V. S. Jelektroprovodnost' i geoelektricheskij razrez merzlykh tolshh [Electrical conductivity and geoelectric section of frozen layers]. M. Nauka, 1968. 179 p. (in Russian)
17. Dosho K., Shimizu T., Hino N. On the characteristics equivalent ground conductivity in Japan // *Electr. and Commun. in Japan.* – 1967. – V. 50. №2. – Pp. 10-18.
18. Eliassen K. E. A survey of ground conductivity and dielectric constant in Norway within the frequency range 0,2-10 Mc/s // *Geophys. Publ.* – 1957. – V. 19. № 11. – Pp. 5-30.
19. Fine H. An effective ground conductivity map for continental United States // *Proc. IRE.* – 1954. – V. 42, №9. – Pp. 1405-1408.
20. Homilius J. Geoelectrical investigations in East Afganistan // *Geophysics Prospect.* – 1969. – V. 17. № 1. – Pp. 468-487.
21. Ireland G. C. A provisional ground conductivity map of Canada // *Proc. IRE.* – 1961. – V. 49. № 11. – Pp. 1674-1678.
22. Morgan R., and Maxwell E. Omega navigation System Conductivity Map. – Washington: Office of Naval Research, 1965. – 105 p.
23. Troyan V. N. and Hayakawa M. Inverse Geophysical Problems. – Tokyo: TERRAPUB, 2002. – 289 p.

УДК 551.24 (234.9)

DOI 10.23671/VNC.2018.1.11240

О ВРЕМЕНИ ВОЗМОЖНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ СЛЕДУЮЩЕЙ КАТАСТРОФИЧЕСКОЙ ПУЛЬСАЦИИ ЛЕДНИКА КОЛКА

© 2018 М. Г. Бергер, д. г.-м. н., проф.

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: berger7@rambler. ru

Наиболее яркие и значительные по своим последствиям события в истории ледника Колка – его пароксизмальные катастрофические выбросы 2002, 1902, 1752 гг. и не имеющие точной датировки неоднократно происходившие более ранние. Совершенно ясно, что подобные катастрофические пульсации ледника Колка будут происходить и в дальнейшем.

В целях минимизации негативных последствий этих пульсаций необходимы, прежде всего, прогнозирование времени их возможного проявления и наблюдение за их предвестниками.

В результате происшедшего 20 сентября 2002 года внезапного газодинамического выброса ледник Колка оказался полностью уничтоженным.

В настоящее время ледник восстанавливается. Однако до обретения им свойств непроницаемого (газоупорного) барьера (что зависит от скорости превращения накапливающегося в ложе ледникового фирна в лед) проявление его следующей катастрофической пульсации невозможно. Время, необходимое для такого превращения, составляет несколько десятилетий (с момента накопления фирна в составе ледниковой толщи).

Ключевые слова: ледник Колка, катастрофическая пульсация, газодинамический выброс ледника, прогноз, предвестники, фирн, лед.

Из того, что обвалы происходили неоднократно, нетрудно заключить, что и в будущем всегда можно ожидать в ущелье Геналдона катастрофы подобно случившейся.

Э. А. Штебер
(о Колкинской катастрофе 1902 г. – М. Б.)

Геналдонская катастрофа 2002 г. – это закономерное явление в длинной цепи геологических событий, которые повторялись много раз за последние тысячи лет и, безусловно, произойдут и в будущем. Таков неутешительный, но вполне закономерный вывод, который подтверждается всем опытом изучения подобных событий.

Э. В. Запорожченко

Скорее всего, непредсказуемость этих явлений (ледниковых пульсаций. – М. Б.) обусловлена недостаточными знаниями об их характере.

А. Ф. Глазовский

Нужно все время обращаться к истории геологического прошлого, в то же время не допуская, чтобы сведения о частоте событий в прошлом чрезмерно ограничивали интерпретацию наблюдаемых предвестников активности.

*Д. А. Свансон, Т. Дж. Касадевалл, Д. Дзуризин,
С. С. Ньюхолл, С. Д. Мэлоун, С. В. Вивер*

История развития ледника Колка с достаточно точной датировкой основных событий на леднике и в Геналдонском ущелье известна с 1752 года. Однако признаки (главным образом, литологические и геоморфологические) проявления не имеющих точной датировки отдельных крупных событий в данном районе, прежде всего, благодаря усилиям К. П. Рототаева [Рототаев и др., 1983; и др.], отмечены и для более ранней истории этого ледника.

Кроме глубоко изученной и детально описанной некатастрофической пульсации (аномально крупной быстрой подвижки ледника Колка) 1969-1970 гг. [Панов, 1971, 1993; Рототаев и др., 1983; и др.], наиболее яркие и значительные по своим последствиям события в истории этого ледника – впервые установленные и охарактеризованные автором [Бергер, 2004, 2006а, б, в, 2007а, б, 2008 и др.] его *пароксизмальные катастрофические взрывоподобные направленные газодинамические выбросы* 2002, 1902, 1752 гг. и, безусловно, неоднократно происходившие, но сколько-нибудь точно не датированные более ранние.

Совершенно ясно, что подобные катастрофические пульсации ледника Колка будут происходить и в дальнейшем. Избежать, исключить, предотвратить их проявление пока невозможно (хотя еще более десяти лет назад автор и предложил проект проведения необходимых для этого работ [Бергер, 2007в]).

В этих условиях крайне важно свести к минимуму возможные последствия катастрофических внезапных газодинамических выбросов ледника Колка, прежде всего, исключить всегда связанные с их проявлением человеческие жертвы.

Важнейшими условиями этого являются научно обоснованный прогноз времени возможного проявления следующей катастрофической пульсации (взрывоподобного внезапного направленного газодинамического выброса) ледника Колка и проведение грамотного, научно обоснованного систематического мониторинга состояния ледника Колка и его области питания, а также сопредельной с ними зоны, основой чего является выявление и изучение предвестников подобных событий, прежде всего, наиболее изученной последней катастрофической пульсации ледника Колка 2002 г. [Бергер, 2007б, г, 2008 и др.].

Само собой разумеется, что любые прогностические заключения в данной области должны быть основаны на заключении об эндогенной поствулканической газодинамической природе пароксизмальных катастрофических пульсаций ледника Колка и взрывоподобном газодинамическом их характере, представляющем собой

поверхностные (малозаглубленные – учитывая поверхностное залегание и сравнительно небольшую толщину выбрасываемого ледника) направленные внезапные газодинамические выбросы.

* * *

В связи с широко распространенными представлениями о катастрофической пульсации ледника Колка 2002 года как об экзогенном склоново-гравитационном гляциодинамическом (или гидрогляциодинамическом, гляциально-селевом) явлении, хотя и происшедшем при том или ином участии тех или иных эндогенных процессов (такие же представления в течение более ста лет оставались доминирующими и в отношении Колкинской (Геналдонской) катастрофы 1902 года), необходимо со всей определенностью и однозначностью подчеркнуть, что происходящие на ледниках поствулканические (или постмагматические) пароксизмальные газогляциодинамические явления (внезапные взрывоподобные направленные газодинамические выбросы ледников), к числу которых относится катастрофическая пульсация ледника Колка 2002 года (эталонная, так сказать, генотипическая для подобных явлений), по основному вызывающему их фактору и источнику их энергии (высоконапорным глубинным газам) являются *эндогенными* и лишь за пределами их эпицентральных (плейстопароксизмальных) областей в их проявлении то или иное участие принимают в значительной мере аномальные экзогенные вторичные процессы, обусловленные, вызванные, естественно, взрывоподобными газодинамическими выбросами ледников.

С учетом сказанного, прогнозирование этих вторичных явлений (обычно аномально высоконапорных высокоскоростных селей) должно быть принципиально отличным от прогнозирования обычных экзогенных явлений и обязательно должно учитывать действие вызывающих их (и, соответственно, определяющих их особенности) первичных эндогенных геологических факторов, действие которых нередко не согласуется с действием гравитационного агента переноса и на большей части пути не сводится к нему, в частности, не соответствует обычному безнапорному движению жидкости под действием силы тяжести.

В соответствии с изложенным, при сохранении (и даже усугублении) весьма неблагоприятных для горного оледенения деградационных климатических условий, после восстановления ледника Колка (а он при любых климатических условиях через несколько десятилетий восстановится) возникнет потенциальная возможность подготовки и проявления его взрывоподобного газодинамического выброса со всеми сопровождающими такой выброс катастрофическими последствиями. При этом никакие расчеты и основанные на них прогнозы, опирающиеся на учет действия экзогенных процессов и величину соответствующих параметров, включая величину набранной ледником массы, не должны никого вводить в заблуждение: здесь играют основную определяющую роль другие факторы – эндогенные, газодинамические – геологические процессы, управляющие механизмы, факторы и параметры.

Необходимо учитывать, однако, что результаты действия этих факторов на ледник Колка могут быть существенно различными при различном состоянии ледника, прежде всего, величины его проницаемости, в значительной мере определяемой степенью превращения ледникового фирна в лед.

Уже на данной стадии восстановления ледника Колка, предшествующей его вступлению в квазистационарную (квазиравновесную) фазу развития, наряду с воз-

растанием объема ледника, происходит и увеличение его массы и, что особенно важно, его уплотнение, монолитизация, прежде всего, в результате превращения фирна в лед и начала проявления режелационных процессов в ледниковой толще. Используя понятийно-терминологический аппарат геологического стадийного анализа литологии, можно сказать, что эти процессы знаменуют собой протекание диагенеза и начального (раннего) катагенеза (эпигенеза) ледниковой толщи.

* * *

Для прогнозной оценки времени возможного проявления следующей катастрофической пульсации ледника Колка (его пароксизмального взрывоподобного направленного газодинамического выброса) требуется углубленное знание современного состояния и развития газодинамической мегасистемы этого ледника [Бергер, 2008], в составе которой выделяются две основные подсистемы, частично совпадающие, перекрывающиеся по объему, во многом взаимосвязанные и существенно взаимодействующие (при определяющей роли первой из них):

1) эндодинамическая (газодинамическая, включающая ледник Колка и подстилающий его литосферный (корово-мантийный) субстрат, в пределах которого непрерывно протекают процессы генерации (выделения в свободную фазу), миграции и аккумуляции высоконапорных глубинных природных газов – преимущественно поствулканических и постмагматических (связанных с распространенными в данном районе субвулканическими неинтрузиями), и

2) экзодинамическая (гляциодинамическая), включающая тот же ледник Колка и область его питания.

Ледник Колка, выполняющий в этой мегасистеме функцию непроницаемого (в частности, газоупорного) барьера со свободной (открытой, обнаженной) поверхностью, как видим, входит в состав обеих выделенных выше подсистем. (Существенно влияющая на протекающие в леднике абляционные процессы бронирующая значительную часть площади ледника поверхностная морена не оказывает существенного влияния на его фильтрационные свойства, определяющие газопроницаемость ледника, его способность выполнять функции непроницаемого барьера.)

В геомеханическом отношении наличие на леднике морены (как и ее отсутствие) при подготовке и проявлении газодинамического выброса ледника существенной роли не играет (тем более содействующей, благоприятствующей выбросу, стимулирующей, ускоряющей, приближающей его подготовку и проявление, как это иногда предполагается, в частности, для кавказских ледников Колка и Муркар).

Именно в связи с выполнением ледником Колка функции газоупорного барьера со свободной поверхностью и активно протекающей в его литосферном субстрате газовой поствулканической (и постмагматической) деятельностью ледник Колка является газовыбросоопасным, время от времени подвергающимся пароксизмальным взрывоподобным катастрофическим внезапным газодинамическим выбросам, последний из которых произошел 20 сентября 2002 года.

В результате этого выброса ледник не просто потерял свойства непроницаемого барьера, а оказался полностью уничтоженным, испытал газодинамическую аннигиляцию (по определению и терминологическому обозначению автора).

И хотя ледник довольно быстро восстанавливает свои линейные размеры, до обретения им свойств непроницаемого барьера никакой внезапный выброс ледника невозможен.

С восстановлением основного объема ледника Колка (особенно его тыльной части, экранирующей главный газоподводящий канал, расположенный в узле пересечения Сырху-Барзондского и Восточно-Джимарайского разломов в литосферном субстрате ледника) и развитием диа- и катагенетических преобразований в ледниковой толще формирование локального непроницаемого барьера ледника Колка вступит в завершающую фазу, после чего возможность подготовки и проявления пароксизмального взрывоподобного газодинамического выброса ледника определится развитием лишь газовой поствулканической деятельности в данном районе.

* * *

Время, необходимое для приобретения ледником свойств непроницаемого (газоупорного) барьера, зависит от скорости превращения накапливающегося ледникового фирна в лед [Мейер, 1964; Серебрянный, Орлов, 1985; Бергер, 2007а, с. 81-82; и др.], которая может в той или иной мере варьировать и, по аналогии с некоторыми альпийскими ледниками (Клариденфернер), составляет 25-40 лет [Серебрянный, Орлов, 1985].

В частности, согласно одному из определений, данных американским гляциологом М. Мейером [1964, с. 123], «граница между фирном и льдом проходит там, где уплотняющийся материал становится водонепроницаемым».

Если принять это определение, то до обретения ледником Колка свойств непроницаемого барьера (что является необходимым условием подготовки газодинамического выброса ледника) после восстановления ледника или значительной его части в их прежних границах и набора ледником минимально необходимого для создания и реализации условий его выброса объема (величину которого для ледника Колка приближенно можно оценить в 60-70 млн. м³) пройдет, как минимум, еще несколько десятилетий. Соответственно, следующий катастрофический газодинамический выброс ледника Колка, по особенностям современного состояния и развития экзодинамической системы этого ледника и при любых особенностях развития его эндодинамической системы, как уже отмечалось [Бергер, 2007а, с. 107-108], может произойти не ранее 2050-2055 года (с учетом современного состояния ледника, условий, тенденций, особенностей и темпов его послекатастрофического восстановления, труднопрогнозируемой эволюции климатических условий, а также неизбежной ускоренной пригрузки ледника обвальным материалом в ходе подготовки его газодинамического выброса). (Заметим в связи с этим, что обычное для ледника Колка обвальное-лавинное нагружение ледника не ведет к его уплотнению, разрыхлению, разрушению, пробиванию, выбиванию, срыву и т. п., как это иногда без достаточных оснований предполагается, а наоборот, наращивая слой поверхностной морены и, в целом, увеличивая толщину ледника, содействует процессам его уплотнения, режеляции, смерзания, монолитизации, упрочнения, т. е. содействует обретению ледниковой толщей (ее основной по толщине нижней несущей частью) свойств непроницаемого барьера на пути восходящей миграции глубинных газов.)

Этот вывод, базирующийся, прежде всего, на учете экзогенных условий в районе ледника Колка, в полной мере учитывает и установленную автором [Бергер, 2006б, с. 27; и др.] цикличность в развитии эндогенных условий в данном районе, прежде всего, величину интервала времени между последовательными прорывами

в подледниковое пространство ледника Колка необходимых для газодинамического выброса этого ледника значительных количеств высоконапорных глубинных поствулканических газов. Для известной истории ледника Колка величина этого интервала составляла 100-150 лет. Предполагать возможность значительного уменьшения величины этого интервала в ближайшие десятилетия нет достаточных оснований, однако, учитывая явную активизацию поствулканической деятельности в Казбекско-Джигарайском районе в первые десятилетия XXI в., в дальнейшем (после значительного восстановления ледника Колка и обретения им свойств непроницаемого барьера, что произойдет не ранее 2050-2055 года) необходимы систематические наблюдения за возможными предвестниками газодинамического выброса ледника (см. ниже).

В течение этого времени (до 2050-2055 года) непосредственно на леднике Колка, вблизи от него и на удалении от него могут происходить самые различные природные и антропогенные (техногенные) события, в том числе гигантские обвалы и лавины, сильные землетрясения, наводнения, сели, любые проявления глобального или регионального потепления или похолодания, продолжительные ливни, интенсивные снегопады, интенсивное таяние, техногенные взрывы любой силы, киньсьемочные работы с любым пиротехническим сопровождением и т. д., и т. п., однако, проявление на леднике Колка и в Геналдонском ущелье катастрофы, подобной катастрофе 20 сентября 2002 г., в течение этого времени совершенно исключено [Бергер, 2008, с. 177]; предполагать же возможность проявления вулканических извержений в данном районе, как было показано [Бергер, 2008, с. 70-81], ни в ближайшем, ни в более отдаленном будущем нет оснований. На это указывают, прежде всего, данные об особенностях геофизических полей в районе Казбека [Заалишвили и др., 2015; Шемпелев, 2008; и др.].

В дальнейшем (после этого срока) возможность следующего катастрофического газодинамического выброса ледника Колка и конкретное время его проявления (включая относительно небольшую по продолжительности, не превышающую нескольких месяцев, стадию его явной поверхностной и близповерхностной подготовки) определятся эндогенными глубинными поствулканическими процессами, прежде всего, процессами газогенерации и восходящей миграции (концентрированного прорыва в область пониженных давлений, в том числе непосредственно под ледник Колка) высоконапорных глубинных природных газов в Казбекско-Джигарайском районе Приказбекской неовулканической области.

Необходимо подчеркнуть, что решение Колкинской проблемы, установление причин и механизма Колкинской катастрофы имеют отнюдь не только научно-теоретическое, «не важное» значение, как это пытаются представить некоторые авторы, не являющиеся специалистами в данной (или хотя бы в смежной с ней) области и оказавшиеся, естественно, совершенно неспособными ни получить решение Колкинской проблемы, ни понять такое решение, полученное другими, ни оценить его важность и значимость, в том числе чисто практическую. На самом же деле, все это имеет исключительно большое, жизненно важное значение, определяя возможности, пути и перспективы безопасного освоения Геналдонского ущелья и сопредельных территорий, а также целого ряда других перигляциальных районов и областей, прогнозирования и, по возможности, предотвращения опасных природных процессов, минимизации и, в идеале, исключения их негативных последствий.

* * *

В целях долгосрочного прогнозирования катастрофических пульсаций ледника Колка важнейшее значение имеют данные о *периодичности (частоте)* их проявления в предшествующей истории ледника.

Имеющиеся в этой области фактические данные, к сожалению, статистически непредставительны, однако другими данными на этот счет наука пока не располагает.

Впрочем, даже при большей статистической представительности (репрезентативности) имеющихся в этой области данных, знание предшествующей периодичности повторения катастрофических пульсаций ледника Колка, безусловно, недостаточно для того, чтобы полагать, что такая периодичность будет выдерживаться и в дальнейшем.

С учетом установленной автором основной причины этих пульсаций (основного действующего, вызывающего их природного фактора – газового) для прогнозирования времени возможного их проявления исключительно большое значение имеет изучение поствулканической (особенно – газовой) деятельности в Казбекско-Джимарайском районе – ее общей эволюции, периодичности и длительности значительных пульсационных изменений ее интенсивности, пространственного (географического и структурно-тектонического) положения наиболее крупных газовыводящих каналов, состава и температуры газовыделений, их воздействия на ледники. Некоторые сведения по данному кругу вопросов приведены, в частности, в работах [Муравьев, 2005; Попов, 2006; Тавасиев, 2011, 2012; Тавасиев, Галушкин, 2014; Бергер, 2007б, с. 162-171; Бергер, 2008, с. 66 и далее; и др.]. Однако имеющиеся сведения, безусловно, недостаточны для уверенных заключений в этой области.

Наряду с закономерной эволюцией факторов, определяющих динамическое состояние ледника Колка в каждый данный момент времени, необходимо также иметь в виду практически непрогнозируемую (во всяком случае, в долгосрочном плане) возможность проявления тех или иных флуктуаций, в частности, в действии эндогенных флюидодинамических факторов, управляющих развитием геодинамической системы (мегасистемы) ледника Колка, что может вести к различного рода отклонениям от существовавшей ранее периодичности проявления катастрофических пульсаций этого ледника (особенно учитывая кумулятивный характер пульсационного газодинамического воздействия на ледник).

В силу изложенного выше, дальнейшая эволюция геодинамической системы ледника Колка, с чем могут быть связаны изменения частоты проявления его пароксизмальных катастрофических пульсаций, неизвестна и труднопредсказуема.

В таком труднопредсказуемом поведении ледника Колка и всей включающей этот ледник гигантской геодинамической системы (мегасистемы) нет ничего необычного. Как и в случае других неравновесных и, в силу этого, неустойчивых динамических систем, учитывая связи между их поведением, различным (и взаимонезависимым) характером управляющих факторов и флуктуациями этих факторов (значений соответствующих параметров), определяющих состояние и поведение систем на различных этапах их развития, «поведение системы должно содержать как детерминистический, так и статистический аспекты и, по крайней мере, с макроскопической точки зрения обладать некоторыми существенно непредсказываемыми свойствами» [Гленсдорф, Пригожин, 1973, с. 17].

* * *

Повторяемость (периодичность) катастрофических пульсаций ледника Колка (его взрывоподобных внезапных газодинамических выбросов), названная *мегациклическостью* [Бергер, 2003, 2004, 2006б], по данным за последние три столетия, как было отмечено выше, составляет 100-150 лет (1752–1902-2002 гг.). Существуют не имеющие, к сожалению, сколько-нибудь точной датировки сведения и о более ранних катастрофических пульсациях (пароксизмальных выбросах) этого ледника [Рототаев и др., 1983; Бергер, 2007а, с. 23-26; Бергер, 2008, с. 188-191].

Проявление таких событий, их нестрого периодическая повторяемость в истории ледника Колка определяются периодически происходящим в данном районе мощным гидравлически сосредоточенным концентрированным прорывом в верхние горизонты коры и интенсивным поступлением непосредственно под ледник (а отчасти и в приледниковую зону, особенно в приразломную трещинно-разрывную зону повышенной проницаемости горных пород) огромного количества высоконапорных глубинных поствулканических газов и последовательным пульсационным (скачкообразным) резким возрастанием величины газового давления под ледником, т.е. являются чисто эндогенно газодинамически обусловленными. В 2002 г., уже после внезапного взрывоподобного газодинамического выброса ледника Колка, этот мощный концентрированный (струйный) газовый прорыв в данном районе продолжался в течение еще многих дней (с разгрузкой газов непосредственно в атмосферу). Однако первые прямые признаки такого прорыва, очень важные предвестники именно газодинамического выброса ледника, совершенно явно [Рототаева и др., 2005; и др.] проявились еще в ходе подготовки катастрофы, не менее чем за 20 дней до нее. Косвенные же признаки такого прорыва (и, соответственно, подготовки газодинамического выброса ледника) достаточно явно проявились на земной поверхности еще на полтора-два месяца ранее. Они выразились в значительной интенсификации обвалов с г. Джимарайхох и ее отрогов на ледник Колка и в значительном понижении уровня р. Геналдон в ее верховьях, связанном с ростом трещиноватости и, соответственно, проницаемости горных пород и значительной интенсификацией процессов инфильтрации поверхностных вод в данном районе.

Подчеркнем: на всех этапах продолжавшейся в течение, по крайней мере, двух месяцев подготовительной стадии Колкинской катастрофы решающими, определявшими аномальный характер и интенсивность протекавших в течение этого времени на леднике Колка и в сопредельной с ним зоне процессов, безусловно, были ювенильные, глубинные, эндогенные газодинамические факторы, что выразились в явно и мощно проявившихся в течение этого времени на земной поверхности и вблизи от нее многочисленных предвестниках пароксизмального катастрофического газодинамического выброса ледника Колка [Бергер, 2006а, в, г, 2007б, г, 2008 и др.].

Напомним в связи с этим, что еще в первые годы изучения катастрофической пульсации ледника Колка автором [Бергер, 2006в, 2007б, 2008 и др.] была установлена глубокая закономерная генетическая связь с Колкинской катастрофой (и, соответственно, закономерная парагенетическая взаимосвязь) различных (во многом аномальных) природных процессов, проявившихся на леднике Колка и, в целом, в бассейне этого ледника примерно с июля 2002 г., – их типов (характера), последовательности, интенсивности (и ее эволюции), времени и места проявления, при всем различии их роли, характера и непосредственных причин связанных между

собой участием в происходившем в данном районе, в том числе в подледниковом пространстве, едином грандиозном по масштабам процессе подготовки, проявления и постпароксизмального завершения катастрофической пульсации (газодинамического выброса) ледника Колка и последующих вторичных и ореольных процессах.

Совершенно очевидно, что учет этих связей крайне важен для понимания и объяснения катастрофической пульсации ледника Колка и подобных ей ледниковых катастроф и для их средне- и краткосрочного прогнозирования и минимизации их негативных последствий.

* * *

В случае тех или иных несоответствий между историко-гляциологическими сведениями о периодичности (частоте) проявления катастрофических пульсаций ледника Колка и имеющимися данными наблюдений за их возможными предвестниками большее значение, как правило, следует придавать последним.

Само собой разумеется, что при этом необходимо хорошо знать предвестники катастрофических пульсаций ледника Колка и уметь отличать их от предвестников некатастрофических пульсаций (быстрых подвижек) этого ледника.

Судя по имеющимся результатам изучения быстрых подвижек ледника Колка 1834-1835, 1902 и 1969-1970 гг., последние не ведут к газодинамическому выбросу ледника (соответственно, проявление таких подвижек или их предвестников еще не предвещает опасного развития событий), но и не исключают его. Но в этом случае обязательно должны проявиться предвестники *именно газодинамического выброса ледника*. Ни кинематические волны и другие проявления внутренней (внутриконтурной) подвижки ледника, ни продвижение ледника за пределы планового контура (т. е. собственно быстрая подвижка ледника) в число этих предвестников не входят.

В предшествующих работах [Бергер, 2006а, в, г, 2007б, г, 2008 и др.] автором достаточно подробно рассмотрены предвестники газодинамического выброса ледника Колка 2002 г.; многие из них не характерны для этапа активизации пульсирующих ледников, предшествующего началу их некатастрофической быстрой подвижки. Это, прежде всего, проявление фумарол на прилежащем к леднику северном склоне г. Джимарайхох и ее восточных отрогов, продолжительная (длящаяся в течение около двух месяцев) резкая и значительная интенсификация обвалов с этого склона на ледник Колка, продолжительное значительное и устойчиво сохранявшееся вплоть до выброса ледника понижение уровня р. Геналдон в ее верховьях (особенно показательно в случае его проявления в сезон таяния и дождей), ни метеорологически, ни аккумуляцией обвального материала не объяснимое быстрое и значительное вздутие (вспучивание, повышение уровня) поверхности ледника в его тыльной зоне (особенно в ее северной части) (проявление эффекта газового домкрата), также устойчиво сохранявшееся и возраставшее вплоть до выброса ледника, появление ранее отсутствовавших очень крупных трещин на леднике, предшествующий выбросу ледника горный удар большой силы, многочисленные проявления биопредвестников (беспокойства и аномального поведения животных), особенно в течение последних суток перед выбросом ледника, в том числе на удалении 15-20 и даже 30 км от ледника, а также целый ряд очень важных весьма краткосрочных, оперативных предвестников катастрофических пароксизмальных пульсаций ледника Колка.

В этих же работах автором была показана газодинамическая природа этих аномальных признаков – предвестников именно газодинамического внезапного выброса ледника Колка. Все эти признаки были обусловлены продолжительным мощным концентрированным прорывом к земной поверхности огромного количества высоконапорных глубинных поствулканических природных газов, произошли в ходе этого прорыва и вследствие него.

Касаясь во многом близкой проблемы прогноза вулканических извержений, в частности, направленных взрывов вулкана Сент-Хеленс (США), Д. А. Свансон с соавторами [Свансон и др., 1984, с. 100] справедливо заметили, что «нужно все время обращаться к истории геологического прошлого, в то же время не допуская, чтобы сведения о частоте событий в прошлом чрезмерно ограничивали интерпретацию наблюдаемых предвестников активности». В отношении оснований для прогноза внезапных газодинамических выбросов ледника Колка и других горных ледников это замечание не менее справедливо, чем в приложении к проблеме прогноза вулканических извержений.

* * *

Помимо отмеченной выше мегацикличности, возможно, существует и еще более крупная цикличность проявления катастрофических пульсаций ледника Колка особенно большой силы, когда газодинамические лавинообразные потоки в различной степени диспергированного (от гигантских глыб до тонкодисперсной пыли) ледово-каменного материала взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника, предваряемые гигантской по интенсивности ударной воздушной волной, в считанные минуты долетают до Скалистого хребта и далее, уже в виде высоконапорного аномально высокоскоростного селя, проникают через теснину Кармадонских ворот (Геналдонский каньон) еще на многие километры, как это было в 2002 г.

Такая цикличность, названная *суперцикличностью* [Бергер, 2008], судя по единственному полному достоверно зафиксированному (но, безусловно, далеко не единственному происходившему в истории ледника Колка) ее проявлению, составляет примерно 250 лет (суперцикл 1752-2002 гг.).

С учетом этого, следующий (после 2002 г.) столь мощный прорыв высоконапорных глубинных природных газов в районе ледника Колка и, соответственно, столь же сильный, как в 2002 и 1752 гг., пароксизмальный взрывоподобный направленный выброс этого ледника (а все выбросы ледника Колка в силу склонового, наклонного его залегания всегда носят направленный характер) можно ожидать примерно через 250 лет, в середине XXIII века. А примерно в середине этого срока (или, может быть, несколько ранее) может произойти катастрофический взрывоподобный выброс ледника Колка. Как можно думать, этот выброс, возможно, будет иметь несколько меньшую, чем в 2002 г., силу (подобно сдвоенным выбросам 3 и 6 июля 1902 г.).

Одним из важнейших условий, необходимых для проявления этих выбросов, как было сказано выше, является восстановление ледника Колка (основной, прежде всего, тыльной его части), возможность чего иногда ставится под сомнение или даже отрицается исходя из крайне неблагоприятных для оледенения Кавказа климатических условий в конце XX и начале XXI вв. и наблюдаемого (особенно – наблюдавшегося в первое десятилетие XXI в.) посткатастрофического состояния

ледника Колка. Однако в любом случае, при любом развитии событий на леднике Колка и в его подледниковом пространстве, а также на г. Джимарайхох и, в целом, в Казбекско-Джимарайском районе, по крайней мере, в течение ближайших нескольких десятилетий (до восстановления ледника Колка и обретения им свойств газонепроницаемого барьера в результате постседиментационных процессов уплотнения, смерзания, перекристаллизации, режелационных и других структурно-минералогических преобразований [Гляциологический..., 1984; Серебрянный, Орлов, 1985; Маэно, 1988; и др.]) для каких-либо опасений по поводу возможности проявления катастрофических пульсаций (газодинамических выбросов) этого ледника и связанных с ними опасностей нет оснований.

* * *

Вопреки восходящим еще к Э. А. Штеберу [1903] многочисленным утверждениям, настойчиво повторяющимся и в настоящее время, неоднократные пароксизмальные катастрофические пульсации ледника Колка 2002, 1902, 1752 гг. и более ранние, как должно быть совершенно очевидно, не имеют гляциальной (гидрогляциальной, гляциоклиматической, гидравлической, гидродинамической, селевой и т. п.), склоново-гравитационной и вообще экзогенной природы, не связаны с состоянием и внешним видом ледника Колка, не определяются его состоянием (и потому, на первый взгляд представляются незакономерными, случайными, оказываются совершенно неожиданными для специалистов по горному оледенению, обусловленными случайным стечением того или иного комплекса обстоятельств).

Напомним в связи с этим, как выглядел ледник Колка, по описанию Э. А. Штебера [1903] перед катастрофой 1902 г., в значительной мере (по своему характеру и причинам), безусловно, подобной катастрофе 2002 г. (при несомненных, но относительно второстепенных различиях между ними).

Как пишет Э. А. Штебер [1903, с. 236-237], «ледник Колка, если не считать питающих его фирнглечеров, весь почти покрыт толстым слоем обломков из палеозойских (по современным представлениям – мезозойских. – М. Б.) сланцев (в основном, так называемых «глинистых сланцев» – преимущественно алевролитов и аргиллитов, обогащенных глубоко преобразованным рассеянным углеродистым органическим веществом. – М. Б.). Слой этот настолько велик, что местами на поверхности ледника появилась растительность, и весь ледник представляет из себя черную массу обломков, заполняющих дно ущелья Колка».

Именно таким было «впечатление, производимое, так сказать, умирающим ледником Колка» [Штебер, 1903, с. 237]. Как пишет далее Э. А. Штебер [1903, с. 242], «ущелье Колка служит, или вернее, служило пастбищным местом для скота». И ранее: «Трудно ожидать каких-либо грозных явлений со стороны заваленного мусором ущелья. Но гроза пришла оттуда, откуда меньше всего ее нужно было ожидать. Обвал (так обычно именовали в прошлом катастрофы, связанные с казбекскими ледниками. – М. Б.) произошел... не со стороны Майли, а со стороны Колка» [Штебер, 1903, с. 237].

Учитывая сказанное Э. А. Штебером [1903], необходимо заметить, более того, подчеркнуть, что, независимо от того, как будет выглядеть ледник Колка, в случае его даже частичного восстановления в качестве непроницаемого (газоупорного) барьера он может представлять собой значительную опасность, реализация которой определится лишь развитием эндогенных глубинных процессов газовой поствул-

канической деятельности в Казбекско-Джигарайском районе. И хотя активизация этих процессов не представляет и не предвещает никакой собственно вулканической опасности (в отличие от нередких высказываний противоположного характера по данному поводу), опасность проявления взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника Колка в случае такой активизации со временем (с середины XXI в.) может оказаться достаточно реальной, независимо от внешнего вида этого ледника.

В случае возникновения в значительной по площади тыльной части ледника Колка даже относительно маломощного (толщиной порядка всего 20-30 м) сплошного монолитного непроницаемого (газупорного) ледового (либо сцементированного льдом ледово-каменного, точнее, каменно-ледового) слоя, перекрывающего выходящий в этой части ледника основной газоподводящий канал, возникнет возможность взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника или его части.

Время проявления такого выброса определится временем концентрированного прорыва в данном районе высоконапорных глубинных поствулканических газов, интенсивностью их прорыва, их пластовым давлением, скоростью его пульсационного возрастания и суммарным количеством накопившихся непосредственно под ледником газов.

При этом небольшая толщина экранирующего подледниковое скопление высоконапорных сжатых природных газов ледового слоя (и, в целом, небольшая величина массы, накопленной ледником на момент прорыва природных газов в подледниковое пространство) будет *содействовать* газодинамическому выбросу ледника, приближать время его проявления, но приведет к уменьшению интенсивности выброса, измеряемой количеством выброшенного материала.

* * *

Согласно традиционным гляциологическим представлениям, ледники являются автономными, самодостаточными в своем развитии природными физическими системами с внутренним источником энергии (гравитационной) [Шумский, 1974; и др.], испытываемыми со стороны внешней среды, в основном, лишь климатическое и гидрометеорологическое воздействие.

На этом основан и проводимый мониторинг опасных природных процессов, связанных с ледниками, в том числе с ледником Колка, – даже после катастрофы 2002 г., что связано с распространенными в гляциологии представлениями (фактически – постулативными утверждениями) о ее гляциальном (или гидрогляциальном, гляциально-селевом) генезисе.

Установление эндогенной (поствулканической) газодинамической природы этой катастрофы [Бергер, 2004, 2006а, в, 2007б и др.] требует принципиально иного подхода к мониторингу состояния ледника Колка и происходящих на леднике и в приледниковой зоне процессов (в том числе не только поверхностных, но и глубинных), прежде всего, преследующего цели прогнозирования связанных с этим ледником гигантских природных катастроф негляциального генезиса, типа катастроф 2002 и 1902 гг. Реализация такого подхода возможна лишь на основе эндогенных поствулканических газодинамических представлений о природе этих катастроф, их движущих причинах (управляющих факторах), механизмах их подготовки и протекания.

Сказанное в полной мере относится и к другим выбросоопасным пульсирующим ледникам, особенно уже проявившим себя как выбросоопасные в предшествующей истории, – в Казбекско-Джигмарайском районе Центрального Кавказа (ледники Девдорак, Абано, возможно, Чач), на г. Уаскаран (Перуанские Анды), в Каскадных горах на северо-западе США, штат Висконсин (ледник Эммонс и другие ледники восточного склона вулкана Рейнир), на Аляске (Чугачские горы – ледник Шерман), на г. Арарат (восточная Турция) и, возможно, к некоторым другим.

Литература

1. Бергер М. Г. О характере природной катастрофы 20 сентября 2002 г. на леднике Колка // Сборник научных трудов Северо-Осетинского отделения АН ВШ РФ. № 1 (I). – Владикавказ: Терек, 2003. – С. 16-17.
2. Бергер М. Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. – новое катастрофическое природное явление // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Тезисы докладов Международной конференции, г. Владикавказ, 23-26 июня 2004 г. – Владикавказ: РЕМАРКО, 2004. – С. 4-5.
3. Бергер М. Г. Природная катастрофа на леднике Колка 20 сентября 2002 г. – внезапный газодинамический выброс ледника // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Доклады Международной конференции. Владикавказ-Москва, 23-26 июня 2004 г. – Владикавказ: Олимп, 2006а. – С. 41-49.
4. Бергер М. Г. Динамические фазы и циклы развития ледника Колка // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Доклады Международной конференции. Владикавказ-Москва, 23-26 июня 2004 г. – Владикавказ: Олимп, 2006б. – С. 24-40.
5. Бергер М. Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2006 в. – Т. 6. № 2. – С. 33-37.
6. Бергер М. Г. О событии на леднике Колка в 2 часа 21 минуту 20 сентября 2002 г. // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2006 г. – Т. 6. № 4. – С. 37-39.
7. Бергер М. Г. Три гляциодинамические подвижки и четыре газодинамических выброса ледника Колка. Малоизвестные страницы и дискуссионные вопросы истории развития пульсирующего ледника. – М.: КомКнига, 2007а. – 120 с.
8. Бергер М. Г. Ледник Колка: Катастрофа 20 сентября 2002 г. – внезапный газодинамический выброс ледника. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007б. – 248 с.
9. Бергер М. Г. О необходимости проведения работ по предотвращению катастрофических пульсаций ледника Колка (К 5-й годовщине катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье) // Материалы VI Международной конференции «Инновационные технологии для устойчивого развития горных территорий». Владикавказ, 28-30 мая 2007 г. – Владикавказ: Терек, 2007 в. – С. 184-194.
10. Бергер М. Г. О предвестниках внезапного газодинамического выброса ледника Колка 20 сентября 2002 г. // Материалы VI Международной конференции «Инновационные технологии для устойчивого развития горных территорий». Владикавказ, 28-30 мая 2007 г. – Владикавказ: Терек, 2007 г. – С. 194-208.
11. Бергер М. Г. Геодинамическая система ледника Колка и вопросы прогнозирования и регулирования ее развития. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 264 с.

12. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. – М.: Мир, 1973. – 280 с.
13. Гляциологический словарь / Под ред. В. М. Котлякова. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 528 с.
14. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Невский Л. Н., Шемпелев А. Г. Особенности геофизических полей над вулканическими постройками Северного Кавказа // Вулканология и сейсмология. – 2015. – № 5. – С. 50-56.
15. Маэно Н. Наука о льде. – М.: Мир, 1988. – 231 с.
16. Мейер М. Опыт определения терминов бюджета массы ледников // Вопросы динамики и современной эволюции ледников. Сборник статей. – М.: Прогресс, 1964. – С. 114-125.
17. Муравьев Я. Д. Газовое извержение в цирке – возможная причина развития подвижки ледника Колка по катастрофическому сценарию // Материалы гляциологических исследований. – 2005. – Вып. 98. – С. 44-55.
18. Панов В. Д. Наступание ледника Колка в 1969-1970 годах // Сборник работ Ростовской гидрометеорологической обсерватории. – Ростов-на-Дону. – 1971. – Вып. XII. – С. 61-67.
19. Панов В. Д. Эволюция современного оледенения Кавказа. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 432 с.
20. Попов К. П. Травертины как летопись палеогидрогеологической и палеогеографической истории и ценные памятники природы // Вестник Северо-Осетинского отдела Русского геогр. общ-ва. – 2006. – № 10. – С. 24-32.
21. Рототаев К. П., Ходаков В. Г., Кренке А. Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. – М.: Наука, 1983. – 169 с.
22. Рототаева О. В., Котляков В. М., Носенко Г. А., Хмелевской И. Ф., Чернов Р. А. Исторические данные о подвижках ледников на Северном Кавказе и Кармадонская катастрофа 2002 г. // Материалы гляциологических исследований. – 2005. – Вып. 98. – С. 136-145.
23. Свансон Д. А., Касадевалл Т. Дж., Дзуризин Д., Ньюхолл С. С., Мэлоун С. Д., Вивер С. В. Прогнозы и предсказания извержений вулкана Сент-Хеленс, США // 27-й Международный геологический конгресс. СССР, Москва, 4-14 августа 1984: Землетрясения и предупреждение стихийных бедствий. Коллоквиум 06. Доклады. Т. 6. – М.: Наука, 1984. – С. 92-105.
24. Серебрянный Л. Р., Орлов А. В. Ледники в горах. – М.: Наука, 1985. – 160 с.
25. Тавасиев Р. А. Что спровоцировало Колку «на побег»? Северная Осетия. 19.01.2011. – № 6 (25786).
26. Тавасиев Р. А. Ледники Майли и Колка (Центральный Кавказ) // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2012. – Т. 12. № 3. – С. 37-45.
27. Тавасиев Р. А., Галушкин И. В. Каменно-ледовый обвал с горы Казбек 17 мая 2014 года // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2014. – Т. 14. № 2. – С. 43-45.
28. Шемпелев А. Г. Результаты глубинных геофизических исследований вдоль Геналдонского профиля // Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа: Труды Международной научно-практической конференции. Владикавказ, 20-22 сентября 2007 г. / Ред. В. Б. Заалишвили. – Владикавказ: ВНИЦ РАН и РСО-А, 2008. – С. 457-463.

29. Штебер Э. А. Ледниковые обвалы в истоках Геналдона // Терский сб. – Владикавказ. – 1903. – Вып. 6. – С. 233-248.

30. Шумский П. А. Механизм скольжения и релаксационные автоколебания ледников // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. – 1974. – Вып. 24. – С. 59-64.

ABOUT THE TIME OF POSSIBLE MANIFESTATION OF THE NEXT CATASTROPHIC PULSATION OF THE KOLKA GLACIER

© 2018 M. G. Berger, Sc. Doctor (Geol.-Min.), prof.

Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz,
Markov Str., 93 a, e-mail: berger7@rambler. ru

The most vivid and significant in its consequences events in the history of the Kolka glacier are its paroxysmal catastrophic outbursts of 2002, 1902, and 1752 and not having an exact dating repeatedly occurred earlier. It is quite clear that such catastrophic pulsations of the Kolka glacier will occur in the future.

In order to minimize the negative consequences of these pulsations, it is necessary first of all to forecast the time of their possible manifestation and to observe their precursors.

As a result of the sudden gas-dynamic outburst that occurred on September 20, 2002, the Kolka glacier was completely destroyed.

Currently, the glacier is being restored. However, before acquiring the properties of an impermeable (gas-resistant) barrier (which depends on the rate of conversion of glacial firn accumulating into the ice bed), the manifestation of its next catastrophic pulsation is impossible. The time required for such a transformation is several decades (from the moment of firn accumulation in the composition of the glacial sequence).

Keywords: Kolka Glacier, catastrophic pulsation, gas-dynamic outbursts of the glacier, forecast, precursors, firn, ice.

References

1. Berger M. G. O haraktere prirodnoj katastrofy 20 sentjabrja 2002 g. na lednike Kolka [About the nature of the natural disaster on September 20, 2002 on the Kolka Glacier]. Sbornik nauchnyh trudov Severo-Osetinskogo otdelenija AN VSh RF. No. 1. (I). Vladikavkaz, Terek, 2003. Pp. 16-17. (in Russian)
2. Berger M. G. Gazodinamicheskij vybros lednika Kolka 20 sentjabrja 2002 g. – novoe katastroficheskoe prirodnoe javlenie [The gas dynamic outburst of the Kolka glacier on September 20, 2002 is a new catastrophic natural phenomenon]. Preduprezhdenie opasnyh situacij v vysokogornyh rajonah, Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj konferencii, g. Vladikavkaz, 23-26 ijunja 2004 g. Vladikavkaz: REMARKO, 2004. Pp. 4-5. (in Russian)
3. Berger M. G. Prirodnaja katastrofa na lednike Kolka 20 sentjabrja 2002 g. – vne-zapnyj gazodinamicheskij vybros lednika [Natural catastrophe on the Kolka Glacier on September 20, 2002 – a sudden gas-dynamic outburst of the glacier]. Preduprezhdenie opasnyh situacij v vysokogornyh rajonah, Doklady Mezhdunarodnoj konferencii. Vladikavkaz-Moskva, 23-26 ijunja 2004 g. Vladikavkaz: Olimp, 2006a. Pp. 41-49. (in Russian)

4. Berger M.G. Dinamicheskie fazy i cikly razvitija lednika Kolka [Dynamic phases and cycles of development of the Kolka glacier]. Preduprezhdenie opasnyh situacij v vysokogornyh rajonah, Doklady Mezhdunarodnoj konferencii. Vladikavkaz-Moskva, 23-26 ijunja 2004 g. Vladikavkaz, Olimp, 2006b. Pp. 24-40. (in Russian)
5. Berger M.G. Gazodinamicheskiy vybros lednika Kolka 20 sentjabrja 2002 g. [The gas dynamic outburst of the Kolka Glacier on September 20, 2002]. Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN i RSO-A. 2006v. Vol. 6. No. 2. Pp. 33-37. (in Russian)
6. Berger M.G. O sobytii na lednike Kolka v 2 chasa 21 minutu 20 sentjabrja 2002 g. [About the event on the Kolka Glacier at 2 hours 21 minutes on September 20, 2002]. Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN i RSO-A. 2006g. Vol. 6. No. 4. Pp. 37-39. (in Russian)
7. Berger M.G. Tri gljaciodinamicheskie podvizhki i chetyre gazodinamicheskih vybrosov lednika Kolka. [Three glaciodynamic movements and four gas-dynamic outbursts of the Kolka glacier]. Maloizvestnye stranicy i diskussionnye voprosy istorii razvitija pul'sirujushhego lednika. M. KomKniga, 2007a. 120 p. (in Russian)
8. Berger M.G. Lednik Kolka: Katastrofa 20 sentjabrja 2002 g. – vnezapnyj gazodinamicheskiy vybros lednika [Glacier Kolka: The Catastrophe September 20, 2002 – a sudden gas-dynamic outburst of the glacier]. M. Izd-vo LKI, 2007b. 248 p. (in Russian)
9. Berger M.G. O neobходимosti provedenija rabot po predotvrashheniju katastroficheskih pul'sacij lednika Kolka (K 5-j godovshhine katastrofy na lednike Kolka i v Genaldonskom ushel'e) [About the need to carry out works to prevent catastrophic pulsations of the Kolka Glacier (To the 5th anniversary of the catastrophe on the Kolka Glacier and the Genaldon Gorge)]. Materialy VI Mezhdunarodnoj konferencii «Innovacionnye tehnologii dlja ustojchivogo razvitija gornyh territorij». Vladikavkaz, 28-30 maja 2007 g. Vladikavkaz: Terek, 2007v. Pp. 184-194. (in Russian)
10. Berger M.G. O predvestnikah vnezapnogo gazodinamicheskogo vybrosov lednika Kolka 20 sentjabrja 2002 g. [On the precursors of the sudden gas-dynamic outburst of the Kolka glacier on September 20, 2002]. Materialy VI Mezhdunarodnoj konferencii «Innovacionnye tehnologii dlja ustojchivogo razvitija gornyh territorij». Vladikavkaz, 28-30 maja 2007 g. Vladikavkaz: Terek, 2007g. Pp. 194-208. (in Russian)
11. Berger M.G. Geodinamicheskaja sistema lednika Kolka i voprosy prognozirovanija i regulirovanija ee razvitija [The geodynamic system of the Kolka glacier and the problems of forecasting and regulating its development]. M. Izd-vo LKI, 2008. 264 pp. (in Russian)
12. Glensdorf P., Prigozhin I. Termodinamicheskaja teorija struktury, ustojchivosti i fluktuacij [The thermodynamic theory of structure, stability, and fluctuations]. M. Mir, 1973. 280 p. (in Russian)
13. Gljaciologicheskij slovar' [The Glaciological Dictionary]. Pod red. V.M. Kotljakova. L. Gidrometeoizdat, 1984. 528 p. (in Russian)
14. Zaalishvili V.B., Nevskaja N.I., Nevskij L.N., Shempelev A.G. Osobennosti geofizicheskikh polej nad vulkanicheskimi postrojkami Severnogo Kavkaza [Features of geophysical fields over volcanic structures of the North Caucasus]. Vulkanologija i sejsmologija. 2015. No. 5. Pp. 50-56. (in Russian)
15. Majeno N. Nauka o l'de [The science of ice]. M. Mir, 1988. 231 p. (in Russian)
16. Mejer M. Opyt opredelenija terminov bjudzheta massy lednikov [The experience of determining the terms of the mass budget of glaciers]. Voprosy dinamiki i sovremennoj jevoljucii lednikov. Sbornik statej. M. Progress, 1964. Pp. 114-125. (in Russian)
17. Murav'ev Ja.D. Gazovoe izverzhenie v cirke – vozmozhnaja prichina razvitija podvizhki lednika Kolka po katastroficheskomu scenariju [Gas eruption in the circus is a possible cause of development of the Kolka glacier movement in a catastrophic scenario]. Materialy gljaciologicheskikh issledovanij. 2005. Issue 98. Pp. 44-55. (in Russian)
18. Panov V.D. Nastupanie lednika Kolka v 1969-1970 godah [The advance of the Kolka glacier in 1969-1970]. Sbornik rabot Rostovskoj gidrometeorologicheskoy observatorii. Rostov-na-Donu. 1971. Issue XII. Pp. 61-67. (in Russian)

19. Panov V.D. Jevoljucija sovremennogo oledeneniya Kavkaza [Evolution of the modern glaciation of the Caucasus]. SPb. Gidrometeoizdat, 1993. 432 p. (in Russian)
20. Popov K.P. Travertiny kak letopis' paleogidrogeologicheskoj i paleo-geo-graficheskoj istorii i cennye pamjatniki prirody [Travertines as a chronicle of paleohydrogeological and paleogeographical history and valuable monuments of nature]. Vestnik Severo-Osetinskogo otdela Russkogo geogr. obshh-va. 2006. No. 10. Pp. 24-32. (in Russian)
21. Rototaev K.P., Hodakov V.G., Krenke A.N. Issledovanie pul'sirujushhego lednika Kolka [Study of the pulsating glacier Kolka]. M. Nauka, 1983. 169 p. (in Russian)
22. Rototaeva O.V., Kotljakov V.M., Nosenko G.A., Hmelevskoj I.F., Chernov R.A. Istoricheskie dannye o podvizhkah lednikov na Severnom Kavkaze i Karmadonskaja katastrofa 2002 g. [Historical data on the advances of glaciers in the North Caucasus and the 2002 Karmadon disaster]. Materialy gl'ciologicheskikh issledovanij. 2005. Issue 98. Pp. 136-145. (in Russian)
23. Svanson D.A., Kasadevall T.Dzh., Dzurizin D., N'juholl S. S., Mjeloun S.D., Viver S.V. Prognozy i predskazaniya izverzhenij vulkana Sent-Helens, SShA [Forecasts and predictions of volcanic eruptions in St. Helens, USA]. 27-j Mezhdunarodnyj geologicheskij kongress. SSSR, Moskva, 4-14 avgusta 1984. Zemletrjasenija i preduprezhdenie stihijnyh bedstvij. Kollokvium 06. Doklady. Vol. 6. M. Nauka, 1984. Pp. 92-105. (in Russian)
24. Serebrjannyj L. R., Orlov A. V. Ledniki v gorah [Glaciers in the mountains]. M. Nauka, 1985. 160 p. (in Russian)
25. Tavasiev R.A. Chto sprovocirovalo Kolku «na pobeg»? [What provoked Kolka «to escape»?]. Severnaja Osetija. 19.01.2011. No. 6. (25786). (in Russian)
26. Tavasiev R.A. Ledniki Majli i Kolka (Central'nyj Kavkaz) [Glaciers Miley and Kolka (Central Caucasus)]. Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN i RSO-A. 2012. Vol. 12. No. 3. Pp. 37-45. (in Russian)
27. Tavasiev R.A., Galushkin I.V. Kamunno-ledovyj obval s gory Kazbek 17 maja 2014 goda [Stone-ice collapse from Mount Kazbek on May 17, 2014]. Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN i RSO-A. 2014. Vol. 14. N. 2. Pp. 43-45. (in Russian)
28. Shempelev A.G. Rezul'taty glubinyh geofizicheskikh issledovanij vdol' Genaldonskogo profilja [The results of deep geophysical studies along the Genaldon profile]. Opasnye prirodnye i tehnogennye geologicheskie processy na gornyh i predgornyh territorijah Severnogo Kavkaza, Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii. Vladikavkaz, 20-22 sentjabrja 2007 g. Red. V. B. Zaalishvili. Vladikavkaz, VNC RAN i RSO-A, 2008. Pp. 457-463. (in Russian)
29. Shteber Je.A. Lednikovye obvaly v istokah Genaldona [Glacial landslides in the headwaters of Genaldon]. Terskij sb. Vladikavkaz. 1903. Issue 6. Pp. 233-248. (in Russian)
30. Shumskij P.A. Mehanizm skol'zhenija i relaksacionnye avtokolebanija lednikov [Mechanism of sliding and relaxation self-oscillations of glaciers]. Materialy gl'ciologicheskikh issledovanij. Hronika, obsuzhdenija. 1974. Issue 24. Pp. 59-64. (in Russian)

УДК: 553.4:553.0461

DOI 10.23671/VNC.2018.1.11242

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ МИЗУРСКОЙ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ (УНАЛЬСКОЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ, РЕСПУБЛИКА СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ) КАК ОСНОВА ДЛЯ ОЦЕНКИ МАСШТАБОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИМИ ПОЧВ ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

© 2018 А. Г. Гурбанов^{1, 2}, к. г.-м. н., А. Г. Кусраев², д. ф.-м. н., проф., А. Б. Лолаев^{2, 3}, д. т. н., С. О. Дзедобоев³, В. М. Газеев^{1, 2}, к. г.-м. н., А. Б. Лексин¹, Л. Е. Цуканова⁴, А. Х. Оганесян^{2, 3}, к. т. н., В. Э. Илаев³, О. А. Гурбанова⁵, к. х. н., М. Н. Баранова¹

¹ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 351;

²ФГБУН Федеральный научный центр «Владикавказский научный центр РАН», Россия, 362027, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркуса, 22, e-mail: ag.gurbanov@iyandex.ru.

³ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», Россия, 362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44;

⁴Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета, Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194;

⁵ФГБОУВО Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1

Установленные нами в 2009-10 гг. аномально высокие концентрации в лежалых песках и глинах из поверхностного слоя (0,5 м) пляжной части хвостохранилища: **S** (9–19; 1,3–10,8 мас. %), **Cu** (14750–27410; 960–13210 – здесь и далее в г/т), **Zn** (57620–90350; 3990–41720), **Pb** (63040–124220; 4130–55910), **As** (225–1750; 140–355), **Sb** (19090–38350; 4760–10450), **Sn** (3050–5680; 1170–2850) могут быть объяснены: а) периодическими изменениями в технологическом процессе флотационного обогащения или же поступлением на фабрику других типов полиметаллических руд в течение 2009–2010 гг.; б) переизмельчением руд при их дроблении, что приводило к резкому снижению флотационных свойств рудных минералов, которые «уходили» в отвальные хвосты глинистой, т-з и м-з фракций; в) или серьезными и частыми (фиксируются частыми появлениями тонких прослоев глин в песках с аномально высокими содержаниями рудных элементов), за этот период времени, сбоями процесса флотации. На основании геохимических исследований (2009–2010, 2015–2016 гг.) проб лежалых хвостов установлено, что максимальные концентрации экономически ценных и экологически опасных элементов приурочены к глинистой и тонкозернистой песчаной фракциям.

Доказано, что Унальское хвостохранилище является основным и постоянным техногенным источником сильного загрязнения прилегающих территорий (почв природных пастбищ, сельхозугодий и гидросферы). Установлено, что лежащая на поверхности хвостохранилища тонкодисперсная и наиболее обогащенная экологически опасными элементами фракция, в виде пылевых облаков, возникающих при практически постоянном сильном ветре, дующем вдоль долины, загрязняет почву пастбищ, сельхозугодий

дий и может негативно влиять на здоровье населения поселков Зинцар, Архон, Дагом, Унал, Биз и, возможно, Мизур, так как экологически опасные элементы (As, Sb, Cd, V, Li, Pb, Zn и др.) будут постоянно поступать из хвостохранилища, загрязняя почвы, и накапливаясь в них.

Доказано, что вниз по разрезу в керне скважины №1, происходит увеличение (в разной мере) содержания TiO_2 , S, V, Ni, Cu, Sr, Zr, Ba, а в керне скважины №2 – увеличивается концентрация только серы. Показано, что средние содержания (в г/т) широкого круга макро- и микроэлементов в керне скважины №2, пробуренной в южной части хвостохранилища, немного выше, чем в керне скважины №1, пробуренной в его северной части. Исключения составляют только **S, Cu, Zn**. Опыт бурения двух скважин на глубины 4,5 и 9 м показал, что для получения информации о характере распределения экономически ценных и экологически опасных элементов в вертикальном разрезе лежалых хвостов необходимо пробурить несколько скважин на всю мощность хвостов (до 30 м). Это станет возможным только при использовании специального оборудования, необходимого для проходки горизонта «песков пльвунов».

Ключевые слова: хвостохранилище, промышленные отходы флотации полиметаллических руд, характер распределения элементов в вертикальном разрезе хвостохранилища, аномальные концентрации элементов.

Введение

В Садонском рудном районе до начала 90-х годов прошлого столетия действовало семь рудников Садонского свинцово-цинкового комбината (ССЦК), руды с которых поступали на Мизурскую горно-обогатительную фабрику (МГОФ), расположенную в пос. Мизур, в 10 км южнее сел. Унал. Фабрика работает с марта 1929 года и до сих пор. Вместе с Унальским хвостохранилищем она является главным источником техногенного загрязнения тяжелыми металлами (ТМ) окружающей среды в Алагирском районе. Производительность фабрики достигала 20000 тонн руды в сутки. Полученные селективной флотацией концентраты содержали: *Pb, Bi, Sb, Ag, Au, Cu, Zn, Co, As* в свинцовом концентрате; и *Zn, Cd, Co, Pb, S, Sb, Ag, Fe, In* – в цинковом. Концентраты автотранспортом доставлялись на завод «Электроцинк» в г. Владикавказ для последующей переработки. Очень важно отметить, что на протяжении 55 лет (до 1 января 1984 года) промышленные отходы МГОФ от передела руд («хвосты») складировались в чаше **временного** хвостохранилища (в узкой боковой долине левого притока р. Ардон), расположенного над пос. Мизур. МГОФ в этот период времени работала в режиме зимнего хранения хвостов и ежегодного полного их сбрасывания в р. Ардон в паводковый период. Это вместе с попаданием в реку шахтных и производственных стоков привело к сильному загрязнению речной воды и донных отложений *Pb, Zn, Cu, Cd, Ag* и др. на всем ее протяжении до впадения в р. Терек и, возможно далее, вплоть до Каспия, что могло привести к экологической катастрофе федерального значения. Поэтому, в 1984 г., в левом борту долины р. Ардон, в ее пойме, в 500 м севернее сел. Унал, было построено новое Унальское хвостохранилище МГОФ. Его ложем являются аллювиальные галечники р. Ардон. С запада оно ограничено федеральной автодорогой «Транскам», его восточный борт отделен от русла реки насыпной дамбой, укрепленной с низовой стороны железобетонной подпорной стеной со сквозными «шпорами» высотой 5 м. Общая длина дамбы около 1 км при высоте около 30 м. В чаше хвостохранилища устроено водосборное сооружение шахтного типа с отводящим трубопроводом, по которому осуществляется сброс в р. Ардон осветленной части пульпы, поступающей в хвостохранилище с МГОФ. По гребню дамбы проложен пульпопровод для слива пульпы в хвостохранилище. С низового бьефа дамбы у водосборного колодца установлены насосы для подачи осветленной части пульпы («воды») в хвостохра-

нилище для пылеподавления намывного пляжа в верхнем бьефе. Хвостохранилище имеет овальную форму (рис. 1): его длина – 1 км, ширина (максимальное значение) – 300 м; площадь – 16 га. Объем накопившихся с 1984 г. хвостов – около 3 млн. тонн.

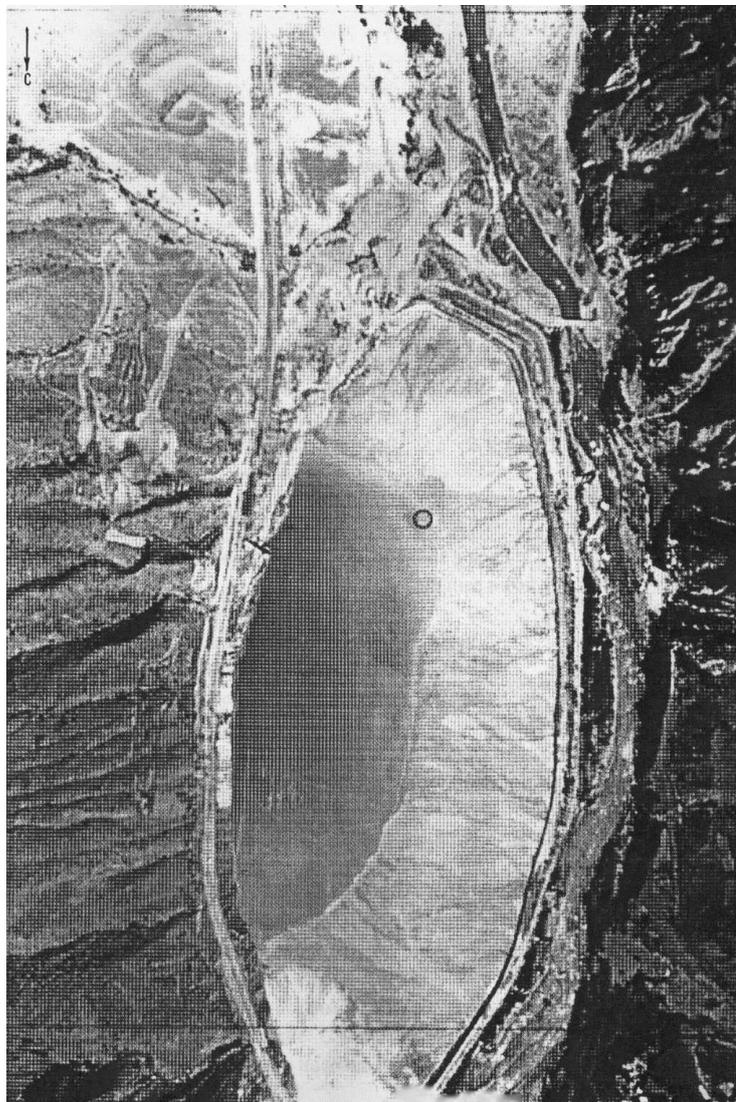


Рис. 1. Общий вид на Уральское хвостохранилище.

По данным МГОФ в хвостах содержатся, в незначительных количествах, следующие рудные минералы: сфалерит, галенит, пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, борнит, марказит и магнетит; нерудные минералы – кварц, хлорит, сидерит, кальцит. По данным МГОФ на 1.01.1998 года объем хвостов составил 3766 тысяч тонн, в том числе 6448 тонн Pb, 5955 тонн Zn, 18 тонн Bi, 14 тонн Cd, 19 кг Au, 13551 кг Ag. Геохимическими исследованиями лежалых песков и глин из сухой пляжной части хвостохранилища установлены следующие средние концентрации металлов (в % $\times 10^{-3}$): 40 – Cu, 235 – Zn, 193 – Pb, 2,1 – Ni, 2,8 – Co, 16 – Cr, 4 – V, 0,5 – Mo, 0,4 – Ag, 190 – Mn, 28 – As, 1,3 – Sn, 2,3 – Bi, 168 – Ti, 14 – Zr, 46 – P, 1,2 – B, 0,6 – Cd [Газданов и др., 1996]. По результатам дисперсионного анализа хвостов МГОФ (1988 г.) большая часть свинца приурочена к самой мелкой фракции ($<0,006$ мм), для цинка также характерно распределение по 4-м мелким фракциям ($<0,044$ мм). [Газданов и др., 1996].

Во исполнение постановления Министерства геологии СССР были проведены исследования по Программе «Охрана природы и рациональное использование природных ресурсов» от 31.03.1981 г., с 1982 г. начали проводиться целенаправленные эколого-геохимические исследования на территории Северной Осетии и, в первую очередь, в районе деятельности ССЦК. Они проводились в течение нескольких лет силами Центральной опытно-методической геохимической экспедиции ИМГРЭ. Большой вклад в изучение механизмов негативного воздействия захороненных промышленных отходов МГОФ и шахтных вод ССЦК на экологическую обстановку прилегающих территорий и в выявление форм водной миграции тяжелых металлов в почвах, растительности и сельхозпродуктов, внесли производственные геологи [Газданов и др., 1996], ОМЭ ИМГРЭ и ученые кафедры геохимии МГУ им. М.В. Ломоносова [Вагин, Голик, 2005; Жариков и др. 2001; Матвеев и др., 2004; Пряничникова и др., 2000; Пряничникова, 1999, 2004а, б, 2005], в том числе и изложенные в серии статей и в кандидатской диссертации Е.В. Пряничниковой. Вышеуказанные организации (ОМЭ ИМГРЭ, Севосгеонаука и МГУ) с 1982 по 2004 гг. периодически проводили полевые исследования в районе деятельности ССЦК и Унальского хвостохранилища, включающие: а) эколого-геохимическое картирование территории с опробованием почв, поверхностных вод и донных отложений водотоков; б) мониторинговые исследования в районе хвостохранилища с опробованием почв, растительности, поверхностных вод, рудничных вод, отвалов пород и руд из разведочных штолен, сухой пляжной части с поверхности хвостохранилища и пылевых выпадений. Для реализации поставленных задач были разработаны конкретные методики опробования. Так, пробы почв отбирались с поверхности (10-15 см), по 9-ти профилям, ориентированным вкрест простирания предполагаемой техногенной аномалии. Опробование проводилось по сети 200x50 м. Для выявления глубины проникновения загрязнения проходились шурфы глубиной до 1 м с послойным опробованием через 0,2 м. Опробование донных отложений проводилось из русел рр. Майрамдон и Уналдон из песчано-глинистой фракции руслового аллювия с шагом 100-250 м. Пробы воды отбирались по разреженной сети: расстояние между пунктами опробования 1000-1500 м. Опробование рудничных вод проводилось в местах их излияния из штолен, а также из рек в 100 м выше и ниже по течению от места впадения в них рудничных вод. Опробование представительных видов растительности (листьев и плодов яблонь, картофеля, кукурузы, спилов деревьев) проводилось параллельно с отбором проб почв (на нижних террасах р. Ардон – с каждой 3-й пробой почв, а на остальной территории – с каждой 5-7-й пробой). Опробование хвостохранилища проводилось с поверхности по периметру (по сухой пляжной части на глубину 20-30 см) с шагом в 100 м. Для оценки количества пылевых выпадений в 1998-2000 гг. использовались смывы с листьев и плодов яблони, в 2003 г. пыль собиралась в специальные емкости с водой. После фильтрации через фильтр «синяя лента», анализировались как твердая, так и жидкая фазы атмосферных выпадений.

Для определения концентраций химических элементов в пробах почв, донных отложений, отвалов пород и руд из разведочных штолен, промышленных отходов с сухой пляжной части хвостохранилища и растительности использовался приближенно-количественный спектральный анализ, который выполнялся в лаборатории Опытной-методической экспедиции (ОМЭ) ИМГРЭ.

Сейчас, по данным МГОФ, в хвостохранилище захоронено 2,6 млн. тонн промышленных отходов с содержаниями: Pb – 0,21% – запасы – 5460 т.; Zn – 0,32%

– запасы – 8320 т.; *Cu* – 0,1% – запасы 2600 т.; *Fe* – 6,2% – запасы – 161200 т.; *Ti* – 0,18% – запасы – 4680 т.; *Mn* – 0,16% – запасы – 4160 т.; *Ag* – 4,2 г/т. – запасы – 10,92 т.

Методики отбора проб и их аналитических исследований

На этапе исследований 2015 г., с учетом полученной в процессе полевых работ информации о состоянии пляжной части хвостохранилища и площади зеркала «защитного» озера на этот период времени, было проведено опробование сухого пляжа на севере хвостохранилища. В западной части этого пляжа отобраны пробы 68-68-5/15; в центральной – проба 69/15, а в восточной – пробы 70-70-1/15. Произвести опробование как в западной части хвостохранилища, закрытой зеркалом воды, так в восточной и южной, где в это время происходил намыв хвостов, не удалось по техническим причинам.

Для всех проб, с помощью GPS-приемника фиксировались географические координаты и высотные отметки, которые заносились в базу данных, и проводилась их фотодокументация. Пробы отбирались с помощью пробоотборника на глубину до 0,3 м. Это делалось для получения информации о содержании в этом материале экономически ценных и экологически опасных элементов, которые разносятся постоянно дующими здесь ветрами, в виде пылевых облаков, на поселки Зинцар, Унал, Дагом и даже на пос. Мизур и Верхний Згид, загрязняя почвы их сельхозугодий и природных пастбищ. Для чистоты эксперимента нами отбирались пробы различного гранулометрического состава: глинистая фракция, переслаивающиеся мелкозернистые (м-з) пески и глины, переслаивающиеся тонко- (т-з) и мелкозернистые пески, переслаивающиеся средне- (с-з) и крупнозернистые (к-з) пески. В итоге, из пляжной части хвостохранилища были взяты пробы из всех гранулометрических разновидностей захороненного материала. Для получения информации о поведении ряда элементов в вертикальном разрезе захороненных промышленных отходов на всю их мощность (порядка 30 м), в 2015 г. впервые были пробурены две скважины: № 1 в северной части (сухой пляж), глубиной 9 м, где длительное время не было намыва хвостов; и № 2 в южной части хвостохранилища, глубиной 4,5 м (бурение производилось с дощатого настила), где последние 5 лет происходил постоянный намыв хвостов. Однако, пробурить с помощью шнека эти скважины на всю мощность промышленных отходов не удалось по техническим причинам. Они заключались в том, что в южной части хвостохранилища ниже глубины 4,5 м, а в северной – ниже глубин 9 м начались сильно обводненные глины, т-з и м-з пески с консистенцией «песков-плывунов» и происходило «засасывание» бурового снаряда, а при подъеме буровой колонны обводненная масса быстро заполняла этот участок ствола скважины и дальнейшее бурение, без специального оборудования, не имело смысла. Длина керна для опробования определялась длиной шнека – 1,5 м. Из шнека, для геохимических исследований, каждые 1,5 м отбирались пробы методом пунктирной борозды весом 100 г каждая. Так, в скважине № 1 пробами охарактеризованы интервалы: 0-3 м, 3-6 м и 6-9 м; а в скважине № 2: 0-1,5 м, 1,5-3 м и 3-4,5 м. Остатки от керна скважин были объединены в сводные пробы для последующих технологических исследований. Каждая геохимическая проба весом не менее 100 г упаковывалась в двойной полиэтиленовый пакет для длительного хранения, чтобы избежать разложения возможных вторичных (гипергенных) водосодержащих минералов.

Подготовка проб для анализов. Пробы, отобранные из захороненных промышленных отходов, высушивались, а затем из каждой пробы делалась отквартовка весом по 20 грамм, что достаточно для всех видов аналитических исследований. После этого все отквартованные части проб дробились и истирались до размера 100 меш.

Аналитические исследования выполнялись в лаборатории «Анализа минерального вещества» ИГЕМ РАН. Анализ химического состава проб и определения в них содержаний ряда микроэлементов выполнен методом рентгено-флюоресцентной спектрометрии (РФА) на спектрометре последовательного действия PW-2400 производства компании Philips Analytical B. V. (Нидерланды, 1997). При калибровке спектрометра использованы отраслевые и государственные стандартные образцы горных пород и минерального сырья (14 ОСО, 56 ГСО). Качество результатов соответствует требованиям III категории точности количественного анализа по ОСТ РФ 41-08-205-99. Подготовка препаратов для анализа оксидов породообразующих элементов выполнена путем плавления 0,3 г порошка пробы с 3 г тетрабората лития в индукционной печи с последующим отливом гомогенного стеклообразного диска. Подготовка препаратов для анализа микроэлементов выполнена путем прессования 1 грамма порошка пробы с полистиролом под давлением 5 т/см². Потери при прокаливании (LOI) определялись гравиметрическим способом. Время выдержки при температуре 950°C составляло 30 мин.

Результаты геохимических исследований и их обсуждение

При проведении комплексных геохимических исследований использовались прецизионные методы анализа вещества – РФА и ICP MS, что резко повысило надежность полученных данных о концентрациях широкого круга элементов в исследуемом материале. Так, в 2009-2010 гг. при проведении исследований [Гурбанов и др., 2012] опробованы и проанализированы пробы лежалых песков и глин с поверхности (глубиной до 0,5 м) пляжей в южной, восточной и северной частях хвостохранилища. В черных и бурых глинах установлены вариации содержаний (в г/т) следующих элементов: $Cu=14750-27410$; $Zn=57620-90350$; $Pb=63040-124220$; $As=225-1750$; $Sb=19090-38350$; $Sn=3050-5680$, а $S=9,7-19,0$ мас. %; в тонко переслаивающихся мелкозернистых (м-з) песках и бурых глинах: $Cu=960-13210$; $Zn=3990-41720$; $Pb=4130-55910$; $As=140-355$; $Sb=4760-10450$; $Sn=1170-2850$, а $S=1,3-10,8$ мас. %; в переслаивающихся серых тонкозернистых (т-з) и м-з песках: $Cu=490$; $Zn=5050$; $Pb=1070$; $As=163$, а $S=2,71$ %; в зеленовато-сером м-з песке: $Cu=740-1110$; $Zn=1770-5670$; $Pb=2610-9950$; $As=141-200$; $Sb=880$, а $S=1,2-2,0$ мас. %; в переслаивающихся среднезернистых (с-з) и крупнозернистых (к-з) песках: $Cu=5920$; $Zn=19360$; $Pb=11460$; $As=452$; $Sb=8640$; $Sn=490$, а $S=6,94$ мас. %. Из приведенных данных видно, что:

– в поверхностном 0,5 м слое лежалых хвостов наблюдаются большие вариации в содержании широкого круга элементов. Причем, их максимальные значения установлены в южной, юго-восточной и восточной частях хвостохранилища (т. е. в местах, где происходит намыв хвостов), а минимальные – на северной сухой пляжной части хвостохранилища, где длительное время не было намыва хвостов и происходит постоянная ветровая эрозия тонкодисперсной фракции;

– выявлена закономерная зависимость величин концентраций элементов от гранулометрического состава лежалых хвостов, заключающаяся в том, что максимальные концентрации экономически ценных и экологически опасных элементов в тонкодисперсной (глинистой, т-з и м-з песчанистой) фракции значительно выше, чем в более крупнозернистой фракции;

– полученные данные о концентрации ряда элементов оказались значительно выше концентраций этих же элементов в сухом поверхностном слое хвостохранилища, по сравнению с данными предыдущих исследователей, полученными менее надежными методами (полуколичественный спектральный анализ). Следовательно, если такие аномально высокие концентрации будут наблюдаться на всю мощность лежалых хвостов, то не исключено, что запасы ценных металлов (Zn, Pb, Cu, Sb, Cd, Ag и др.) окажутся более высокими, чем подсчитанные в МГОФ. Это делает проект полной утилизации промышленных отходов, с предварительным извлечением из них экономически ценных и экологически опасных элементов, экономически более привлекательным. Для выявления закономерностей в поведении ряда рудных элементов в толще хвостов в северной, сухой пляжной части хвостохранилища, проведено опробование всех гранулометрических разновидностей хвостов на глубину 0,3 м. Кроме того, опробован керн двух скважин, пробуренных в северной и южной частях хвостохранилища. Результаты исследования этих проб методом РФА приведены в таблице № 1.

Из приведенных данных видно, что:

– имеется отчетливо выраженная разница в гранулометрическом составе поверхностного слоя (0,3 м) пляжной части (север хвостохранилища) лежалых хвостов с востока на запад. В **восточной части пляжа** он сложен (сверху вниз): тонким переслаиванием (мощность 6 см) черных и белых мелкозернистых (м-з) песков (проба № 70/15) и однородными среднезернистыми (с-з) песками (мощность 24 см, проба 70-1/15); в **центральной части пляжа** он сложен однородными м-з серыми песками (мощность 30 см, проба 69/15); в **западной части** – он сложен: с-з серо-коричневыми песками (мощность 5 см, проба № 68/15), черными м-з песками (мощность 3 см, проба № 68-1/15), серыми с-з песками (мощность 2 см, проба 68-2/15), красными крупнозернистыми (к-з) песками (мощность 3 см, проба № 68-3/15), глиной белой (мощность 3 см, пробы №№ 68-4а и 68-4/15), серым м-з песком (мощность 10 см, проба № 68-5/15). В этом же направлении фиксируется и геохимическая неоднородность, выраженная в вариации средних концентраций оксидов (в мас. %) и элементов (в г/т) в поверхностном (0,3 м) слое пляжа лежалых хвостов на севере хвостохранилища: TiO_2 -0,33-0,27-0,21 (здесь и далее в восточной – центральной – западной частях пляжа, соответственно); MnO – 0,16-0,09-0,13; Fe_2O_3 -7,7-4,5-3,8; S – 1,2-1,6-1,0%; Cr – 576-105-1821; Cu – 21183-870-6470; Zn – 31412-7055-10309; Pb – 47411-5658-71954; Rb – 1209-201-2326; Sr – 193-49-68; Ba – 2705-955-1170; As – 1878-427-270. Минимальные концентрации MnO и большинства элементов наблюдаются в м-з серых песках в центральной части пляжа.

– в поверхностном слое (0,3 м) лежалых хвостов пляжа в северной части хвостохранилища максимальные концентрации широкого круга элементов установлены в тонкодисперсной фракции (глины, тонко- и мелкозернистые пески).

В процессе экспедиционных работ авторы статьи регулярно наблюдали возникновение, при практически постоянных ветрах, дующих вдоль долины р. Ардон, над пляжной частью пылевых облаков, которые быстро достигали сел. Зинцар, Дагом,

Унал, Архон, и скорее всего, загрязняли почвы огородов местных жителей и природных пастбищ. Важно отметить, что процесс ветровой эрозии тонкозернистого материала с сухой пляжной части хвостохранилища является практически постоянным и должен сильно загрязнить тяжелыми металлами почвы прилегающих территорий. Для проверки этого предположения были отобраны и проанализированы пробы почв с огородов и природных пастбищ в поселках Зинцар, Унал и Архон. Анализ полученных результатов геохимических исследований [Лолаев и др., 2017] показал, что:

а) В наиболее удаленном (до 5 км) от хвостохранилища с. Архон в пробах почв сельхозугодий (огородов) установлены превышения (в разы) ПДК: для Ni – в 11,2; для Pb в 13-14,7; для Zn – в 18,7; для As – в 11,5-17; для Cu – в 2-20; в пробах почв природных пастбищ установлены превышения (в разы) ПДК для Ni – в 11,2; для Pb в 9,8-97,4; для Zn – в 18,7-28,4; для As – в 9,5-19; для Cu – в 21-29,7.

б) В с. Унал, расположенном в 500 м южнее хвостохранилища, в пробах почв сельхозугодий (огородов) установлены превышения (в разы) ПДК: для Pb – 10,6; для As – 12,5; для Ni – в 11,2; для Cu – в 19; для Zn – в 20,6; в пробах почв природных пастбищ установлены превышения (в разы) ПДК: для Pb – в 10,2-16,6; для As – в 13,5-40; для Ni – в 11,2; для Cu – в 24-38; для Zn – в 20,5-26,5.

в) В с. Зинцар, расположенном напротив хвостохранилища, в пробах почв сельхозугодий (огородов) установлены превышения (в разы) ПДК: для Ni в 11,5; для Pb – в 17,8-19; для As в 3; для Cu – в 27; для Zn – в 3-30,2; в пробах почв природных пастбищ установлены превышения (в разы) ПДК: для Ni – в 11,2-12,7; для Pb – 9,9-25,5; для As – в 15,5-23; для Cu – в 18-19,3; для Zn – в 15,8-20,5.

Из анализа приведенных данных видно, что при ветровой эрозии сухой пляжной части хвостохранилища происходит сильное загрязнение почв прилегающих территорий и, что особенно опасно, почв огородов жителей селений высоко- и умеренно опасными элементами и, что этот процесс будет продолжаться до полной утилизации хвостов.

Анализ результатов геохимических исследований керн двух скважин показал, что:

– в скважине № 1, пробуренной на глубину 9 м в центре сухого пляжа в северной части хвостохранилища, опробованы и проанализированы интервалы: 0-3 м; 3,0-5,0 м; и 5,0-9,0 м. Установлено, что с глубиной происходит (табл. 1) как **увеличение** концентраций (в мас. %; TiO_2 – с 0,26 до 0,28; S – с 2,31 до 2,55) и микроэлементов (в г/т, V – с 32 до 66; Ni – с 15 до 20; Cu – с 435 до 817; Sr – с 124 до 396; Zr – с 80 до 85; Ba – с 3258 до 20600), так и их уменьшение (MnO – с 0,30 до 0,25; Fe_2O_3 – с 7,67 до 5,24; Cr – с 192 до 34; Co – с 11 до 9; Zn – с 5924 до 3136; Rb – с 152 до 139; Pb – с 3974 до 2246; As – с 394 до 204).

– в скважине № 2, пробуренной на глубину 4,5 м в центре южной части хвостохранилища, опробованы и проанализированы интервалы: 0-1,5 м; 1,5-3,0 м; и 3,0-4,5 м. Установлено, что с глубиной происходит (табл. 1) уменьшение концентраций (в мас. %; TiO_2 – с 0,5 до 0,34; MnO – с 0,29 до 0,26; Fe_2O_3 – с 7,58 до 6,49) и микроэлементов (в г/т, Cr – с 129 до 76; V – с 71 до 35; Ni с 25 до 13; Cu с 813 до 378; Zn с 4923 до 2686; Rb – с 184 до 141; Sr с 67 до 62; Ba с 686 до 636; Pb – с 5505 до 2271; As – с 510 до 214) и слабое **увеличение** концентрации только S (с 1,29 до 1,47 мас. %).

Таблица 1.

Содержания (в г/т) макро- и микроэлементов в лежалых хвостах из керн скважин и поверхностного слоя пляжа в северной части хвостохранилища по данным РФА

| Номер пробы | TiO ₂ (%) | MnO (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | S (%) | Cr (ppm) | V (ppm) | Co (ppm) | Ni (ppm) | Cu (ppm) | Zn (ppm) | Rb (ppm) | Sr (ppm) | Zr (ppm) | Ba (ppm) | Pb (ppm) | As (ppm) |
|----------------|-------------------------|------------|---------------------------------------|----------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 68/15 | 0,27 | 0,29 | 9,93 | 1,20 | 685 | 49 | 16 | 326 | 32124 | 53509 | 1314 | 366 | 77 | 4773 | 57593 | 6290 |
| 68-1/15 | 0,21 | 0,23 | 14,72 | 1,76 | 1184 | <10 | 44 | 1213 | 75530 | 60928 | 2047 | 309 | 85 | 4975 | 75943 | 1422 |
| 68-2/15 | 0,42 | 0,14 | 5,44 | 1,17 | 621 | 33 | 19 | 147 | 8275 | 19433 | 1094 | 132 | 104 | 2119 | 52791 | 638 |
| 68-3/15 | 0,35 | 0,19 | 7,91 | 0,85 | 924 | 25 | 44 | 440 | 23984 | 36026 | 2514 | 349 | 91 | 4402 | 85638 | 2173 |
| 68-4а | 0,34 | 0,09 | 5,58 | 0,94 | 115 | 39 | 18 | 35 | 3148 | 19943 | 506 | 65 | 100 | 765 | 17509 | 1124 |
| 68-4/15 | 0,34 | 0,09 | 5,58 | 0,96 | 105 | 39 | 15 | 34 | 3123 | 20147 | 511 | 63 | 100 | 793 | 17358 | 1122 |
| 68-5/15 | 0,37 | 0,11 | 4,51 | 1,42 | 397 | 42 | 13 | 37 | 2096 | 9895 | 477 | 68 | 129 | 1109 | 25045 | 374 |
| Среднее | 0,328 | 0,16 | 7,67 | 1,2 | 576 | 33,7 | 24,1 | 319 | 21183 | 31412 | 1209 | 193 | 98 | 2705 | 47411 | 1878 |
| 69/15 | 0,27 | 0,09 | 4,51 | 1,61 | 105 | 28 | 14 | 16 | 870 | 7055 | 201 | 49 | 112 | 955 | 5658 | 427 |
| 70/15 | 0,18 | 0,15 | 3,80 | 0,75 | 2979 | <10 | 31 | 775 | 10972 | 10563 | 4059 | 81 | 83 | 1148 | 110011 | 321 |
| 70-1/15 | 0,24 | 0,11 | 3,79 | 1,33 | 663 | 16 | 16 | 67 | 1968 | 10054 | 593 | 55 | 89 | 1193 | 33896 | 218 |
| Среднее | 0,21 | 0,13 | 3,8 | 1,04 | 1821 | 12,5 | 23,5 | 421 | 6470 | 10309 | 2326 | 68 | 86 | 1171 | 71954 | 270 |
| Скв10-3 м. | 0,26 | 0,30 | 7,67 | 2,31 | 192 | 32 | 11 | 15 | 435 | 5924 | 152 | 124 | 80 | 3258 | 3974 | 394 |
| Скв 13-5 м. | 0,40 | 0,31 | 6,74 | 1,39 | 58 | 55 | 10 | 15 | 549 | 7636 | 152 | 90 | 103 | 2587 | 3754 | 282 |
| Скв 15-9 м. | 0,28 | 0,25 | 5,24 | 2,55 | 34 | 66 | 9 | 20 | 817 | 3136 | 139 | 396 | 85 | 20600 | 2246 | 204 |
| Среднее | 0,31 | 0,29 | 6,6 | 2,08 | 97 | 51 | 10 | 17 | 600 | 5065 | 147,7 | 203 | 89,3 | 2635 | 3325 | 293 |
| Скв 20-1,5 м. | 0,50 | 0,29 | 7,58 | 1,29 | 129 | 71 | 16 | 25 | 813 | 4923 | 184 | 67 | 105 | 686 | 5505 | 510 |
| Скв 21,5-3 м. | 0,31 | 0,35 | 7,13 | 1,66 | 145 | 25 | 12 | 13 | 465 | 3141 | 149 | 71 | 95 | 649 | 3319 | 354 |
| Скв 23-4,5 м. | 0,34 | 0,26 | 6,49 | 1,47 | 76 | 35 | 15 | 13 | 378 | 2686 | 141 | 62 | 103 | 636 | 2271 | 214 |
| Среднее | 0,38 | 0,3 | 7,1 | 1,5 | 117 | 43,7 | 14,3 | 17 | 552 | 3583 | 158 | 66,7 | 101 | 657 | 3698 | 359 |

Заключение

1. Установленные [Гурбанов и др., 2012] при исследованиях 2009-2010 гг. аномально высокие концентрации S (9–19; 1,3-10.8%), Cu (14750–27410; 960-13210 г/т), Zn (57620–90350; 3990-41720), Pb (63040–124220; 4130-55910), As (225–1750; 140-355), Sb (19090–38350; 4760-10450), Sn (3050–5680; 1170-2850) могут быть объяснены: а) периодическими изменениями в технологическом процессе флотационного обогащения в течение 2009-2010 гг.; б) переизмельчением руд при их дроблении, что приводило к снижению флотационных свойств рудных минералов, которые уходили в отвальные хвосты глинистой, т-з и м-з фракций; в) или серьезными и частыми (фиксируются частыми появлениями тонких прослоев глин в песках с высокими концентрациями рудных элементов) сбоями процесса флотации в этот период времени.

2. Доказано, что максимальные концентрации экономически ценных и экологически опасных элементов приурочены к глинистой и тонкозернистой песчаной фракциям лежалых хвостов.

3. Унальское хвостохранилище ССЦК является основным техногенным и постоянным источником сильного загрязнения прилегающих территорий. Оно выражается в загрязнении тяжелыми и канцерогенными металлами современных почв и этот процесс уже сейчас представляет постоянную угрозу экологической безопасности региона.

4. Выявлено, что в керне скважины № 1, вниз по разрезу происходит увеличение (в разной мере) содержаний TiO_2 , S , V , Ni , Cu , Sr , Zr , Ba , а в керне скважины № 2 – увеличивается концентрация только серы.

5. Показано, что средние содержания (в г/т) широкого круга макро- и микроэлементов в керне скважины № 2, пробуренной в южной части хвостохранилища, немного выше, чем в керне скважины № 1, пробуренной в его северной части. Исключение составляют только S , Cu , Zn .

6. Для получения информации о характере распределения экономически ценных и экологически опасных элементов в вертикальном разрезе лежалых хвостов необходимо пробурить несколько скважин на всю мощность хвостов (до 30 м), что станет возможным только при использовании специального бурового оборудования для проходки через горизонт обводненных «песков пlyingунов».

Работа выполнена по плану НИОКТР КНИО ВЦ РАН: АААА-А17-117060910043-8 на 2018 г. при финансовой поддержке Проекта 1.39 «Проблемно-ориентированные исследования техногенных отходов горно-рудных предприятий Северного Кавказа и Забайкалья: размещение, вещественно-минеральный состав, оценка воздействия на экосистемы» в рамках программы фундаментальных исследований президиума РАН № 39 «Фундаментальные основы и энергоэффективные, ресурсосберегающие, инновационные технологии переработки минерального сырья, утилизации промышленных и бытовых отходов».

Авторы статьи выражают искреннюю благодарность Маргиеву Тамерлану Борисовичу – главе администрации Унальского поселения Алагирского района РСО-А за оказание бескорыстной помощи при проведении полевых исследований и опробовании промышленных отходов на Унальском хвостохранилище Мизурской горно-обогатительной фабрики и почв на прилегающей территории.

Литература

1. Вагин В. С., Голик В. И. Проблемы использования природных ресурсов Южного федерального округа // Учебник для вузов. – Владикавказ: Проект-Пресс, 2005. – 192 с.
2. Газданов А. Ц. и др. Отчет о научно-исследовательской работе «Подготовка экологически напряженных локальных объектов к мониторингу (Оценка техногенного воздействия хвостохранилищ Мизурской и Фиагдонской обогатительных фабрик на окружающую среду) // Госкомнедра РСО-А, геологическое научно-производственное предприятие «Севосгеонаука». Фонд ФГГРУП «Севосцветметразведка». – 1996. – 103 с.
3. Гурбанов А. Г. и др. Промышленные отходы Мизурской горно-обогатительной фабрики Садонского свинцово-цинкового комбината: геохимические особенности, оценка их воздействия на экологическую обстановку прилегающих территорий (почвы и воду р. Ардон). Республика Северная Осетия-Алания // Вестник Владикавказского научного центра РАН. – 2012. – Т. 12. №4. – С. 29-40.
4. Жариков В. А. и др. Комплексные геохимические, экологические и биогеохимические исследования в горнорудном районе / III Международное совещание, посвященное 10-летию Научно-исследовательского института геохимии биосферы РГУ. – Новороссийск. – 2001. – С. 217-220.
5. Лолаев А. Б., Гурбанов А. Г., Дзедобоев С. О. Загрязнение прилегающих территорий в районе деятельности Садонского свинцово-цинкового комбината (республика Северная Осетия-Алания, РФ) // Успехи современной науки. Секция Геолого-минералогические науки. – 2017. – Т. 6. №2. – С. 177-181.
6. Матвеев А. А. и др. Геохимическая оценка воздействия Унальского хвостохранилища Садонского свинцово-цинкового комбината (Северная Осетия-Алания) на окружающую среду // Известие секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Вып. 12. – М. – 2004. – С. 136-147.
7. Пряничникова Е. В. Оценка геолого-геохимического состояния природных сред в районе Унальского хвостохранилища ССЦК // 3-я экологическая конференция студентов и молодых ученых вузов г. Москвы «Охрана окружающей среды на пороге 3-го тысячелетия и в интересах устойчивого развития». – М. – 1999. – С. 127-130.
8. Пряничникова Е. В. Формы нахождения тяжелых металлов в почвах горнорудного района // XI Международная научная конференция «Ломоносов – 2004» – М. – 2004а. – С. 146.
9. Пряничникова Е. В. Оценка загрязнения поверхностных вод и донных отложений тяжелыми металлами в горно-рудном районе // V межвузовская молодежная научная конференция «Школа экологической геологии рационального недропользования». – СПб. – 2004б. – С. 273-275.
10. Пряничникова Е. В. Эколого-геохимические исследования в горно-рудных районах (на примере Северной Осетии) // Вестник Московского университета: серия 4. Геология. – 2005. – №2. – С. 48-54.
11. Пряничникова Е. В., Семенов Ю. Н., Шестакова Т. И. Оценка геолого-геохимического состояния природных сред в районе Унальского хвостохранилища // Материалы Международной конференции «Экологическая геология и рациональное недропользование». – СПб. – 2000. – С. 225-226.

**GEOCHEMICAL FEATURES OF MIZUR MINING AND
CONCENTRATION FACTORY INDUSTRIAL WASTES
(UNAL TAILING, REPUBLIC OF NORTHERN OSSETIA-ALANIA)
AS A BASIS FOR THE ESTIMATION OF POLLUTION SCALE
BY IT'S THE SOIL OF THE ADJACENT AREA**

© 2018 A. G. Gurbanov^{1, 2}, Sc. Candidate (Geol.-Min.), A. G. Kusraev², Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., A. B. Lolaev^{2, 3}, Sc. Doctor (Tech.), prof., S. O. Dzeboev³, V. M. Gazeev^{1, 2}, Sc. Candidate (Geol.-Min.), A. B. Leksin¹, L. E. Tsukanova⁴, A. Kh. Oganessian^{2, 3}, Sc. Candidate (Tech.), V. E. Iliev³, O. A. Gurbanova⁵, Sc. Candidate (Chemical), M. N. Baranova¹

¹Institute of geology of ore deposits, petrography, mineralogy and geochemistry RAS, Russia, 119017, Moscow, Staromonetny Lane, 35;

²Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Russia, 362027, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markusa Str., 22, e-mail: gurbanov@igem.ru;

³North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Russia, 362201, RNO-Alania, Vladikavkaz, Nikolaev str., 44;

⁴Research Institute of Physics SFU, Russia, 344090, Rostov-on-Don, Stachki ave., 194;

⁵Educational Institution of Higher Education M. V. Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1

The abnormally high concentrations in a state sands and clays from the surface layer (0,5 m) of a tailing beach of: *S* (9–19; 1,3–10,8 masses. %), *Cu* (14750–27410; 960–13210 g/t – here and further), *Zn* (57620–90350; 3990–41720), *Pb* (63040–124220; 4130–55910), *As* (225–1750; 140–355), *Sb* (19090–38350; 4760–10450), *Sn* (3050–5680; 1170–2850) installed by us in 2009–10 years, can be explained by: a) periodic changes in technological process of flotation enrichment, or, alternatively supplies to the factory of other type of polymetallic ore during the 2009–2010 years; b) overgrinding of the ore in their crushing, which resulted in a drastic reduction of flotation properties of ore minerals, which left in spoil tails as clay fractions; c) serious and frequent flotation process failings during this period of time (fixed by frequent appearances of thin clay partings in the sands). Based on geochemical researches (2009–2010, 2015–2016 years) of the tails samples, it was proved that maximum concentrations of economically valuable and environmentally dangerous elements are confined to clay and fine-grained sand fractions. It was found, that Unal tailing is a main and constant spring of strong technogenical pollution of the adjacent area (soil of natural pastures, agriculture and hydrosphere). It was determined, that overlain on the surface of tailing fine-grained and most enriched by ecological dangerous elements fraction as a dust clouds, which are generated by practicable constant and strong winds which are blowing along the valley and pollute the soil of pastures, agriculture and may have a negative influence on health of population of Zinhtar, Archon, Dagom, Unal, Biz and possible, Mizur settlements, as an ecological dangerous elements (As, Sb, Cd, B, Li, Pb, Zn and et al.) will be constantly are taken from tailing, polluting it and builds up in it. It was found that there is an increase content of *TiO₂*, *S*, *V*, *Ni*, *Cu*, *Zr*, *Sr*, *Ba* down in section in the core of the well No 1, and in the core of the well No. 2 – only the concentration of sulphur increases. It is shown that the average content (g/t) of a wide range of macro-and microelements in the core from the well No. 2, drilled in the southern part of the tailings is slightly higher than in the core from well No. 1, drilled in its northern part. The content of *S*, *Cu*, *Zn* are only exceptions. Drilling of two wells at a depth of 4,5 and 9 meters showed that in order to obtain information about the distribution of economically valuable and environmentally dangerous elements in vertical section of tails it is necessary to drill several wells on all depth of tails (to 30 m). This will be possible only by using special equipment needed for drilling the «quicksands» level.

Key words: tailings, flotation of polymetallic ores industrial wastes, elements distribution in tailings vertical section, abnormal concentrations of elements.

References

1. Vagin V. S., Golik V. I. Problemy ispol'zovanija prirodnyh resursov Juzhnogo federal'nogo okruga [Problems of using natural resources of the Southern Federal District]. Uchebnik dlja vuzov. Vladikavkaz: Proekt-Press, 2005. 192 p. (in Russian)
2. Gazdanov A. C. i dr. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Podgotovka jekologicheskij naprjazhennyh lokal'nyh objektov k monitoringu (Ocenka tehnoennogo vozdejstvija hvostohranilishh Mizurskoj i Fiagdonskoj obogatitel'nyh fabrik na okruzhajushhuju sredu) [Report on the research work «Preparation of environmentally stressed local objects for monitoring» (Assessment of the man-caused impact of the tailing dumps of the Mizur and Fiagdon enrichment plants on the environment)]. Goskomnedra RSO-A, geologicheskoe nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Sevosgeonauka». Fond FGGRUP «Sevosvetmetrazvedka». 1996. 103 p. (in Russian)
3. Gurbanov A. G. i dr. Promyshlennye othody Mizurskoj gorno-obogatitel'noj fabriki Sadonskogo svincovo-cinkovogo kombinata: geohimicheskie osobennosti, ocenka ih vozdejstvija na jekologicheskiju obstanovku priliegajushhij territorij (pochvy i vodu r. Ardon). Respublika Severnaja Osetija-Alanija [Industrial wastes of the Mizur ore mining and processing plant of the Sadon lead-zinc plant: geochemical features, assessment of their impact on the ecological situation of the adjacent territories (soils and water of the Ardon River). Republic of North Ossetia-Alania]. Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN. 2012. Vol. 12. No. 4. Pp. 29-40. (in Russian)
4. Zharikov V. A. i dr. Kompleksnye geohimicheskie, jekologicheskie i biogeohimicheskie issledovanija v gornorudnom rajone [Complex geochemical, ecological and biogeochemical research in the mining region]. III Mezhdunarodnoe soveshhanie, posvjashhennoe 10-letiju Nauchno-issledovatel'skogo instituta geohimii biosfery RGU. Novorossijsk. 2001. Pp. 217-220. (in Russian)
5. Lolaev A. B., Gurbanov A. G., Dzeboev S. O. Zagryaznenie priliegajushhij territorij v rajone dejatel'nosti Sadonskogo svincovo-cinkovogo kombinata (respublika Severnaja Osetija-Alanija, RF) [Pollution of adjacent territories in the area of activity of the Sadon lead-zinc plant (Republic of North Ossetia-Alania, RF)]. Uspehi sovremennoj nauki. Sekcija Geologo-mineralogicheskie nauki. 2017. Vol. 6. No. 2. Pp. 177-181. (in Russian)
6. Matveev A. A. i dr. Geohimicheskaja ocenka vozdejstvija Unal'skogo hvostohranilishha Sadonskogo svincovo-cinkovogo kombinata (Severnaja Osetija-Alanija) na okruzhajushhuju sredu [Geochemical assessment of the impact on the environment of the Unal tailing dump of the Sadon lead-zinc plant (North Ossetia-Alania)]. Izvestie sekcii nauk o Zemle Rossijskoj akademii estestvennyh nauk. Issue 12. M. 2004. Pp. 136-147. (in Russian)
7. Prjanichnikova E. V. Ocenka geologo-geohimicheskogo sostojanija prirodnyh sred v rajone Unal'skogo hvostohranilishha SSCK [Assessment of the geological and geochemical status of natural environments in the area of the Unal tailings dump of the SSRC]. 3-ja jekologicheskaja konferencija studentov i molodyh uchenykh vuzov g. Moskvy «Ohrana okruzhajushhej sredy na poroge 3-go tysjacheletija i v interesah ustojchivogo razvitija». M. 1999. Pp. 127-130. (in Russian)
8. Prjanichnikova E. V. Formy nahozhdenija tjazhelyh metallov v pochvah gornorudnogo rajona [Forms of heavy metals in the soils of the mining region]. XI Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija «Lomonosov – 2004» M. 2004a. Pp. 146. (in Russian)
9. Prjanichnikova E. V. Ocenka zagryaznenija poverhnostnyh vod i donnyh otlozhenij tjazhelymi metallami v gorno-rudnom rajone [Assessment of pollution of surface waters and bottom sediments with heavy metals in the mining area]. V mezhvuzovskaja molodezhnaja nauchnaja konferencija «Shkola jekologicheskogo geologii racional'nogo nedropol'zovanija». SPb. 2004b. Pp. 273-275. (in Russian)
10. Prjanichnikova E. V. Jekologo-geohimicheskie issledovanija v gorno-rudnyh rajonah (na primere Severnoj Osetii) [Ecological and geochemical research in mining ore areas (on the example of North Ossetia)]. Vestnik Moskovskogo universiteta: serija 4. Geologija. 2005. No. 2. Pp. 48-54. (in Russian)

11. Prjanichnikova E. V., Semenov Ju. N., Shestakova T. I. Ocenka geologo-geohimicheskogo sostojanija prirodnyh sred v rajone Unal'skogo hvostohranilishha [Evaluation of geological and geochemical condition of natural environments in the area of the Unal tailings]. Materialy Mezhdunarodnoj konferencii «Jekologicheskaja geologija i racional'noe nedropol'zovanie». SPb. 2000. Pp. 225-226. (in Russian)

УДК 550.34

DOI 10.23671/VNC.2018.1.11247

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ, ОБУСЛОВЛЕННОЕ ВЛИЯНИЕМ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ И ФОРМИРОВАНИЕ КАРТ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ

© 2018 В. Б. Заалишвили, д. ф.-м. н., проф., Д. А. Мельков, к. т. н.,
В. Д. Макиев

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: vzaal@mail.ru

Последствия каждого ощутимого землетрясения несут в себе уникальную информацию о его реальном проявлении на исследуемой территории. Поэтому сбор и анализ всех имеющихся данных о проявлении сейсмических событий на исследуемой территории является важным этапом оценки сейсмической опасности. В работе рассмотрено проявление наиболее сильного землетрясения, произошедшего в современное время – Рачинского землетрясения 29 апреля 1991 г. на территории г. Амбролаури, в Грузии. Показано усиление сейсмического эффекта, обусловленного влиянием грунтовых условий. Рассмотрено проявление слабого землетрясения 2005 г. на территории г. Владикавказа и выполнено сопоставление с действующей картой сейсмического микрорайонирования. Использование современных информационных технологий позволило по признакам проявления слабых воздействий выделить отдельные участки, в которых сейсмический эффект может быть обусловлен индивидуальными локальными особенностями грунтовых условий, а также спектральными особенностями воздействия и состояния застройки.

Ключевые слова: интенсивность, сейсмический эффект, макросейсмическое проявление, сейсмическая опасность, инженерно-геологические условия, сейсмическое микрорайонирование

Последствия каждого ощутимого землетрясения несут в себе уникальную информацию о его реальном проявлении на исследуемой территории. Именно поэтому данные о проявлении даже слабого землетрясения важны для подтверждения, уточнения и создания карт СМР. Достаточно отметить, что подобные работы входят в первый этап работ по СМР – изучение проявления землетрясений на территории.

В качестве примера рассмотрим проявление наиболее сильного землетрясения, произошедшего в современное время, а именно, Рачинского землетрясения 29 апреля 1991 г. в Грузии. Наибольшая интенсивность проявилась в эпицентральной зоне землетрясения, к которым относятся гг. Амбролаури, Они и др. На территории г. Амбролаури согласно повреждениям зданий и сооружений были выделены зоны с интенсивностью 7 и 8 баллов. Понятно, что в будущем, при проведении СМР такие проявления являются важной основой для построения карт СМР.

Макросейсмическим обследованием установлено, что на территории города отчетливо выделяются достаточно обширные площади с резко различающимися степенями повреждений (по шкале MSK-64) жилых и общественных зданий. На основании обследований, проведенных различными проектными организациями, данных о выплате страховых сумм и материалов, собранных специалистами, за-

нимающимися вопросами сейсмического микрорайонирования [Инженерный анализ..., 1996], составлена карта проявления землетрясения на территории города (рис. 1). Для выявления связи инженерно-геологических, геоморфологических и гидрогеологических условий местности со степенью повреждения домов на участках, застроенных однотипными зданиями, были проведены специальные инженерно-геологические исследования. Они включали бурение скважин, открытие шурфов с отбором образцов для определения физико-механических свойств грунтов и установление уровня стояния грунтовых вод на различных участках. Анализ полученного материала показал, что наибольшие деформации и разрушения (4-5 степень повреждения) отмечаются, в основном, в восточной и северной частях города. Восточная часть города расположена на второй надпойменной террасе р. Риони, сложенной аллювием и делювием небольшой мощности, подстилаемых коренными породами и мергелями. Указанный район в геологическом отношении делится в свою очередь на две примерно равные площади. Первая из них сложена с поверхности аллювием, мощность которого уменьшается в южном направлении. Вторая часть с поверхности представлена делювием, перекрывающим указанный аллювий и с приближением к предгорьям-коренные глины, которые на склонах выходят на поверхность. Аллювий представлен крупнообломочными грунтами-рыхлыми галечниками мощностью до 6 м с большим количеством песчано-глинистого заполнителя (около 40%) и относительно низким объемным весом ($1,9 \text{ т/м}^3$). Делювий представлен макропористыми различной пластичности глинистыми грунтами



Рис. 1. Интенсивность проявления Рачинского землетрясения 29 апреля 1991 г. на территории г. Амбролаури

мощностью до 5 м (коэффициент консистенции $I_L=0,2-0,7$ и коэффициент пористости $e=0,7-1,1$, объемный вес $1,75-1,8 \text{ т/м}^3$). Северная часть города, занимающая небольшую площадь, сложена с поверхности заиленными глинистыми грунтами мощностью до 3,5 м, подстилаемыми мощной толщей галечников (с редким включением валунов) с илистым заполнителем более 30%. Уровень грунтовых вод составляет 0,5 м. Наименьшие повреждения наблюдаются на небольшой территории в южной части города по обоим берегам р. Крихула, у подножия в нижних частях склонов гор. Здания здесь в основном фундаментированы на коренных глинах, местами перекрывающихся плотными галечниками с песчано-глинистым заполнителем менее 30% (плотность $2,1 \text{ т/м}^3$) мощностью до двух метров и представляющими собой аллювий р. Крихула.

По землетрясениям, имеющим слабое проявление, информация обычно отсутствует (если только оно не происходит в период выполнения подобных работ), поэтому любая полученная информация о проявлении реального землетрясения в условиях умеренной и слабой сейсмичности является важной для прогнозирования опасных сейсмических воздействия на здания и сооружения, уточнения карт сейсмической опасности и др.

7 января 2005 года локальной сейсмической сетью Геофизического института Владикавказского научного центра РАН было зарегистрировано землетрясение с интенсивностью на территории г. Владикавказа 3-4 балла. Интенсивность землетрясения, как правило, оценивается на основе инженерного макросейсмического обследования территории, т.е. по уровню и распространению повреждений в застройке и проявлениях в окружающей среде, а также ощущениям населения. При относительно слабых воздействиях именно ощущения населения могут служить единственным источником установления проявления землетрясения.

В целях оценки особенностей проявления силы сейсмического воздействия был проведен опрос жителей г. Владикавказа. В ходе данного макросейсмического, – статистического обследования было задействовано 350 респондентов, проживающих не только на территории города, но и его окрестностях. Опрашиваемым предоставлялся специально разработанный упрощенный опросный лист в виде анкеты, в котором учитывался не только тип здания, его этажность и т.д., но и конкретные ощущения тех людей, которые находились во время землетрясения в зданиях. Это в дальнейшем явилось основой для установления уровня интенсивности (балльности) землетрясения [Заалишвили и др., 2006].

Для определения проявленной балльности в том или ином районе, результаты опроса населения сопоставлялись с действующей в нашей стране шкалой сейсмической интенсивности MSK-64. Кроме того, использовалась Европейская макросейсмическая шкала 1992, разработанная в последние годы в Европе и введенная в действие в 1996 г. [European Macroseismic Scale..., 1992].

В ходе анализа данных было установлено, что 171 человек из 350 опрошенных непосредственно ощутили на себе воздействие землетрясения с различной интенсивностью. Из них, на основе собственных ощущений и происходящих в то время зафиксированных ими же фактов, ощутили землетрясение с интенсивностью 3 балла – 85 человек; 4 балла – 86 человек. Кроме того, 189 человек, из числа опрошенных, сообщили, что они ничего не ощутили. Можно отнести отмеченную интенсивность к 2 баллам, поскольку в данном случае землетрясение отмечается только в «благоприятных» условиях.

Анализ данных показал, что на восприимчивость населения значительное влияние оказывает целый ряд факторов:

1) особую роль играет этажность здания, в связи с тем, что на верхних этажах размах колебаний возрастает, повышая, таким образом, чувствительность респондента;

2) в зависимости от типа или конструктивных особенностей здания (кирпичные, блочные, монолитное строение и т.д.) чувствительность респондента будет меняться;

3) физическое состояние застройки (ветхость, аварийность и т.д.) также меняет чувствительность людей.

4) помимо этого, значительное влияние может оказывать вид и состояние грунтов – оснований застройки (выветрелые, обводненные и т.д.).

Мы можем судить о важности последнего фактора на примере городка «Весна», где в формировании грунтовой толщи принимают участие глинистые грунты текучей консистенции ($I_L > 0,5$). Как показали результаты исследования, жители указанного городка, как верхних, так и нижних этажей ощутили землетрясение в виде события высокой интенсивности. Дело в том, что грунтами – основанием застройки служат весьма слабые глинистые грунты, меняющиеся вплоть до текучего состояния, которые при относительно слабых воздействиях обуславливают сильные колебания.

В это же самое время жильцы, проживающие в зданиях, расположенных на галечниках с песчаным заполнителем $< 30\%$ – центр города, ул. Кирова, проспект Мира, ул. Миллера, ул. Томаева и т.д., практически не ощутили на себе никакого воздействия (преимущественно нижние этажи).

Что касается других факторов, то в микрорайонах, в которых преобладают многоэтажные здания, землетрясение, в целом, ощущалось гораздо сильнее, чем в районах с малоэтажной застройкой. Среди таких районов: т. н. «БАМ», 34 микрорайон: проспект Доватора, ул. Кырджалийская; район стадиона «Спартак»: ул. Куйбышева, ул. Кутузова, ул. Шмулевича, ул. Ватутина, Рынок «Привоз». В многоэтажных зданиях реакция на воздействие было более значительным: кроме раскачивания, например, люстр, слышался звон посуды, треск мебели и т.д.

Анализ данных показал, что землетрясение в подавляющем количестве случаев ощутили люди, живущие в застройке, расположенной на участках с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями.

Наибольшее проявление землетрясения соответствовало застройке, расположенной на глинистых грунтах текучей консистенции, которые уже упоминались ранее. Кроме того, значительное воздействие ощутили жильцы верхних этажей зданий, расположенных на плотных галечниках.

Учитывая, что исторически все сейсмические шкалы основаны именно на ощущениях людей, проживающих в малоэтажных типичных зданиях индивидуальной застройки, мы сделали поправку за этажность. В ряде случаев высокая интенсивность отмечалась в новых районах в северо-западной части города в 9-этажных зданиях. Особенности проявления землетрясений в многоэтажных домах отмечались, в частности, при анализе землетрясения в Охотском море [Заалишвили, Мельков, 2013].

Это с одной стороны позволило стандартизировать полученные данные, а с другой – непосредственно использовать положения сейсмической шкалы при уста-

новлении проявленной интенсивности землетрясения. Это позволило построить макросейсмическую карту-схему, которая сопоставлялась с картой сейсмического микрорайонирования [Заалишвили и др., 2012]. Карта была построена по результатам работ 2009-2010 гг. включающих уточнение грунтовых условий и исследования инструментальными методами (рис. 2). Макросейсмическое обследование не затронуло северо-восточную часть территории города, на которой расположены промышленные объекты, а также мало застроенную к тому времени юго-западную часть (Садоводческие товарищества «Иристон», «Терек», «Дарьял», «Дружба»).

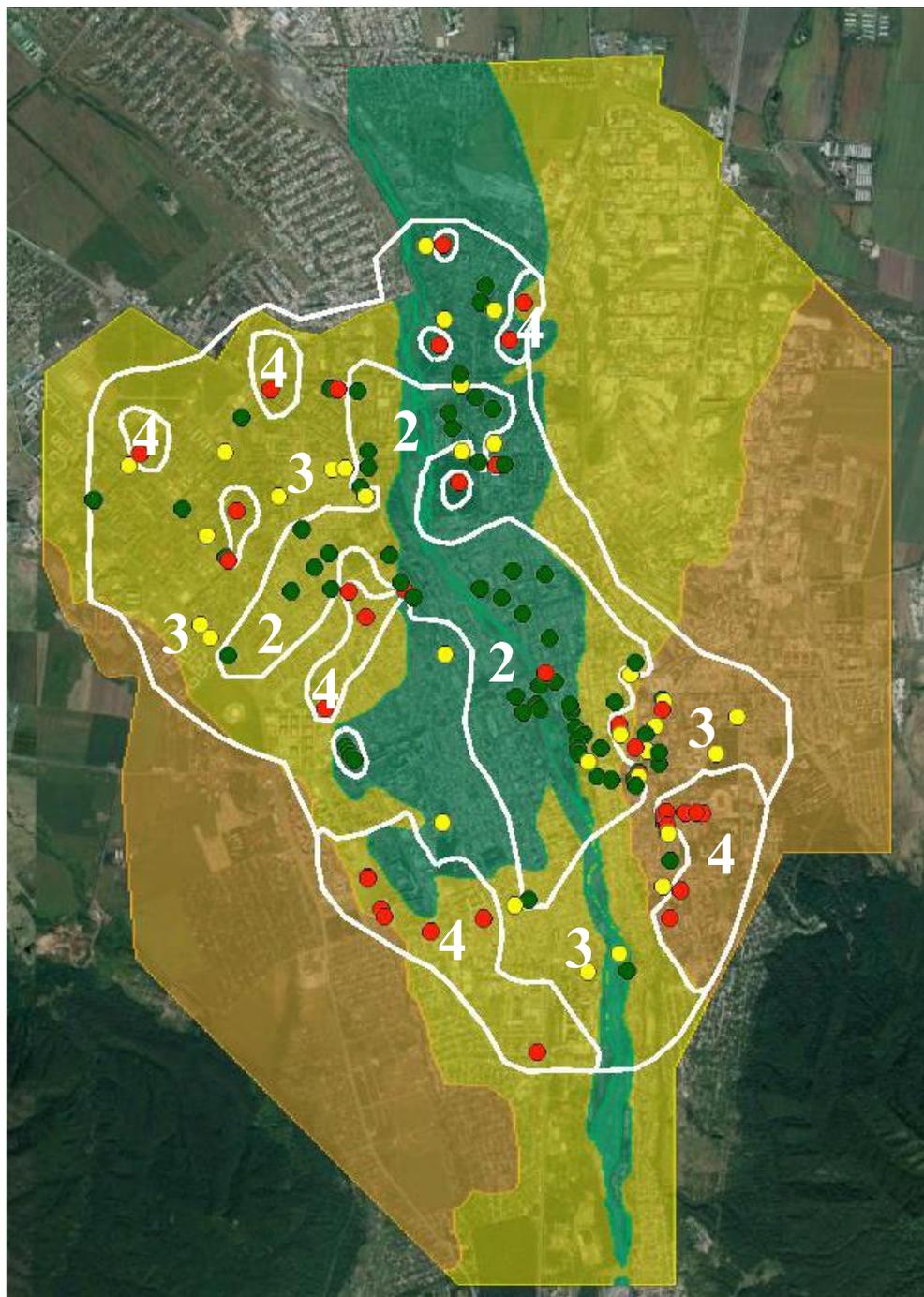


Рис. 2. Проявление землетрясения 7 января 2005 г. на территории г. Владикавказа и карта-схема сейсмического микрорайонирования исследуемой территории.

В результате исследования было установлено, что весьма контрастно или уверенно выполняется дифференцирование по степени сейсмической опасности грунты, составляющие территорию г. Владикавказа.

Наибольшей опасностью характеризуются просадочные, глинистые грунты текучей консистенции, средней опасностью – глинистые грунты полутвердой консистенции и галечники с песчано-глинистым заполнителем >30%, перекрытые глинистыми грунтами мощностью 4-5 м и наименьшей – галечники с песчано-глинистым заполнителем <30%.

Выводы

- Анализ последствий Рачинского землетрясения в Амбролаури показал, что наибольшие деформации и разрушения (4-5 степень повреждения) отмечаются в основном в восточной и северной частях города, расположенных на второй надпойменной террасе р. Риони, сложенной крупнообломочными грунтами-рыхлыми галечниками мощностью до 6 м с большим количеством песчано-глинистого заполнителя (около 40%) и глинистыми грунтами мощностью до 5 м (коэффициент консистенции $I_L = 0,2-0,7$ и коэффициент пористости $e=0,7-1,1$). Наименьшие повреждения наблюдаются на небольшой территории в южной части города по обоим берегам р. Крихула, у подножия в нижних частях склонов гор. Здания здесь в основном фундированы на коренных глинах, местами перекрывающихся плотными галечниками с песчано-глинистым заполнителем менее 30% мощностью до двух метров и представляющими собой аллювий р. Крихула. Аналогичные воздействия можно ожидать на близких грунтовых условиях при проявлении сильного землетрясения на территории г. Владикавказа.

- Участки, сложенные сухими валуно-галечниковыми грунтами с песчано-глинистым заполнителем < 30%, которые для г. Владикавказа являются преобладающими подстилающими грунтами (достигают 200-500 м мощности и лишь на локальных участках выходят на поверхность), отнесены к 7 балльной сейсмической зоне. Валунно-галечники с заполнителем > 30% отнесены к 8 балльной зоне. На территории г. Владикавказа также выделены участки сложенные глинистыми грунтами текучей консистенции или пластичные глинистые грунты с близким стоянием уровня грунтовых вод, считающиеся наихудшими в сейсмическом отношении. Указанные участки отнесены к 9 балльной сейсмической зоне.

- Результаты изучения проявления 3-4-балльного землетрясения от 7 января 2005 г. на территории г. Владикавказа, несмотря на низкий класс события, оказались полезными для установления сейсмических свойств грунтов на территории города.

- Землетрясение в подавляющем количестве случаев с наибольшей интенсивностью ощутили люди, живущие в застройке на участках с грунтами, отнесенными к 9 балльной зоне.

- Также выделены отдельные участки, в которых сейсмический эффект может быть обусловлен индивидуальными локальными особенностями грунтовых условий, глубиной заложения фундамента, а также спектральными особенностями воздействия и состояния застройки.

Литература

1. Инженерный анализ последствий Рачинского землетрясения 1991 г. в Грузии. Академия наук Грузии. – Тбилиси: Мецниереба, 1996. – 240 с.
2. Заалишвили В. Б., Бегус Е. В., Громова Н. А. Макросейсмическое проявление землетрясения 7 января 2005 года на территории г. Владикавказа // Труды молодых ученых. – Владикавказ. – 2006. – № 1. – С. 186-191.
3. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А., Габеева И. Л., Дзэбоев Б. А., Дзеранов Б. В., Кануков А. С., Шепелев В. Д. Сейсмическое микрорайонирование территории г. Владикавказа // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2012. – № 1. – С. 49-58.
4. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А. О возможной интенсивности проявления на территории Москвы землетрясения в Охотском море 24 мая 2013 г // «Сейсмическая опасность. Управление сейсмическим риском на Кавказе». – Владикавказ: ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А. – 2013. – С. 78-81.
5. European Macroseismic Scale 1992. Conseil De L'Europe Cahiers Europeen de Geodynamique et de Seismologie. Vol. 7. – Luxemburg. – 1993. – 79 p.

MACROSEISMIC EVIDENCE OF SEISMIC EVENTS CAUSED BY INFLUENCE OF GROUND CONDITIONS AND FORMATION OF MAPS OF SEISMIC MICROZONATION

© 2018 V. B. Zaalishvili, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., D. A. Melkov, Ph. D., V. D. Makiev

Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz,
Markov Str., 93 a, e-mail: vzaal@mail. ru

Macroseismic evidence of each significant earthquake carries a unique information about its actual impact on the investigated territory. Therefore, the collection and analysis of all available data on the occurrence of seismic events in the study area is important in assessing seismic hazard. The paper shows the manifestation of the strongest earthquake that occurred in modern times – the Racha earthquake on April 29, 1991 in the territory of Ambrolauri city. The increase in the seismic effect due to the influence of ground conditions is shown. The manifestation of a weak earthquake in 2005 in the territory of the city of Vladikavkaz is considered and a comparison is made with the current seismic microzoning map. The use of modern information technologies made it possible, on the basis of manifestations of weak effects, to single out individual areas in which the seismic effect can be caused by individual local features of ground conditions, as well as the spectral features of the impact and building conditions.

Keywords: intensity, seismic effect, macroseismic evidence, seismic hazard, engineering-geological conditions, seismic microzonation.

References

1. Inzhenernyj analiz posledstvij Rachinskogo zemletrjasenija 1991 g. v Gruzii. [Engineering analysis of the consequences of the Racha earthquake in 1991 in Georgia]. Akademija nauk Gruzii. Tbilisi: Mecniereba, 1996. 240 p. (in Russian)
2. Zaalishvili V.B., Begus E.V., Gromova N.A. Makrosejsmicheskoe projavlenie zemletrjasenija 7 janvarja 2005 goda na territorii g. Vladikavkaza [Macroseismic effect of the earthquake on January 7, 2005 in the territory of Vladikavkaz]. Trudy molodyh uchenyh. Vladikavkaz, No. 1. 2006, Pp. 186-191. (in Russian)
3. Zaalishvili V.B., Mel'kov D. A., Gabeeva I.L., Dzeboev B.A., Dzeranov B.V., Kanukov A.S., Shepelev V.D. Sejsmicheskoe mikrorajonirovanie territorii g. Vladikavkaza [Seismic microzonation of Vladikavkaz city territory]. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2012. No. 1. Pp. 49-58. (in Russian)
4. Zaalishvili V.B., Mel'kov D.A. O vozmozhnoj intensivnosti projavlenija na territorii Moskvy zemletrjasenija v Ohotskom more 24 maja 2013 g [About effect in Moscow of an earthquake in the Sea of Okhotsk on May 24, 2013]. «Sejsmicheskaja opasnost'. Upravlenie sejsmicheskim riskom na Kavkaze». Vladikavkaz: CGI VNC RAN i RSO-A, 2013. Pp. 78-81. (in Russian)
5. European Macroseismic Scale 1992. Conseil De L'Europe Cahiers Europeen de Geodynamique et de Seismologie. Vol. 7. Luxemburg, 1993, 79 p.

УДК 551.21 (479.225)

DOI 10.23671/VNC.2018.1.11248

КЕЛЬСКОЕ ВУЛКАНИЧЕСКОЕ НАГОРЬЕ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ БОЛЬШОГО КАВКАЗА)

© 2018 Н. В. Короновский, д. г.-м. н., проф.

ФГБОУВО Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1, e-mail: koronovsky@rambler.ru

Кельское вулканическое нагорье образовано компактной группой более, чем 25 самостоятельных центров извержений, на месте которых возникли вулканы с многочисленными потоками лав разной длины. Все они связаны с системой молодых субширотных и субмеридиональных разрывных нарушений. Все лавовые потоки и отдельные вулканические конусы четко связаны с элементами разновозрастного, в основном, позднечетвертичного рельефа и обладают хорошей сохранностью первичных форм. Лавовые потоки вулкана Непискало стекали к северу, в долину р. Байдара, когда долины р. Белая Арагви еще не было. Это свидетельствует об очень энергичном росте Главного Кавказского хребта в районе Крестового перевала, а долина р. Терек в том месте, где он изменяет свое широтное течение на меридиональное, сильно, метров на 200, переуглублена.

Ключевые слова: вулканизм, андезиты, дациты, вулканические центры.

Введение

Кельский вулканический район, расположен в приводораздельной части южного склона Большого Кавказа (Б. Кавказа), в истоках рек Белая Арагви, Ксани и Большая Лиаква. Кельский район находится на южном крыле Восточного сегмента горного сооружения Б. Кавказа в пределах Чиатурского наложенного флишевого синклинория на поднятие между Сванетским антиклинорием и сооружением Главного хребта Восточного Кавказа (рис. 1).

Возможно, что район приурочен к зоне поперечного Казбек-Цхинвальского разлома [Милановский, Короновский, 1964, 1973], по которому западное крыло в новейшее время оказалось приподнятым. В Кельском районе насчитывается более 25 самостоятельных центров извержений, сгруппированных на относительно небольшой площади. Все они отделены от группы вулканических центров Казбекского района и границами между ними служит зона между двумя хорошо выраженными разломами. Северный из них, проходящий близко к субширотной долине Терека, начиная от с. Коби, отделяет черные глинистые сланцы с прослоями песчаников верхов верхней юры, от толщи темно-серых мергелей и известняков верхней юры – нижнего мела. Последняя, уже намного южнее Кельского района, также по надвигу сменяется мергелистыми флишеидными отложениями нижнего мела – млетской свитой. Вот на таком субстрате и располагаются многочисленные, сближенные между собой вулканические центры Кельского нагорья, возраст которых очень молодой, т. к. только некоторые из них могут относиться к верхам среднего плейстоцена (245-170 тыс. лет, [Лебедев и др., 2011]), остальные все моложе и, по-видимому, могут быть позднеплейстоценовыми и даже голоценовыми. Такое кучное расположение отдельных вулканических центров свидетельствует об одном материнском магматическом очаге (рис. 2).

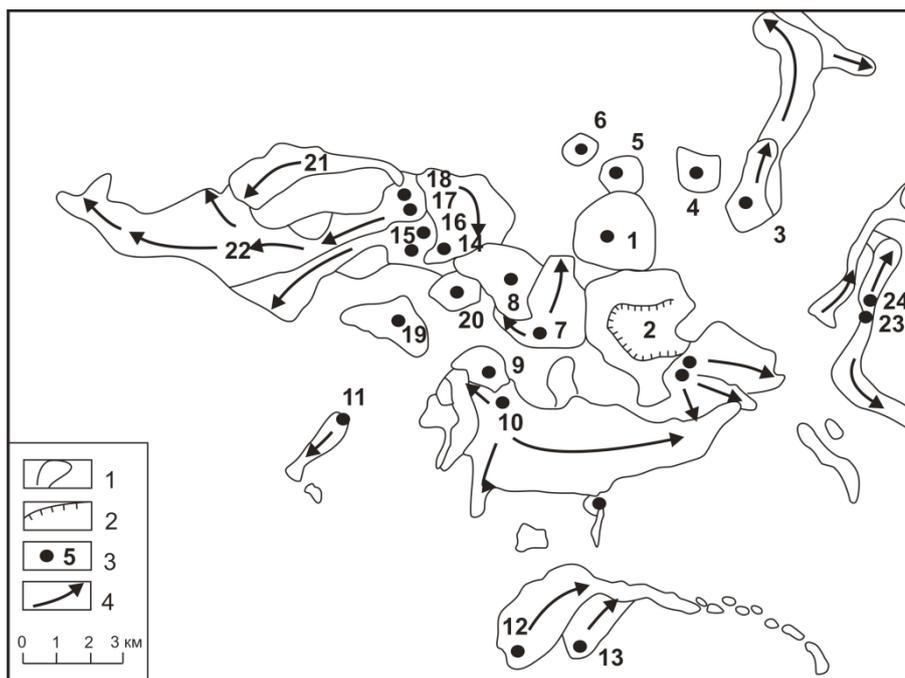
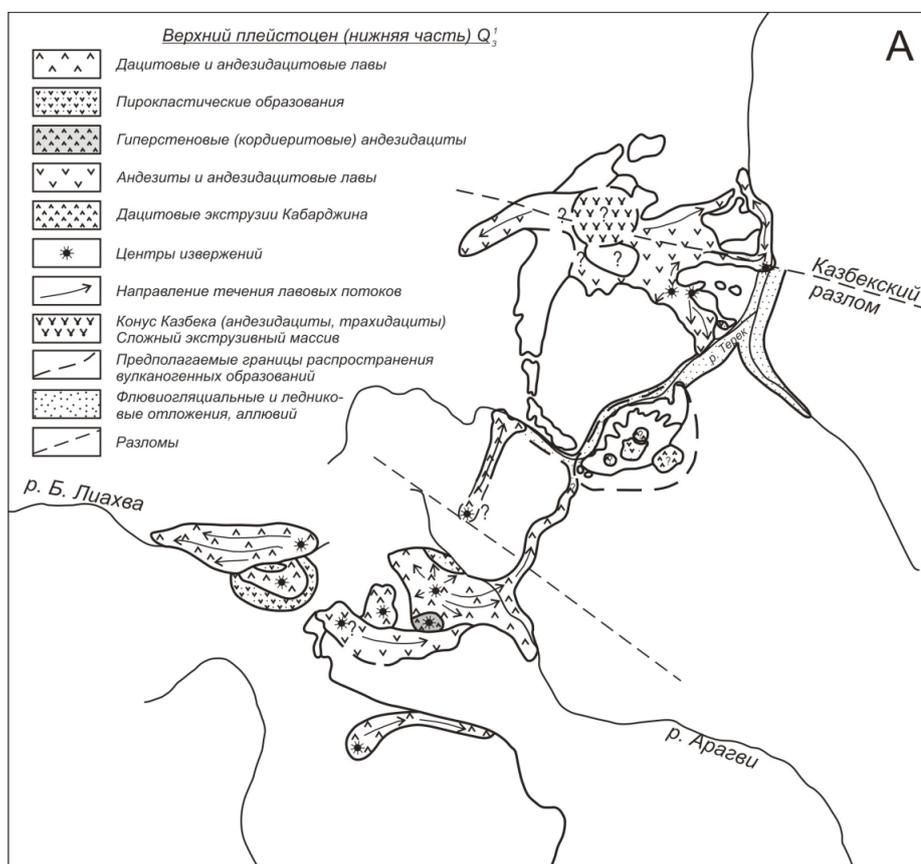


Рис. 1. Вулканы Кельского нагорья. 1 – лавовые потоки, 2 – кальдера кратера Непискало; 3 – кратеры вулканов центрального типа; 4 – пути движения лавовых потоков. Цифрами на карте обозначены: 1 – Сырх, 2 – Непискало, 3 – Восточный Хорисар, 4 – Западный Хорисар, 5 – Левинсон-Лесинга, 6 – Эсиком, 7 – Дзоценидзе, 8 – Кели, 9 – Северный Нарванхох, 10 – Южный Нарванхох, 11 – Кнога, 12 – Цителихати, 13 – Багини, 14 – Восточный Шархох, 15 – Сырххох, 16 – Западный Шархох, 17 – Южный Шадилхох, 18 – Северный Шадилхох, 19 – Фидархох, 20 – Эрман, 21 – Ходжский поток, 22 – Эрман-Ахубатский поток, 23 – Садзели, 24 – Сакохе



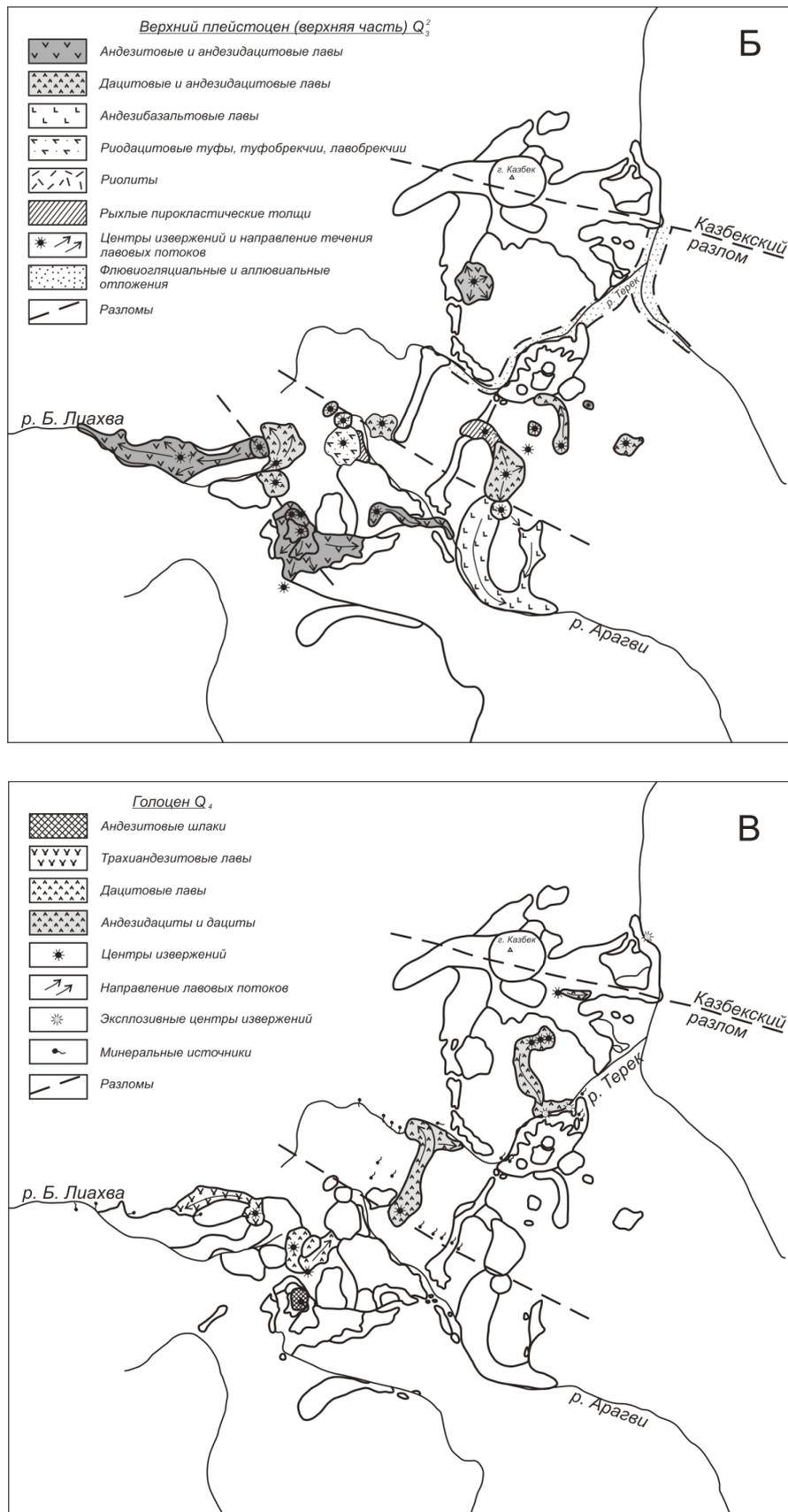


Рис. 2. Схемы проявления вулканизма в пределах Кельского плато, Крестового перевала и массива вулкана Казбек: А – в верхнем плейстоцене (нижняя часть); Б – в верхнем плейстоцене (верхняя часть); В – в голоцене

Вулканические центры и вулканы

Наиболее древняя постройка это вулкан *Непискало*. По существу это целая группа (до восьми) вулканов разного, но близкого возраста и разного типа вулканических пород, образовавшихся при различных извержениях. Центральное место занимает массив *Малого Непискало*, состоящий из четырех конусовидных вершин, в основании которых находится два широких, до 1,5-2 км, разновысотных лавовых плато.

К началу излияния лавовых потоков М. Непискало, верховья р. Белая Арагви (Б. Арагви) текли к СВ и выработали долину современной р. Байдара, начинающейся с седловины Крестового перевала. Излившиеся четыре лавовых потока заполняли древние долины рек Б. Арагви и Байдары, обладая мощностью в 100-150 м с прекрасно выраженной столбчатой отдельностью, располагающейся перпендикулярно к бортам долин (рис. 3).

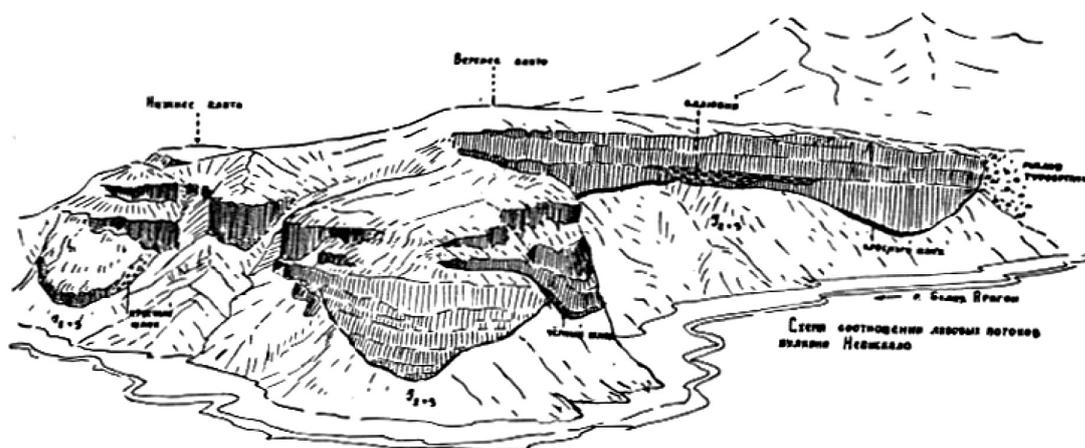


Рис. 3. Схема строения лавовых потоков вулкана *Непискало*. Вид с *Крестового перевала* на правый склон долины р. *Белая Арагви* (рис. Н. Короновского)

Такая веерообразная столбчатая отдельность выражена только в двух нижних потоках, заполнивших речные долины с крутыми склонами, а в верхнем потоке, залегающем почти горизонтально, столбчатая отдельность расположена строго вертикально. Между верхним и средним потоком лав М. Непискало находится прослой аллювиально-озерных отложений, прослеживающийся как на правом, так и на левом склонах долины Б. Арагви, где непосредственно под перевалом обнажаются ленточные глины. На перевале р. Байдара меандрирует, имеет подпруженный характер (тонкослоистые озерные отложения). В нижнем течении профиль реки становится намного круче, особенно после травертинов и минеральных источников, где русло Байдары испытывает резкий перегиб. Характер залегания лавового потока и аллювиальных галечников не меняется от перевала и вниз по течению Байдары. Лавовые потоки спускались на 8-10 км от места извержения по древним долинам Б. Арагви до села Верхнее Ганики и их подошва лежит всего в 80-100 м выше современного днища Б. Арагви, а в долине Байдары даже еще не вскрыта эрозией, т. е. долина переуглублена и конец лавового потока может находиться недалеко от впадения Байдары в Терек у с. Коби.

Такое залегание лавовых потоков над уровнем современной Б. Арагви позволяет датировать их началом позднего плейстоцена или верхами среднего плейстоцена (245-170 тыс лет, [Лебедев и др., 2011]). На правом склоне долины Б. Арагви хорошо видно, как нижний лавовый поток М. Непискало резко изгибается, спускаясь в древнее русло Арагви (рис. 4). Общая мощность всех трех лавовых потоков достигает 0,4 км и на левом склоне долины Арагви нижний поток заполняет глубокие, до 100 м, врезы древних русел притоков Арагви.

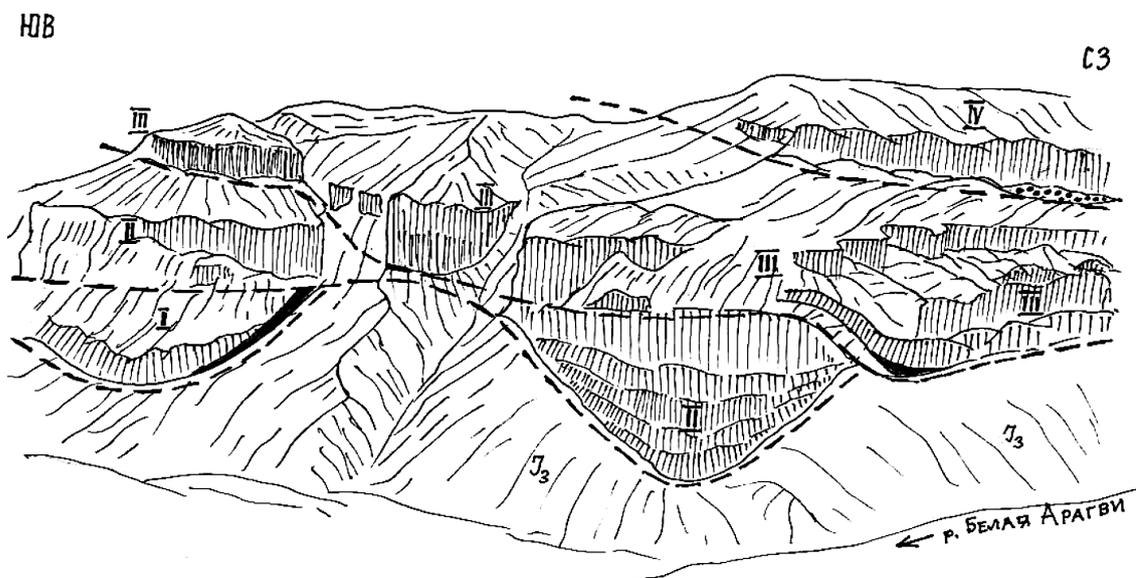


Рис. 4. Правый берег р. Арагви. Хорошо видны 4 лавовых потока вулкана Непискало. Черным показаны аллювиальные отложения (рис. Н. Короновского)

Таким образом, до начала извержения лавовых потоков вулкана М. Непискало рельеф района Главного хребта с флишевыми отложениями был сильно расчленен, что свидетельствует о его молодости. Этапы развития рельефа в верховьях Б. Арагви хорошо видно ниже по течению от с. Эрето, где наблюдаются этапы врезания реки и заполнение долин разновозрастными лавовыми потоками. Рельеф этого района очень точно изобразил на одной своей картине М. Ю. Лермонтов.

В основании 3-х лавовых потоков залегают толщи из пепловых горизонтов лапиль и обломков шлаков, а состав потоков снизу вверх изменяется от андезитов до дацитов. Эти лавовые потоки изливались из одного центра, на месте которого сейчас находится ледниковый цирк, на вершинах, его окружающих, прослеживается наклон вулканических толщ в разные стороны от центра, что может свидетельствовать о центре извержений, хотя у М. Непискало их могло быть несколько. На Крестовом перевале сохранилась мощная морена с валунами андезито-дацитов, перекрывающая средний Непискальский поток и аллювиально-озерную толщу, хорошо видимую в левом борту современной долины Б. Арагви.

Севернее М. Непискало, в верховьях Б. Арагви огромным конусом красноватого цвета возвышается вулкан *Большой Непискало* или *Сырх Арагвинский* с абсолютной высотой в 3642 м и относительной в 0,5 км, с диаметром основания почти в 3 км. Нижняя часть вулкана, до высоты 250-300 м сложена вулканическими туфами и туфобрекчиями дацитового состава, включающих лапилли, крупные глыбы лав и очень характерные вулканические бомбы, размером до 2-х метров с радиальным

строением. Мощная вулканическая толща основания вулкана перекрывает флишевые отложения и лавовые потоки вулкана М. Непискало, что свидетельствует о ее более молодом возрасте и состоит она из вулканического песка пепельного цвета и лапиллей с обильными включениями вулканических бомб кирпично-красной окраски от 0,1 до 0,3 м. Также попадаются маленькие бомбочки до 0,1 м из серого пористого вулканического стекла, обломки черных стекловатых лав и глыбы лавобрекчий с обломками известняков субстрата, являющихся результатом взрывов в подводном канале.

В конусе хорошо виден наклон слоев под углом 10-15° в разные стороны от его центра. Слоистость обусловлена чередованием вулканогенно-обломочных пород различной окраски, причем маркирующими являются слои красных шлаков, бомб и такого же цвета вулканического песка. Верхняя часть Б. Непискало, примерно 150-200 м, сложена красными, брекчированными дацитами и риолит-дацитами, похожими на экструзивный массив. Поэтому на вершине вулкана не наблюдается кратер. Мощная эксплозивная деятельность вулкана привела к заполнению долины Б. Арагви, которая ко времени активности вулкана, уже прорезала лавовые потоки М. Непискало и фрагменты этой толщи можно наблюдать на правом склоне долины Б. Арагви у с. Эрито, где она имеет мощность до 80-100 м, а это 6-7 км от вулкана. Севернее Б. Непискало, примерно на одной линии располагаются два небольших молодых вулканических конуса, иногда называемых вулканами *Левинсон-Лессинга* и *Эсиком*. Они представляют собой моногенные конусы андезито-дацитов, а их высота не превышает 100-150 м.

Таким образом, вулканическая деятельность в группе вулканов Непискало, в наиболее восточной части Кельского нагорья началась, скорее всего, в среднем плейстоцене или даже в начале позднего плейстоцена с эксплозивных извержений и выбросов андезитовых пирокластолитов и лав, сменявшихся излияниями андезито-дацитов, образовавших 4 потока лав М. Непискало. Следует отметить появление во второй половине позднего плейстоцена на южном конце массива М. Непискало вулканического конуса кордиеритовых андезитов, лавовый поток из которого спустился в долину Б. Арагви. После значительного перерыва в извержениях, когда р. Б. Арагви снова разработала свою долину произошло мощное эксплозивно-экструзивное извержение и образовался вулканический конус Б. Непискало, вулканогенно-пролювиальная толща из которого, заполнила всю долину Б. Арагви на 8-10 км. В южной части массива М. Непискало возникли небольшие центры излияний и экструзий андезитов и андезито-дацитов.

Западнее группы Непискальских вулканов располагается еще одна группа вулканов, которую можно назвать *Нарванхохской*, по наименованию двух вулканов – *Северного* и *Южного Нарванхоха*, располагающихся в 2 км друг от друга. Западная часть Кельского нагорья представляет собой слегка всхолмленное плато, в которое врезаны реки и видны троговые долины последнего позденеплейстоценового оледенения. В этой группе вулканов выделяется самый молодой, скорее всего голоценовый или поздневерхнеплейстоценовый, правильный *шлаковый конус Нарванхох*, высотой в 150-200 м, сложенный черными и красными пористыми вулканическими шлаками, лаво- и туфобрекчиями. Конусовидный кратер, насажен на более древний центр извержений, из которого неоднократно изливались лавовые потоки андезитов и андезито-дацитов. Наиболее древний поток хорошо виден на северном берегу оз. Кель, где он перекрывает флишевые отложения и, собственно, и создал запруды

в троговой долине предпоследнего, ранне-верхнеплейстоценового оледенения, образовав оз. Кель. Имеется еще средний поток андезито-базальтов и верхний наиболее молодой, на котором располагается шлаковый конус Северного Нарванхоха. В этом районе рядом располагаются несколько молодых вулканических конусов, насаженных на большое лавовое плато, прослеживающееся из района Южного Нарванхоха на восток, где оно соединяется с лавовыми потоками М. Непискало.

В истоках р. М. Лиахва находится еще один или два вулканических центра *Кно-го I* и *Кно-го II*. Из первого излился поток андезито-дацитов, длиной в несколько километров. Его возраст очень молодой, т. к. он выполняет почти современную речную долину. Южнее, в истоках р. Ксани располагаются еще два вулканических центра *Цителихати* и *Багини*. Из первого излился длинный лавовый поток андезито-дацитов, заполнивший долину р. Ксани. Центр излияния отмечен невысоким вулканическим конусом шлаковидных лав. Широкий поток, по-видимому, заполнявший ледниковый цирк, вниз по течению Ксани суживается и далее расчленяется на отдельные останцы. Несколько западнее, в 1,5-2 км находится еще один небольшой вулкан Багини, лавовый поток из которого излился раньше, чем из Цителихати, т. к. последний его перекрывает. Эти два центра извержений, располагающиеся среди опрокинутых к югу флишевых отложений нижнего мела, подорванных надвигами, представляют собой самые южные вулканы Кельского вулканического нагорья.

Таким образом, историю формирования группы вулканов Нарванхох можно представить как последовательное излияние потоков преимущественно андезитовых и андезито-дацитовых лав, перекрывавших друг друга, причем самый ранний и большой поток достиг южных отрогов М. Непискало. Извержения шли одно за другим, но сила их уменьшалась, пока не закончилась формированием самого молодого вулканического шлакового конуса Северного Нарванхоха. Этот район Кельского нагорья благодаря озеру Кель один из самых живописных, возникшему благодаря подпруживанию ручьев лавовыми потоками.

Все пространство вокруг шлакового конуса Нарванхох, включая более древние лавовые потоки и возвышенности, сложенных флишем нижнего мела покрыты россыпями пемзовых орешков размером в 1-2 см, следами совсем недавних извержений, иначе покров этих пемзовых орешков был бы уничтожен эрозией, он был бы просто смыт.

Севернее группы Нарванхоха находятся отдельные вулканические массивы – купол *Кели*, вулканы *Дзоценидзе*, *Фидар-хох* и *Эрман*, причем последние как бы связывают Непискальскую группу вулканов и группу Шар-хоха и Шадил-хоха, состоящую из ряда изолированных центров извержений: *Северный* и *Южный Шадил-хох*, *Западный* и *Восточный Шар-хох*, *Сыр-хох*. От этих центров к северу и, особенно, к западу прослеживаются длинные, до 10-15 км лавовые потоки разного возраста. Вулканы Шадил-хох, Шар-хох, Эрман и оба Нарван-хоха явно приурочены к линии северо-западного простирания, характерной для всех надвигов на южном склоне Большого Кавказа. Вулкан Шар-хох обладает конусовидной формой высотой около 100 м с кратером на вершине, из которого к западу излился короткий лавовый поток, хорошо выраженный морфологически. Этот конус возник над центром излияния большого количества лавовых потоков, устремившихся к северу и заполнивших ледниковый цирк.

Потоки выражены очень хорошо, их много и они перекрывают друг друга, образуя бугристую неровную поверхность с напорными валами. Фронтальная часть

потоков образует крутой первичный обрыв, у подножья которого возникло озеро Пасатисар. Возраст андезитовых, местами андезито-дацитовых потоков, скорее всего, поздне-верхнеплейстоценовый, после последнего (Безенгийского II) оледенения. Южнее конуса Шар-хоха находится протяженный скальный выход тех лав, на которые вулкан насажен и который принадлежит этому же вулкану, но более ранних излияний. На аэрофотоснимках хорошо видно, как лавы Шар-хоха перекрывают вулканические породы вулкана Эрман или древние потоки Шар-хоха. Повсеместно наблюдаются моренные отложения последнего оледенения и стадии наступания ледников середины XIX в.

В этой группе вулканов особый интерес представляет огромный и сложный лавовый поток, называемый Эрманским, заполнившим ледниковую троговую долину первого позднеплейстоценового оледенения (Безингийского I), где находятся истоки р. Б. Лиакхва. Неясно, где находится центр извержения, породивший многочисленные Эрманские потоки. По одной версии центр их излияний находился в районе современного, более позднего по времени активности, вулкана Шар-хох, о чем свидетельствует рисунок рельефа, который перекрыт ледниковыми отложениями последнего оледенения. Другой возможный центр извержений находится юго-западнее Шар-хоха и представлен невысоким конусом, от которого уже совершенно определенно начинаются лавовые потоки, которых, по ориентировочным подсчетам по аэроснимкам, насчитывается не менее 16. У всех потоков ясно выражена первичная форма с напорными и боковыми валами, а конечные части потоков фиксируются в боковых притоках, куда лавы затекали вверх по течению ручьев. Эрманский поток в целом имеет общую длину около 15 км или более и может быть самым протяженным на Кельском вулканическом нагорье в Южной Осетии. Его излияние происходило одновременно с образованием потоков из Южного Шар-хоха, распространявшихся к северу, но их объем был меньше. Все лавы Эрманского потока относятся к андезито-дацитам, наиболее распространенному типу лав на Кельском нагорье.

Более молодым вулканом, возникшим в этой же группе, является *Южный Шадил-хох*, образующий правильный конус, высотой в 100 м, с плохо выраженным кратерным углублением на вершине и явно более молодым, чем Эрманские и Шар-хохские потоки (рис. 5).

Реальных лавовых потоков от этого конуса не отходит, а сам он сложен андезито-дацитами серого цвета, местами красноватого, образующими агломератовую лаву. Еще более молодые извержения произошли чуть северо-западнее, менее чем в 1 км от Южного Шадил-хоха, во время которых возник экструзивный купол с крутыми краями, распространившийся как к северу, так и к западу всего на несколько сотен метров. Этот купол прекрасно выражен на аэрофотоснимках, на которых виден его очень молодой возраст. Через какое-то время из центра экструзивного купола началось излияние самого молодого лавового потока, *Ахубатского* или *Ходжского*. Его длина составила 5-6 км и очень интересна его форма, имеющая ширину в истоках у центра излияния не более 0,1-0,2 км и расширяющегося к югу огромным лавовым языком, заполнившим долину между гребнями, сложенными меловым флишем и своей концевой частью уткнулись в более ранний Эрманский лавовый поток. Ахубатские лавы обладают всеми формами рельефа, типичными для средневязких андезито-дацитовых лав. Хорошо выражены напорные валы, свидетельствующие о пульсирующих порциях магмы, а также краевые валы – «борта»,

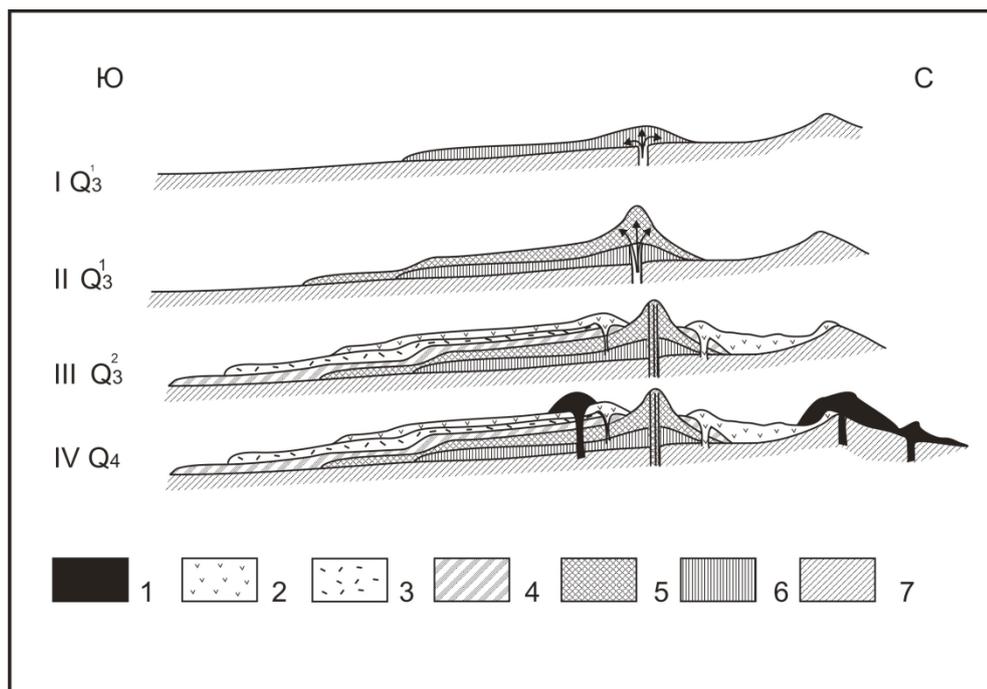


Рис. 5. Схема развития группы Эрман-Ахубатских вулканов: 1 – трахиандезиты и трахиты, 2 – андезито-дациты, 3 – дациты, 4 – андезиты, 5 – андезито-дациты и андезиты, 6 – андезито-базальты, 7 – субстрат

застывающие раньше центральных частей потока. Эти валы в краевых частях потока образовались при излиянии первых порций магмы, достигшей упора в виде более древнего Эрманского лавового потока. Поступающие затем новые порции лавы и создавали напорные валы, имеющие форму полумесяца с выпуклостью в сторону течения. В разрезе Ахубатского или Ходжского потока хорошо прослеживаются три разных лавовых андезито-дацитовых потока, перекрывающих друг друга и наиболее древний из них заполнил троговую долину последнего верхнеплейстоценового оледенения (рис. 2а).

Группа вулканов Шар-хоха и Шадил-хоха наиболее молодая в Кельском нагорье. Сюда нужно еще добавить шлаковый конус Нарван-хоха и весьма эффектный вулкан Хорисар, наиболее северный из всех вулканических центров, приуроченный к субширотному разлому, с которым связаны вулканы Сакохе и Садзели, располагающиеся восточнее р. Байдара и Крестового перевала и большое количество минеральных источников. Вулкан *Хорисар* находится высоко на правом склоне широтного отрезка долины р. Терек после его резкого изгиба в районе с. Коби на Военно-Грузинской дороге. Из этого вулкана произошло три излияния андезитдацитов, но все они достаточно молодые, т. к. наиболее древний поток достиг современного дна долины Терека, хотя и незначительно переуглубленной. Разрез древнего потока обнажается в Касарской теснине Терека, где на правом берегу узкой долины обнажается вулканогенно-обломочная толща, мощностью в 40-50 м, залегающая на карбонатных флишевых отложениях верхней юры – нижнего мела, состоящая из остроугольных обломков плотных, серых, почти черных лав с крупными до 2 мм обильными вкрапленниками белого полевого шпата. Обломки сцементированы плотным и рыхлым вулканическим песком и пеплом. На этом слое залегает толща

серых андезидацитов, переходящих выше в красные, мощностью в вертикальном обрыве до 150-180 м, с тонкой столбчатой отдельностью в нижней части потока, сменяющейся грубой в верхней половине и глыбовой на поверхности потока. Этот наиболее древний лавовый поток в долине Терека отклонился вниз по течению реки и заполнил всю долину. Впоследствии Терек размыл поток, образовав ущелье, называемое Касарской тесниной.

Этот лавовый поток заполнил троговую долину верховьев Терека последнего верхнеплейстоценового оледенения, которая выше запрудивших ее лав расширяется до 1-1,5 км и заполнена мощной толщей флювиогляциальных, пролювиальных и делювиальных отложений, связанных с подпруживанием лавовым потоком. В этом месте очень много серных источников, особенно по правому берегу и отовсюду несетя удушающий запах сероводорода.

В конце позднего плейстоцена произошло новое сильное извержение Хорисара и лавовый поток снова достиг долины Терека и отклонился вверх по течению реки, обтекая выступ древнего потока. Эти более молодые андезидацитовые лавы обладают всеми чертами очень молодого, совсем «свежего» потока, с прекрасно выраженными краевыми валами и глыбовой поверхностью. Вслед за ним произошло излияние еще одного короткого лавового потока, перекрывавшего предыдущий и обладающего всеми чертами почти современного потока, у которого, кроме краевых валов, есть и фронтальный, высотой в 20-30 м. Таким образом, за сравнительно короткое время вулкан Хорисар извергался 3 раза и 2 раза создавал довольно длинные лавовые потоки, возраст которых может оцениваться менее чем в 30 тыс. лет [Лебедев и др., 2011]. Непосредственно рядом в этом вулканом, носящим название *Восточный Хорисар*, немного западнее него располагается более высокий конус еще одного вулкана – *Западного Хорисара*, который не дал лавовых потоков, и представляет собой экструзивный массив андезидацитов серого, черного и красного цветов, похожий на соседний вулкан Б. Непискало или Сырх Арагвинский.

Восточнее Крестового перевала располагается еще два вулкана Сакохе и Садзели, которые приурочены к тому же, что и вулкан Хорисар, так что их следует относить к Кельскому вулканическому нагорью. Вулканы располагаются рядом, но от вулкана Садзели короткие, в 2-2,5 км, устремились по долине Садзели-хеви к Байдарской долине, а из вулкана Сакохе излился протяженный до 15 км поток андезибазальтов в долину Б. Арагви, где он прекрасно обнажается по ее левому борту вплоть до с. Квешети. Еще один центр излияния лав находится в верховьях р. Кадис-Хеви (Кадис-цкали), впадающей в Б. Арагви с севера и огибающий окончание Гудаурского потока, хотя, возможно, этот лавовый поток излился из вулкана Сакохе, из отдельного купола на его восточном склоне, также приуроченном к субширотном разлому, с которым связан и вулкан Хорисар.

Садзели представляет собой моногенный вулкан с очень короткими потоками вязких андезидацитов. Предвершинный гребень вулкана сложен красными лавами с прослоями лавобрекчий и шлаков, которые наклонены в сторону от вершины вулкана. Один из потоков достиг долины Байдары и сейчас его конец виден на ее левом склоне. В лавах много больших до 0,15-0,20 м ксенолитов карбонатных сланцев из субстрата, сложенного флишоидными отложениями свиты ципори (верхняя юра – нижний мел). Этот лавовый поток заполнил трог ранне-верхнеплейстоценового оледенения, но и сам подвергся влиянию поздне-верхнеплейсто-

ценового оледенения, морены которого хорошо видны в трогах. Любопытно, что на лавах повсеместно находятся россыпи светло-желтых пемзовых орешков размером 1-2 см.

Вулкан Сакохе располагается несколько южнее конуса Садзели и представляет собой небольшой лавовый массив, но где-то из этого же района излился протяженный и мощный Гудаурский андезибазальтовый поток, заполнивший верховья долины Б. Арагви. В разрезах левого борта долины можно наблюдать мощную до 120 м толщу рыхлых грубообломочных или вообще не окатанных обломков флишевых пород, размером 0,1-0,2 м и глыб до 0,5 м, заключенных в мелкощебнистом или суглинистом материале – продуктом пролювиальных отложений, заполнявших долину Б. Арагви. Наклон грубой слоистости в этих отложениях направлен к северу, под лавовый поток к осевой части древней долины.

Над этой толщей залегает лавовый поток андезибазальтов мощностью до 100 м, с хорошо выраженной столбчатой отдельностью и тонким прослоем лавобрекчии в основании потока. В подстилающих пролювиальных отложениях видна маломощная красная зона обжига. Лавы Гудаурского потока, отделены от лав М. Непискало узким выступом коренных флишевых пород. В левом склоне Б. Арагви, ниже т. н. «Чертовой долины», в Гудаурском потоке видны два прослоя красных лавобрекчий, свидетельствующие о трех лавовых потоках, общей мощностью до 300 м, тогда как лавобрекчии обладают мощностью в 30-40 м.

Поверхность Гудаурского потока андезибазальтов представляет собой всхолмленное плато, причем высота холмов и гряд 30-40 м и они представляют собой остатки первичного рельефа лавового потока, а не моренные отложения.

Андезибазальтовый поток мощностью до 100-150 м находится в долине р. Кадис-хеви, левом притоке р. Б. Арагви. Сейчас эта река огибает окончание Гудаурского потока и впадает в Б. Арагви около с. Квешети, т. к. лавы запрудили р. Кадис-хеви и даже продвинулись вверх по ее течению. После излияния лав река пропилила себе новое русло, восточнее прежнего и около с. *Спанами* имеются выходы травертинов, перегородивший долину Кадис-хеви и образовавшийся после излияния лав. Не совсем ясно, где находился центр извержения, из которого излился этот поток. Скорее всего, он был на склоне вулкана Садзели, где имеется обособленный купол, непосредственно приуроченный к субширотному разлому [Бубнов, 2003].

По долине р. Б. Лиаква, выше селения Дзау и Боргниси Сазелети в 4-5 км в ее левом борту имеются выходы темно-серых и черных лав, залегающих на крутом склоне долины, а их подошва находится в 50 м от современного днища. В этом же районе имеется еще около 7 выходов андезитовых лав по другим долинам. Судя по их залеганию они явно относятся к верхнему (60 тыс. лет) и к среднему плейстоцену (180 тыс. лет) [Лебедев и др., 2011].

Заключение

Кельский вулканический район характеризуется большим количеством самостоятельных центров извержений. Преобладающий возраст вулканитов разного типа – верхний плейстоцен, возможно голоцен и редко верхи среднего плейстоцена. Состав вулканических пород различный, от андезибазальтов до риолитов, но преобладают андезиты и андезидациты. Этим Кельский вулканический район, как, кстати, и Казбекский, резко отличается от Эльбрусской вулканической области, в которой преобладают риолиты и дациты.

Почему же в этом районе, в пределах Главного хребта Б. Кавказа орографически, но не геологически, проявился такой активный вулканизм и есть ли данные о магматических очагах? В этом отрезке Б. Кавказа ярко проявлены молодые дифференцированные неотектонические подвижки, практически по всем продольным тектоническим зонам. Эти субширотные тектонические движения осложняются поперечной, довольно широкой, до 20 км, зоной нарушений, которая протягивается не менее, чем на 200 км [Милановский, Короновский, 1973]. Выражается она в том, что к востоку от нее продольные тектонические зоны относительно западных, опущены, но это происходит не резко, а как бы ступенчато или в виде флексуры. Именно к этой зоне приурочена Кельская впадина, так же как в других местах, например, Верхнетерская и Тарская на севере.

Проведенные в последние годы работы по комплексу геофизических данных, в основном микросейсмического зондирования (ММЗ) [Горбатиков и др., 2015] показали наличие субвертикального низкоскоростного тела в районе Кельского и Казбекского районов, кровля которого находится на глубине в 10 км, а ее корневые части уходят на глубину в 50 км, т. е. практически это тело занимает всю земную кору. Этот низкоскоростной объем в земной коре и может в целом служить материнским магматическим очагом, от которого отшнуровываются периферические очаги, питавшие вулканы.

Нанесенные на схему точки, соответствующие центрам извержений (см. рис. 1) отвечают, по-видимому, расположению предполагаемых материнских или первичных магматического очага или очагов, от которых поднималась магма выше. Этими подводящими каналами могла служить система ослабленных трещиноватых зон в поперечной Цхинвал-Казбекской неотектонической флексурной зоне.

Литература

1. Бубнов С. Н. Хронология извержений и источники расплавов новейших вулканических центров Большого Кавказа / Автореф. канд. дисс. – М.: МГУ, 2003. – 26 с.
2. Горбатиков А. В., Рогожин Е. А., Степанова М. Ю., Харазова Ю. В., Андреева Н. В., Передерин Ф. В., Заалишвили В. Б., Мельков Д. А., Дзеранов Б. В., Дзобоев Б. А., Габараев А. Ф. Особенности глубинного строения и современной тектоники Большого Кавказа в Осетинском секторе по комплексу геофизических данных // Физика Земли. – 2015. – № 1. – С. 28-39.
3. Лебедев В. А., Чернышев И. В., Шарков Е. В. Геохронологическая шкала и эволюция позднекайнозойского магматизма Кавказского сегмента Альпийского пояса // ДАН. – 2011. – Т. 441. №4. – С. 521-526.
4. Милановский Е. Е., Короновский Н. В. Орогенный вулканизм и тектоника Альпийского пояса Евразии. – М.: Недра, 1973. – 279 с.
5. Милановский Е. Е., Короновский Н. В. Плиоцен-четвертичные образования и неотектоника Большого Кавказа в полосе Военно-Грузинской дороги // Бюлл. МОИП, отд. геологии. – Т. XXXIX (6). – 1964. – С. 57-86.

KELI VOLCANIC HIGHLAND (CENTRAL GREATER CAUCASUS)

© 2018 N. V. Koronovsky, Sc. Doctor (Geol.-Min.), prof.

Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1,
e-mail: koronovsky@rambler. ru

The Kel volcanic plateau is formed by a compact group of more than 25 independent eruption centers, on the site of which volcanoes with numerous streams of lavas of different lengths arose. All of them are connected with the system of young sublatitudinal and submeridional discontinuous disorders. All lava flows and individual volcanic cones are clearly associated with elements of a different ages, mainly late-Quaternary relief and possess good preservation of primary forms. Lava flows of the Nepiskalo volcano flowed from above into the valley of the river Baidara, when the valleys of the river Beloye Aragviessche did not exist. This indicates a very vigorous growth of the Main Caucasian ridge in the area of the Krestovsky Pass. The valley of the river Terek is strongly over-deepened (about 200 m) in the place where it changes its latitudinal flow to meridional.

Keywords: volcanism, andesite, dacite, volcanic centers.

References

1. Bubnov S.N. Hronologija izverzenij i istochniki rasplavov novejsih vulkanicheskikh centrov Bol'shogo Kavkaza [Chronology of eruptions and sources of melts of the newest volcanic centers of the Greater Caucasus]. Avtoref. kand diss. M.: MGU, 2003. 26 p. (in Russian)
2. Gorbatikov A.V., Rogozhin E.A., Stepanova M.Ju., Harazova Ju.V., Andreeva N.V., Perederin F.V., Zaalishvili V.B., Mel'kov D. A., Dzeranov B.V., Dzeboev B.A., Gabaraev A.F. Osobennosti glubinnogo stroenija i sovremennoj tektoniki Bol'shogo Kavkaza v Osetinskom sektore po kompleksu geofizicheskikh dannyh [Features of the deep structure and modern tectonics of the Greater Caucasus in the Ossetian sector on the complex of geophysical data]. Fizika Zemli. 2015. No. 1. Pp. 28-39. (in Russian)
3. Lebedev V.A., Chernyshev I.V., Sharkov E.V. Geohronologicheskaja shkala i jevoljucija pozdnekajnozojskogo magmatizma Kavkazskogo segmenta Al'pijskogo pojasa [Geochronological scale and evolution of Late Cenozoic magmatism of the Caucasian segment of the Alpine belt]. DAN. 2011. Vol. 441. No. 4. – Pp. 521-526. (in Russian)
4. Milanovskij E. E., Koronovskij N. V. Orogennyj vulkanizm i tektonika Al'pijskogo pojasa Evrazii [Orogenic volcanism and tectonics of the Alpine belt of Eurasia]. M.: Nedra, 1973. 279 p. (in Russian)
5. Milanovskij E. E., Koronovskij N. V. Pliocen-chetvertichnye obrazovanija i neotektonika Bol'shogo Kavkaza v polose Voenno-Gruzinskoj dorogi [Pliocene-Quaternary formations and neotectonics of the Greater Caucasus in the zone of the Georgian Military Road]. Bjull. MOIP, otd. geologii. Vol. XXXIX (6). 1964. Pp. 57-86. (in Russian)

УДК 546.92: (470.6)

DOI 10.23671/VNC.2018.1.11249

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРЕДЕЛАХ МАЛКИНСКОГО УЛЬТРАБАЗИТОВОГО МАССИВА (КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

© 2018 С.Г. Парада, д. г.-м. н., проф.

ФГБУН Федеральный исследовательский центр Южный научный центр
Российской академии наук, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону,
пр. Чехова, 41, e-mail: parada@ssc-ras. ru

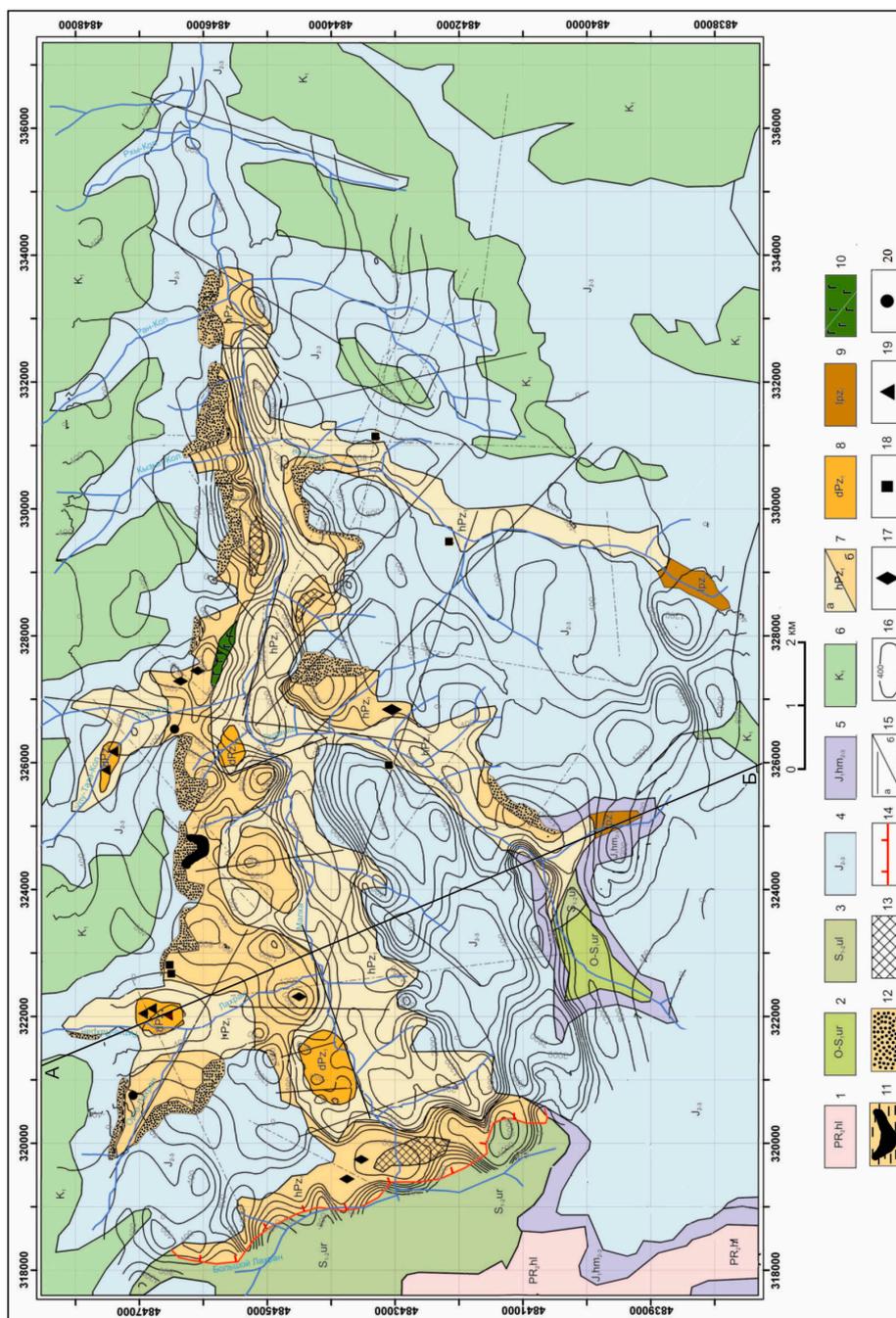
В работе обоснован новый подход к целевому прогнозированию рудоносности Малкинского ультрабазитового массива на основе анализа и специальной обработки современных химико-аналитических данных, с использованием методов петрологического моделирования и сравнительного петрохимического анализа эталонных объектов, а также создания графических пространственных моделей на основе ГИС-обработки и переинтерпретации существующих геолого-геофизических данных. Установлено, что распределение в пространстве различных полезных ископаемых определяется размещением ультраосновных апопород, а их проявление во времени связано с этапами и стадиями магматического становления и эпигенетических изменений ультрабазитовых пород Малкинского массива. Показано, что железные и кобальт-никелевые руды приурочены к железистым апогарцбургитам, а хромитовые руды избирательно локализируются в дунитах. Это дает возможность прогнозировать наиболее ценные полезные ископаемые в перекрытой меловыми отложениями части массива.

Ключевые слова: минерагения, никель, кобальт, хром, платина, ультрабазиты, серпентиниты, петрологическое моделирование, Северный Кавказ.

При минерагенических исследованиях все большее внимание уделяется проблемам разработки новых принципов прогнозирования, поиска и разведки полезных ископаемых на основе выявления закономерностей их размещения. В этом отношении особый интерес представляют ультрабазитовые комплексы. Ультрабазиты встречаются на поверхности Земли значительно реже, чем другие группы пород, составляя менее 1% объема всех изверженных образований. Вместе с тем практически все они содержат многие виды полезных ископаемых (платина и платиноиды, руды хрома, кобальта, никеля, меди, железа, асбеста и др.) и сами по себе могут представлять интерес в качестве полезного ископаемого (огнеупорное и кислотоупорное сырье, различные строительные материалы и др.).

На Северном Кавказе такие потенциально рудоносные ультраосновные породы известны в форме отдельных серпентинитовых массивов в пределах узкой полосы его горной части от Черного до Каспийского моря, где они составляют Кавказский отрезок альпийско-гималайского протерозойско-палеозойского офиолитового пояса [Хаин, 1984; Скрипченко, Пруцкий, 2002; Parada et al., 2014; Парада, 2017 и др.]. Самым крупным из них является Малкинский массив. Его особенностью является то, что только 20% его площади доступно для непосредственного изучения. Остальные 80% перекрыты меловыми отложениями.

Рис. 1. Распределение полезных ископаемых в пределах Малкинского ультрабазитового массива по [Маркин и др., 2016] с дополнениями и изменениями автора: 1 – протерозойские метаморфизованные породы; 2 – ордовик-силурийские песчаники, алевролиты; 3 – силурийские фиделизированные глинистые и глинисто-алевролитовые сланцы, песчаники, кварциты; 4 – средне-верхнеюрские песчано-глинистые отложения; 5 – нижнеюрские песчаники, прослой углей; 6 – нижнемеловые известняки, доломиты; 7 – апогардбургиты (а – нормальные апогардбургиты) и б – железистые апогардбургиты; 8 – аподуниты; 9 – лерцолиты; 10 – габброиды; 11 – никель-кобальтовые руды; 12 – железные руды; 13 – апогардбургиты с гидротермальным нарушением (а – установленные, б – предполагаемые); 15 – изолинии локальных магнитных аномалий; полезные ископаемые: 17 – асбест; 18 – медные и свинцово-цинковые руды; 19 – хромитовые руды; 20 – камнецветное сырье



Малкинский ультрабазитовый массив по данным В.Е. Хаина входит в состав Средиземноморского офиолитового пояса, состоящего из серии тектонических пластин – фрагментов тектонических покровов, сформированных в период проявления позднепалеозойской коллизии южной (в современных координатах) пассивной окраины Восточно-Европейской платформы и палеомикроконтинента Центрального Кавказа (современный горст-антиклинорий Главного хребта) [Хаин, 1984]. На западе по р. Уллу-Лахран и, частично, на юге в верховьях р. Гедмыш массив граничит с отложениями верхнего силура по тектоническому разлому. Однако, по результатам ГДП 200 установлены признаки интрузивного контакта ультрабазитов с верхнесилурийскими сланцами [Маркин, 2011]. По Н.С. Скрипченко и Н.И. Пруцкому Малкинский массив представляет собой субсогласное пластообразное интрузивное тело мощностью более 0,5 км [Скрипченко, Пруцкий, 2002]. Большая часть массива трансгрессивно перекрыта среднеюрско – нижнемеловым карбонатно-терригенным комплексом Северо-Кавказской моноклинали. Породы массива разбиты многочисленными трещинами отдельности, тектоническими зонами дробления, брекчирования и развальцевания. В пределах обнаженной части Малкинского массива известны руды железа, никеля, кобальта, хрома, а также асбест, магнезит и др. Однако фундаментальные вопросы его минерогенеза еще не исследованы. До сих пор этот массив считался однородным, сложенным в основном апогарцбургитовыми серпентинитами, месторождения черных и цветных металлов изучались как продукты юрской коры выветривания вне связи с более древней геологической историей массива, не оценивалась возможность изучения минерогенеза потенциала основной области распространения Малкинского массива, перекрытой мезозойскими отложениями, площадь, которой в 5 раз больше обнаженной его части.

На геологических картах различного масштаба Малкинский ультрабазитовый массив изображен однородным телом. Вместе с тем, металлогенетические, геофизические и геохимические данные указывают на его первичную неоднородность, что определяет перспективы обнаружения различных полезных ископаемых [Парада и др., 2011; Парада и др., 2014; Тарасов и др., 2015]. Осуществленное нами картирование апопород Малкинского массива по результатам оцифровки и переинтерпретации аэромагнитной съемки и петрографических исследований [Маркин, Парада, Шишкалов, 2016] позволило выявить его первично магматическую расслоенность. Установлено, что донная часть массива представлена аполерцолитами, наиболее объемная промежуточная часть – апогарцбургитами, верхняя часть – железистыми апогарцбургитами; при этом, центральная часть расслоенного массива прорвана небольшими штоками аподунитов (рис. 1).

Наиболее интересные в промышленном отношении никель-кобальтовые и природно легированные железные руды располагаются в основном в северной части массива и в среднем течении руч. Гедмыш. Являясь месторождениями коры выветривания, они избирательно развивались только по железистым апогарцбургитам, которые продолжают далее на север под толщу мезозойских осадочных образований. Следует ожидать, что вместе с ними туда потянутся и названные руды.

По результатам ранее проведенных геологоразведочных работ никель-кобальтовые и железные руды коры выветривания подразделяются на остаточные и осадочные (переотложенные) руды. Совместное нахождение бобовых и оолитовых структурных типов железных руд предполагает их формирование в континентальных

условиях как непосредственно в коре выветривания, так и путем переотложения в субаэральных условиях и осаднения в водной среде озер и болот. Это подтверждается и неправильной карманообразной формой рудных тел в первом случае, линзообразной и пластообразной – во втором случае. В обоих случаях распространение всех типов никель-кобальтовых и железных руд не выходит за пределы распространения железистых апогарцбургитов. Разности железных руд, которые можно использовать в качестве минеральных пигментов, более всего связаны с развитием переотложенных гематитовых руд с содержанием Fe_2O_3 около 22% и также не выходят за пределы железистых апогарцбургитов.

Проявления медных и свинцово-цинковых руд на левобережье среднего течения руч. Лахран, являясь продуктом синемюр-плинсбахской тектоно-магматической активизации киммерийской эпохи, избирательно развиваются в железистых апогарцбургитах и коре выветривания по ним в форме сульфидно-кварц-карбонатных прожилков. В других разностях ультраосновных пород такие прожилки нами не обнаружены и не отмечались предшественниками.

Проявления асбеста известны в среднем течении руч. Таза-Кол, а также в западной части массива в виде прожилков выполнения в сильно измененных железистых апогарцбургитах, в связи с внедрением более поздних габброидов.

Проявления зеленого халцедона отмечаются в среднем течении руч. Таза-Кол и истоках руч. Орта-Лахран. Они обусловлены высвобождением свободного кремнезема при автотометасоматической серпентинизации железистых апогарцбургитов.

Все известные проявления хромитовых руд приурочены к телам аподунитов. Хромит концентрируется в форме густой вкрапленности, нодулей, удлиненно-овальных шпиров и жилообразных тел. Именно со скоплениями таких хромитовых выделений в дунитах связаны все известные месторождения платины в ультраосновных породах. Действительно самородная платина и некоторые другие содержащие платину минералы являются типоморфными породообразующими минералами ультрабазитов. Однако не во всех типах ультрабазитов они могут достигать промышленных значений. Известно, что платинометальные месторождения магматического генезиса связаны с тремя формационными комплексами [Додин и др., 1995; Лазаренков, Таловина, 2001]: 1) расслоенных массивов основных и ультраосновных магматических пород бушвельдского и норильско-галнахского типов, 2) зональных дунит-клинопироксенитовых массивов уральско-аляскинского типа и 3) метаморфических перидотитов и полосчатых офиолитов. Из них важнейшее экономическое значение имеет группа месторождений, связанных с расслоенными массивами. В платинометальных рудах расслоенных массивов Бушвельда и Норильска заключено более 95% разведанных мировых запасов платины и палладия. По своему генезису это ликвационно-метасоматические образования, в которых платина и палладий могут концентрироваться в ходе магматического расслоения и кристаллизационной дифференциации магмы.

Зональные дунит-клинопироксенитовые массивы уральско-аляскинского типа являются источником крупных россыпей, образующихся при их разрушении. Считается, что значительных по запасам коренных месторождений они не содержат. Известны лишь небольшие коренные рудопроявления платины в дунитах Нижне-Тагильского и Кондерского массивов. Тем не менее, опыт работы автора в пределах Кондерского массива (Дальний Восток) показал возможность обнаружения в них крупных месторождений платины [Парада и др., 2009].

С офиолитовыми массивами пространственно и генетически связаны небольшие месторождения, главным образом иридомина и осмирида на Урале, в Южно-африканской республике, на северо-востоке России, на Камчатке, на о. Хоккайдо и др. С офиолитовыми массивами также ассоциируют мелкие осмиево-иридиевые россыпи Урала и Сибири.

Для каждого из типов платинометалльных месторождений, связанных с перечисленными выше формационными комплексами, разработаны петрологические модели [Додин и др., 1995]. Они позволяют выявить петрогенетические тренды, характеризующие конкретные природные процессы формирования базит-гипербазитовых массивов, или их частей, характера и направленности ликвационной и кристаллизационной дифференциации и определить значимость выявленных трендов как критериев потенциальной рудоносности.

Нами построена петрологическая модель Малкинского ультрабазитового массива [Парада и др., 2011] по методике, изложенной в [Додин и др., 1995], и проведено ее сопоставление с эталонными петрологическими моделями платиноносных массивов мира, представленных в работе [Додин и др., 1995].

Сравнительный анализ нанесенных на диаграммы точек составов пород Малкинского массива (рис. 2) показывает, что все вариации их химизма укладываются в четыре тренда, два из которых характеризуют магматическую дифференциацию,

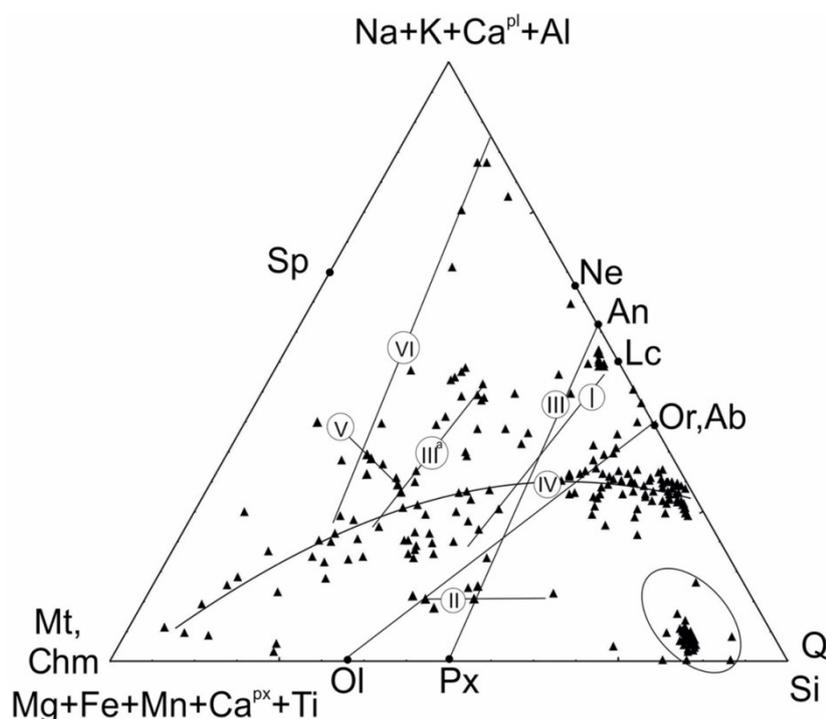


Рис. 2. Петрологическая модель Малкинского ультрабазитового массива, по [Парада, 2017] с дополнениями автора: I – тренд внутрикамерного расслоения; II – оливин-пироксеновый тренд; III – пироксенит-габбро-анартозитовый тренд; IIIa – дуниты; IV – гранофир-габбро-гарцбургит-титаномагнетитовый тренд; V – тренд хромитовые руды; VI – тренд, характеризующий постмагматические процессы; овалом в «кремниевом углу» обведены точки гипергенной силицификации. Нормативный состав минералов: Px – пироксена, Ol – оливина, Mt – магнетита, Chm – хромита, Sp – шпинели, Ne – нефелина, An – анортита, Lc – лейциты, Or – ортоклаза, Ab – альбита, Q – кварца

Таблица 1.

Эпохи, этапы и стадии формирования полезных ископаемых Малкинского ультрабазитового массива

| Минеральная эпоха | Породы Этапы и стадии | Лерцолиты | Апогарцбургиты | Железистые апогарцбургиты | Аподуниты |
|---------------------------------|---------------------------------------|---|---|--|--|
| Альпийская | Гипергенный, щелочная | ? | ? | Карбонатизированные апогарцбургиты. Богатые остаточные, осадочные и переотложенные гематитовые руды | ? |
| Киммерийская | Гипергенный, сиалитная | ? | Слабая нонтронитизация | Нонтронитовая кора выветривания. Рядовые гематитовые руды, сульфидные никель-кобальтовые руды | ? |
| | Тектоно-магматической активизации | ? | Серпентинизация 2 | Серпентинизация 2. Медно-свинцово-цинковые прожилково-вкрапленные руды | Серпентинизация 2 |
| Байкальская | Постмагматического автотометасоматоза | Серпентинизация 1 | Серпентинизация 1. Асбест | Серпентинизация 1. Бедные магнетитовые руды, халцедон | Серпентинизация 1. Платина |
| | Поздне-магматический, интрузивный | ? | Сантиметровые зонки закалки в экзоконтактах дунитов | | Трубки аподунитов. Хромитовые руды, платина |
| Ранне-магматического расслоения | | Формирование расслоенного массива, состоящего из лерцолитов донной части и переслаивания нормальных и железистых гарцбургитов в верхней части. Огнеупорное и кислотоупорное сырье, бутовый и облицовочный камень, декоративная крошка, щебень, мелиоранты | | | |

отличаясь полярной ассоциацией фемафилов и элементов группы кремнезема, калия, натрия, алюминия, а также рудообразующих элементов. Размещение фигуративных точек составов пород Малкинского массива вдоль оливин-пироксенового, пироксен-анортитового, гранофир-габбро-титаномагнетитового трендов и тренда отщепления рудных магм хромитового состава дает основание сопоставлять рассматриваемый массив с Бушвельдским плутоном Южной Африки, с которым связаны крупнейшие платиновые месторождения мира. Исходя из этой модели, можно ожидать платино-хромитовый и платиноидно-титано-магнетитовый типы возможных месторождений платины, связанных с ультрабазитами Малкинского массива.

Таким образом, распределение в пространстве различных полезных ископаемых определяется размещением ультраосновных апопород: асбест, камнесамоцветное сырье, железные, никель-кобальтовые и медно-свинцово-цинковые руды приурочены к железистым апогарцбургитам; хромовые руды и минералы платиновой группы – к аподунитам; нормальные апогарцбургиты могут служить сырьем для производства строительных материалов. Проявление во времени различных полезных ископаемых связано с определенными этапами и стадиями геологического развития массива и разновозрастными эпигенетическими изменениями ультраосновных пород (табл. 1).

На стадии раннемагматического расслоения формировались лерцолиты донной части, выше образовались нормальные гарцбургиты, затем железистые гарцбургиты. Минерагеническое значение этой стадии заключается не столько в том, что сами ультраосновные породы могут являться полезными ископаемыми в качестве огнеупорного и кислотоупорного сырья, строительных материалов и магниевых удобрений, сколько в расслоении гарцбургитовой магмы на нормальную и железистую составляющие. Именно железистые гарцбургиты оказались подвержены избирательному оруденению на последующей стадии постмагматического автоматасоматоза и последующих этапах киммерийской тектоно-магматической активизации и гипергенеза, а также альпийского гипергенеза. Все это последовательно привело к формированию на субстрате железистых апогарцбургитов магнетитовых, медно-свинцово-цинковых, никель-кобальтовых и железных руд, и в альпийскую эпоху богатых переотложенных гематитовых руд.

Не менее важным является формирование на позднемагматической интрузивной стадии штоков аподунитов, которые традиционно содержат месторождения хромитов и металлов платиновой группы с последующим их переотложением в условиях постмагматической серпентинизации.

Таким образом, установлено, что размещение различных типов полезных ископаемых Малкинского ультрабазитового массива в пространстве предопределено распределением апопород, а их проявление во времени – характером и степенью эпигенетических преобразований. Это дает возможность прогнозировать конкретные виды полезных ископаемых (в том числе по геофизическим данным) в перекрытой юрско-меловыми отложениями части массива.

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН на 2018 г., № гр. проекта 01201363185

Литература

1. Додин Д. А., Чернышев Н. М., Яцкевич Б. А., Глухоедов Н. В., Дюжиков О. А., Оганесян Л. В., Тарасов В. Н., Филько А. С., Лабутин А. Н., Митрофанов Г. Л., Седых Ю. Н. Состояние и проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов (Результаты и направления исследований по программе «Платина России») // В кн.: Платина России. – М.: Геоинформмарк, 1995. – Т. II. Книга 1. – С. 7-48.
2. Лазаренков В. Г., Таловина И. В. Геохимия элементов платиновой группы. – СПб.: Галарт, 2001. – 266 с.
3. Маркин М. Ю. Предпосылки и признаки платиноносности Малкинского гипербазитового массива // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2011. – № 3. – С. 74-77
4. Маркин М. Ю., Парада С. Г., Шишкалов И. Ю. Состав и строение Малкинского ультрабазитового массива по результатам переинтерпретации аэромагнитных данных (Кабардино-Балкарская Республика) // Геология и геофизика юга России. – 2016. – № 3. – С. 98-110.
5. Парада С. Г. Предпосылки и признаки платиноносности гипербазитовых массивов Северного Кавказа // Наука Юга России. – 2017. – Т. 13. № 1. – С. 59-73.
6. Парада С. Г., Маркин М. Ю., Холод Ю. В., Шишкалов И. Ю. Минерагенические аспекты геохимических исследований Малкинского рудного района // Вестник ЮНЦ, – 2011. – Т. 7. № 1. – С. 47-58.
7. Парада С. Г., Маркин М. Ю., Шишкалов И. Ю. Особенности размещения хромшпинелидовой минерализации в пределах Кондерского массива и новый подход к поискам платины в дунитах // В кн.: Всерос. Конф. «Чтения памяти академика К. В. Симакова». 25-27 ноября 2009 г. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2009. – С. 132-136.
8. Парада С. Г., Столяров В. В., Маркин М. Ю., Шишкалов И. Ю. Проявление потенциально платиноносных гипербазитов в геохимических аномалиях Ni, Cr и Co на примере Восточной части Передового хребта (Кабардино-Балкарская Республика) // Геология и геофизика Юга России. – 2014. – № 2. – С. 42-54.
9. Скрипченко Н. С., Пруцкий Н. И. Генезис окраинных бассейнов с активной терригенной седиментацией (на примере активных бассейнов кавказской группы). – Новочеркасск: Южно-Российский государственный технический университет. – 2002. – 175 с.
10. Тарасов В. А., Емкужев М. С., Парада С. Г., Столяров В. В. Геофизические методы при поисках золоторудной минерализации на флангах Тырнаузского рудного узла // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2015. – № 1. – С. 109-117.
11. Хаин В. Е. Офиолиты и герцинская покровная структура Передового хребта Северного Кавказа. – М.: Наука, 1984. – 94 с.
12. Parada S. G., Markin M. Y., Stolyarov V. V., Shishkalov I. Y. The first chemical-analytical data on the platinum-bearing potential of the Beden serpentinite massif (Karachai-Cherkesiya) // Doklady Earth Sciences. – 2014. – Т. 454. № 2. – С. 128-130.

DENSITYREGULARITIES OF COLORED AND NOBLE METALS IN THE BORDERS OF THE MALKIN ULTRABASIC MASSIVE (KABARDINO-BALKAR REPUBLIC)

© 2018 S.G. Parada, Sc. Doctor (Geol.-Min.), prof.

Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Russia,
344006, Rostov-on-Don, Chekhova Str., 41, e-mail: parada@ssc-ras.ru

The paper substantiates a new approach to the purposive ore mineralization forecast of the Malkin ultrabasic massif based on analysis and special processing of modern chemical analytical data, using petrological modeling methods and comparative petrochemical analysis of reference objects, as well as creating graphical spatial models based on GIS processing and reinterpretation of existing geological and geophysical data. It is established that the distribution in space of various minerals is determined by the location of ultrabasic rocks, and their manifestation in time is associated with the steps and stages of magmatic formation and epigenetic changes in ultrabasic rocks of the Malkinmassif. It is shown that iron and cobalt-nickel ores are confined to ferruginous apogartzburgites, and chromite ores are selectively localized in dunites. This makes it possible to predict the most valuable minerals in the part of the mass that is covered by Cretaceous sediments.

Keywords: minerageny, nickel, cobalt, chromium, platinum, ultrabasic, serpentinites, petrological modeling, Northern Caucasus.

References

1. Dodin D.A., Chernyshev N.M., Jackevich B.A., Gluhoedov N.V., Djuzhikov O.A., Ogenesjan L.V., Tarasov V.N., Fil'ko A. S., Labutin A.N., Mitrofanov G.L., Sedyh Ju.N. Sostojanie i problem razvitiya mineral'no-syr'evobazy platinovyh metallov (Rezul'taty i napravlenij aissledovanij po programme «Platina Rossii») [The state and problems of the development of the mineral and raw materials base of platinum metals (Results and directions of research on the «Platinum of Russia» program)]. V kn.: Platina Rossii. M. Geoinformmark, 1995. Vol. II. Book 1. Pp. 7-48. (in Russian)
2. Lazarenkov V.G., Talovina I.V. Geohimija jelementov platinovoj gruppy [Geochemistry of elements of the platinum group]. SPb. Galart, 2001. 266 p. (in Russian)
3. Markin M.Ju. Predposylki i priznaki platinonosnosti Malkinskogo giperbazitovogo massiva [Preconditions and signs of platinum bearing capacity of the Malkin hyperbasite massif]. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazckij region. Estestvennye nauki. 2011. No. 3. Pp. 74-77 (in Russian)
4. Markin M.Ju., Parada S.G., Shishkalov I.Ju. Sostav i stroenie Malkinskogo ul'trabazitovogo massiva po rezul'tatam pereinterpretaci i ajeromagnitnyh dannyh (Kabardino-Balkarskaja Respublika) [Composition and structure of the Malkin ultrabasic massif by results of reinterpretation of aeromagnetic data (Kabardino-Balkarian republic)]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2016. No. 3. Pp. 98-110. (in Russian)
5. Parada S.G. Predposylki i priznaki platinonosnosti giperbazitovyh massivov Severnogo Kavkaza [Preconditions and signs of platinum bearing capacity of hyperbasite massifs in the North Caucasus]. Nauka Juga Rossii. 2017. Vol. 13. No. 1. Pp. 59-73. (in Russian)
6. Parada S.G., Markin M.Ju., Holod Ju.V., Shishkalov I.Ju. Mineragenicheskie aspekty geohimicheskijh issledovanij Malkinskogo rudnogo rajona [Mineragenic aspects of geochemical studies of Malkin ore region]. Vestnik JuNC. 2011. Vol. 7. No. 1. Pp. 47-58. (in Russian)
7. Parada S.G., Markin M. Ju., Shishkalov I. Ju. Osobennosti razmeshhenija hromshpinelidovoj mineralizacii v predelakh Konderskogo massiva i novyj podhod k poiskam platiny v dunitah [Peculiarities of placement of chrome spinel mineralization within the Kondersk massif and a

new approach to the search for platinum in dunites]. V kn.: Vseros. Konf. «Chtenija pamjati akademika K. V. Simakova». 25-27 nojabrja 2009 g. Magadan. SVKNII DVO RAN, 2009. Pp. 132-136. (in Russian)

8. Parada S. G., Stoljarov V. V., Markin M. Ju., Shishkalov I. Ju. Projavlenie potencial'no platinonosnyh giperbazitov v geohimicheskikh anomalijah Ni, Cr i Co na primere Vostochnoj chaste Peredovogo hrebta (Kabardino-Balkarskaja Respublika) [The manifestation of potentially platinum-bearing hyperbasites in the geochemical anomalies of Ni, Cr, and Co on the example of the Eastern part of the Forward Range (Kabardino-Balkaria Republic)]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2014. No. 2. Pp. 42-54. (in Russian)

9. Skripchenko N. S., Pruckij N. I. Genezis okrainnyh bassejnov s aktivnoj terrigennoj sedimentaciej (na primere aktivnyh bassejnov kavkazskoj grupy). [Genesis of marginal basins with active terrigenous sedimentation (based on the example of the active basins of the Caucasian group)]. Novocherkassk, Juzhno-Rossijskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet. 2002. 175 p. (in Russian)

10. Tarasov V. A., Emkuzhev M. S., Parada S. G., Stoljarov V. V. Geofizicheskie metody pri poiskah zolotorudnoj mineralizacii na flangah Tyrnyauzskogo rudnogo uzla [Geophysical methods in the search for gold mineralization on the flanks of the Tyrnyauz ore cluster]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Geologija. 2015. No. 1. Pp. 109-117. (in Russian)

11. Hain V. E. OfiolityigercinskajapokrovnajastrukturaPeredovogohrebtaSevernogoKavkaza [The ophiolites and the Hercynian cover structure of the Forward Ridge of the North Caucasus]. M. Nauka, 1984. 94 p. (in Russian)

12. Parada S. G., Markin M. Y., Stoljarov V. V., Shishkalov I. Y. The first chemical-analytical data on the platinum-bearing potential of the Bedenserpentinite massif (Karachai-Cherkesiya) // Doklady Earth Sciences. – 2014. – T. 454. №2. – S. 128-130.

УДК 553.66:553.61.13 (571.66.+571.661)
DOI 10.23671/VNC.2018.1.11251

ВЕТРОВАЯМСКИЙ ВУЛКАНОГЕН И ЕГО РУДНЫЙ РАЙОН (ЮГО-ЗАПАД ЮГО-ВОСТОЧНО-КОРЯКСКОГО ПОЯСА)

© 2018 Г. П. Яроцкий¹, к. г.-м. н., Х. О. Чотчаев²

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Россия, 683006, Камчатский кр., г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9, e-mail: ecology@kscnet.ru;

²Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru

В Корякском нагорье ярко проявлен прирост континента рядом вулканических северо-восточных орогенных поясов. Они лежат в Морской транзитали литосферы южной окраины СВ Азии и вмещают золото, серебро, самородную серу, медь. Пояса обособлены по простирацию отдельными вулканогенами, которые являются тектоно-магматическим субстратом рудных таксонов. Описан Ветроваяямский вулканоген с его элементами системы «тектоника-минерагения» рудного Ильпинского района. Доказано положение вулканогена на тектоническом своде воздымающейся глыбы литосферы, заключённой поперечными межглыбовыми разломами. К востоку от вулканогена лежит территория сильных землетрясений Хаилинского и Олюторского (1991 и 2006 гг.), что определяет вероятную сейсмоопасность для возникающего в районе горнодобывающего предприятия по добыче рудного золота.

Ключевые слова: вулканоген, сейсмичность, тектоника, закономерности, разломы, глыбово-клавишная структура литосферы.

Введение

Ветроваяямский вулканоген является изолированным звеном на западе Юго-Восточно-Корякского вулканического пояса. Пояс является орогенной геоструктурой миоцен-квартера на границе Центрально-Корякской и Олюторской тектонических зон. Он простирается от р. Анапки вдоль Ветвейского хребта, р. Вывенки через бассейн р. Пахачи и г. Ледяную на северо-восток к Анадырскому заливу.

Вулканоген является тектоническим субстратом минерагенического таксона – Ильпинского рудного района Олюторской металлогенической провинции Коряско-Камчатской металлогенической области. Он в составе провинции занимает положение наложенных металлогенических зон с проявлением миоценового субэпирального вулканизма [Карта полезных ископаемых..., 1999].

В основании геотектоники материковой части Корякии территория вулканогена определена как Ватынский тектонический покров Центрально-Корякской тектонической зоны, на котором лежат орогенные вулканы миоцена. Тектонический покров перекрывает Вывенскую зону выходов меланократового фундамента с его интрузиями диоритов и гранодиоритов [Апрелков и др., 1997].

Вулканоген размещён на территории воздымающейся глыбы литосферы полуостровов Ильпыр-Ильпинский-Говена. Он является конечным звеном Юго-Восточно-Корякского вулканического пояса миоцена на его ЮЗ окончании в Олюторской тектонической зоне. Он лежит в зоне регионального Вывенского глубинного раз-

лома на границе с Олюторской и Центрально-Корякской тектонической зоной. К западу от вулканогена в соседней глыбе литосферы Олюторского залива в 1991 г. и 2006 г. произошли сильные землетрясения ($M > 6$), что определяет её потенциальную сейсмоопасность. Территория их облаков афтершоков лежит в 20-80 км от вулканогена к востоку, что определяет аспекты сейсмобезопасности создаваемого его горнодобывающего предприятия. Вулканоген определяет территорию Северо-Камчатского сероносного рудного района с рядом проявлений и месторождений в рудных узлах и полях самородной серы, золота, ртути, меди [Яроцкий, 2006а, 2007]. Впоследствии район получил название Ильпинского рудного [Карта полезных ископаемых..., 1999]. Авторы настоящей статьи работали в 1965-74 гг. на ряде серопроявлений его полей и узлов [Яроцкий и др., 1971]. В настоящее время в связи с обращением к вторичным кварцитам вулканогена как объекту золоторудного сырья, с содержанием до 10 г/т, в районе организуется горнодобывающий комплекс.

Ветровая́мский вулканоген, его минералогия и тектоника являются предметами статьи авторов, как следствие переосмысления его позиций.

Методология и методика исследования

Методологической основой исследования является авторская Концепция глыбово-клавишной структуры литосферы на активных окраинах континентов Тихоокеанского подвижного пояса, в частности, его северо-запада [Яроцкий, 2006а]. Исходной идеей Концепции является продольная зональность окраинных складчатых геоструктур Корякско-Камчатского региона, которые во времени последовательно наращивают континент вместе с серией вулканических поясов СВ простирания. В регионе это (с запада на восток пояса): Охотско-Чукотский, как ветвь Катазиатского пояса (поздний мезозой-кайнозой), Западно-Камчатский (поздний мел-неоген), Центрально-Камчатский (неоген-квартер), Восточно-Камчатский и Юго-Восточно-Корякский (поздний кайнозой) пояса. Эти региональные геоструктуры образовали структурно-формационные зоны (СФЗ) на материке региона: Гижигинскую, Пенжинскую, Центрально-Корякскую, Олюторскую и Хатырскую. Они же рассматриваются как тектонические зоны региона, главными элементами которого является консолидированная кора со складчатыми зонами [Апрелков и др., 1997]

На границах зон прироста континента в регионе формировались субрегиональные орогенные вулканические пояса. Между Гижигинской и Пенжинской структурно-формационными зонами – Пенжинский – эоценовый, Пенжинской и Центрально-Корякской – Северо-Западно-Корякский – олигоценый, Центрально-Корякской и Олюторской – Юго-Восточно-Корякский миоценовый пояса.

Для орогенных поясов устанавливается цепочка изолированных площадей, иногда называемых вулканическими полями. Для таких площадей известно классическое определение вулканогена: *«Самостоятельное звено вулканических поясов, относящееся к особому генетическому типу тектонических структур, которые почти везде «срезают» уже сформированные складчатые образования; связанные с гранитоидными процессами активизации»* [Тектоника..., 1976, стр. 511].

Локализация вулканогенов по простиранию как самостоятельных звеньев поясов обусловлена глыбово-клавишной структурой литосферы. Основное её концептуальное положение – создание продольных СВ региональных геоструктур прироста звеньями-структурами, обособленных поперечными СЗ разломами, – т.е.

вулканогенами. По Тихоокеанскому подвижному поясу прирост континента создают СВ геоструктуры, наследующие СВ составляющую диагональной планетарной регматической сетки в Корьякии, на Чукотке, островах Курильской гряды, Сахалине, Японии, Новой Зеландии, Южной Америки. Эти региональные вулканические пояса и складчатые геоструктуры прироста суши подвижного пояса разделены упомянутыми поперечными СЗ разломами, которые простираются через океан и моря (в т. ч. внутренние) и следятся на континенте через 65-110 км. Поперечные разломы образуют СЗ глыбы, включающие последовательный от океана вглубь континента набор разновозрастных – «разноцветных» частей большего ряда региональных геоструктур прироста – главным образом вулканических поясов активных окраин континента. Эти части и являются *вулканогенами* поясов – их обособленные звенья. По простираанию поясов вулканогены перемежаются локальными тектоническими геоструктурами типа впадин, блоков, выступов фундамента, др., а также складчатыми структурами чехла и фундамента [Яроцкий, 1973, 2014, 2017].

В поясах Сахалина, Японии, Новой Зеландии вулканогены локализируются в линейных и узловых тектонических условиях. Линейные вулканогены поясов являются продольными звеньями, отличающимися от соседних звеньев по стратиграфии и по веществу, включающему и полезные ископаемые, геодинамическим условиям нахождения – погружения либо воздымания, геофизическими характеристиками. Таким линейным вулканогеном является предлагаемый к рассмотрению Ветроваямский на юго-западе Юго-Восточно-Корякского орогенного вулканического пояса (миоцена-квартера). Линейные вулканогены, как правило, являются протяжёнными отдельными площадными тектоническими структурами. Они в вулканических областях являются следствием вертикальных движений фундамента и наследуют его тектоническую делимость.

В условиях опускания фундамента линейный вулканоген является частью вулканического пояса или складчатых геоструктур – типа прогибов, впадин, грабенов. В условиях воздымания фундамента линейный вулканоген является компенсационным образованием, регулирующим геостатическое равновесие движений [Яроцкий, 2006б]. Другой тип вулканогена является узловым. Он образован на месте пересечения сочленения двух региональных СВ геоструктур СФЗ поперечными межглыбовыми разломами. Этот тип вулканогенов образован в Северо-Западно-Корякском поясе олигоцена в местах сочленения СВ Пусторецко-Парапольского прогиба и северной окраины Центрально-Корякской тектонической зоны. Место сочленения пересечено тремя поперечными межглыбовыми разломами: Парень-Таловско-Тиличикским, Омолон-Каменско-Олюторским и Олойско-Слаутнентско-Ачайваямским с образованием узловых вулканогенов.

Согласно авторской Концепции на южной окраине позднемезозойского континента – фундамент и чехол – и приращённого побережья суши, поперечные разломы разграничивают полуострова от заливов. Первые отражают геодинамическое воздымание литосферы, вторые – погружение. Типичным примером вулканогена на поднятиях является упоминающийся Ветроваямский вулканоген миоцена на воздымающейся глыбе полуостровов Ильпыр-Ильпинский-Говена. Он ограничен на ЮЗ и СВ погружающимися глыбами литосферы, его звеньями Анапкинской и Вывенской локальных впадин, частями поперечных межглыбовых разломов. Впадины являются индикаторным элементом погруженных глыб Кичигинского и Олюторского заливов. Ветроваямский вулканоген на поверхности представлен вулканическим

миоценовым комплексом покровных фаций андезитов, андезибазальтов, редко базальтов. Интрузивный комплекс представлен диоритами, гранодиоритами, которые простираются вдоль оси Вывенского глубинного разлома на северо-восток [Голяков, 1980; Мишин, 1985].

Метасоматическая рудная колонка и геотектоника вулканогена

На поверхности вулканогена выведена глубинная часть метасоматической колонки вторичных кварцитов с Au, Ag, Cu, W, Mo в ассоциации с серицитовыми, диккитовыми, андалузитовыми и диаспоровыми высокотемпературными фациями. Характерным для них является накрит, жильный кварц. В верхах колонки, вскрытой скважинами – монокварциты, алунитовые и серные кварциты с самородной серой вулканогенно-метасоматического генезиса и рудной нагрузкой (рис. 1). Эта же колонка в плане отражает минеральную миграционную зональность в обе стороны от рудоносных интрузий зоны вывенского глубинного разлома.

Названная выше колонка характеризует Малетойваямский рудный узел, сформированный в поднятой части вулканогена и его фундамента (рис. 1). К югу от Малетойваямского узла на поверхность выходят образования палеоцен-эоценового Ильпинского тектонического свода п-ова Ильпинского. К своду приурочен подъём позднемелового фундамента [Мороз и др., 2014], представленного на южной оконечности Ильпинского п-ова блоком ачайваямской свиты (маастрихт) [Карта полезных ископаемых..., 1999].

Метасоматическая колонка вторичных кварцитов, играющих роль рудоносного фактора, исполняет ещё и тектоническую функцию. Они – свидетельство вертикальных геодинамических движений фундамента и, как следствие, тектонических элементов вулканогена. Этот элемент – становится естественным фактором отражения клавишности геоструктур окраины континента.

Геотектоническая позиция ветроваямского вулканогена и его минерагенических факторов

Стратиграфия, тектоника, минерагения, минералогия, данные МТЗ являются доказательством положения Ветроваямского вулканогена на поднятой (воздымающейся) глыбе литосферы на юго-западном окончании Юго-Восточно-Корякского пояса. Его границы на ЮЗ и СВ определяются, как сказано, поперечными межглыбовыми СЗ разломами: Ребро (Чемурнаут) – Анапкинским и Парень-Таловско-Тилличикским. Разломы частью лежат в долинах рек Анапки и Ветроваям. Северная граница Ветроваямского вулканогена определяется выходом образований позднемезозойского фундамента: ачайваямской свиты (маастрихт) и корякской серии (кампан). Они же фиксируют также и южную окраину Центрально-Корякской тектонической зоны. Южная окраина вулканогена фиксируется эоцен-олигоценными выходами фундамента Ильпинского свода. Протяжённость вулканогена составляет около 150 км при его ширине около 40 км.

Вулканогены являются тектонической основой минерагенических таксонов. Рассмотрим составляющие таксонов через элементы системы «тектоника-минерагения». Среди них: локализация рудовмещающих и рудных комплексов и их тектоническая локализация, разломные дислокации, проявления и месторождения полезных ископаемых, геотектонические условия положения и функций.

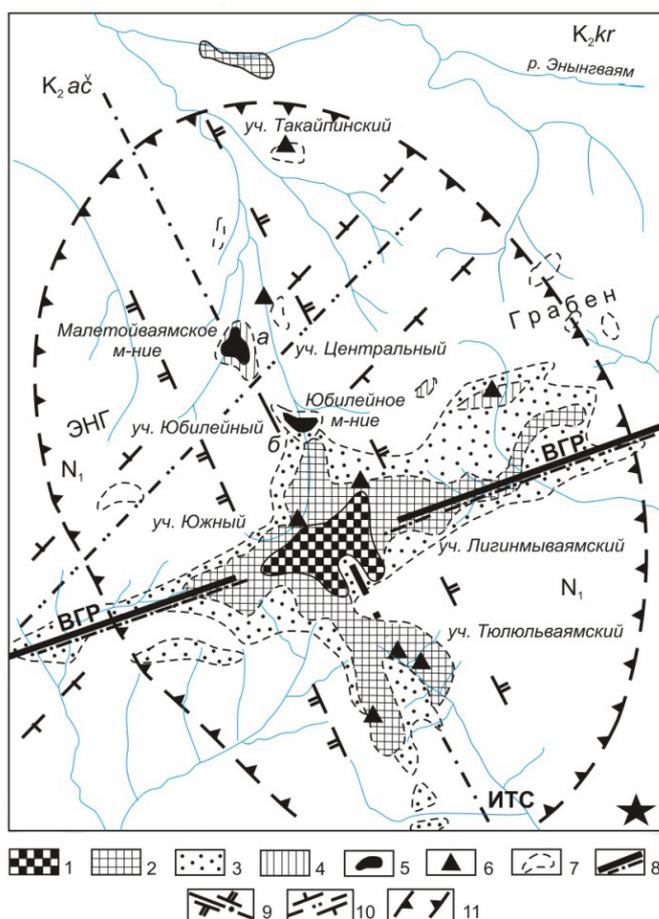


Рис. 1. Схема распространения комплексов минеральных фаций вторичных кварцитов Малетойваямского рудного узла Ветроваямского вулканогена. [по Поляков, Яроцкий, 1980 с дополнениями]

1 – высокотемпературные кварциты с диаспором, анатазом, андалузитом, турмалином; 2 – среднетемпературные кварциты с серицитом, баритом; 3 – породы высоко- и среднетемпературной аргиллизации и пропилитизации; 4 – площадь распространения среднетемпературных серных и алунитовых кварцитов; 5 – залежи: а – сульфидно-серных (пирит, ртуть, сера), б – серно-сульфидных (сера, ртуть, золото, медь) руд; 6 – проявления самородной серы; 7 – породы опализации и аргиллизации

Геолого-геофизические данные. Разломы: 8 – осевая линия Вывенского глубинного разлома; 9 – осевые линии рудоконцентрирующих структур узла по картам трансформированного поля Δq – зоны разноамплитудных поднятых блоков полос линейных горстов; 10 – осевые линии рудокон-

тролирующих зон узла по интерпретации поля ΔT_a и их зоны сланцеватости, смятия, надвиговых чешуй (Голяков, 1980); 11 – контуры узла.

Буквенные обозначения: ИТС – Ильпинский тектонический свод фундамента, ЭНТ Грабен – надразломный грабен; ВГР – зона Вывенского глубинного разлома – главной магмаконтролирующей геоструктуры вулканогена; K_2kr , $K_2ač$ – образования ачайваямской свиты и коряжской серии позднемезозойского фундамента.

Магмаконтролирующие разломы эффузивно-пирокластического рудовмещающего комплекса покровных фаций вулканогена. По картам магнитного поля ΔT_a вулканогена определена сеть субкамчатских разломов СВ простирания (40°), по которым происходили излияния покровных фаций рудовмещающего комплекса миоцена. Разломы играют роль магмаконтролирующего комплекса миоценовых вулканитов орогена, мощностью около 700 м, проникая в фундамент. Особым аспектом являются разрывные дислокации территории вулканогена. Рудоконтролирующая зона разломов имеет субкамчатское СВ простирание (40°). На п-ове Камчатка все СВ разломные дислокации простираются на 60° . Изменение простирания на севере полуострова возникает на широте 60° с. ш. Субкамчатские разломы – очевидный элемент покровов с их экстрюзиями вулканической площади вулканогенов.

По выполненной нами трансформации гравитационного поля выделена система внутриглыбовых разломов Ватынской зоны выходов меланократового фундамента вулканогена, развитого в толще вулканитов вулканогена. Зона разбита сетью этих внутриглыбовых поперечных – субалеутских (330°) СЗ разломов, ограничивающих локальные блоки. Блоки образуют чередующиеся СЗ линейные полосы разноамплитудных блоковых горстов, разделённых субпараллельными аналогич-

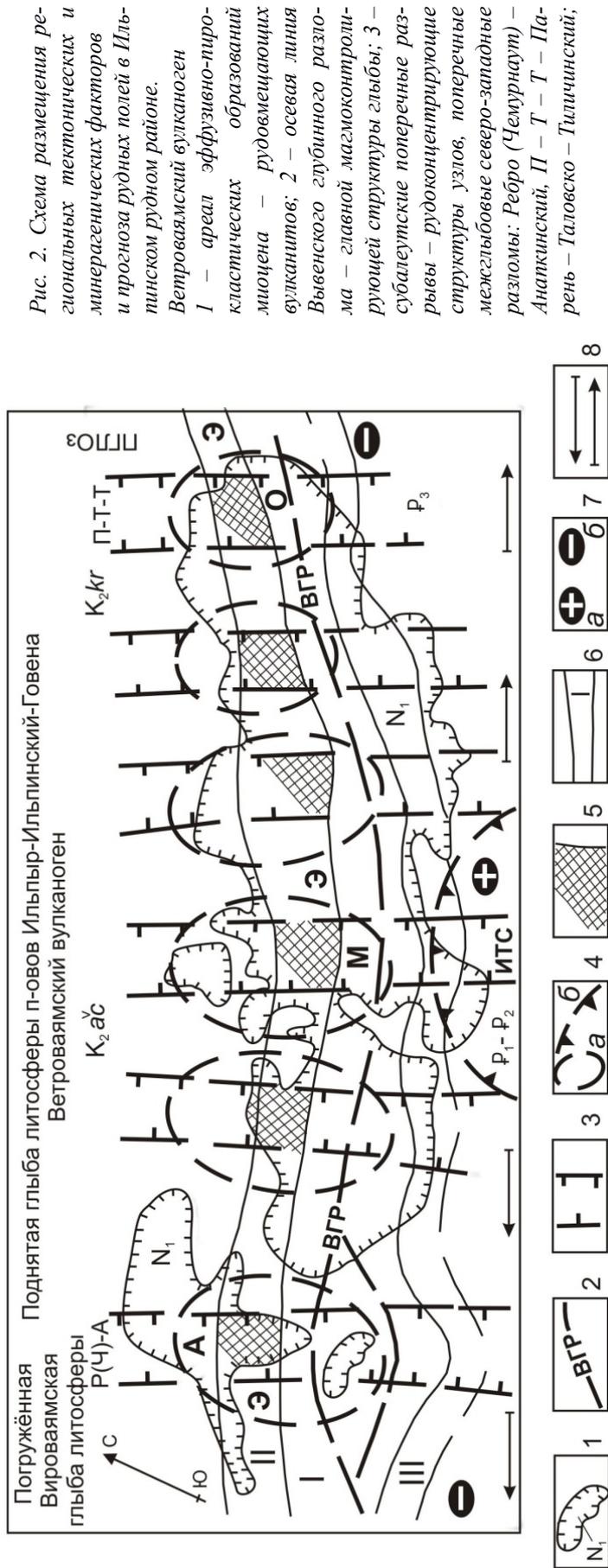


Рис. 2. Схема размещения региональных тектонических и минералогических факторов и прогноза рудных полей в Ильпинском рудном районе.

Ветроваяский вулканоген
 I – ареал эффузивно-пирокластических образований миоцена – рудоовещающих вулканитов; 2 – осевая линия Вывевского глубинного разлома – главной магмоконтролирующей структуры глыбы; 3 – субалеутские поперечные разрывы – рудоцентрирующие структуры узлов, поперечные межглыбовые северо-западные разломы: Ребро (Чемурнаут) – Анапкинский, П – Т – Т – Парень – Таловско – Тиличинский;

Буквенные обозначения: ВГР – Вывевский глубинный разлом; ИТС – Ильпинский тектонический свод – максимум воздымания палеогенового и позднемиоценового фундамента вулканогена; Э – Эньинтваяский надразломный грабен, ПГЛОЗ – погруженная глыба литосферы Олюторского залива; М – Малетойваяский рудный узел – сводовая часть вулканогена; рудные узлы крыльев вулканогена: А – Анапкинский, О – Отыранваяский; выходы образований фундамента вулканогена: К₂ а_с – ачайваяской свиты, К₂ кг – коряжской серии, P₁ – P₂ и P₃ палеоцен-олигоценового.

4 – а – рудные узлы, б – Ильпинский свод; 5 – участки наибольшей вероятности промышленной концентрации оруденения известных и потенциальных рудных полей – участки детальных поисков; 6 – полосы сероносности – концентрации проявлений самородной серы, золота, ртути, меди; I – Центральная, II – Юго-западная, III – Юго-восточная; 7 – направления субвертикальных движений сопредельных глыб коры: а – воздымающиеся, б – погружающиеся (отстающие в воздымании); 8 – направления погружения крыльев Ильпинского свода;

ными полосами линейных разноамплитудных грабенов. И те и другие прослежены в пределах миоценового покровного комплекса вулканогена и далее к СЗ вплоть до побережья Пенжинской губы. За пределами вулканогена СЗ разломы отмечаются уже в северном окончании Западно-Камчатского вулканического пояса (эоцен) и в образованиях энемтенской свиты плиоцена на западе прилегающего Пусторецкого прогиба (рыбалка Кичигаята). Блоки и образованные ими полосы горстов и грабенов являются структурами, наследующими фундамент. Зоны горстовых полос являются рудоконцентрирующими.

Рудоконцентрирующие разломы как линейные блоковые горсты и грабены имеют основание в толще палеогенового и позднемиоценового фундамента, отражаясь в рельефе поверхности горными увалами и долинами. В них ярко проявлена миграционно-минеральная зональность по горизонтали, выраженная в смене температурных минералов от интрузий зоны ВГР к северо-западу [Поляков, Яроцкий, 1973].

Рудоносные вторичные кварциты. В поднятых блоках субалеутских линейных горстов зон разломов на поверхность выведены массивы рудоносных вторичных кварцитов. Эти линейные разноблоковые горсты поэтому являются рудоконцентрирующими (рис. 2). Их пересечение рудоконтролирующими СВ простирающимися зонами разломов внутри фундамента вулканогена даёт образование рудных полей, как правило, с одним-двумя крупными месторождениями. В Малетойваямском рудном узле их два: Малетойваямское – сероносных кварцитов с S, Au, Hg, и Юбилейное – серно-сульфидное с S, Au, Hg, Cu.

Рудоносные интрузии представлены выходами тел диоритов и гранодиоритов в гнездах зоны Вывенского глубинного разлома, определённые её пересечениями субалеутскими рудоконцентрирующими разломами. Видна очевидная связь интрузий, вторичных кварцитов и проявлений самородной серы, золота, меди, ртути, тория. Интрузии и их металлогения выведены на поверхность водораздела Ветровоямского хребта апикалиями и рудной минерализацией. Апикалии отражены максимумом магнитного поля и локальными гравитационными максимумами – эллипсами.

Как выше сказано, вулканогены окраинных поясов связаны с гранитоидной тектоно-магматической активизацией. Этот процесс характеризует заключительный этап развития пояса. При этом гранитоидный магматизм является свидетельством сравнительного сформированного слоя коры.

Все проявления и месторождения концентрируются в трёх полосах рудоносности. Центральная зона наиболее насыщенная и эродированная – она простирается вдоль главного водораздела вулканогена – Ветвейского хребта и его Вывенской зоны глубинных разломов. Зона ВГР падает на северо-запад – под Энынговаямскую депрессию – Энынговаямский надразломный грабен. Именно в нём лежат толщи вторичных кварцитов, вскрытой мощностью скважинами на более 150-300 м, с благоприятными условиями смешения подземных рудоносных растворов и водных источников. Третья (III) полоса рудоносности лежит на севере приразломного Ильпинско-Тылговаямского прогиба, перекрытого вулканогена вулканитами на юге. Близ точки свода в прогибе пробурена глубокая колонковая скважина, вскрывшая нефтегазоносные воды осадков. На востоке свода – изобилие битумопроявлений – отсутствующих в надразломном грабене вулканогена.

К востоку от Парень-Таловско-Тиличического разлома в цепочке полосы локальных гравитационных аномалий уже нет гранитоидных интрузий. На поверхности в полосе гравитационных максимумов – эллипсов поля лежат интрузии ультраос-

новых пород Сейнав-Гальмознанской группы. При этом морфология локальных гравитационных максимумов-эллипсов сохраняется лишь с небольшим уменьшением интенсивности поля. Эта полоса аномалий простирается на СВ на 150 км от Парень-Таловско-Тиличикского разлома, к г. Ледяной, где она резко поворачивает на ЮВ и распадается.

Очевидно, что гипербазиты группы лежат в отрезке полосы локальных гравитационных максимумов. Согласно [Апрелков и др., 1997] гипербазиты являются пластинами конечной длины до глубины 6 км, образующими интенсивно положительное магнитное поле в северной части Вывенской впадины, но пространственно не связанными с гравитационным. Поэтому локальные максимумы гравитационного поля, так подобные аномалиям восточной части Ветроваямского вулканогена, обусловлены телами его того же диоритового комплекса, погружённого вследствие опускания южного окончания глыбы литосферы Олюторского залива. Этот феномен гравитационного поля является элементом глыбово-клавишной структуры литосферы Ветроваямского вулканогена на воздымающейся глыбе п-овов Ильпыр-Ильпинский-Говена и соседней глыбы Олюторского залива.

Особенности глыбово-клавишной структуры литосферы поднятой глыбы п-овов Ильпыр-Ильпинский-Говена

Как выше сказано методологической основой исследования является геолого-геофизическая система элементов глыбово-клавишной структуры земной коры литосферы поднятой её глыбы Ветроваямского вулканогена.

Элементы структуры проявились в рудоконцентрирующих и рудоконтролирующих зонах разломов как необходимые и достаточные для формирования вулканогена и его минерации. Особенность разломов заключена в том, что проявленные в магнитном и гравитационном полях, они отражают не только земную кору, но и заложены в палеогеновом и позднемиоценовом фундаменте.

Интрузивный диоритовый и гранодиоритовый комплекс вулканогена локализован в СВ полосе гравитационных локальных максимумов зоны Вывенского глубинного разлома. Комплекс лежит к северу от Ильпинского свода и трассируется цепочкой на СВ на 60 км от Малетойваямского узла до г. Отыранваям, где ограничен поперечным межглыбовым Парень-Таловско-Тиличикским разломом. По его линии цепь гравитационных локальных максимумов смещается на 10-15 км к северу и переходит в пределы погруженной глыбы Олюторского залива. К западу от свода кислые интрузии единичны и малы по площади, что говорит о высоком уровне эрозионного среза на этой части вулканогена.

Особенностью коры и литосферы глыбы полуостровов являются интрузивные гранодиоритовые комплексы вулканогена. В поднятой глыбе он естественно проявился на поверхности и характеризуется магнитными и гравитационными максимумами. Вместе с тем при переходе от воздымающейся части к погруженной соседней глыбе Олюторского залива комплекс исчез – при сохранении гравитационного поля. Выше уже сказано, что комплекс погрузился на глубину в коре, достигая очевидно её подошвы, но проявился в аномалиях гравитационного поля.

В Олюторской глыбе многочисленны и являются примечательностью окраины континента покровы ачайваямской и коряжской свит. Такой их плотности на поверхности материковой части региона нет больше нигде. Поэтому в условиях погружения глыбы в образовавшемся прогибе энергетично предвинуты покровы океанской

литосферы. Напротив, на воздымающейся глыбе Ветроваямского вулканогена они единичны и маломощны.

Особым аспектом тектоники Ветроваямского вулканогена являются субалеутские зоны линейных горстов и грабенов, сложенных разноамплитудными блоками покровного чехла и его фундаментов. При определении шести субалеутских зон, наиболее изученными детальными (м-ба 1:10000-1:5000) геологическими и геофизическими съёмками (магнитометрия, электроразведка, гравиметрия, каротаж скважин) являются зоны: Сеэрваямская, Малетойваямская, Ветроваямская (рис. 2). Малетойваямская зона является поперечной осью симметрии вулканогена. Геологические и геофизические данные о зоне говорят о её формировании в условиях Ильпинского тектонического свода. Согласно физике образования горизонтов свода они испытали максимальные нагрузки деформации в процессе воздымания Ильпинского полуострова, т. е. образования свода. В разрезе Малетойваямской рудоконцентрирующей зоны формируются подземные бассейны, потоки и струи минерализованных термальных вод [Голяков, 1980]. Этот период возник в миоцене в месте пересечения зоной Вывенского глубинного разлома Малетойваямской зоны и проявился во внедрении интрузий и субвулканических тел, массового излияния и эксплозии туфов андезитового состава. Процесс определил формирование рудных столбов на пересечении рудоконцентрирующих зон рудоконтролирующими – в рудных полях узла. Вместе с этим начался рост вулканического Ветвейского хребта – собственно Ветроваямского вулканогена.

Совокупность геолого-геофизических признаков даёт основание квалифицировать Малетойваямский рудоконцентрирующий разлом как часть продольно-осевого внутриглыбового сводового разлома СЗ простираения. Он заложен в замках горизонтов свода обоих фундаментов вулканогена, они являются основным элементом системы разломов воздымающейся глыбы литосферы п-овов Ильпыр-Ильпинский-Говена.

Вероятная сейсмоопасность площадей свода ветроваямского вулканогена

Было показано, что индикатором геодинамического состояния Ветроваямского вулканогена и его фундамента является установленный геолого-геофизическими методами Ильпинский тектонический свод. Положение вулканогена на своде воздымающейся глыбы литосферы п-овов Ильпыр-Ильпинский-Говена в полосе Корякского сейсмического пояса [Яроцкий, 2016] определяет особый акцент его геотектоники.

Вулканоген расположен в соседстве с погруженной глыбой Олюторского залива, где состоялись Хаилинское (1991 г.) и Олюторское (2006 г.) сильные землетрясения ($M > 7,6$). Волны релаксации Олюторского события интенсивностью 4-6 баллов распространены, например, на расстояниях 137 км (п-ов Ильпыр), и покрывают площадь Ветроваямского горнорудного узла, где планируется строительство горнодобывающего и перерабатывающего предприятия с промышленной энергетической, транспортной, социальной инфраструктурой.

Для Хаилинского и Олюторского землетрясений определено геологическое положение гипоцентров и их сейсмогенной геоструктуры [Яроцкий, 2016]. Они лежат на вертикальной порово-трещинной колонне, проходящей через кили всех прогнутых горизонтов разреза литосферы погруженной глыбы Олюторского залива.

ва. Колонна находится в зоне продольно-осевого СЗ Хаилинского разлома глыбы и отражает максимальное геодинамическое напряжение прогибания всей литосферы, включая и верхнюю мантию. Это явление деформаций твёрдых тел хорошо известно в физике. По аналогии с киями горизонтов сводов литосферы нами предполагается возможность возникновения сильных землетрясений и в воздымающихся глыбах.

Максимальное напряжение возникает в замках горизонтов вулканогена и фундамента свода – это демонстрирует гидротермальная метасоматическая Малетойва-ямская рудная колонка. Вся минерализация пород разреза является признаком свода и образования рудного столба. Колонка насыщена порами, пустотами, вакансиями, флюидами и является чувствительной к изменению геодинамических напряжений. В столбе физико-механические свойства пород изменены по сравнению с исходным состоянием. И вся колонка становится своеобразным проводником подъёма к поверхности по вертикальным градиентным линиям глубинных напряжений.

Территория вулканогена лежит в Корякском сейсмическом поясе, который активизируется наращиванием сейсмичности. Подтверждением этому является факт последовательных событий на юго-западе Корякского нагорья: Корякское (1988 г., $M = 5,9$), Хаилинское (1991 г., $M = 6,6$), Олюторское (2006 г., $M = 7,6$), Ильпырское (2013 г., $M = 6,2$) землетрясения [Яроцкий, 2016]. Очевидно, на площади горнодобывающего объекта требуется установление станций по регистрации землетрясений.

Возможно, что на Ветроваямском вулканогене возникнут впоследствии техногенные землетрясения, в том числе, и как отклик на природные события как триггерные процессы вследствие близлежащих землетрясений.

Краткая история развития Ветроваямского вулканогена и его рудного района

Вулканоген лежит на Ветвейском хребте Юго-Запада Корякского нагорья, будучи ограниченным по СВ простиранию двумя поперечными межглыбовыми Рибро (Чемурнаут) – Анапкинским и Парень-Таловско-Тиличикским разломами литосферы. Его рудовмещающим комплексом являются покровы орогенной стадии развития окраины континента умеренно кислых вулканитов миоцена с эпизодическими локальными проявлениями основных разностей квартера. Покровы плащом покрывают водоразделы и долины среднегорья хребта и его гор. Их прорывают кислые экструзии и интрузивные тела диоритов и гранодиоритов вдоль главного водораздела – территории Ветвейского хребта. Покровы и экструзивы вулканогена контролируются субкамчатскими (40°) зонами нарушений – узкими зонами дроблений, расланцевания, смятия, чешуй, субкамчатские зоны являются магмаконтролирующими элементами территории вулканогена. Элементы контроля интрузивных тел вулканогена проявлены в рудоконцентрирующих разноамплитудных блоках линейных северо-западных ($310\text{--}330^\circ$) горстовых и грабеновых зон, как сбросов, трещин, определённых исключительно по данным интерпретации гравитационного поля. В поднятых блоках линейных разноамплитудных горстов на поверхность выведены колонны метасоматических рудоносных вторичных кварцитов. Как выше сказано, пересечения субкамчатских магмаконтролирующих и субалеутских рудоконцентрирующих внутриглыбовых зон образуют рудные поля. Поля являются северными частями рудных узлов, образованных пересечением СЗ

рудоконцентрирующими зонами полос рудоносности Вывенского глубинного разлома (60°) с диоритовым рудоносным комплексом и надразломного Энынгваямского грабена.

В общей схеме формирования Ветроваямского вулканогена происходит следующими этапами. На южной окраине Центрально-Корякского континента вдоль Вывенского глубинного разлома происходят процессы тектоно-магматической активизации в миоцене. Происходят покровные излияния в орогенную стадию и внедрение в покровные комплексы диоритовых интрузий с рудоносными гидротермальными растворами. Дальнейшее горообразование приводит к выведению на поверхность рудоносных гидротермально изменённых вторичных кварцитов. Этот процесс является следствием воздымания Ильпинского свода палеогенового фундамента территории. Верхние этажи свода срезаются эрозией, а их породы формируют ильпинский комплекс эоцен-олигоцена с туфогенным материалом по южному обрамлению вулканогена. Завершает горообразование миоценовый вулканический комплекс, покрывающий плащом горы Ветвейского хребта, а в Ильпинском своде его горизонтов в их замках формируются рудоносные столбы. В Малетойваямском замке свод эродирован максимально, а к западу и востоку от него он снижается к погружающимся глыбам литосферы Олюторского залива. В последнюю фазу вулканизма в вулканогене происходит лёгкий пароксизм основного магматизма на краях вулканогена: в долине р. Анапки (на западе) и горах Ыллинг (на востоке).

Так произошло классическое формирование вулканогена линейного типа, как звена на западе Юго-Восточно-Корякского окраинного вулканического пояса. Ветроваямский вулканоген является классическим субстратом рудного района на активной окраине Олюторского палеогенового континента на крайнем юге СВ Азии.

Заключение

Определены тектонические и минерагенические факторы Ветроваямского вулканогена, которые в полной мере отражают процессы:

- формирования тектонических геоструктур вулканогенов как самостоятельных линейных звеньев вулканических поясов активной окраины континента;
- образование тектонических, возрастных и вещественных субстратов рудоносности вулканогена как субстрата рудного района, рудных узлов и полей.

Вулканогены – естественный тип геоструктур вулканических поясов орогенных стадий их развития с процессами тектоно-магматической активизации сравнительно развитой коры активных окраин континента. Для активных окраин разного возраста в условиях подвижных тектонических и металлогенических поясов формируется тектонический и минерагенический комплекс элементов геолого-геофизических систем «тектоника-минерагения». В разных геоструктурных условиях этот комплекс создаёт линейный либо узловой тип вулканогенов как субстратов рудных районов. Площадные размеры районов линейных вулканогенов в окраинных вулканических поясах и складчатом обрамлении континентов являются дискретными, предельными и определяются мощностью слоёв земной коры и литосферы в целом.

Литература

1. Апрельков С. Е., Декина Г. И., Попруженко С. В. Особенности геологического строения Корякского нагорья и бассейна р. Пенжины // Тихоокеанская геология. – 1997. – Т. 16. № 2. – С. 46-57.

2. Карта полезных ископаемых Камчатской области м-ба 1:500000. Листы 2-8, 11. Ред. Литвинов А.Ф., Патока М.Г., Марковский Б.А. Редакторы-составители Фролов Ю.Ф. и др. – СПб.: Карт. фабрика ВСЕГЕИ, 1999. – 19 л.
3. Голяков В.И. Редактор Погожев А.Г. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Серия Корякская. Листы Р-58-XXXIII, О-58-III. Объяснительная записка. – М. – 1980. – 100 с.
4. Мишин В.Ф.. Редактор Коляда А.А. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Серия Корякская. Листы Р-58-XXXIV, О-58-IV. Объяснительная записка. – М. – 1985. – 108 с.
5. Мороз Ю.Ф., Самойлова О.М., Мороз Т.А. Глубинное строение побережья северной Камчатки по геофизическим данным // Материалы ежегодной конференции, посвящённой Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». – П.-Камчатский. – 2014. – С. 205-212.
6. Поляков Г.П., Яроцкий Г.П. Метасоматическая зональность вторичных кварцитов Малетойваямского рудного узла Северной Камчатки // Рудная зональность и физико-химия гидротермальных систем. – Новосибирск: Наука. Сиб. Отд., 1980. – С. 43-49.
7. Тектоника континентов и океанов / Под ред. Ю.А. Косыгина, В.А. Кульдышева, В.А. Соловьёва. – Хабаровск. – 1976. – С. 511.
8. Яроцкий Г.П. Мегаблоки и металлогеническая зональность Корякского нагорья и Камчатки // Металлогения и новая глобальная тектоника. – Л.: Недра, 1973. – С. 93-95.
9. Яроцкий Г.П. Закономерности размещения вулканических серных месторождений Тихоокеанского рудного пояса (Корякия, Камчатка, Курилы, Япония). – Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатского госуниверситета им. В. Беринга, 2006а. – 138 с.
10. Яроцкий Г.П. Закономерности размещения кислого четвертичного вулканизма Восточной Камчатки // V Косыгинские чтения. Материалы конф. «Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии». ИТиГ ДВО РАН. – Хабаровск. – 2006б. – С. 192-196.
11. Яроцкий Г.П. Поперечные дислокации активных окраин континентов Тихоокеанского рудного пояса / Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатского госуниверситета им. В. Беринга, 2007. – 301 с.
12. Яроцкий Г.П. Поперечные дислокации активных окраин континентов Тихоокеанского рудного пояса. Геофизические исследования. Книги 2 и 3. – Петропавловск-Камчатский: Изд-во ФГБОУ ВПО «Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга», 2014. – 319 с.
13. Яроцкий Г.П. Феномен Хаилинского землетрясения 1991 г. на Юго-Западе Корякского нагорья // Петропавловск-Камчатский: Изд-во ИВиС ДВО РАН, КамГУ им. В. Беринга, 2016. – 177 с.
14. Яроцкий Г.П. Глыбово-клавишная структура литосферы активной окраины континента на СВ Азии. Корякско-Камчатский регион // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – №2. – С. 135-151.
15. Яроцкий Г.П., Чотчаев Х.О., Касабов Ю.А. Отчет о комплексных геолого-геофизических исследованиях на Малетойваямском рудном поле в Северо-Камчатском сероносном районе летом 1971 г. (3-я Лигинмываямская комплексная партия). – 1971. – Геолфонд ПГО «Камчатгеология». – 275 с.

THE VETROVAYAM VOLCANIC ROCKS AND THEIR ORE DISTRICT (SOUTH-WESTERN PART OF THE SOUTH-EASTERN KORYAK BELT)

© 2017 G. P. Yarotsky¹, Sc. Cand. (Geol.-Min.), Kh. O. Chotchaev²

¹Institute of volcanology and seismologies FEB RAS, Russia, 683006, Kamchatka Krai, Petropavlovsk-Kamchatsky, Piyp avenue, 9, e-mail: ecology@kscnet.ru;

²Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov Str., 93 a, e-mail: cgi_ras@mail.ru

Certain NE volcanic orogenic belts have contributed into emergence within the Koryak highlands. They are located in the sea transition zone of the lithosphere within the southern margin of NE Asia and host gold, silver, native sulphur, and copper. The belts are isolated along the strike by certain volcanic rocks that are tectonic-magmatic substance for ore taxons. The article describes the Vetrovayam volcanic rocks with their elements of tectonic-minerageny system in the Ipinsky ore district. The paper provides evidence that the volcanic rocks are located on the arch of rising lithospheric block enclosed by transversal interblock faults. East of the volcanic rock there is a zone of the strong 1991 Khailinsky and 2006 Olyotorsky earthquakes, which allows to suppose probable seismic hazard to developing lode gold mining company constructed in that zone.

Keywords: volcanic rocks, seismicity, tectonics, regularities, faults, key-block lithospheric structure

References

1. Aprelkov S.E., Dekina G.I., Popruzhenko S.V. Osobennosti geologicheskogo stroenija Korjaksckogo nagor'ja i bassejna r. Penzhiny [Features of the geological structure of the Koryak highland and the basin of the river. Penzhiny]. Tihookeanskaja geologija. 1997. Vol. 16. No. 2. Pp. 46-57. (in Russian)
2. Karta poleznyh iskopaemyh Kamchatsko joblasti m-ba 1:500000. Listy 2-8, 11. [Map of deposits of the Kamchatka region, m-ba 1: 500000. Sheets 2-8, 11.]. Red. Litvinov A.F., Patoka M.G., Markovskij B.A. Redaktory-sostaviteli Frolov Ju.F. i dr. SPb. Kart. fabrika VSEGEI, 1999. 19 sheets. (in Russian)
3. Goljakov V.I. Redaktor Pogozhev A.G. Geologicheskaja karta SSSR. Masshtab 1:200000. Serija Korjaksckaja. Listy P-58-XXXIII, O-58-III [Geological map of the USSR. Scale 1: 200000. The Koryaksckaja series. Sheets P-58-XXXIII, O-58-III]. Ob'jasnitel'naja zapiska. M. 1980. 100 p. (in Russian)
4. Mishin V.F. Redaktor Koljada A.A. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta SSSR. Masshtab 1:200000. Serija Korjaksckaja. Listy P-58-XXXIV, O-58-IV [State geological map of the USSR. Scale 1: 200000. The Koryaksckaja series. Sheets P-58-XXXIV, O-58-IV]. Ob'jasnitel'naja zapiska. M. 1985. 108 p. (in Russian)
5. Moroz Ju.F., Samojlova O.M., Moroz T.A. Glubinnoe stroenie poberezh'ja severnoj Kamchatki po geofizicheskim dannym [The deep structure of the coast of northern Kamchatka according to geophysical data]. Materialy ezhegodnoj konferencii, posvjashhjonnoj Dnju vulkanologa «Vulkanizm i svjazannye s nim processy». P.-Kamchatskij. 2014. Pp. 205-212. (in Russian)
6. Poljakov G.P., Jarockij G.P. Metasomaticheskaja zonal'nost' vtorichnyh kvarcitolv Maletojvajamsckogo rudnogo uzla Severnoj Kamchatki [Metasomatic zoning of secondary quartzites of the Maletoyamyamsck ore cluster of North Kamchatka]. Rudnaja zonal'nost' i fiziko-himija gidrotermal'nyh sistem. Novosibirsk. Nauka. Sib. Otd., 1980. Pp. 43-49. (in Russian)
7. Tektonika kontinentov i okeanov [Tectonics of continents and oceans]. Pod red. Ju.A. Kosygina, V.A. Kul'dysheva, V.A. Solov'jova. Habarovsk. 1976. pp. 511. (in Russian)

8. Jarockij G.P. Megabloki i metallogenicheseskaja zonal'nost' Korjaskogo nagor'ja i Kamchatki [Megablocks and metallogenic zoning of the Koryak highland and Kamchatka]. Metallogenija i novaja global'naja tektonika. L. Nedra, 1973. pp. 93-95. (in Russian)
9. Jarockij G.P. Zakonomernosti razmeshhenija vulkanicheskikh sernyh mestorozhdenij Tihookeanskogo rudnogo pojasa (Korjakija, Kamchatka, Kurily, Japonija). [Regularities in the location of volcanic sulfur deposits of the Pacific ore belt (Koryakia, Kamchatka, Kuriles, Japan)]. Petropavlovsk-Kamchatskij, Izd-vo Kamchatskogo gosuniversiteta im. V. Beringa, 2006a. 138 p. (in Russian)
10. Jarockij G.P. Zakonomernosti razmeshhenija kislogo chetvertichnogo vulkanizma Vostochnoj Kamchatki [Regularities in the arrangement of the acid quaternary vulcanism of Eastern Kamchatka]. V Kosygin'skie chtenija. Materialy konf. «Tektonika, glubinnoe stroenie i mineragenija Vostoka Azii». ITiG DVO RAN. Habarovsk. 2006b. Pp. 192-196 (in Russian)
11. Jarockij G.P. Poperechnye dislokacii aktivnyh okrain kontinentov Tihookeanskogo rudnogo pojasa [Transverse dislocations of active margins of the continents of the Pacific ore belt]. Petropavlovsk-Kamchatskij: Izd-vo Kamchatskogo gosuniversiteta im. V. Beringa, 2007. 301 p. (in Russian)
12. Jarockij G.P. Poperechnye dislokacii aktivnyh okrain kontinentov Tihookeanskogo rudnogo pojasa [Transverse dislocations of active margins of the continents of the Pacific ore belt]. Geofizicheskie issledovanija. Knigi 2 i 3. Petropavlovsk-Kamchatskij, Izd-vo FGBOU VPO «Kamchatskogo gosudarstvennogo universiteta im. Vitusa Beringa», 2014. 319 p. (in Russian)
13. Jarockij G.P. Fenomen Hailinskogo zemletrjasenija 1991 g. na Jugo-Zapade Korjaskogo nagor'ja [The phenomenon of the 1991 Khaila earthquake in the South-West of the Koryak highland]. Petropavlovsk-Kamchatskij, Izd-vo IViS DVO RAN, KamGU im. V. Beringa, 2016. 177 p. (in Russian)
14. Jarockij G.P. Glybovo-klavishnaja struktura litosfery aktivnoj okrainykontinenta na SV Azii. Korjasko-Kamchatskij region [The block-key structure of the lithosphere of the active margin of the continent in the NE of Asia. Koryak-Kamchatka region]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2017. No. 2. Pp. 135-151. (in Russian)
15. Jarockij G.P., Chotchaev H.O., Kasabov Ju.A. Otchet o kompleksnyh geologo-geofizicheskikh issledovanijah na Maletovvajamskom rudnom pole v Severo-Kamchatskom seronosnom rajone letom 1971 g. (3-ja Liginmyvajamskaja kompleksnaja partija) [Report on complex geological and geophysical studies at the Maletoyamyamsky ore field in the North Kamchatka sulfur-bearing area in the summer of 1971 (3rd Liginmyvaymsk complex party)]. 1971. – Geolfond PGO «Kamchatgeologija». 275 p. (in Russian)

ДИСКУССИИ, ОБСУЖДЕНИЯ

УДК 551.24 (234.9)

DOI 10.23671/VNC.2018.1.11254

ОБ УНИКАЛЬНОСТИ СЛУЧАЯ С ЛЕДНИКОМ КОЛКА

© 2018 М.Г. Бергер, д.г.-м.н., проф.

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: berger7@rambler.ru

Обсуждаются реконструктивно-генетические и прогностические вопросы, связанные с процессами восстановления ледника на месте бывшего ледника Колка, разрушенного и почти полностью выброшенного из своего вместилища 20 сентября 2002 года.

Главная исходная, первичная уникальная особенность случая с Колкой, определившая на десятилетия многие нередко уникальные особенности процессов, происходящих в его бывшем вместилище, – практически мгновенное исчезновение этого ледника в результате его взрывоподобного внезапного газодинамического выброса.

Уникальность случая с ледником Колка состоит не в том, что он быстро восстанавливается, демонстрируя тем самым безусловную гляциологическую закономерность своего существования в Колкинском ущелье несмотря ни на какие климатические, гидрометеорологические и другие экзогенные условия, а в том, что этот ледник, вопреки всем гляциологическим закономерностям, был практически мгновенно уничтожен и исчез 20 сентября 2002 года отнюдь не по причине деграционных гляциоклиматических условий, без каких-либо гляциологических предпосылок для этого. Уже одни только эти факты со всей очевидностью свидетельствуют о негляциологической причине молниеносного временного исчезновения («схода») ледника Колка и, соответственно, всей Колкинской (Кармадонской, Геналдонской) катастрофы.

Хотя аннигиляция ледника Колка, вызванная его пароксизмальным газодинамическим выбросом, на длительное время (не менее нескольких десятилетий) при любых происходящих в данном районе процессах исключает возможность накопления высоконапорных природных газов в приповерхностной зоне данного участка земной коры, глубинные процессы их выделения, концентрации и восходящей миграции в Казбекско-Джимарайском районе не прекращаются, а возможно, в какой-то мере даже интенсифицируются, усиливаются и ускоряются, что, видимо, и наблюдается в последние годы.

С момента же восстановления ледника Колка и обретения им свойств непроницаемого (газоупорного) барьера газодинамический цикл развития ледника вступит в потенциально опасную фазу, когда возможность проявления следующей катастрофической пульсации ледника определится, в основном, внеледниковыми глубинными поствулканическими процессами в данном районе.

Ключевые слова: ледник Колка, исчезновение, восстановление, Колкинская (Кармадонская, Геналдонская) катастрофа, причины, прогноз.

Во время Кармадонской катастрофы Колку полностью выбросило из ложа, осталось открытым каменистое днище.

О.В. Ротомеева

Колка не только коварен, но и непредсказуем. Оказывается, возможно появление нового ледника на пустом месте и сейчас как раз такой уникальный случай!.. Существует мнение, что в условиях глобального потепления ледники не могут возникнуть снова на месте исчезнувших, поэтому случай с Колкой уникален.

О.В. Роттаева

...Важное значение приобретает выявление потенциально механически неустойчивых и пульсирующих ледников, а также прогноз и реконструкция таких (ледниковых. – М.Б.) пульсаций, что в теоретическом плане остается одной из наиболее сложных и до сих пор не решенных задач.

А.Ф. Глазовский, М.С. Красс, Ю.Я. Мачерет

На леднике Колка мы сталкиваемся ... с особым типом движения... Значительную сложность представляет вопрос о необычно высоких скоростях движения льда.

К.П. Роттаев, В.Г. Ходаков, А.Н. Кренке

Сила тяжести – это составная часть всех осадочных процессов – водных, эоловых и гляциальных. Гравитация может и сама по себе действовать как агент транспортировки осадка, однако для того, чтобы осадок перемещался в горизонтальном направлении, требуется какой-то дополнительный механизм.

Р.К. Селли

...Имел место выброс основных масс ледово-каменного потока, сформированных из глетчерного льда Колки...

М.Ю. Никитин, О.А. Гончаренко, И.В. Галушкин

Физическая суть механизма породных выбросов представляется как спонтанный взрыв породы.

П.Я. Галушко

Взрывы на выброс и взрывы на сброс ... можно называть направленными, или кумулятивными, поскольку действие взрыва наиболее ярко выражено в определенных направлениях.

Л.К. Белопухов

Главная физическая особенность крупномасштабных взрывов на выброс состоит в том, что основная работа взрыва затрачивается на перемещение выбрасываемой породы в поле силы тяжести.

В.В. Адушкин, Ю.А. Гостинцев, П.П. Фирстов

Первопричиной внезапных выбросов является газовое давление.

К. Пауль

Внезапный выброс – динамическое явление, развивающееся главным образом путем последовательных отрывов газом частиц с обнаженных поверхностей ... под действием силы, возникающей из-за перепада в давлении газа.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

...Лед является физически твердым телом и как таковое обладает ограниченной прочностью, т.е. при достижении напряжениями критических значений он испытывает хрупкое разрушение (отрывом или сколом), и это свойство важно – оно при определенных условиях проявляется в реальных ледниковых образованиях, приводя к наблюдаемым трещинообразованию и разрушению льда в них.

С.С. Григорян

Все выбросы, независимо от выбрасываемого материала, имеют общую природу и характер протекания. Различия между ними сравнительно невелики и касаются не слишком существенных деталей явления.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

Лишь в неравновесной системе могут иметь место уникальные события.

И.Р. Пригожин

Почти мгновенное практически полное уничтожение и исчезновение находившегося в своем ложе карово-долинного ледника Колка и начало формирования нового ледника на месте исчезнувшего – безусловно, уникальные события в истории горного оледенения не только Центрального Кавказа, но и других горно-ледниковых областей.

Первое из этих событий, именуемое «сходом ледника Колка», подвижкой этого ледника (неожиданной, преждевременной, «внеурочной», произошедшей ранее предсказанных сроков), его срывом, сдвигом, обвалом или как-то иначе, нередко (без всяких оснований) связывают с глобальным потеплением, усматривая в этом некое «объяснение» случившегося.

Второе событие, начавшееся и протекающее в таких же климатических условиях, трудно хоть как-то связать с глобальным потеплением, оно остается без каких бы то ни было объяснений и, в силу его безусловно явной аномальности на фоне деградации и отступления других кавказских ледников, просто считается уникальным.

На самом же деле, второе событие – гляциологически вполне закономерное и легко объяснимое. Оно является неизбежным в склоново-гравитационных условиях естественным следствием первого события – гляциологически никак не обуслов-

ленного внезапного освобождения места в опустевшем карово-долинном вместилище бывшего ледника Колка, исчезновения у висячих ледников-притоков удерживающей опоры – подпруживавшего их ледника Колка.

Необходимо отметить, что продвижение нового ледника в Колкинском цирке, вызываемое резким превышением сдвигающих сил над силами сопротивления сдвигу, в морфодинамическом и, очевидно, генетическом отношениях принципиально отличается от быстрых подвижек ледников, в том числе происходящих в деградационных гляциоклиматических условиях. Это наводит на мысль о том, что для проявления быстрых подвижек необходимо действие каких-то дополнительных факторов, возможно, высоконапорных флюидодинамических.

Из приведенного выше в качестве эпиграфа развернутого высказывания О.В. Рототаевой [Лед..., 2015] становится очевидным: гляциодинамически (геомеханически) вполне естественное и закономерное в существующих в Колкинском цирке условиях возникновение (зарождение и продвижение) нового ледника на месте исчезнувшего, происходящее в условиях глобального потепления, означает, что исчезновение старого ледника Колка произошло не из-за глобального потепления (тем более, учитывая практически мгновенный характер этого исчезновения) и не было гляциологически (гляциодинамически или гляциоклиматически) обусловленным, а было вызвано какими-то другими условиями, действующими факторами, механизмами.

Уже из одного этого факта со всей очевидностью следует, что катастрофический пароксизмальный внезапный выброс ледника Колка 20 сентября 2002 года имел не гляциальную, а иную природу.

Это делает совершенно несостоятельными и бесперспективными все многолетние поиски гляциологами и примкнувшими к ним специалистами гляциологических, гляциодинамических, гляциоклиматических, гидрогляциодинамических и тому подобных экзогенных склоново-гравитационных причин Колкинской (Кармадонской, Геналдонской) катастрофы и опровергает все приводимые ими объяснения такого рода, показывая их необоснованность и ошибочность.

* * *

Как известно [Котляков и др., 2014, с. 175 и др.], 20 сентября 2002 г. произошел «молниеносный сход ледника Колка из своего вместилища».

Определение этого катастрофического события в качестве «схода ледника», весьма распространенное в научной литературе (см., например, [Процесс схода..., 2009]), по-видимому, достаточно правомерное и неизбежное (особенно на начальном этапе его изучения), в научном отношении, однако, не вполне определено.

Что же касается метафоры «молниеносный», то она, как метафора, вполне уместна – в течение всего примерно десяти с половиной минут [Заалишвили, Харенов, 2008; Процесс схода..., 2009] практически весь ледник Колка, площадью около 2,5 км², оказался разрушенным до основания (представленного донной мореной) и почти полностью выброшенным из своего вместилища.

Основное количество каменно-ледового материала в виде чрезвычайно высокоскоростного инерциального Геналдонского лавинообразного потока, обдирая борта Колкинского и Геналдонского ущелий до высоты 150–200 и даже 250 м и откладывая обломочный материал в некоторых местах на еще большей высоте (а на днище ущелий оставляя шлейфы осыпания), преимущественно по воздуху в считанные

минуты преодолело расстояние в 15–19 км до механической преграды Скалистого хребта, а затем – до подбучивания (остановки, задержки и осаждения) последующих отложений предшествующими (что принципиально подобно известному в горном деле понятию самоподбучивания материала последующих фаз пульсационно, неоднородно протекающего газодинамического выброса уже отложившимся материалом предшествующих фаз этого выброса).

В результате внезапного взрывоподобного газодинамического выброса («молниеносного схода») ледника Колка почти одновременно возникли гигантская воронка (полость, западина) выброса в бывшем вместилище ледника и, на удалении 15–19 км от нее (точнее, от эпицентра выброса в тыльной части бывшего ледника), близкое по объему к выброшенному леднику Колка гигантское ледовое тело (завал или, по взрывной терминологии, навал), именуемое также «квазиледником» и «ледником Колка-2», сложенное, в основном, бывшим колкинским материалом.

Объяснить это можно только *внезапным взрывоподобным направленным газодинамическим выбросом ледника Колка*. Такое заключение полностью подтверждается всеми весьма многочисленными достоверно установленными фактами, характеризующими особенности подготовки, протекания и завершения Колкинской катастрофы.

Именно таким является характер (геодинамический тип, механизм протекания) совершенно экстраординарной по всем особенностям Колкинской катастрофы.

Таким образом, причиной Колкинской катастрофы является исключительно мощное (высокоэнергетическое) воздействие на ледник высоконапорных глубинных поствулканических газов, в огромном количестве в начале второй половины 2002 г. (июль-сентябрь) прорвавшихся под ледник Колка и вплоть до выброса ледника продолжавших пульсационно поступать в подледниковое пространство, их огромное, непрерывно возрастающее пластовое давление под ледником, значительно превысившее к моменту катастрофы величину геостатического давления ледника и силы его сцепления (смерзания) с вмещающими породами. (После выброса ледника, т.е. после удаления непроницаемого газоупорного барьера, экранировавшего подледниковое пространство, обеспечивавшего его герметичность, высоконапорные глубинные поствулканические газы еще длительное время в затухающем режиме продолжали выделяться непосредственно в атмосферу, образовав огромное парогазовое облако над открывшимся ложем ледника и наглядно демонстрируя главный действующий фактор, вызвавший Колкинскую катастрофу. Основное же количество этих газов было выброшено вместе с ледником.)

* * *

Основная, безусловно, крайне необычная, совершенно уникальная особенность Колкинской катастрофы состоит в исключительно быстром, практически мгновенном субаэральном (преимущественно по воздуху) перебросе с огромной и малоубывающей с расстоянием скоростью порядка 100 млн. м³ льда и каменных горных пород из Колкинского цирка (места их первоначального залегания) более чем на 15 км в Кармадонскую котловину – до южных отрогов Скалистого хребта, явившихся непреодолимой преградой (механическим барьером), воспрепятствовавшей перебросу этого ледово-каменного материала на еще более значительное расстояние. При отсутствии же механической преграды максимальная дальность движения основной массы выброшенного материала могла бы, безусловно, значительно превы-

силь 20 км. Но и без учета этого начальная скорость массового движения основного количества компактно двигавшегося выброшенного материала продуктов разрушения ледника Колка, определенная по методике, приведенной, в частности, А.Е. Шейдеггером [1981, с. 62-63], была существенно выше 600 км/час (170 м/сек). (Увеличение же расчетной дальности движения этого материала дало бы еще большую величину его начальной скорости.) Это полностью опровергает все высказанные весьма многочисленные предположения о срыве, соскальзывании (сдвиге, выскользывании и т.п.) ледника Колка, его подвижке, обвале, обрушении и т.п., а заодно и существующие мнения о гляциальной, гляциоклиматической, гидрогляциальной, гидравлической, селевой, склонно-гравитационной, импактно-гидравлической, импактной (обвальнo-ударной) и т.п. природе Колкинской катастрофы, решающей роли воды, набора ледником некой критической массы, гравитационного агента переноса, а также многих других упоминаемых различными авторами факторов в этой катастрофе, за исключением газового.

Этот переброс был обусловлен исключительно мощным (высокоэнергетичным) пульсационным неоднoфазным взрывоподобным газодинамическим выбросом ледника Колка, носил инерциальный субгоризонтальный (в своей основной компактно двигавшейся массе) характер и происходил, естественно, в поле силы тяжести. По механизму протекания он был принципиально подобен происходящим на склонах малозаглубленным техногенным направленным взрывам на сброс [Ромашов, 1976, 1980; Черниговский, 1976; и др.].

В интервью О.В. Рототаевой [Лёд..., 2015] говорится: «Во время Кармадонской катастрофы Колку полностью выбросило из ложа, осталось открытым каменистое днище... Существует мнение, что в условиях глобального потепления ледники не могут возникнуть снова на месте исчезнувших...». Но «ледник Колка уже на 16% (по объему, а по площади значительно больше. – М.Б.) восстановился. Это уникальный случай».

Но практически мгновенный катастрофический пароксизмальный выброс ледника Колка, как неоднократно показано автором [Бергер, 2004, 2006а, 2007а и др.], произошел отнюдь не в результате процессов глобального потепления, небывалого потока южных средиземноморских циклонов, накопления под ледниками больших запасов воды и т.п., о чем так много говорится в интервью О.В. Рототаевой и многочисленных других публикациях отечественных гляциологов и других географов по данной проблеме. Все это постоянно привлекаемое гляциологами для объяснения причин и механизма гигантской Колкинской (Кармадонской, Геналдонской) катастрофы 2002 г., не дает для этого ровным счетом ничего. Эта катастрофа – внезапный взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника Колка, включая процессы его подготовки, запуска, протекания, прекращения и постпароксизмального завершения, а также вызванные ими вторичные события, в том числе далеко за пределами ледника, – никак не связана с условиями и процессами глобального или регионального потепления, вообще с любыми изменениями климата или гидрометеорологических условий и возможным накоплением воды под ледниками, и проходящее после катастрофического выброса ледника его восстановление в условиях, когда другие кавказские ледники стаивают, а не нарождаются на пустом месте, еще раз со всей очевидностью показывает (и доказывает) это.

Постепенное восстановление ледника Колка – процесс экзогенный, гляциодинамический, определяемый локальными поверхностными условиями в районе лед-

ника и области его питания. Практически мгновенное же исчезновение (выброс) ледника Колка, с учетом его подготовительной стадии, – процесс эндогенный, газодинамический, никак не связанный с эволюционирующими поверхностными условиями, не зависящий от этих условий и характера их эволюции, определяемый существующими в Казбекско-Джимарайском районе *глубинными* геотермодинамическими, геологическими (прежде всего, поствулканическими), геомеханическими и флюидогеодиническими условиями (также, безусловно, эволюционирующими).

Практически мгновенное полное разрушение, уничтожение и исчезновение ледника Колка, как и хронологически и генетически, безусловно, непосредственно связанное с исчезновением этого ледника образование близкого по объему «квази-ледника» (навала, завала) в Кармадонской котловине, – результат установленного автором [Бергер, 2004, 2006а и др.] взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника. Прежде всего, именно в этом, а не в восстановлении ледника на месте исчезнувшего, состоит важнейшая особенность, главная исходная, первичная уникальность случая с Колкой. Что же касается послекатастрофического восстановления ледника Колка, заполнения ледникового ложа, освободившегося после выброса большей части ледника и стаивания оставшихся в ледниковом ложе остатков льда, то, как отметил еще в 2010 г. в своем интервью автор [Факты..., 2010], это – *нормальный естественный процесс*, может быть, лишь несколько осложненный исключительно неблагоприятными для оледенения климатическими условиями, процесс восстановления обычного естественного состояния гляциальной сферы в данном районе, нарушенного мощным внешним эндогенным газодинамическим воздействием на нее.

То, что несмотря ни на что, в условиях ускоренного таяния всех других ледников на Кавказе, этот процесс происходит (и довольно быстрыми темпами), имеет вполне определенный реконструктивно-генетический смысл: это со всей очевидностью совершенно однозначно свидетельствует о том, что практически мгновенное исчезновение ледника Колка вечером 20 сентября 2002 года (как засвидетельствовал американский космический снимок [Тутубалина и др., 2005], еще в 11 часов 31 минуту того же дня ледник Колка находился на своем обычном месте, в пределах своего обычного контура) *никак не связано* с постоянно очень постепенно протекающими на Земле климатическими изменениями и вызывающими эти изменения факторами, какими бы они ни были.

Установленная автором эндогенная глубинная поствулканическая газодинамическая природа пароксизмального катастрофического выброса ледника Колка 2002 года, как и предшествующих аналогичных по характеру протекания (геодинамическому типу) выбросов этого ледника 1902, 1752 гг., и, безусловно, происходивших более ранних, исключает саму возможность существования какой-либо генетической, детерминистической, причинной (каузальной) обусловленности этих событий протекающими на земной поверхности процессами и поверхностными условиями их протекания.

Не было в 2002 г. (и в течение многих предшествующих тысячелетий), разумеется, и извержения вулкана Казбек или какого-либо другого вулкана в Казбекско-Джимарайском районе, где расположен ледник Колка, и привлечение для объяснения причин Колкинской катастрофы мифической близповерхностной магматической камеры в недрах Казбека с предположительно существующей в ней температурой выше тысячи градусов также лишено оснований. Данный вопрос рассмо-

трен, в частности, в работе [Бергер, 2008, с. 74-75 и др.]. Важные сведения по этому вопросу содержатся в статье [Заалишвили и др., 2015].

* * *

Уникальность случая с ледником Колка несомненна. Но не в том, в чем ее усматривают: это – лишь вторичные следствия, естественный результат исходной, первичной уникальности случая с ледником Колка, происшедшего 20 сентября 2002 года.

Повторим: уникальность случая с ледником Колка состоит не в том, что он постепенно (и довольно быстро) восстанавливается, демонстрируя тем самым *гляциологическую закономерность, так сказать, законность, природную обусловленность своего существования* в Колкинском ущелье несмотря ни на какие климатические, гидрометеорологические и другие экзогенные условия, а в том, что этот ледник, *вопреки всем гляциологическим закономерностям и условиям*, был практически мгновенно уничтожен и исчез 20 сентября 2002 г. отнюдь не по причине деградиционных климатических условий, без каких-либо гляциологических предпосылок для этого. Уже одни только приведенные выше факты со всей очевидностью свидетельствуют о негляциологической причине исчезновения ледника Колка и, соответственно, всей Колкинской катастрофы, основным результатом которой было (безусловно, временное) исчезновение этого ледника.

Происходящее после внезапного взрывоподобного газодинамического выброса ледника Колка восстановление ледника, заполнение освободившегося, опустевшего после выброса ледника, ледникового ложа, в резко деградиционных, крайне неблагоприятных для горного оледенения климатических условиях, обусловленных глобальным потеплением, когда другие ледники Кавказа ускоренно стаивают и отступают, – естественный, нормальный экзогенный гляциологический процесс. Но то, что он происходит, то, что возрождающийся, нарождающийся новый ледник Колка в этих условиях, несмотря ни на что, устойчиво (и довольно быстро) наступает, со всей очевидностью означает, подчеркивает, что процесс весьма скоротечного исчезновения (выброса) ледника из его ложа по вызвавшим его причинам и механизму протекания не был гляциальным, гляциодинамическим (характер и динамика которого определяются льдом) и вообще экзогенным, а носил совершенно иной, не гляциодинамический, характер и был обусловлен совершенно иными, не гляциодинамическими, причинами (действующими факторами).

Предпринятые отечественными гляциологами многочисленные настойчивые попытки затушевать этот совершенно очевидный факт путем привлечения различного рода ничего не дающих предположений о наборе ледником некой критической (необходимой для начала релаксационной подвижки ледника) массы, источниках якобы существовавшего в бассейне ледника Колка аномально большого количества воды и ее якобы «решающей роли» в этой катастрофе, различного рода терминологических ухищрений и т.д. и т.п. с самого начала были несостоятельными. Они не содержали главного – объяснения хорошо известных совершенно экстраординарных особенностей Колкинской катастрофы.

Происходящее в полном соответствии с существующими в данном районе климатическими, а также геоморфологическими и другими условиями восстановление ледника Колка лишь подчеркивает аномальный, уникальный, безусловно, *неклиматический характер условий и процессов его исчезновения, непричастность к этому*

гляциоклиматических факторов, обычно привлекаемых гляциологами и климатологами в качестве причин Колкинской катастрофы.

* * *

Прогнозные оценки дальнейшего состояния и развития ледника Колка и связанные с ними оценки природных опасностей, вызываемых этим ледником, обычно исходят из данных о современном состоянии ледника и области его питания, процессах развития ледника (точнее, процессах, происходящих во вместилище бывшего ледника Колка) в течение немногих лет, прошедших после катастрофы (пароксизмального выброса бывшего ледника Колка, приведшего к его разрушению до основания, уничтожению и исчезновению, т.е. аннигиляции), современных климатических условиях в районе бывшего ледника и, в целом, на Кавказе, а также архаичных, опровергнутых катастрофой, но все еще усиленно поддерживаемых представлений о необходимости набора ледником некой «критической» массы для возникновения опасных процессов на леднике и в Геналдонском ущелье, без определения и учета генетических особенностей и геодинамического характера этих процессов.

В связи с этим необходимо, прежде всего, обратить внимание на специфику первого, начального этапа послепульсационного (посткатастрофического) восстановления ледника Колка, точнее говоря, начального этапа зарождения (рождения, возникновения) нового ледника на месте исчезнувшего ледника Колка, в его бывшем вместилище.

Даже после аномально крупной, но некатастрофической быстрой гляциодинамической подвижки 1969-1970 гг., когда ледник Колка не подвергся столь глубокому (достигшему его ложа, точнее, донной морены) разрушению, как в 2002 г., ледник в течение примерно восьми лет стаивал, в том числе в гипсометрически верхней, тыльной его части, и лишь к концу этого срока было установлено, что «абляционные потери, устойчиво опережавшие в этой зоне аккумуляцию на протяжении всех лет после подвижки, уже почти полностью компенсируются приходом вещества» [Рототаев и др., 1983, с. 151] и что «верхняя часть ледника (3000–3500 м) медленно восстанавливает мощность в тыловой области» [Рототаев и др., 1983, с. 150].

Объясняя такую специфику развития ледника Колка на первом этапе его послепульсационного восстановления (точнее, его восстановления после быстрой подвижки – если более точно придерживаться распространенных в гляциологии [Гляциологический..., 1984 и др.] представлений о пульсациях ледников), К.П. Рототаев [Рототаев и др., 1983, с. 144] пишет: «Если до быстрого наступания поверхностная морена бронировала ледник от усиленного таяния, то при подвижке моренный чехол был разорван, сброшен в трещины, перемешан в массе льда. Ледник утратил защиту от прямой солнечной радиации, поверхностные слои льда обогатились обломочным материалом, существенно возросла его поверхностная абляция».

Все эти процессы, только в гораздо большей мере, более резко и в большем масштабе, проявились на леднике Колка и при катастрофической пульсации 2002 года и в первые годы после нее.

Есть, однако, все основания полагать, что протекающие в ледниковом цирке процессы накопления и вытаивания поверхностной морены приведут со временем к «восстановлению ее защитной для ледника роли» [там же], как это было после подвижки 1969-1970 гг.

Последовательное же повышение эффективности ледниковой покрывки как непроницаемого (газоупорного) барьера определится, прежде всего, увеличением ее толщины (мощности) и пластическим залечиванием (закрытием) трещин и иных пустот в леднике под действием нагрузки и в результате других процессов уплотнения, режеляции (генетически принципиально подобной широко распространенному в природе постседиментационному аутигенному росту кристаллов, например, кварца, с образованием так называемых регенерационных каемок в неледниковых отложениях) и, в целом, монолитизации ледника на этапах его восстановления и квазистационарирования.

Дальнейшее развитие ледника, с учетом защитной (бронирующей) роли поверхностной морены и действия постседиментационных процессов (в том числе структурно-текстурных и кристаллофизических) трансформации ледниковой толщи, неизбежно приведет к возникновению и последовательному увеличению эффективности ледника как непроницаемой газозащитной покрывки, благоприятствующей накоплению под ледником высоконапорных глубинных преимущественно поствулканических (а также других – постмагматических, термokatалитических и др.) природных газов, в том числе паров воды.

Специфика условий подготовки и проявления пароксизмальных взрывоподобных катастрофических пульсаций ледника Колка состоит в определяющей, управляющей роли в них *поствулканического газового фактора* [Бергер, 2004, 2006а, б, 2007а, б, 2008 и др.].

Существенной является роль высоконапорных глубинных природных газов и при запуске катастрофического выброса ледника, когда особое значение приобретают условия и факторы, определяющие скорость прорастания трещин в газовом барьере – экранирующем газовое скопление с аномально высоким пластовым давлением газов (и, соответственно, испытывающем газодинамическое воздействие) газоупорном материале со свободной поверхностью [Петухов, Линьков, 1983; Хеллан, 1988; Коваленко, 1988 и др.], т.е. в леднике (в рассматриваемом в данной работе случае).

Как показал, в частности, К. Хеллан [1988, с. 158], присутствие газа под большим давлением в замкнутом объеме при наличии начальных трещин в материале может привести к совершенно другим последствиям, нежели присутствие воды. Именно в присутствии сжатого высоконапорного газа скорость движения трещины может оказаться больше скорости звука (и, соответственно, разрушение – практически мгновенным). «Это означает, – пишет К. Хеллан, – что давление у вершин трещины будет поддерживаться постоянным. Вследствие этого разрушение будет быстрым или даже катастрофическим».

Подчеркивая исключительно большую роль газа в проявлении внезапных газодинамических выбросов, И.М. Петухов и А.М. Линьков [1983, с. 246], в частности, пишут: «Наличие и участие газа определяет особенности в их протекании. Для механизма выброса весьма существенна роль газа в процессе отделения и выброса частиц, обуславливающая в значительной степени специфические черты выбросов...». Для газодинамических выбросов именно «газ представляет источник силы и энергии» [Петухов, Линьков, 1983, с. 248, подстрочное примечание]. В этой же работе отмечается, что при развитии газодинамического выброса «газ теряет на отрыв (т.е. на отделение частиц выбрасываемого материала – М.Б.) лишь часть своей энергии, а остающаяся часть участвует в придании частицам скорости... Тем

самым создаются условия для отделения следующих частиц на новой свободной поверхности, и процесс имеет возможность многократно повторяться – происходит выброс» [Петухов, Линьков, 1983, с. 147].

* * *

После происшедшего в течение немногих минут 20 сентября 2002 года взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника Колка, приведшего к аннигиляции (уничтожению) ледника и выбросу в атмосферу огромного количества скопившихся под ледником высоконапорных глубинных природных газов, геодинамическая система ледника Колка перешла в новое относительно стабильное состояние, наступил длительный период восстановления ледника и последующего относительно спокойного развития ледника и всей включающей его гигантской геодинамической системы (мегасистемы).

Основными особенностями развития этой системы на данном этапе являются наблюдаемый на поверхности длительный (продолжающийся в течение примерно полувека) процесс рождения нового ледника Колка, накопления его массы и обретения им свойств газонепроницаемого барьера и не наблюдаемый на поверхности, протекающий на значительной глубине еще более длительный процесс выделения и накопления в литосферном субстрате ледника Колка и последующего концентрированного прорыва к земной поверхности новых порций высоконапорных поствулканических природных газов, продолжающийся в течение примерно 100–150 лет, судя по известной предшествующей истории ледника Колка и включающей его геодинамической системы [Бергер, 2007б, 2008].

Необходимо иметь в виду, что, хотя аннигиляция ледника Колка, вызванная его пароксизмальным газодинамическим выбросом, на длительное время (не менее нескольких десятилетий) при любых происходящих процессах исключает возможность накопления высоконапорных природных газов в приповерхностной зоне данного участка земной коры, глубинные процессы их выделения, концентрации и восходящей миграции в районе нарождающегося нового ледника Колка и сопредельных участках Казбекско-Джимарайского района Казбекской неовулканической области и в это время, естественно, не прекращаются, а возможно, в какой-то мере даже усиливаются и ускоряются, что, видимо, и наблюдается в последние годы [Тавасиев, 2012 и др.].

С момента же восстановления ледника Колка и обретения им свойств непроницаемого (газоупорного) барьера газодинамический цикл развития ледника вступит в новую, потенциально опасную фазу, когда возможность проявления пароксизмального взрывоподобного катастрофического выброса ледника определяется, в основном, внеледниковыми глубинными процессами в данном районе.

Учитывая наличие в Казбекско-Джимарайском районе источников поствулканических и других высоконапорных глубинных природных газов, это приведет к формированию, сохранению и увеличению объема скоплений газа в подледниковом пространстве, пульсационному (скачкообразному) возрастанию количества и давления газа в этих скоплениях, что определится, прежде всего, интенсивностью восходящей миграции поствулканических и других высоконапорных глубинных газов в этом районе, ее характером и степенью возрастания. Одновременно будут расти и напряжения, вызываемые пульсационным увеличением градиента (перепада) величины пластового давления природных газов в леднике и под ним. Все это

будет содействовать возрастанию возможности проявления следующей катастрофической пульсации нового ледника Колка и приближению времени ее возможного проявления.

Геодинамическая система ледника Колка (ее эндогеодинамическая, газогеодинамическая подсистема [Бергер, 2008, с. 12]), безусловно, выбросоопасна или, как было отмечено [Бергер, 2008, с. 45], «предрасположена» к время от времени повторяющимся газодинамическим выбросам ледника. Однако вероятность проявления такого выброса на различных этапах развития этой системы различна. Она зависит от состояния этой системы и самого ледника и при различных их состояниях, существенно изменяющихся в ходе эволюции этой системы и ее отдельных элементов, также существенно изменяется.

Невозможно, однако, заранее предсказать время, характер и масштабы («размах») флуктуаций в развитии газовой поствулканической деятельности в данном районе, в изменении ее интенсивности, и возможные последствия воздействия этих изменений на состояние ледника Колка.

Поэтому после восстановления ледника исключительную важность будут иметь данные систематического регулярного (и, конечно, грамотного, научно обоснованного) мониторинга состояния ледника и всей включающей его геодинамической системы, в том числе подледникового пространства и области питания ледника, а также, в целом, смежной с ледником перигляциальной зоны. Этот мониторинг должен фиксировать, прежде всего, признаки активизации в их состоянии.

Литература

1. Бергер М.Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. – новое катастрофическое природное явление // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Тезисы докладов Международной конференции, г. Владикавказ, 23–26 июня 2004 г. – Владикавказ: РЕМАРКО, 2004. – С. 4-5.
2. Бергер М.Г. Природная катастрофа на леднике Колка 20 сентября 2002 г. – внезапный газодинамический выброс ледника // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Доклады Международной конференции. Владикавказ-Москва, 23–26 июня 2004 г. – Владикавказ: Олимп, 2006а. – С. 41–49.
3. Бергер М.Г. Динамические фазы и циклы развития ледника Колка // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Доклады Международной конференции. Владикавказ-Москва, 23–26 июня 2004 г. – Владикавказ: Олимп, 2006б. – С. 24–40.
4. Бергер М.Г. Ледник Колка: Катастрофа 20 сентября 2002 г. – внезапный газодинамический выброс ледника. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007а. – 248 с.
5. Бергер М.Г. Три гляциодинамические подвижки и четыре газодинамических выброса ледника Колка. Малоизвестные страницы и дискуссионные вопросы истории развития пульсирующего ледника. – М.: КомКнига, 2007б. – 120 с.
6. Бергер М.Г. Геодинамическая система ледника Колка и вопросы прогнозирования и регулирования ее развития. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 264 с.
7. Гляциологический словарь / Под ред. В.М. Котлякова. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 528 с.
8. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Шемпелев А.Г. Особенности геофизических полей над вулканическими постройками Северного Кавказа // Вулканология и сейсмология. – 2015. – №5. – С. 50–56.

9. Заалишвили В.Б., Харебов К.С. Исследование процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года по динамическим характеристикам инструментальных записей // Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа: Труды Международной научно-практической конференции. Владикавказ, 20–22 сентября 2007 г. – Владикавказ: ВНИЦ РАН и РСО-А, 2008. – С. 202–221.
10. Коваленко Ю.Ф. Механическое поведение тел с газонаполненными трещиновидными неоднородностями // Пластичность и разрушение твердых тел. – М.: Наука, 1988. – С. 101–117.
11. Котляков В.М., Рототаева О.В., Носенко Г.А., Десинов Л.В., Осокин Н.И., Чернов Р.А. Кармадонская катастрофа: что случилось и чего ждать дальше. – М.: Издательский дом «Кодекс», 2014. – 184 с.
12. Лёд тронется? / А. Максименко (интервью с О.В. Рототаевой) // Аргументы и факты. Северный Кавказ. – 2015. – №35. – С. 3.
13. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1983. – 280 с.
14. Процесс схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. / Отв. ред. В.Б. Заалишвили. – Владикавказ: ВНИЦ РАН и РСО-А, 2009. – 165 с.
15. Ромашов А.Н. Особенности развития выброса породы при взрывах на склоне // Разрушение и деформирование твердой среды взрывом. Взрывное дело. Сборник № 76/33. – М.: Недра, 1976. – С. 85–97.
16. Ромашов А.Н. Особенности действия крупных подземных взрывов. – М.: Недра, 1980. – 244 с.
17. Рототаев К.П., Ходаков В.Г., Кренке А.Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. – М.: Наука, 1983. – 169 с.
18. Тавасиев Р.А. Ледники Майли и Колка (Центральный Кавказ) // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2012. – Т. 12. №3. – С. 37–45.
19. Тутубалина О.В., Черноморец С.С., Петраков Д.А. Ледник Колка перед катастрофой 2002 года: новые данные // Криосфера Земли. – 2005. – Т. IX. №4. – С. 62–71.
20. Факты и аргументы. Ответы на вопросы корреспондента газеты «Владикавказ» Т.Ю. Бунтури. – Владикавказ. – №83 (849). – 29.10.2010. – С. 3.
21. Хеллан К. Введение в механику разрушения. – М.: Мир, 1988. – 364 с.
22. Черниговский А.А. Применение направленного взрыва в горном деле и строительстве. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1976. – 319 с.
23. Шейдеггер А.Е. Физические аспекты природных катастроф. – М.: Недра, 1981. – 232 с.

ON THE UNIQUENESS OF THE CASE WITH THE GLACIER KOLKA

© 2018 M.G. Berger, Sc. Doctor (Geol.-Min.), prof.

Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov Str., 93 a, e-mail: berger7@rambler.ru

Reconstructive genetic and prognostic issues related to the glacier restoration at the site of the former Kolka Glacier, that was destroyed and almost completely thrown out of its container on September 20, 2002, are discussed.

The main initial, primary unique feature of the case with Kolka, which defined for decades many often unique features of the processes occurring in its former container, is the almost instantaneous disappearance of this glacier as a result of its explosive sudden gas-dynamic ejection.

The uniqueness of the case with the Kolka glacier is not that it is quickly restored, thus demonstrating the unconditional glaciological regularity of its existence in the Kolka Gorge in spite of any climatic, hydrometeorological and other exogenous conditions, but that this glacier, contrary to all glaciological laws, was almost immediately destroyed and disappeared on September 20, 2002, not because of degradation glacioclimatic conditions, without any glaciological preconditions for this. Already these facts alone clearly indicate the non-stylistic reason for the instantaneous disappearance («descent») of the Kolka Glacier and, accordingly, the entire Kolka (Karmadon, Genaldon) catastrophe.

Although annihilation of the Kolka Glacier was caused by its paroxysmal gas-dynamic discharge, for a long time (not less than several decades) for any processes occurring in a given region excludes the possibility of accumulation of high-pressure natural gases in the near-surface zone of this section of the earth's crust, deep processes of their isolation, concentration and ascending migration in the Kazbek-Dzhimara district do not stop, and, perhaps, to some extent even intensify, gain in strength and accelerate, which, apparently, is observed in the latter years.

From the moment of the Kolka glacier restoration and the acquisition of the properties of an impenetrable gas barrier, the gas dynamic development cycle of the glacier will enter a potentially dangerous phase when the manifestation possibility of the next catastrophic pulsation of the glacier will be determined mainly by the extraglacial abyssal post-volcanic processes in this region.

Keywords: Kolka glacier, disappearance, restoration, Kolka (Karmadon, Genaldon) catastrophe, causes, forecast.

References

1. Berger M.G. Gazodinamicheskij vybros lednika Kolka 20 sentjabrja 2002 g. – novoe katastroficheskoe prirodnoe javlenie [The gasdynamic ejection of the Kolka glacier on September 20, 2002 – a new catastrophic natural phenomenon]. Preduprezhdenie opasnyh situacij v vysokogornyh rajonah: Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj konferencii, g. Vladikavkaz, 23–26 ijunja 2004. Vladikavkaz: REMARKO, 2004. Pp. 4-5. (in Russian)
2. Berger M.G. Prirodnaja katastrofa na lednike Kolka 20 sentjabrja 2002 g. – vnezapnyj gazodinamicheskij vybros lednika [Natural catastrophe on the Kolka Glacier on September 20, 2002 – a sudden gas-dynamic ejection of the glacier]. Preduprezhdenie opasnyh situacij v vysokogornyh rajonah: Doklady Mezhdunarodnoj konferencii. Vladikavkaz–Moskva, 23–26 ijunja 2004. Vladikavkaz, Olimp, 2006a. Pp. 41–49. (in Russian)
3. Berger M.G. Dinamicheskie fazy i cikly razvitija lednika Kolka [Dynamic phases and cycles of development of the Kolka glacier]. Preduprezhdenie opasnyh situacij v vysokogornyh rajonah: Doklady Mezhdunarodnoj konferencii. Vladikavkaz–Moskva, 23–26 ijunja 2004. Vladikavkaz, Olimp, 2006b. Pp. 24–40. (in Russian)

4. Berger M.G. Lednik Kolka: Katastrofa 20 sentjabrja 2002 g. – vnezapnyj gazodinamicheskij vybros lednika [Kolka glacier: Catastrophe on September 20, 2002 – a sudden gas-dynamic ejection of the glacier]. M. Izd-vo LKI, 2007a, 248 p. (in Russian)
5. Berger M.G. Tri gljaciodinamicheskie podvizhki i chetyre gazodinamicheskikh vybrosov lednika Kolka. Maloizvestnye stranicy i diskussionnye voprosy istorii razvitija pul'sirujushhego lednika. [Three glaciodynamic movements and four gas-dynamic ejections of the Kolka glacier. Little-known pages and discussion questions of the development history of the pulsating glacier]. M. KomKniga, 2007b, 120 p. (in Russian)
6. Berger M.G. Geodinamicheskaja sistema lednika Kolka i voprosy prognozirovanija i regulirovanija ee razvitija. [The geodynamic system of the Kolka glacier and the forecasting and regulating problems of its development]. M. Izd-vo LKI, 2008. 264 p. (in Russian)
7. Gljaciologicheskij slovar' [Glaciological dictionary]. Pod red. V.M. Kotljakova, L. Gidrometeoizdat, 1984. 528 p. (in Russian)
8. Zaalishvili V.B., Nevskaja N.I., Nevskij L.N., Shempelev A.G. Osobennosti geo-fizicheskikh polej nad vulkanicheskimi postrojkami Severnogo Kavkaza [Features of geophysical fields over volcanic structures of the North Caucasus]. Vulkanologija i sejsmologija, 2015. No.5. Pp. 50–56. (in Russian)
9. Zaalishvili V.B., Harebov K.S. Issledovanie processa shoda lednika Kolka 20 sentjabrja 2002 goda po dinamicheskim harakteristikam instrumental'nyh zapisej [Investigation of the process of the Kolka glacier fall on September 20, 2002, on the dynamic characteristics of instrumental records]. Opasnye prirodnye i tehnogennye geologicheskie processy na gornyh i predgornyh territorijah Severnogo Kavkaza, Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii, Vladikavkaz, 20–22 sentjabrja 2007, Vladikavkaz, VNC RAN i RSO-A, 2008. Pp. 202–221. (in Russian)
10. Kovalenko Ju.F. Mehanicheskoe povedenie tel s gazonapolnennymi treshhino-vidnymi neodnorodnostjami [Mechanical behavior of bodies with gas-filled crack-like inhomogeneities]. Plastichnost' i razrushenie tverdyh tel. M. Nauka, 1988. Pp. 101–117. (in Russian)
11. Kotljakov V.M., Rototaeva O.V., Nosenko G.A., Desinov L.V., Osokin N.I., Chernov R.A. Karmadonskaja katastrofa: chto sluchilos' i chego zhdet' dal'she [Karmadon disaster: what happened and what to expect next]. M.: Izdatel'skij dom «Kodek», 2014. 184 p. (in Russian)
12. Ljod tronetsja? / A. Maksimenko (interv'ju s O.V. Rototaevoj) [interview with O.V. Rototaeva]. Argumenty i fakty. Severnyj Kavkaz, 2015. No.35, 3 p. (in Russian)
13. Petuhov I.M., Lin'kov A.M. Mehanika gornyh udarov i vybrosov [The mechanics of rock bursts and releases]. M. Nedra, 1983. 280 p. (in Russian)
14. Process shoda lednika Kolka 20 sentjabrja 2002 g. [The process of the Kolka glacier fall on September 20, 2002]. Otv. red. V.B. Zaalishvili. Vladikavkaz: VNC RAN i RSO-A, 2009. 165 p. (in Russian)
15. Romashov A.N. Osobennosti razvitija vybrosov porody pri vzryvah na sklone [Features of the development of rock outbursts in explosions on the slope]. Razrushenie i deformirovanie tverdoj sredy vzryvom. Vzryvnoe delo. Sbornik No.76/33. M. Nedra, 1976. Pp. 85–97. (in Russian)
16. Romashov A.N. Osobennosti dejstvija krupnyh podzemnyh vzryvov [Features of the action of large underground explosions]. M. Nedra, 1980. 244 p. (in Russian)
17. Rototaev K.P., Hodakov V.G., Krenke A.N. Issledovanie pul'sirujushhego lednika Kolka [Study of the pulsating glacier Kolka]. M. Nauka, 1983. 169 p. (in Russian)
18. Tavasiev R.A. Ledniki Majli i Kolka (Central'nyj Kavkaz) [Glaciers Maili and Kolka (Central Caucasus)] Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN i RSO-A. 2012. Vol. 12, No.3. Pp. 37–45. (in Russian)
19. Tutubalina O.V., Chernomorec S.S., Petrakov D.A. Lednik Kolka pered katastrofoj 2002 goda: novye dannye [Glacier Kolka before the 2002 catastrophe: new data]. Kriosfera Zemli, 2005. Vol. IX, No.4. Pp. 62–71. (in Russian)

20. Fakty i argumenty. Otvetny na voprosy korrespondenta gazety «Vladikavkaz» [Facts and arguments. Answers to the questions of the correspondent of the newspaper «Vladikavkaz»]. T.Ju. Bunturi. Vladikavkaz, No.83 (849), 29.10.2010. 3 p. (in Russian)

21. Hellan K. Vvedenie v mehaniku razrusheniya [Introduction to fracture mechanics]. M. Mir, 1988. 364 p. (in Russian)

22. Chernigovskij A.A. Primenenie napravlennogo vzryva v gornom dele i stroitel'stve [The use of a directed explosion in mining and construction]. Issue 2-e, pererab. i dop. M. Nedra, 1976. 319 p. (in Russian)

23. Shejdegger A.E. Fizicheskie aspekty prirodnyh katastrof [Physical aspects of natural disasters]. M. Nedra, 1981. 232 p. (in Russian)

НАШИ ГОСТИ

УДК 553.412.1 (575.3)

DOI 10.23671/VNC.2018.1.11255

СЕРЕБРО-ЗОЛОТОРУДНЫЙ ФОРМАЦИОННЫЙ ТИП ОРУДЕНЕНИЯ В ТАДЖИКИСТАНЕ

© 2018 Ф. А. Файзиев¹, к. г.-м. н., А. Р. Файзиев², д. г.-м. н.

¹Таджикский национальный университет, Республика Таджикистан, 734025,
г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, e-mail: foteh81@mail.ru;

²Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Академии
наук Республики Таджикистан, Республика Таджикистан, 734063, г. Душанбе,
ул. Айни, 267, e-mail: faiziev38@mail.ru

Серебро-золоторудный формационный тип минерализации в Таджикистане известен в пределах Табошар-Канджольского рудного узла (Карамазар) и на Памире. В Карамазаре к этому типу относятся месторождения Школьное, Четсу и Караулхона, а на Памире рудопроявления Сассык, Лянгар, Бугучиджилга, Курустык и др. Серебро-золоторудный формационный тип представлен убогосульфидными кварц-золоторудными жилами с высоким содержанием серебра. Рудные минералы представлены пиритом, тетраэдритом, халькопиритом, пираргиритом, фрейбергитом, миаргиритом, самородным золотом, электроумом и кюстелитом. Формационными особенностями этого типа являются предрудная пропилитизация, синрудная березитизация, многостадийный характер минерализации, простой минеральный состав, крайне неравномерное распределение серебра и золота, а также близповерхностное образование золота и его низкопробность. Продуктивное оруденение в них образовалось при сравнительно низких температурах (300–150°) и давлениях (500 бар и ниже).

Ключевые слова: рудноформационный тип, месторождение, золото, минерал-парагенетическая ассоциация, стадия, минералообразование, структура, текстура.

Серебро-золотой рудноформационный тип минерализации в Таджикистане находится в пределах Табошар-Канджольского рудного узла (Карамазар) и на Памире. Наиболее известными из них являются месторождения Школьное, Четсу и Караулхона (Карамазар) и рудопроявления Сассык, Лянгар, Бугучиджилга, Курустык (Памир). Некоторые сведения о месторождениях этой формации приведены в таблице 1.

Месторождение Школьное. Согласно существующим схемам структурно-формационного и металлогенического районирования Центральной Азии район месторождения расположен в пределах Кураминской структурно-формационной подзоны Бельтау-Кураминского вулканоплутонического пояса Срединного Тянь-Шаня [Арапов, 1983], расположенного в южной эндоконтактной зоне Карамазарского гранитоидного батолита. Месторождение сложено интрузивными образованиями, представленными биотит-роговообманковыми гранодиоритами и мелкозернистыми гранитами. В качестве жильных пород встречаются гранодиорит-порфиры, кварцевые порфиры, гранит-порфиры, граносиенит-порфиры, диабазовые порфиры и диабазы.

В структурном отношении месторождение располагается в тектоническом клине, образованном сочленением Канджольского и Редкометалльного разломов и имеет блоковое строение. Рудные тела жиллообразной формы локализованы в секущих структурах блокирования с высокой ролью дорудных поперечных нарушений. Они имеют преимущественно северо-западное и субширотное направление, хотя в восточной и южной частях месторождения развиты жилы меридионального простирания. Падение жил от крутого (70–80°) до пологого (50–60°). Большая часть жил образовалась путём выполнения открытых полостей вдоль трещин скола и отрыва.

Таблица 1.

Общая характеристика серебро-золотого рудноформационного типа оруденения в Таджикистане

| Рудное поле, зона | Месторождение, рудопроявление | Вмещающие породы | Возраст оруденения | Минеральный состав | Соотношение золото к серебру (от-до), среднее | Термобарогеохимические параметры |
|--|--|---|--------------------|--|---|--|
| Канджольское | Школьное, Четсу, Караулхона | Гранитоиды Карамазарского типа (C ₂): гранодиорит, граниты C ₂ -P ₁ | P ₁ | Главные рудные: пирит, пираргирит, фрейбергит, самородное золото Второстепенные и редкие: арсенопирит, пирротин, марказит, никелин, сфалерит, халькопирит, галенит, Ag-тетраэдрит, акантит, науманнит, полибазит, миаргирит, стефанит, самородный висмут, алларгентум, дискразит, электрум, кюстелит, самородное серебро, буланжерит, семсеит, овихиит Жильные: кварц, кальцит, сидерит, анкерит, кутнагорит, родохрозит, барит, адуляр Гипергенные: гидроокислы железа и марганца, кераргирит, малахит, азурит и др. | 1:5-1:153, 1:42 | Минералообразование происходило в интервале температур 300-70°C и давлений 83-6 бар из бикарбонатно-хлоридных растворов с концентрацией 37-20 вес.% |
| Рушан-Пшартская и Центрально-Памирская | Сассык, Лянгар, Бугучиджилга, Курустык | Терригенные породы верхнего и карбонатные породы нижнего и среднего триаса | Альпийский | Главные рудные: пирит, пираргирит, тетраэдрит, самородное золото Второстепенные и редкие: арсенопирит, халькопирит, пирротин, галенит, сфалерит, миаргирит, гематит, марказит, самородный висмут, электрум, кюстелит, самородное серебро Жильные: кварц, кальцит, сидерит, анкерит, барит, флюорит Гипергенные: гидроокислы железа, скородит, малахит, азурит и др. | 1:12 до 1:265, 1:90 | Минералообразование происходило в диапазоне температур от 450 до 150°C. Однако серебро-золотооруденение образовалось при температурах 250-150°C и давлении около 500 бар и ниже. |

Месторождение Школьное представляет собой серию кварц-карбонатных жил, локализованных в оперяющих разрывах Редкометалльного и Канджольского разломов. Мощность жил колеблется от 0,2 до 4,9 м. Простираются жилы на 40-600 м и прослежены по падению на глубину более 300 м. Месторождение считается близповерхностным – 1-1,5 км [Морозов, Григорьева, 1982], а глубина распространения продуктивной минерализации определена в 250-300 м. Глубина эрозионного среза для кварц-золоторудных жил месторождения не превышает 100-150 м [Прокопенко, Шевкаленко, 1979].

Околожильный метасоматоз на месторождении развит слабо. Кварц-золото-сереброрудные жилы сопровождаются незначительным окварцеванием, пирити-

зацией, калишпатизацией, серицитизацией, каолинизацией, хлоритизацией, альбитизацией и карбонатизацией вмещающих пород в призальбандовых их частях, способствующих осаждению золота в гидротермальных системах [Бадалов, 1966; Прокопенко, 1980]. Формирование оруденения происходило после площадной пропилитизации и сопровождалось околожильной березитизацией, включающей три зоны (от внешних к внутренним): 1) альбит-хлорит-серицит-карбонат-кварцевую; 2) хлорит-серицит-карбонат-кварцевую; 3) серицит-карбонат-кварцевую.

Образование минералов на месторождении протекало в пять стадий [Moralev, Shatagin, 1993]. Серебро-золотая минерализация образовалась во второй стадии, в размещении продуктов которой имеет место фациальная зональность. Проявляется она в снижении их золотоносности и содержания рудных минералов с глубиной. По падению жил уменьшается содержание арсенопирита, сфалерита, блёклых руд и сульфосолей серебра, но возрастает роль галенита, халькопирита и пирита. В нижних частях жил появляется и самородный висмут. На месторождении наблюдается и другая зональность. В северо-западной его части устанавливается закономерная смена на глубину вторичных кварцитов (0-150 м) продуктивными (100-200 м) золото-кварц-адуляр-карбонатными, а ещё ниже – кварц-полиметаллическими ассоциациями.

Минеральный состав кварц-золоторудного месторождения Школьное прост. Основным минералом жил является кварц, составляющий 80-90% их объёма. Другие нерудные минералы представлены анкеритом, кальцитом, сидеритом, кутнагоритом, баритом, адуляром, серицитом и гидрослюдами. Рудные минералы имеют незначительное распространение и составляют всего 0,5% объёма жил. Представлены они пиритом, пираргиритом, фрейбергитом и самородным золотом. На месторождении также описаны сфалерит, галенит, халькопирит, арсенопирит, тетраэдрит, акантит, науманнит, полибазит, миаргирит, стефанит, самородный висмут, алларгентум, дискразит, электрум, кюстелит, самородное серебро, буланжерит, семсеит и овихиит. Анкерит является типоморфным минералом продуктивной стадии и его присутствие в кварцевых жилах указывает на промышленные содержания золота в них.

Золото на месторождении низкопробное (580–650) и находится в парагенетической ассоциации с сульфосолями тетраэдрит-фрейбергитового ряда. Содержание золота на месторождении Школьное варьирует от 0,3 до 18,4 г/т, а серебра от 3 до 366,4 г/т. Отношение золота к серебру в рудах колеблется от 1:5 до 1:153, в среднем 1:42. Текстуры руд пластинчатые, колломорфные, брекчиевые и массивные.

Формирование минеральных ассоциаций на месторождении происходило при температуре от 300 до менее 70°C [Moralev, 1993]. Продуктивная минерализация образовалась при 300–160°C и давлении 83-38 бар. Состав минералообразующих растворов бикарбонатно-хлоридный существенно кальциево-натриевый с концентрацией 37-20 вес. %.

На месторождении Школьное кварц-золото-сереброрудные жилы отчётливо пересекаются дайками диабазовых порфириров, причём в них наблюдаются ксенолиты золото-сереброрудного кварца размером до 10-40 см. Это свидетельствует о том, что золото-серебросодержащие кварцевые жилы более ранние по возрасту, чем эти дайки, т. е. они додайковые. Вместе с тем установлено, что жилы кварца секут дайки кварцевых порфириров и кварцевых диоритовых порфириров. Нередко золотоносные кварцевые жилы и отмеченные дайки имеют одинаковую ориентировку и даже локализируются в одних и тех же тектонических нарушениях. Таким образом, по возра-

сту кварц-золото-сереброрудные жилы более ранние, чем дайки диабазовых порфиров, но более поздние, чем дайки кварцевых порфиров и кварцевых диоритовых порфиров. Предположительно возраст кварц-золото-сереброрудного оруденения соответствует раннепермской (277 ± 4 млн лет) эпохе [Моралев, 1993]. Оно сформировалось одновременно с внедрением ранних даек риолитов (кварцевых порфиров, фельзитов), но до внедрения более молодых даек диабазов и граносиенитов.

По данным изотопии состав углерода карбонатов месторождения имеет биогенное происхождение, источником которого служили мраморизованные известняки и доломиты D_2-C_1 [Моралев, 1993]. Металлы имеют глубинное происхождение, что и малые интрузии кислого состава C_3-P_1 . Таким образом, источниками рудного вещества серебро-золоторудного месторождения Школьное, по мнению этого исследователя, являются гидротермальные растворы разного происхождения, образованные в результате смешения высокосоленых глубинных флюидов с низкоконцентрированными метеорными водами или материала континентальной и океанической коры с веществом мантии. На смешанную метеорно-магматическую природу рудообразующих растворов указывают также [Коваленкер, Сафонов, 1998]. По данным [Прокопенко, 1980] золото могло заимствоваться из песчано-сланцевой толщи, поскольку оруденения формировались вблизи контакта интрузивных пород с этими отложениями.

Месторождение Четсу расположено на правом борту одноименной реки, к северо-востоку от месторождения Школьное. Оно входит в состав Табошар-Канджольского рудного узла. Оруденение развито в зонах дробления среднекарбонатовых гранодиоритов. Месторождение приурочено к крутопадающему Ограничивающему разлому, который осложняет Уткемсуйскую антиклиналь. Для локализации оруденения наиболее благоприятны крутопадающие и пологопадающие разрывы.

На месторождении развита хлоритизация и серицитизация гранитоидов, которые сопровождают вкрапленную сульфидную минерализацию (пирит, галенит, халькопирит, висмутин и др.). Рудные тела невыдержанные по падению и простираю [Азим и др., 2015]. Они при секущих тектонических трещинах выклиниваются. Руды месторождения прожилково-вкрапленные и гнездовые.

Выделяются три зоны: Северная, Промежуточная и Ограничивающая, которые имеют линзовидную форму. По простираю их размер достигает 15-60 м, по падению 20-70 м, при мощности от 0,4 до 1,7 м.

Рудные минералы представлены пиритом, халькопиритом, галенитом. Подчиненное значение имеют сфалерит, блеклые руды, самородное серебро, самородное золото, пирротин, арсенопирит, полибазит и магнетит. Нерудные минералы состоят из кварца, кальцита, барита, реже встречаются анкерит и доломит.

Золото образует сростки в халькопирите, пирите и выделения в кварце. Размеры зерен – от пылевидных до 0,15 мм. Серебряная минерализация связана с кварц-карбонат-полиметаллическими рудами, реже с сульфидсодержащими кварц-серицитовыми метасоматитами. Соотношение золота к серебру в рудах составляет от 1:76 до 1:151, в среднем 1:112.

Месторождение Караулхона находится также в пределах Табошар-Канджольского рудного узла и расположено в 20 км к северо-востоку от месторождения Школьное. Приурочено оно к замку Кураминской антиклинали, сформированной в результате варисской складчатости [Беспалова, Прокопенко, 1976]. Расположено месторождение в блоке между Канджольским и Акташским разломами. Вмещающие породы месторождения представлены песчано-сланцевыми образованиями

ордовика-силура. Серебро-золотое оруденение локализовано преимущественно в сколах северо-восточного простирания.

Околожилные изменения вмещающих ордовик-силурийских пород на месторождении наблюдаются в призальбандовых частях и выражены окварцеванием, хлоритизацией, пиритизацией, карбонитизацией, а близко к рудным телам наблюдается калишпатизация. Калишпатизация является основным поисковым признаком кварц-карбонат-золото-серебряных руд. Установлено, что значительное покраснение песчано-сланцевых пород возле кварцевых жил свидетельствует о промышленном содержании серебра и золота. Ширина зон изменения измеряется чаще всего десятками сантиметров и редко достигает нескольких метров.

На месторождении выделено четыре золото-сереброносных парагенезиса [Беспалова, Прокопенко, 1976]: пропилитовый, кварц-карбонат-пираргиритовый, кварц-халькопиритовый и кварц-барит-полиметаллический. Пропилитовый характеризуется окварцеванием, пиритизацией, серицитизацией и калишпатизацией вмещающих песчано-глинистых отложений с преобладанием метасоматического замещения над выполнением открытых полостей.

Кварц-карбонат-пираргиритовый парагенезис локализуется в трещинах отслоения или секущих трещинах и часто образует жилные зоны. Жилы выполнены мелкозернистым кварцем (65-90%), пластинчатым карбонатом (10-20%) и сульфидами (не более 5%). Последние представлены пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом, блеклой рудой, пираргиритом, а также арсенопиритом и пирротинном. Для этого парагенезиса характерны массивная, брекчиевидная и полосчатая текстуры. Золото и серебро находятся в виде электрума, кюстелита, тонкодисперсных выделений в сульфидах, а также серебро в пираргирите. Золото низкопробное (560–690).

Золото- и сереброносные жилы кварц-халькопиритового парагенезиса сложены средне- и крупнозернистым кварцем массивной и гребенчатой текстуры с сульфидами (халькопирит, галенит, сфалерит, пирит). Золото и серебро здесь тонкодисперсные.

В кварц-барит-полиметаллическом парагенезисе встречаются карбонат, флюорит, галенит, сфалерит, пирит, блеклые руды и ничтожное количество арсенопирита и пирротина. Золото в этом парагенезисе также тонкодисперсное и приурочено обычно к блеклым рудам. Серебро этой парагенетической ассоциации изоморфно входит в галениты и блеклые руды. Соотношение золота к серебру на месторождении от 1:6 до 1:23, в среднем 1:17.

На месторождении Караулхона установлена горизонтальная зональность минеральных парагенезисов вдоль разрывных нарушений. Особенно она хорошо заметна по простиранию Акташского разлома. С юго-запада на северо-восток этот разлом пересекает различные комплексы пород – карбонатные отложения верхнего девона-нижнего карбона, песчано-глинистые отложения ордовика-силура, трахидацитовые порфиры акчинской свиты. Среди карбонатных пород зона разлома выполнена кварц-халькопиритовыми жилами с самородным висмутом, вблизи контакта с карбонатными отложениями в сланцах развиты кварц-кальцитовые жилы с анкеритом, баритом, галенитом и пиритом. Количество карбонатов (кальцита, анкерита) в жилах достигает 40-60%. Постоянно по мере удаления от контакта с известняками количество карбоната в жилах резко падает и увеличивается содержание мелкозернистого кварца с незначительными концентрациями серебра и золота. При переходе из сланцев в песчаники кварц-кальцитовые жилы становятся золото-серебро-кварц-адуляр-кальцитовыми, количество их резко увеличивается, появляются про-

мышленные рудные скопления, усложняется состав парагенезиса. Среди трахиодацитовых порфиров Акташский разлом вмещает кварц-халькопиритовые жилы. Пропилитовый парагенезис, широко развитый среди полимиктовых песчаников ордовика-силура, сменяется серицит-хлорит-кварцевым с преобладанием хлорит-пиритовой минерализации.

Роль вмещающей среды сказывается и на формировании рудных тел и перераспределении парагенезисов по вертикали. Например, в жиле № 25 кварц метасоматический, брекчиевидный, с тонкораспыленным пиритом при выходе из песчаников в сланцы (в 30 м от поверхности) сменяется мелко-тонкозернистым анкеритом, а на горизонте штольни 3 – золото-пираргирит-кварц-кальцитовым парагенезисом. Смена пропилитового парагенезиса золото-пираргирит-карбонатным и еще ниже кварц-полиметаллическим в пределах отдельных рудных жил может быть подтверждена развитием в глубокоэродированных местах Кураминской антиклинали в основном кварц-барит-полиметаллической минерализации (уч. Баритовое, Майбулак). В то же время слабо денудированные ее места, максимально приближенные к контакту с эффузивными образованиями, характеризуются площадным развитием пропилитового парагенезиса. Золото-кварц-адуляр-карбонатные и золото-пираргирит-кварц-карбонатные жилы занимают промежуточное положение.

В отличие от месторождений Школьное и Четсу, которые развиты в гранодиоритах, Ag-Au-рудные тела Караулхона локализованы, как было отмечено выше, в песчано-глинистых отложениях. Эти породы сыграли важную роль в распределении серебра и золота на объекте [Прокопенко, 1980; Беспалова, Прокопенко, 1976]. Они слабо метаморфизованы, обладают высокой пластичностью и сильной анизотропностью. В них в основном легко развиваются трещины напластования, с которыми в большей степени связаны рудоносные кварцевые жилы. В связи с этим такие жилы имеют малую мощность, не выдержаны по простиранию, обладают небольшим размахом оруденения на глубину. Возраст оруденения раннепермский [Азим и др., 2015].

На *Памире* проявления серебро-золотого формационного типа входят в состав Рушан-Пшартской и Центрально-Памирской зон. Это Курустык-Пшартская и Кызылрабатская площади по схеме размещения серебро-золоторудных зон Памира [Тютин, Шафран, 1991]. К ним относятся проявления Сассык, Лянгар, Бугучиджилга, Курустык. Они приурочены к центральной части крупной Сарезской антиклинали, сложенной терригенными образованиями верхнего и карбонатными породами нижнего и среднего триаса. Эти отложения разбиты разрывными нарушениями широтного и субширотного направлений, являющимися опережающими глубинного Рушанско-Пшартского разлома. Магматические образования в районе развиты незначительно и представлены небольшими массивами диоритов. Рудопроявления располагаются в тектоническом блоке известняков и приурочены к крупным линзовидным сидерит-анкеритовым телам и карбонатно-кварцевым жилам. Оруденения имеют прожилково-вкрапленный характер и представлены сульфидно-серебро-золотой минеральной ассоциацией, накладывающейся на сидеритовые тела и известняки. Из сульфидов отмечаются главным образом пирит, тетраэдрит и халькопирит, реже арсенопирит и пирротин. Золото встречается преимущественно в самородном виде, серебро же в основном концентрируется в пираргирите и миаргирите, а также входит в состав тетраэдрита, пирита и халькопирита в качестве изоморфной примеси [Морозов и др., 1972].

Формирование упомянутых рудопроявлений происходило в три гидротермальные стадии, связанные с послепалеогеновым этапом тектоно-магматической активизации складчатых сооружений Памира [Морозов и др., 1972]. Первая дорудная стадия обусловила общее окварцевание известняков, слабую их пиритизацию и формирование сидерит-анкеритовых жил. Вторая стадия проявилась в образовании кварцево-карбонатных жил с небольшим количеством сульфидов (пирита, арсенопирита, пирротина), гематита, барита и флюорита. С третьей стадией связано образование тетраэдрита, пираргирита, самородного золота, халькопирита и других минералов.

Золото начинает выделяться в конце второй стадии в ассоциации с поздним пиритом. С этим же пиритом связано повышенное содержание серебра, которое присутствует в нем, видимо, в виде изоморфной примеси. Основное количество самородного золота связано с третьей, наиболее продуктивной стадией, где оно совместно с минералами серебра образует выделения в тетраэдрите и халькопирите. Возраст оруденения альпийский [Морозов и др., 1978].

Изучение термобарометрических параметров минералообразования показывает, что образование серебро-золотых проявлений происходило следующим образом: окварцевание известняков произошло в дорудную метасоматическую стадию при температуре не менее 450°C и давлениях около 1500-2000 бар. Кварцевые жилы с анкеритом и сидеритом во вторую стадию формируются при температурах 300–400°C и давлениях порядка 1500-1800 бар. К концу этой стадии температура снизилась до 200°C, а давление понижалось до 300-500 бар. Формирование минералов серебро-золото-сульфидной ассоциации в третью стадию происходило при температурах 150–250°C и давлении порядка 500 бар и ниже [Морозов и др., 1972]. Таким образом, серебро-золото-сульфидная ассоциация на Памире сформирована при сравнительно низких температурах (150–250°C) и давлениях (ниже 500 бар) и наложена на сидерит-анкеритовые и карбонат-кварцевые жилы.

Литература

1. Азим И., Мамадвафоев М. М., Литвиненко К. И., Кошелев Б. Л. Золото Таджикистана: геология и ресурсный потенциал. – М.: Руда и металлы, 2015. – 404 с.
2. Арапов В. А. Вулканизм и тектоника Чаткало-Кураминского региона. – Ташкент: Фан, 1983. – 256 с.
3. Бадалов С. Т. О роли вмещающих пород в качестве возможного источника золота в эндогенных кварцево-золоторудных месторождениях // В сб.: Минералогия и геохимия сульфидных месторождений Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1966. – С. 23-41.
4. Беспалова Н. Г., Прокопенко Б. С. Геолого-минералогические особенности золото-серебряного месторождения Караулхона // Записки Узбекист. отд. ВМО. – 1976. – Вып. 29. – С. 185-189.
5. Коваленкер В. А., Сафонов Ю. Г. Основные геолого-генетические типы золото-серебряных месторождений Кураминского региона и их минералогическо-генетические признаки // В сб. Узбекистонолтинконлари: геология васаноаттурлари. – Ташкент. – 1998. – С. 85-88.
6. Моралев Г. В. Минеральные ассоциации, зональность и условия формирования золото-серебряного месторождения Школьное // Автореф. канд. дисс. – М. – 1993. – 18 с.

7. Морозов С. А., Котельников Г. В., Оськин Л. Ф. О термодинамических условиях образования золото-серебряных рудопроявлений на Памире // Доклады АН Тадж. ССР. 1972. – № 6. Т. XV. – С. 48-50.

8. Морозов С. А., Алидодов Б. А., Ишаншо Г. А., Григорьева Э. П. Термобарогеохимические условия образования редкометалльных месторождений Таджикистана // Известия АН Тадж. ССР. Отд. физ.-матем, химич. и геол. Наук. – 1978. – № 4 (70). – С. 76-81.

9. Морозов С. А., Григорьева Э. П. Особенности генезиса золоторудных формаций Карамазара // Минералогия Таджикистана. – 1982. – Вып. 6. – С. 44-49.

10. Прокопенко Б. С., Шевкаленко В. А. Золото древнего Канджола // Записки Узбекист. отд. ВМО. – Вып. 32. – Ташкент: Фан, 1979. С. 179-181.

11. Прокопенко Б. С. Геолого-геохимическая роль вмещающей среды в формировании золото-серебряного оруденения Табашар-Канджольского рудного района // Зап. Узбекист. отд. ВМО. – 1980. – Вып. 33. – С. 184-187.

12. Тютин М. А., Шафран Е. Б. Экстенсивность и интенсивность золотого и серебряного оруденения Южного Памира // Известия АН Тадж. ССР. Отд. физ.-матем, химич. и геол. Наук. – 1991. – № 4 (122). – С. 73-76.

13. Moralev G. V., Shatagin K. N. Rb-Sr study of Au-Ag Shkolnoe deposit (Kurama Mountains, North Tajikistan): age of mineralization and time scale of hydrothermal processes. // Mineralum Deposita. – 1993. – V. 34. № 4. – Pp. 405-413.

SILVER-GOLD FORMATION TYPE ORE MINERALIZATION IN TAJIKISTAN

© 2018 F. A. Fayziev¹, Sc. Candidate (Geol.-Min.), A. R. Fayziev²,
Sc. Doctor (Geol.-Min.)

¹Tajik National University, Republic of Tajikistan, 734025, Dushanbe, Rudaki Str., 17,
e-mail: foteh81@mail.ru;

²Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology Academy of Sciences
of the Republic of Tajikistan, Republic of Tajikistan, 734063, Dushanbe, Ayni Str., 267,
e-mail: faiziev38@mail.ru

Silver-gold ore-formation type mineralization in Tajikistan known within Taboshar-Kanjol – ore unit (Karamazar) and the Pamirs. The most known deposits KaramazarScholnoe, Chetsy and Karaulhona and the Pamirs to this type of ore can be attributed Sassyk, Langar, Buguchidzhilga, Kurustyk. Silver-gold ore-formation type is represented by poorly-high silver sulfide-quartz veins of gold mining. The ore minerals are pyrite, tetrahedrite, chalcopyrite, pyrargyrite, freibergite, miargyrite, native gold, electrum and kyustelite. Formational peculiarities of this type are pre-ore propylitization, sin-ore beresitization, multi-stage nature of the mineralization, simple mineral composition, extremely uneven distribution of silver and gold, as well as subsurface formation of gold and its sleaze. Productive mineralization formed there in at relatively low temperatures (300–150°) and pressures (500 bar or less).

Keywords: ore-formation type, mine, gold, mineral, paragenesis association, stage, mineralization, structure, texture.

References

1. Azim I., Mamadvafoev M.M., Litvinenko K.I., Koshelev B.L. Zoloto Tadjikistana: geologija i resursnyj potencial [Gold of Tajikistan: geology and resource potential] M.: Rudaimetally, 2015, 404 p. (in Russian)
2. Arapov V.A. Vulkanizm i tektonika Chatkalo-Kuraminskogo regiona [Volcanism and tectonics of the Chatkalo-Kuramin region]. Tashkent: Fan, 1983, 256 p. (in Russian)
3. Badalov S.T. O roli vmeshhajushhih porod v kachestve vozmozhnogo istochnika zolota v jendogennyh kvarcevo-zolotorudnyh mestorozhdenijah [On the role of enclosing rocks as a possible source of gold in endogenous quartz-gold deposits]. V sb.: Mineralogija i geohimija sul'fidnyh mestorozhdenij Uzbekistana. Tashkent: Fan, 1966. Pp. 23-41. (in Russian)
4. Bespalova N.G., Prokopenko B.S. Geologo-mineralogicheskie osobennosti zoloto-serebrjanogo mestorozhdenija Karaulhona [Geological and mineralogical features of gold-silver meteorology of Karaulkhon]. Zapiski Uzbekist. otd. VMO, Issue 29, 1976. Pp. 185-189. (in Russian)
5. Kovalenker V.A., Safonov Ju. G. Osnovnye geologo-geneticheskie tipy zoloto-serebrjanyh mestorozhdenij Kuraminskogo regiona i ih mineralogo-geneticheskie priznaki [The main geological-genetic types of gold-silver deposits of the Kuramin region and their mineralogical and genetic features]. V sb. Uzbekistonoltinkonlari: geologija vasanoatturlari. Toshkand, 1998. Pp. 85-88. (in Russian)
6. Moralev G.V. Mineral'nye associacii, zonal'nost' i uslovija formirovanija zoloto-serebrjanogo mestorozhdenija Shkol'noe. [Mineral associations, zoning and conditions for the formation of the gold-silver deposit Shkolnoe]. Avtoref. kand. diss. Moskva, 1993, 18 p. (in Russian)
7. Morozov S.A., Kotel'nikov G. V., Os'kin L.F. O termodinamicheskix uslovijah obrazovanija zoloto-serebrjanyh rudoprojavlenij na Pamire [On the thermodynamic conditions for the formation of gold-silver ore occurrences in the Pamirs]. Doklady AN Tadjh. SSR, No. 6. Vol. XV, 1972. Pp. 48-50. (in Russian)
8. Morozov S.A., Alidodov B.A., Ishansho G.A., Grigor'eva Je. P. Termobarogeochemicheskie uslovija obrazovanija redkometal'nyh mestorozhdenij Tadjikistana [Thermobarogeochemical conditions for the formation of rare metal deposits in Tajikistan]. Izvestija AN Tadjh. SSR, No. 4. (70), Otd. fiz.-matem, himich. i geol. nauk, 1978. Pp. 76-81. (in Russian)
9. Morozov S.A., Grigor'eva Je. P. Osobennosti genezisa zolotorudnyh formacij Karamazara [Features of the genesis of Karamazar gold formations]. Mineralogija Tadjikistana, Issue 6, 1982. Pp. 44-49. (in Russian)
10. Prokopenko B.S., Shevkalenko V.A. Zoloto drevnego Kandzhola [The gold of ancient Candzhol]. Zapiski Uzbekist. otd. VMO, Issue 32, Tashkent: Fan, 1979. Pp. 179-181. (in Russian)
11. Prokopenko B.S. Geologo-geohimicheskaja rol' vmeshhajushhej sredy v formirovanii zoloto-serebrjanogorudeneniija Taboshar-Kandzhol'skogo rudnogo rajona [Geological and geochemical role of the host environment in the formation of the gold-silver ore of the Taboshar-Kanjol ore region]. Zap. Uzbekist. otd. VMO, Issue 33, 1980. Pp. 184-187. (in Russian)
12. Tjutin M.A., Shafran E.B. Jekstensivnost' i intensivnost' zolotogo i serebrjanogo orudeneniija Juzhnogo Pamira [Extensivity and intensity of gold and silver mineralization of the Southern Pamir]. Izvestija AN Tadjh. SSR, Otd. fiz.-matem, himich. i geol. nauk, No. 4. (122), 1991. Pp. 73-76. (in Russian)
13. Moralev G.V., Shatagin K.N. Rb-Sr study of Au-Ag Shkolnoe deposit (Kurama Mountains, North Tajikistan): age of mineralization and time scale of hydrothermal processes. Mineralum Deposita. v. 34, №4, 1993. Pp. 405-413.

ПАМЯТЬ

ДЖИНЧВЕЛАШВИЛИ ГУРАМ АВТАНДИЛОВИЧ

17.05.1957 – 08.12.2017



Наука о теории сейсмостойкости понесла ещё одну невосполнимую утрату! Ушел ученый, ушел человек, который всю свою сознательную жизнь посвятил развитию науки о сейсмостойкости, которая не имеет национальности!

Гурам Автандилович **Джинчвелашвили** внес значительный вклад в теорию и практику расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия, включая проблемы учета нелинейностей и упругих деформаций в теории сейсмостойкости, моделирование взаимодействия сооружения с основанием, задание расчетных воздействий на систему «грунт-сооружение», особенности расчета уникальных сооружений на сейсмические воздействия и многое другое. Был период, когда он активно сотрудничал с нашим институтом и многое сделал для обоснования различных сейсмологических задач.

Гурам Автандилович родился в г. Лагодехи Грузинской ССР в 1957 г. в семье известного гидроинженера Автандила Ражденовича Джинчвелашвили. Он пошел по дороге отца и окончил строительный факультет Грузинского политехнического института, посвятив всю свою жизнь решению сложнейшей инженерной задачи – обеспечению надежности и безопасности сейсмостойкого строительства.

Практически 30 лет он исследовал различные аспекты проектирования зданий и сооружений в сейсмических районах, работая в Центральном научно-исследовательском институте строительных конструкций им. Кучеренко в Москве. Окончил аспирантуру и в 1983-м защитил кандидатскую диссертацию и работал на научных должностях отдела сейсмостойкости сооружений, где позже (2007–2010) заведовал лабораторией «Теория сейсмостойкости сооружений», включающую несколько отделов.

Он всегда стремился к учебе. Так, в 1987 г., поняв, что для работы над решениями нелинейных задач теории сейсмостойкости в вероятностной постановке ему не хватает знаний по математике, Гурам Автандилович поступил на вечернее отделение механико-математического факультета МГУ им. Ломоносова, которое успешно окончил в 1991 г.

Необходимо отметить, что с 90-х годов, вплоть до 2007 года, работал в школе учителем математики. И для сотен учеников двух московских школ – 525-й и 680-й – он был и остался Учителем, Другом, Образцом!

Одновременно с работой в школе, занимался научной работой. Работал в РГО-ТУПС на кафедре «Соппротивление материалов и строительная механика» (1996–2004) и руководил кафедрой «Высшая математика» (2001–2004). Переход в НИУ МГСУ ознаменовал новый научный этап в жизни – поступление в докторантуру, гранты, лаборатория, активное сотрудничество с Геофизическим институтом ВНИЦ РАН (2009–2011), Научно-техническим центром Надёжности и безопасности сооружений Смоленского филиала МИИТ (2009–2013), Научно-техническим центром ядерной и радиационной безопасности (2008–2012).

В 2016 году он вернулся в РГОТУПС и вновь возглавил кафедру «Высшая математика и естественные науки» – с новыми задачами и с планами на реформы учебных методик и технологий!.

Гурам Автандилович был талантливым учёным. В 2015 году он успешно защитил докторскую диссертацию на тему «Нелинейные динамические методы расчета зданий и сооружений с заданной обеспеченностью сейсмостойкости», значительно поменявшую сложившееся видение на строительство зданий и сооружений в сейсмоопасных зонах. Он вошел в число ведущих российских экспертов в области теории сейсмостойкого строительства, он был широко известен за рубежом.

Г. А. Джинчвелашвили входил в состав научных советов по сейсмостойкому строительству, в редакционные советы научных российских и зарубежных журналов. В качестве научного наследства он оставил более 160 научных, учебно-методических работ, более 10 монографий и ... ряд обозначенных проблем.

Приказом Министерства строительства и ЖКХ России в числе ведущих специалистов и ученых в области инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства Гурам Автандилович был включен в состав Межведомственного совета по сейсмологии и сейсмостойкому строительству (МССС), возглавив одну из рабочих групп. Он был главным действующим экспертом ЦНИИП Минстроя России на ответственных российских стройках последнего десятилетия, в том числе, при строительстве Олимпийских объектов в Сочи, в 2014 году.

Гурам Автандилович всегда искренне и эмоционально отстаивал свою точку зрения, в особенности, при обсуждении нормативных документов по сейсмостой-

кому строительству, понимая, что за любой теорией стоят жизни многих людей! Он принимал самое активное участие в работе воссозданной нами МССС, всемерно помогая Юрию Павловичу Назарову!

Гурам Автандилович занимался не только научной и практической деятельностью, но и активно передавал свои знания, будучи профессором МГСУ и МИИТ. До последнего дня работал он над нашей общей книгой по инженерной сейсмологии и сейсмостойкому строительству!

Гурам Автандилович всегда откликался на приглашения принять участие в наших мероприятиях, приезжал, читал лекции, участвовал в обсуждении важных для нашего региона вопросов, связанных со строительством уникальных и ответственных объектов.

Но он не был бы грузином, если бы блестяще не пел, причем сложные для исполнения древнегрузинские песни из его репертуара вполне заслуженно высоко ценятся в мире профессионального искусства! При этом, оказываясь в юности, он пел в грузинской капелле и играл в футбол!

Гурам Автандилович был нашим другом вот уже почти 40 лет. Перед глазами стоит стройный молодой человек с весьма серьезными и умными глазами среди своих сверстников, выезжающих на учебу в Москву. Он был жизнерадостным, заражал окружающих оптимизмом и трудолюбием! Однажды, обе мои дочери, изучив с ним длинной дорогой до Смоленска одну красивую грузинскую песню, «заболели» пением. И очень любили и всегда ждали дядю Гурама в гости!

Конечно, он, как и все мы, нередко совершал ошибки, был временами несносно субъективен, из-за неумения решительно отказаться от огромного количества поручений, не всегда был обязателен, что меня временами сильно озадачивало. Иногда по очень важным даже для себя делам, бывал до невозможности простодушен, иногда даже ставил ситуацию в неловкое положение, но ... был всегда настолько искренен и безутешен, что лично мне не хватало духа сделать жесткое замечание. Он всем хотел помочь, выполнить обещания, но ... раздвигать временные рамки, нам не дано! Мы, близкие друзья, со временем просто принимали эту особенность его характера, как некую данность. При этом, дав официальное слово, держал его, чтобы это ему не стоило!

Гурам Автандилович прошел сложную жизнь, уже однажды он победил эту болезнь и мужественно продолжал сражаться! По моему настоянию Гурам Автандилович обещал и решительно бросил курить за месяц до ухода (прав ли был я, не знаю!). Все это давалось ему непросто. Но при этом у него на лице для близких и друзей всегда мерцала его неповторимая улыбка, даже в последние дни жизни! Поразительно, но за неделю до кончины, когда я посетил его в больнице, он, написав и подарив мне свою последнюю книгу (которая позже меня очень удивила и расстроила!), зажигательно говорил о наших общих планах по новой книге и спрашивал меня о семье!

Вот таким, очень внимательным к проблемам других, теплым и дорогим другом и братом навсегда останется Гурам Автандилович в нашей памяти!

Всевышний забрал в последние несколько лет много наших коллег и одновременно наших друзей! Мы уверены, что они встретят там тебя Гурам Автандилович – незабвенные Яков Моисеевич, Владимир Иосифович, Вячеслав Семенович, Исаак Генрихович и многие другие!

Выражаем глубокие соболезнования родным и близким, друзьям и коллегам в связи с кончиной нашего коллеги и друга доктора технических наук, профессора **Гурама Автандиловича Джинчвелашвили!**

Главный редактор журнала
«Геология и геофизика Юга России»,
Директор Геофизического института ВНИИ РАН,
Почетный работник науки и техники РФ,
Заслуженный деятель науки РСО-А,
д. ф. – м. н., профессор



В.Б. Заалишвили

г. Владикавказ
9 декабря 2017 г.

**ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА
ЮГА РОССИИ
(№1. 2018 г.)**

Подписано в печать 21.03.2018 г. Формат 60×84 1/8.

Дата фактического выхода 22.03.2018 г.

Усл. печ. лист 13,9. Гарнитура «Times».

Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 100 экз. Заказ №27.

Свободная цена.

**Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств
массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-63229 от 06 октября 2015 г.**

Издатель:

**Геофизический институт Владикавказского научного
центра Российской академии наук**

Адрес издателя и редакции:

362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а

тел. 8 (8672) 764084; факс 8(8672) 764056

e-mail: southgeo@mail.ru

<http://cgiras.ru/southgeo>

Отпечатано ИП Цопановой А.Ю.

362000, г. Владикавказ, пер. Павловский, 3