КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В. БЕРИНГА
КАФЕДРА ГЕОГРАФИИ, ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ
ИНСТИТУТ ВУЛКАНОЛОГИИ И СЕЙСМОЛОГИИ ДВО РАН

МАТЕРИАЛЫ XIV РЕГИОНАЛЬНОЙ МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

ПРИРОДНАЯ СРЕДА КАМЧАТКИ

14 апреля 2015 г.

Петропавловск-Камчатский, 2015

ISBN 978-5-902424-19-2

Природная среда Камчатки // Материалы XIV Региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». 14 апреля 2015 г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. 2015. 188 с.
В сборнике содержатся материалы, представленные в виде устных докладов на XIV Региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки», проходившей в рамках Недели студенческой науки 14 апреля 2015 г. в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский). В сборник отобраны материалы 16 докладов, представленных на конференции студентами, аспирантами и молодыми учеными.

СОДЕРЖАНИЕ

ПИРИТ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОНГКОР (ИНДОНЕЗИЯ)
Яблокова Д.А., Зобенько О.А., Тинтин Ю.Ю., Рионанда Х.
PYRITE OF THE EPITHERMAL GOLD-SILVER DEPOSITS PONGKOR (INDONESIA)
Yablokova D.A., Zobenko O.A., Tintin Eu.Yu., Rionanda H.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ СПРУТ (СЕВЕРНАЯ КАМЧАТКА)
Руссу К.И., Шишканова К.О., Лобзин Е.И.
NEW DATA ABOUTGOLD-SILVER MINERALIZATION OF SPRUT ORE FIELD (NORTH KAMCHATKA)
Russu K.I., Shishkanova K.O., Lobzin E.I.

ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДОНОСНОГО ЭКСТРУЗИВНОГО КОМПЛЕКСА АСАЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА)
Агаськин Д.Ф., Кудаева Ш.С., Ким А.У., Залевский В.В.
GEOLOGY AND PETROGRAPHIC FEATURES OF ORE-BEARING EXTRUSIVE COMPLEX ASACHINSKOE DEPOSIT (SOUTHERN KAMCHATKA)
Agas'kin D.F., Kudaeva Sh.S., Kim A.U., Zalewski V.V.

ЗОЛОТО СУЛЬФИДНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ АГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КАМЧАТКА)
Кудаева Ш.С., Зобенько О.А., Яблокова Д.А., Ульянов Д.А.
GOLD OF SULFIDE MINERAL ASSEMBLAGES AGINSKOE DEPOSIT (KAMCHATKA)
Kudaeva Sh.S., Zoben'ko O.A., Yablokov D.A., Ulyanov D.A.

ХЛОР И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ В ПРОДУКТАХ ФУМАРОЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВАЧИНСКОГО ВУЛКАНА (2013-14 гг.)
Плутахина Е.Ю., Малик Н.А.
CHLORINE AND ITS COMPOUNDS IN PRODUCTS OF FUMAROLIC ACTIVITY AVACHINSKY VOLCANO (2013-14)
Plutahina E.Yu., Malik N.A.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МИНЕРАЛОГО-ВЕЩЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА ПЕПЛОВ ВУЛКАНОВ ЖУПАНОВСКОГО (КАМЧАТКА) И КОЛИМА (МЕКСИКА)
Тарасов К.В., Назарова М.А.
COMPARISON OF MINERAL AND MATTER COMPOSITION OF ASHES FROM ZHUPANOVSKY VOLCANO (KAMCHATKA, RUSSIA) AND KOLIMA VOLCANO (MEXICO)
Tarasov K.V., Nazarova M.A.

УТОЧНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ НИЖНЕ-КОШЕЛЕВСКОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА) МЕТОДОМ ВЭЗ
Денисов Д.К., Феофилактов С.О., Нуждаев И.А.
SPECIFICATION OF GEOLOGICAL STRUCTURE OF NIZHNEKOSHELEVSKY GEOTHERMAL DEPOSIT (SOUTH KAMCHATKA) BY VES METHOD
Denisov D.K., Feofilaktov S.O., Nuzhdaev I.A.

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ В РАЙОНЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «КАРЫМШИНА» МЕТОДАМИ МАЛОГЛУБИННОЙ ГЕОФИЗИКИ
Рылов Е.С., Кравченко Д.С.
STUDY HYDROGEOLOGICAL FEATURES IN THE GEOPHYSICAL OBSERVATORY "KARYMSHINA" METHOD SHALLOW GEOPHYSICS
Rilov E.S., Kravchenko D.S.

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАГМЕНТА СКЛАДЧАТОГО СЛОЯ НА ЮЖНОМ СКЛОНЕ ВУЛКАНА МОЛОДОЙ ШИВЕЛУЧ
Шевченко А.В.
PHOTOGRAMMETRIC STUDY OF THE FOLDED LAYER FRAGMENT ON THE SOUTHERN SLOPE OF MOLODOY SHIVELUCH VOLCANO
Shevchenko A.V.

ИЗУЧЕНИЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО СКЛОНА АВАЧИНСКОГО ВУЛКАНА МЕТОДОМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
Улыбышев И.С., Логинов В.А.
STUDY OF THE SOUTH-WESTERN SLOPE OF THE VOLCANO AVACHA BY MAGNETOTELLURIC SOUNDING
Ulybyshev I.S., Loginov V.A.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ В РАЙОНЕ ТТИ ИМ. 50-ЛЕТИЯ ИВИС
Логинов В.А., Самойлова О.М., Улыбышев И.С., Авдась А.С.
THE MAGNETOTELLURIC SOUNDING TECHNIQUE AND RESULTS IN THE AREA OF FISSURE TOLBACHIK ERUPTION (FTE) NAMED AFTER 50 YEARS OF IVS
Loginov V.A., Samoylova O.M., Ulybyshev I.S., Avdas A.S.

ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ АНОМАЛИЯ В ВАРИАЦИЯХ ГРАДИЕНТА ПОТЕНЦИАЛА АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ, ВОЗНИКШЕГО ОТ СИЛЬНОГО ЭКСПЛОЗИВНОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ 16 НОЯБРЯ 2014 Г.
Акбашев Р.Р.
POSITIVE ANOMALY IN THE VOLTAGE VARIATION OF THE ATMOSPHERIC ELECTRIC FIELD, WHICH AROSE FROM A STRONG EXPLOSIVE ERUPTION SHEVELUCH NOVEMBER 16, 2014
Akbashev R.R.

ПОДАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ В СКВАЖИНЕ
Полтавцева Е.В.
SUPPRESSION OF A TEMPERATURE COMPONENT IN THE DATA OF THE BOREHOLE WATER SPECIFIC ELECTRICAL CONDUCTION MEASUREMENTS
Poltavtseva E.V.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ КАТАСТРОФЫ. ВЗАИМОСВЯЗЬ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ
Фереферов К.А., Долгая А.А.
GEOLOGICAL AND SOCIAL DISASTERS. INTERRELATION AND REGULARITIES
Fereferov K.A., Dolgaya A.A.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОТАЦИОННЫХ ДВИЖЕНИЙ БЛОКОВОЙ ГЕОСРЕДЫ
Герус А.И.
MATHEMATICAL MODELING OF ROTATIONAL MOTION IN BLOCK GEOMEDIUM
Gerus A.I.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАМЧАТСКОГО КРАЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ИОНОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ТОМОГРАФИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
Полюхова А.Л., Кайсин А.В.
STUDY OF CYCLONE EFFECT IN KAMCHATKA ON ELECTRON DISTRIBUTION IN THE IONOSPHERE BY SATELLITE TOMOGRAPHY
Polykhova A.L., Kaysin A.V.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

стр.

Яблокова Д.А., Зобенько О.А., Тинтин Ю.Ю., Рионанда Х.

ПИРИТ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОНГКОР (ИНДОНЕЗИЯ) ……..……...…....….5

Руссу К.И., Шишканова К.О., Лобзин Е.И.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ СПРУТ (СЕВЕРНАЯ КАМЧАТКА) …….……..……..…17

Агаськин Д.Ф., Кудаева Ш.С., Ким А.У., Залевский В.В.

ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДОНОСНОГО ЭКСТРУЗИВНОГО КОМПЛЕКСА АСАЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА) ……...…….…..…31

Кудаева Ш.С., Зобенько О.А., Яблокова Д.А. , Ульянов Д.А.

ЗОЛОТО СУЛЬФИДНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ АГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КАМЧАТКА) …….……41

Плутахина Е.Ю. , Малик Н.А.

ХЛОР И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ В ПРОДУКТАХ ФУМАРОЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВАЧИНСКОГО ВУЛКАНА (2013-14 гг.) ..…….…….……....51

Тарасов К.В., Назарова М.А.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МИНЕРАЛОГО-ВЕЩЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА ПЕПЛОВ ВУЛКАНОВ ЖУПАНОВСКОГО (КАМЧАТКА) И КОЛИМА (МЕКСИКА) ..……..……61

Денисов Д.К., Феофилактов С.О., Нуждаев И.А.

УТОЧНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ НИЖНЕ-КОШЕЛЕВСКОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА) МЕТОДОМ ВЭЗ ……...……...…....71

Рылов Е.С. , Кравченко Д.С.

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ В РАЙОНЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «КАРЫМШИНА» МЕТОДАМИ МАЛОГЛУБИННОЙ ГЕОФИЗИКИ ……...……83

стр.

Шевченко А.В.

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАГМЕНТА СКЛАДЧАТОГО СЛОЯ НА ЮЖНОМ СКЛОНЕ ВУЛКАНА МОЛОДОЙ ШИВЕЛУЧ ……..……...…....95

Улыбышев И.С., Логинов В.А.

ИЗУЧЕНИЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО СКЛОНА АВАЧИНСКОГО ВУЛКАНА МЕТОДОМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ……...…...105

Логинов В.А., Самойлова О.М., Улыбышев И.С., Авдась А.С.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ В РАЙОНЕ ТТИ ИМ. 50-ЛЕТИЯ ИВИС ..……...……119

Акбашев Р.Р.

ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ АНОМАЛИЯ В ВАРИАЦИЯХ ГРАДИЕНТА ПОТЕНЦИАЛА АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ, ВОЗНИКШЕГО ОТ СИЛЬНОГО ЭКСПЛОЗИВНОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ 16 НОЯБРЯ 2014 Г.……..…131

Полтавцева Е.В.

ПОДАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ В СКВАЖИНЕ ……143

Фереферов К.А., Долгая А.А.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ КАТАСТРОФЫ. ВЗАИМОСВЯЗЬ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ……...157

Герус А.И.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОТАЦИОННЫХ ДВИЖЕНИЙ БЛОКОВОЙ ГЕОСРЕДЫ ……169

Полюхова А.Л., Кайсин А.В.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАМЧАТСКОГО КРАЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ИОНОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ТОМОГРАФИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ …….181

УДК 553.661.2

ПИРИТ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОНГКОР (ИНДОНЕЗИЯ)

[1,2]Яблокова Д.А., [1,2]Зобенько О.А., [3]Тинтин Ю.Ю., [4]Рионанда Х.

[1]Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга
[2]Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
г. Петропавловск-Камчатский
[3] Университет Паджаджаран
[3] Горнодобывающая компания "Антам"
Индонезия

Научный руководитель к.г.-м.н. Округин В.М.

Золото-серебряное месторождение Понгкор находится в провинции Западная Ява (100 км южнее от столицы – Джакарты). Месторождение типа low-sulfidation представлено четырьмя субпараллльными кварц-адуляр-кальцитовыми жильными зонами с низкими содержаниями сульфидов. Основная масса золота связана с сульфидными минеральными ассоциациями. Авторами во время полевых работ отобраны образцы руд, обогащенные сульфидами. В работе приводятся результаты изучения типоморфных особенностей пирита по оригинальной методике, разработанной в лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН. Получены новые данные о его размерах, оптических свойствах, морфологии, микроструктуре, микровключениях, химическом составе и химической неоднородности, обусловленной локальным обогащением отдельных зон мышьяком (до 5.33 %). Среди микровключений в пирите впервые диагностированы Ag-сульфосоли, содержащие германий и олово (аргиродит и канфильдит ?).

Ключевые слова: пирит, эпитермальное месторождение Понгкор, Индонезия, мышьяк, сульфосоли золота и серебра

ВВЕДЕНИЕ

28 октября 2014 года в г. Бандунг (Индонезия) прошла первая международная конференция «Геонауки в энергетике, минеральных ресурсах и окружающей среде». В ней приняла участие делегация студентов и научных сотрудников КамГУ им Витуса Беринга, ИВиС ДВО РАН составе Зобенько О.А., Кудаева Ш.С., Яблокова Д.А. (рис. 1). Они выступили с докладами на секции "Минеральные ресурсы", которые встречены с большим интересом и отмечены дипломами.

Рис. 1. Участники первой международной конференции. Слева направо: студенты III курса КамГУ - Зобенько О.А., Кудаева Ш.С., председатель секции "Минеральные ресурсы" - проф. Фатима М.Р., н.с. ИВиС ДВО РАН. - Яблокова Д.А.

Рис. 2. Полевые работы на месторождении Понгкор (октябрь 2014 г.): а - устье штольни; б - отбор каменного материала в штольне; в - коренной выход жилы Цимахпар.

По окончанию конференции были проведены полевые работы на одном из крупнейших эпитермальных золото-серебряных месторождений Индонезии - Понгкор и действующем вулкане Тангкубан Параху (рис. 2 а).

Авторы статьи смогли ознакомиться с геологическим строением месторождения, посетить карьер, подземные горные выработки и отобрать представительный каменный материал для исследований (рис. 2 б, в).

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИИ ПОНГКОР

Золото-серебряное месторождение Понгкор - самое крупное эпитермальное месторождение острова Явы располагается в 100 км южнее столицы Джакарты (рис. 3). Запасы месторождения: золото - 98 т, серебро 1026 т [2].

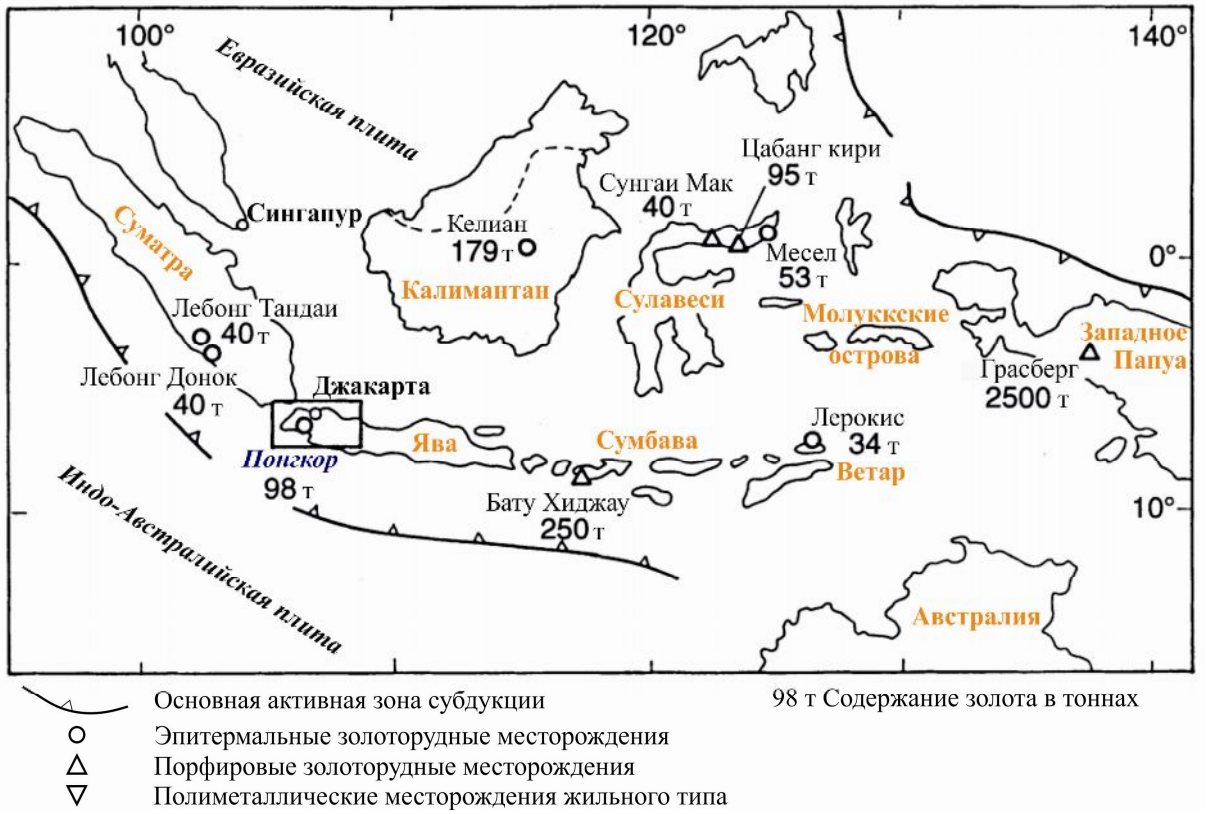


Рис. 3. Карта расположения золоторудных месторождений Индонезии [2].

Открытие месторождения Понгкор, как и других крупных золото-серебряных месторождений Индонезии таких как Грасберг (Западное Папуа), Келиан (Калимантан), Лерокис (о. Ветар) связано с золотой лихорадкой второй половины XX века (рис. 3). Месторождение Понгкор было обнаружено в 1988 г. государственной горнорудной компанией в результате проведения геохимического анализа донных отложений (которые выявили аномальные концентрации Au - 0.1-0.2 г/т при максимальных 0.9 г/т), гео-

физической съемки, проходки траншей и бурения скважин [1]. В апреле 1992 г. горнодобывающая компания PT Aneka Tambang (Antam) получила разрешение на проведение горных работ и уже в августе того же года начала добычу. За период более 20 лет на месторождении было произведено около 50 тонн золота. Добыча ведется как подземным, так и открытым способами.

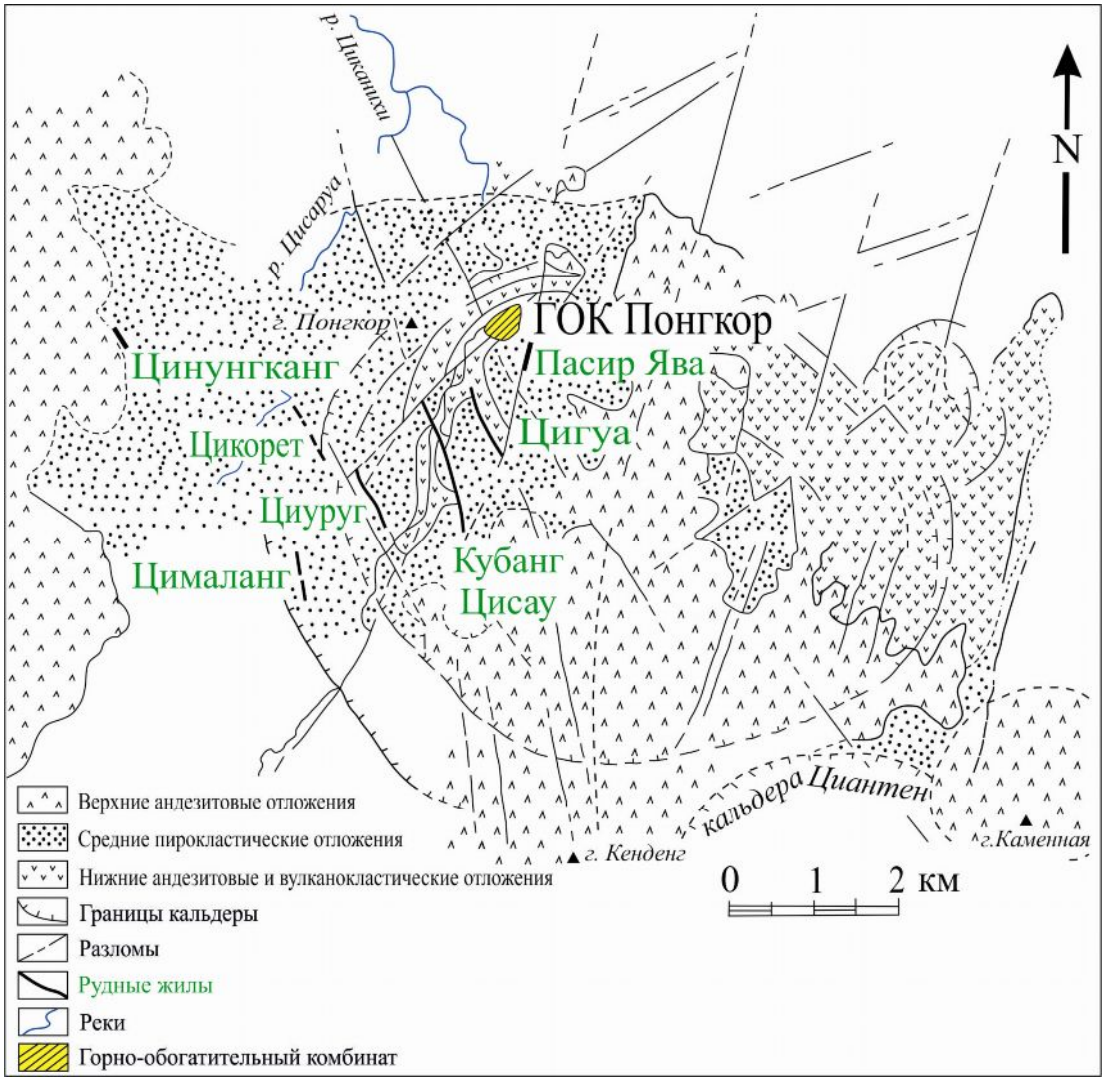


Рис. 4. Схематическая карта кальдеры Понгкор [2].

В структурном плане месторождение Понгкор представляет собой палеокальдеру диаметром 8x6 км [5]. Это месторождение типа low-sulfidation состоит из четырех субпараллельных кварц-адуляр-кальцитовых жильных зон, обогащенных в зонах окисления многочисленными оксидами марганца и железа (лимонит). При этом они обеднены сульфидами

(MeS_2 до 0.5%). Жилы средней мощностью 2 м с размерами по простиранию до 2 700 м локализованы в вулканогенно-осадочных отложениях миоцен-плиоценового возраста (рис. 4). Возраст оруденения по данным аргон-аргонового метода равен 2.05 - 2.7 млн. лет [2,3,4].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнялись в лаборатории вулканогенного рудообразования Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ЛВР ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский), в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН, г. Черноголовка).

Изучение типоморфных особенностей пирита месторождения Понгкор осуществлялось по оригинальной методике, разработанной в лаборатории вулканогенного рудообразования. Суть ее заключается в сочетании широко известных методов классической минералогии и минераграфии с новейшими уникальными возможностями локального физико-химического анализа. При этом особое внимание уделяется специализированной пробоподготовке образцов для комплексных минералого-геохимических исследований. В первую очередь, необходимо изготовление безрельефных аншлифов на основе эпоксидного компаунда. Такие аншлифы должны отличаться максимальной степенью информативности и высоким качеством полировки. Для этого из первичного каменного материала изготавливаются полированные штуфы (пришлифовки). Они позволяют охарактеризовать текстурно-структурные особенности и выбирать объекты (отдельные зерна, срастания, микролинзы и т.д.), необходимые для дальнейших исследований. Эти участки "выбуриваются" с помощью алмазных микрокоронок, монтируются в пластиковые формы (шашки) с помощью эпоксидных смол и на алмазных пастах "доводятся" до необходимых кондиций. Изучение первичного каменного материала, текстурно-

структурных особенностей (полированные штуфы), микроморфологии, отбор монофракций и контроль за их качеством проводится с помощью стереомикроскопов Stemi 2000 C 2, Discovery.V12 (Carl Zeiss). Минераграфическое описание и фотодокументация выполнены на универсальных прецизионных микроскопах Axioskop 40, Axioplan 2 imaging, Nikon eclipse LV 100 pol. Микроморфология, химический состав изучались методами локального физико-химического анализа, а именно электронно-зондовые - аналитическая сканирующая электронная микроскопия (Vega 3 Tescan с энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-max 50) микроанализ (Camebax). Микрокомпонентный состав монофракций пирита определен масс-спектрометрией с индукционно связанной плазмой (ICP) в АСИЦ ИПТМ РАН (г. Черноголовка).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Пирит месторождения Понгкор представляет собой как единичные кристаллы, так и многочисленные срастания агрегатов кубической, пентагондодекаэдрической форм, размеры которых достигают 1-2 мм (рис. 5).

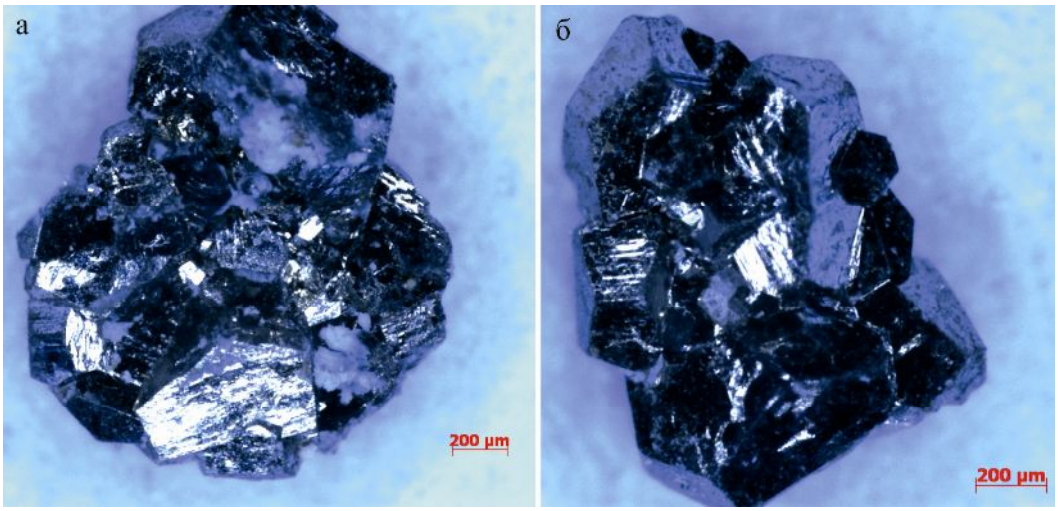


Рис. 5. Микроморфология пирита - срастание кубических и пентагондодекаэдрических кристаллов с взаимно ориентированной штриховкой под 90^0 на смежных гранях. Фото Stereo Discovery.V12 (Carl Zeiss).

Методом индукционно связанной плазмы (ICP) была исследована "монофракция" пирита. Масс-спектрометрический анализ с индукционно связанной плазмой производился на 65 химических элементов (от Na до

Y). В таблице 1 представлены химические элементы, концентрации которых выше предела обнаружения. Высокие концентрации цинка и свинца находят свое отражение в таких минералах как сфалерит и галенит, серебро, селен, олово, медь, золото, мышьяк - сульфиды и сульфосоли серебра, сульфиды золота и серебра (табл. 1). Все вышеназванные минералы были диагностированы в пирите с помощью аналитической сканирующей электронной микроскопии.

Таблица 1. Химический состав монофракции пирита по данным масс-спектрометрия с индукционно связанной плазмой

Элемент	ПО, мкг/г	**PG301410**	Элемент	ПО, мкг/г	**PG301410**
Na	39	217	Cd	0,1	1,5
Al	26	299	**Sn**	**0,4**	**1,9**
S	189	***670223***	Sb	0,1	5,9
K	46	260	Te	0,3	1,1
Ca	43	789	Cs	0,02	0,33
Ti	5	109	Ba	0,4	0,64
Mn	1	55,0	La	0,1	1,3
Fe	31	***605756***	Ce	0,1	3,3
Co	1	101	Pr	0,02	0,45
Ni	3	25,2	Sm	0,02	0,49
Cu	***2***	***89,9***	Eu	0,02	0,070
Zn	***3***	***305***	Gd	0,03	0,21
Ga	0,3	< 0.5	Tb	0,03	0,068
As	**0,4**	**1560**	**Au**	**0,1**	**< 0.2**
Se	**2**	**63,6**	**Tl**	**0,02**	**0,53**
Y	0,2	3,4	**Pb**	**0,2**	**108**
Zr	0,4	3,9	Bi	0,1	1,5
Mo	0,1	2,4	**Th**	**0,2**	**0,41**
Ag	**0,08**	**24,0**			

Примечание: ПО - предел обнаружения

Благодаря сочетанию методов классической минералогии, минерографии и физико-химического анализа было выделено четыре разновидности:

- пирит I разновидности представлен в виде идиоморфных изометричных кристаллов размером от 40 до 150 микрон, представлен как единичными кристаллами, так и их срастаниями. По химическому составу пирит I гене-

рации близок к стехиометричному, то есть не имеет каких либо элементов-примесей на уровне чувствительности микрозондового анализа (10^{-3} %).

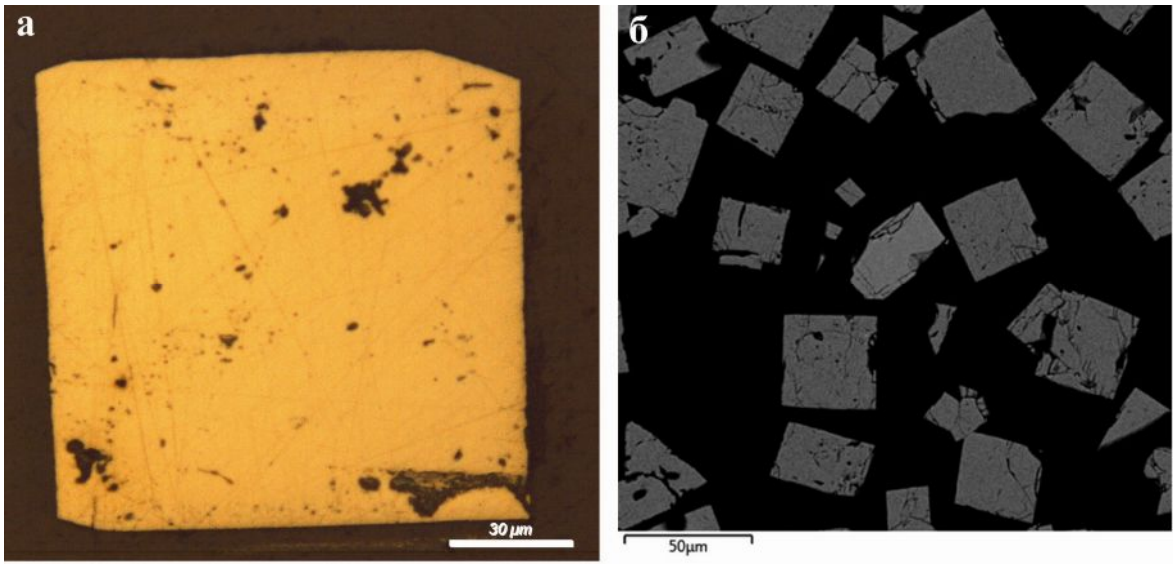


Рис. 6. Идиоморфные кристаллы пирита I разновидности. Фото а - отраженный свет, б - обратно рассеянные электроны (Vega 3 Tescan).

- пирит II разновидности характеризуется неоднородным химическим строением за счет концентрирования в отдельных зонах мышьяка, содержания которого по данным аналитической сканирующей электронной микроскопии достигают - 5.33 %, что нашло свое выражение в данных ICP, где As = 1560 мкг/г (рис. 7, табл. 1).

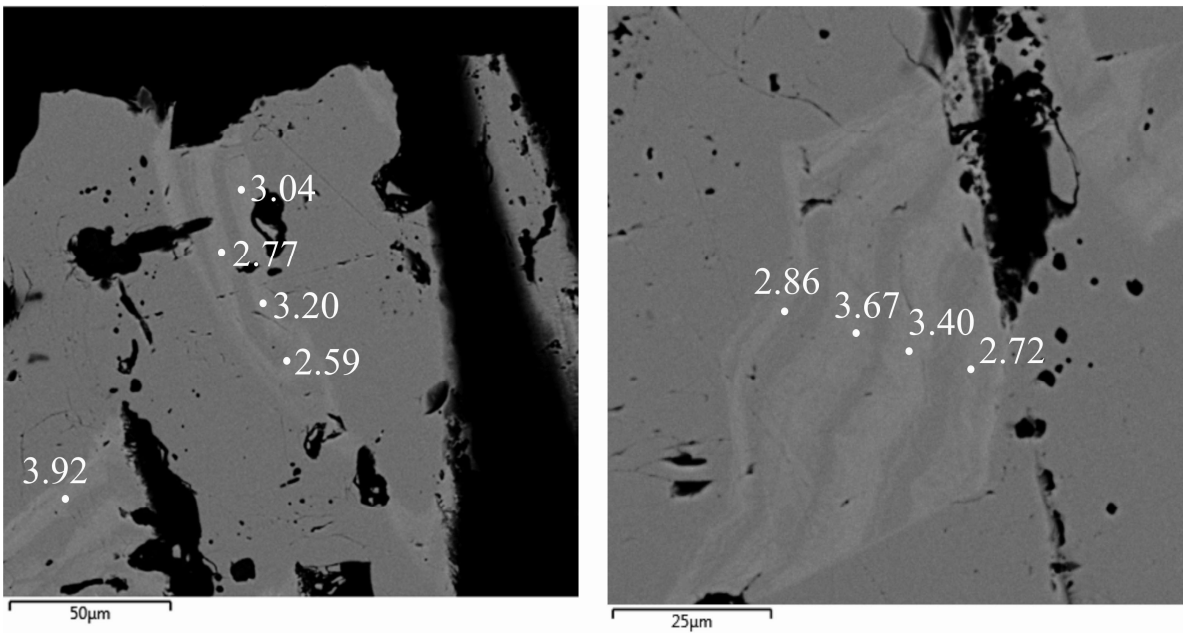


Рис. 7. Неоднородное строение агрегатов пирита II разновидности, выраженное локальным обогащением отдельных микроучастков мышьяком (белое). Цифрами показаны концентрации As в вес. %. Фото в обратно рассеянных электронах (Vega 3 Tescan).

- пирит III разновидности отличается многочисленными микровключениями сульфидов (Se-содержащий галенит (до 1%), сфалерит (Fe до 3,11%, Cu до 1,5%)), сульфидов и сульфосолей серебра, сульфидов золота и серебра. Авторами были диагностированы в пирите такие минералы как Ag_4SeS - агвиларит, Ag_3AuS_2 - ютенбогардтит, Ag_8SnS_6 - канфильдит, Ag_8GeS_6 - аргиродит (рис. 8, табл. 1). Два последних минерала - первые находки

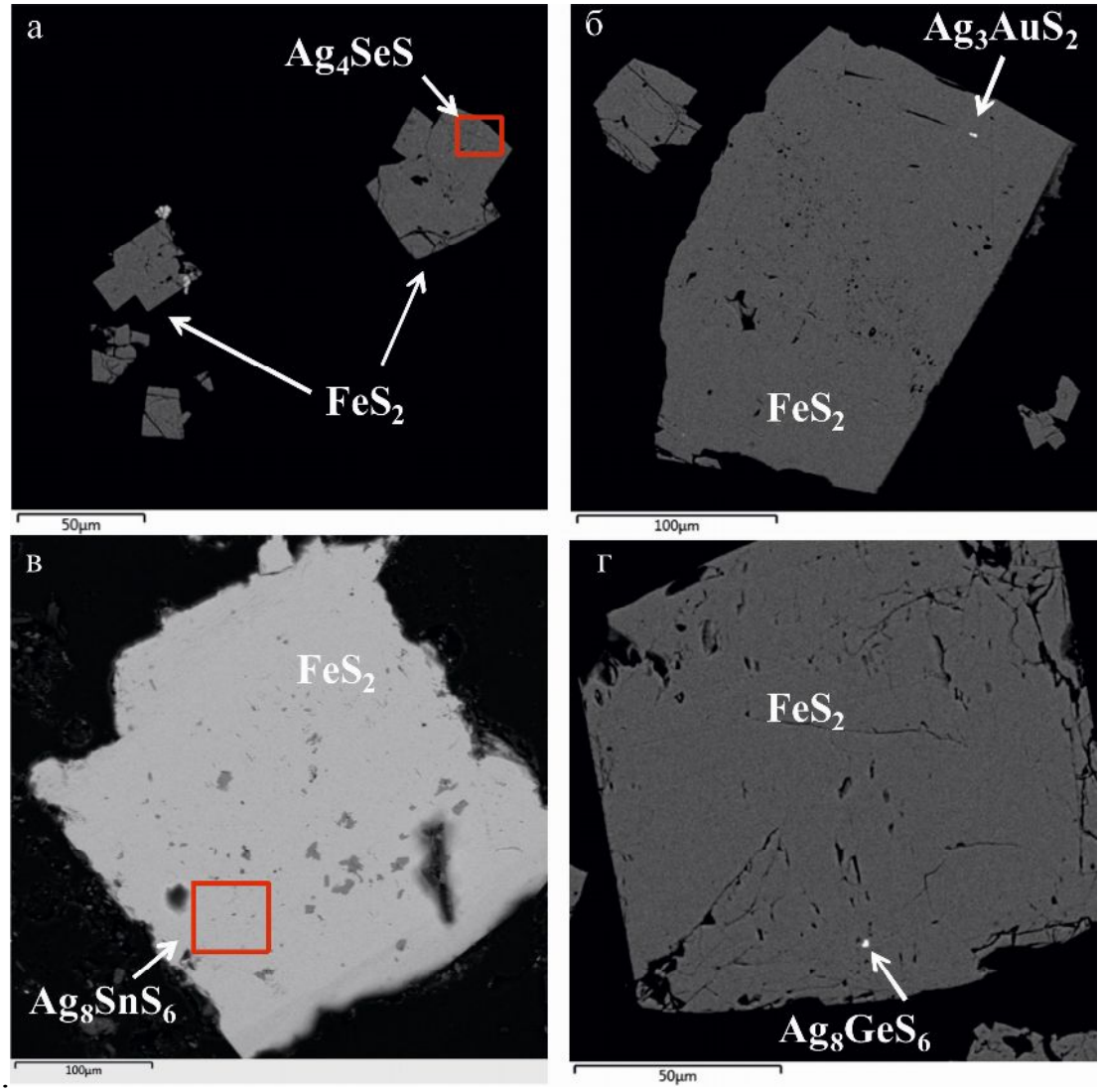


Рис. 8. Формы выделения пирита (FeS_2) с микровключениями: а - агвиларита (Ag_4SeS), б - ютенбогардтита (Ag_3AuS_2), в - канфильдита (Ag_8SnS_6), г - аргиродита (Ag_8GeS_6). Фото в обратно рассеянных электронах (Vega 3 Tescan).

- IV разновидность пирита представляет собою, так называемые сферолоиды. Это срастания кубических кристаллов пирита, образующих агрегаты, имеющие изометричную близкую к овальной и сферической формам

(рис. 9). Их размеры не превышают 200 микрон. Химический состав сферолоидов близок к стехиометрическому.

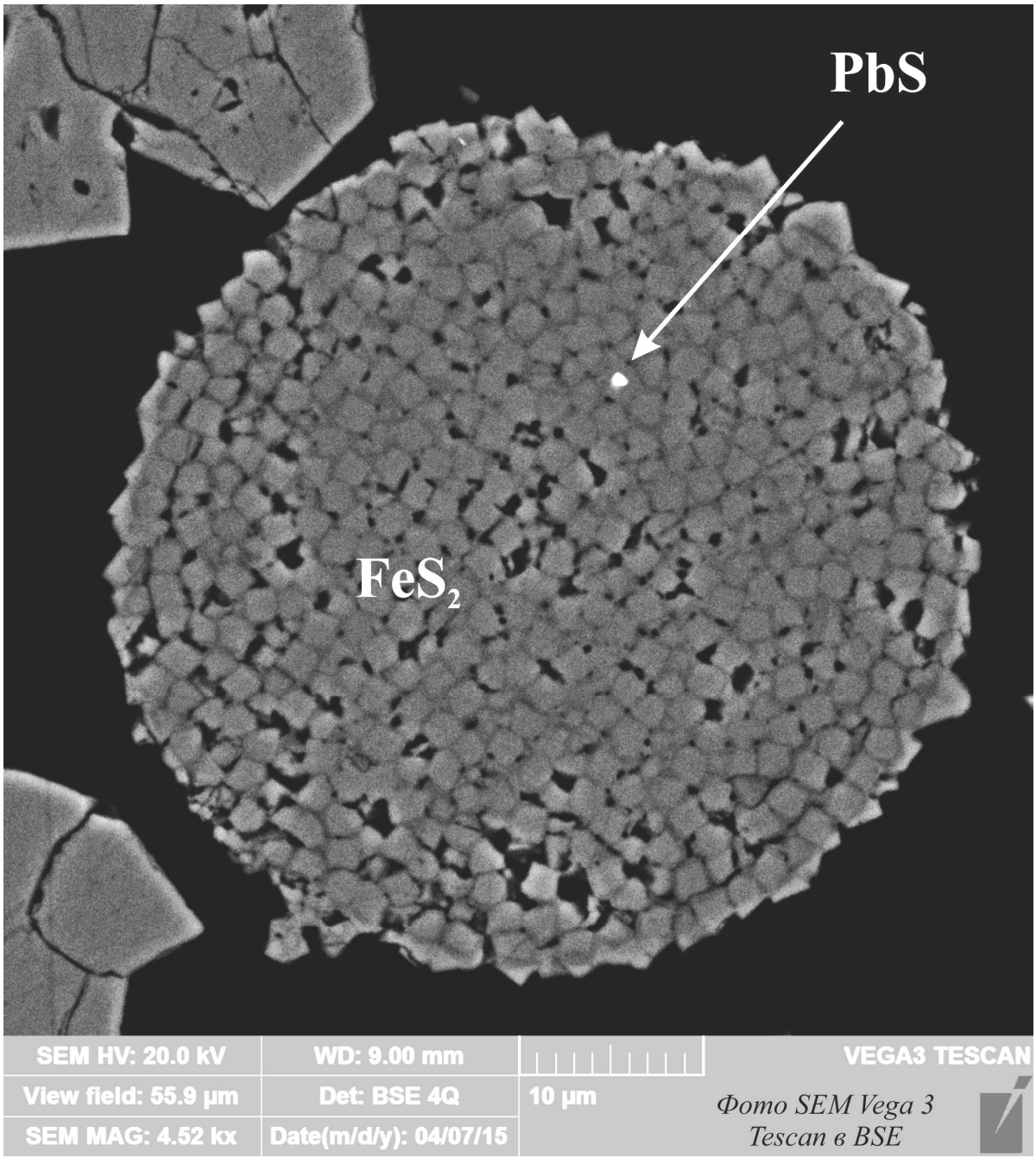


Рис. 9. Микростроение сферолоида пирита (FeS_2) с включением галенита (PbS). Фото в обратно рассеянных электронах (Vega 3 Tescan).

Следует отметить, что месторождение Понгкор имеет определенные сходства с такими месторождениями Южной Камчатки как Родниковое, Мутновское, Асачинское, а именно: - возраст оруденения; - минеральный состав руд (типоморфные минералы - агвиларит, ютенбогардтит, канфильдит, аргиродит), и, что особенно интересно - As-содержащий пирит. Все

это позволяет высказать предположение, что запасы отдельных месторождений Южной Камчатки (золото - не более 20 тонн) в значительной мере недооцененны. Они, подобно запасам эпитермального месторождения Понгкор (98 тонн) могут достигать 100 и более тонн. При этом некоторые из них могут рассматриваться как значительный источник попутного серебра (резервы серебра в Понгкоре - 1026 тонн). Такими перспективными объектами могут стать Мутновское золото-серебро-полиметаллическое, Асачинское золото-серебряное месторождения.

ВЫВОДЫ

1. Выделено 4 разновидности пирита:

I – стехиометричный;

II – As-содержащий (первая находка);

III – с микровключениями сульфидов серебра, сульфосолей;

IV – сферолоиды.

2. Впервые диагностированы:

- As-содержащий пирит (до 5,33 %);

- среди микровключений Ag-сульфосоли, содержащие германий и олово (аргиродит и канфильдит).

3. Типоморфные особенности пирита могут использоваться в качестве поискового признака и прогнозного критерия для уточнения перспектив золото-серебряной минерализации Южно-Камчатского горно-рудного района

Авторы выражают благодарность Чубарову М.В. и Карандашеву В.К. за возможность проведения аналитических работ и своевременное выполнение анализов; В.Ф. Лунькову, В.В. Куликову, А.А. Платонову за обработку каменного материала; ректору КамГУ им. В.Беринга Ильинской Н.Г., руководству горнодобывающей компании Антам и университету Паджаджаран (Индонезия) за всестороннюю помощь в организации полевых работ на месторождении Понгкор. И лично профессору Фатима Мега

Розана (ун-т Паджаджаран, Индонезия) за приглашение для участия в конференции и полевых работах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, в рамках программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга» на 2012-2016 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Basuki, A., Suparka, E., Sunarya, Ya. Gold deposit in the Cikidang area, West Java, Indonesia // CEOSEA '98 Proceedings, CeoL. Soc. Malasia, bull. 45, December 1999, pp. 251-259
2. Milesi, J.P., Marcoux, E., Sitorus, T., Simand- juntak, M., Leroy, J., and Baily, L. Pongkor (West Java, Indonesia): A Pliocene supergene-enriched epithermal Au-Ag- (Mn) deposit // Mineralium Deposita, Vol. 34, 1999, pp. 131-149
3. Tintin, E.Yu., Matsueda, H., Fatimah, M.R. Epithermal Gold-Silver Deposits in Western Java, Indonesia: Gold-Silver Selenide-Telluride Mineralization // Indonesian Journal on Geoscience, Vol. 1 No. 2 August 2014, pp. 71-81
4. Warmada, I.W., Lehmann, B. Polymetallic sulfides and sulfosalts of the Pongkor epithermal gold–silver deposit, West Java, Indonesia // The Canadian Mineralogist Vol. 41, 2003, pp. 185-200
5. Warmada, I.W., Lehmann, B., Simandjuntak, M., and Hemes, H.S. Fluid inclusion, REE and stable isotope study of carbonate miner- als from the Pongkor epithermal gold-silver deposit, West Java, Indonesia // Resource Geology, Vol. 57, 2007, pp. 124-135

PYRITE OF THE EPITHERMAL GOLD-SILVER DEPOSITS PONGKOR (INDONESIA)

Yablokova D.A., Zobenko O.A., Tintin Eu.Yu., Rionanda H.

Pongkor gold – silver deposit is located at West Java (100 km south of the capital - Jakarta). The Deposit is low-sulfidation type and consists of 9 sub-parallel quartz-adularia-calcite veins with low content of sulfides. The association of sulfides is the main gold carrier (Warmada et al., 2003). Therefore, mineralogical, chemical and physico-chemical methods were used to study the topography of pyrite (size, color, morphology, microstructure, chemical composition, chemical heterogeneity, micro inclusions) ores and host роскс by the authors

Keywords: Pyrite, epithermal deposits Pongkor, Indonesia, arsenic, Ag-Au sulfosalts, Indonesia.

УДК 549.65.651.11

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ СПРУТ (СЕВЕРНАЯ КАМЧАТКА)

Руссу К.И.[1], Шишканова К.О.[2], Лобзин Е.И.[3]

[1] Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга
[2] Институт вулканологии и сесмологии ДВО РАН
[2] ОАО «Камчатгеология»

Научный руководитель: к.г.-м.н. Округин В.М.

В 2015 году предприятием ОАО «Камчатгеология» проводились поисковые и оценочные работы на рудное золото и серебро в пределах рудопроявления Спрут, приуроченного к Ичигин-Уннейваямскому серебряно-золото-оловорудно-россыпному району. В настоящей работе приведены новые данные о золото-серебряной минерализации, петрографической характеристике вмещающих горных пород рудопроявления. Основные методы исследований: минералого-петрографический, минераграфический, рентгенофлуоресцентный анализ, аналитическая сканирующая электронная микроскопия.

Ключевые слова: Спрут, Камчатка, золото, серебро, эпитермальные месторождения.

ВВЕДЕНИЕ

Запасы недр Камчатки позволяют выделить горнорудную отрасль как одно из наиболее перспективных стратегических направлений в развитии экономики нашего региона. На полуострове разведан широкий спектр полезных ископаемых. В 2013-2014 гг. предприятием ОАО «Камчатгеология» проводились поисковые и оценочные работы на рудное золото и серебро в пределах рудопроявления Спрут, приуроченного к Ичигин-Уннейваямскому серебряно-золото-оловорудно-россыпному району (рис.1).

Ичигин-Уннейваямский серебряно-золото-оловорудно-россыпной район расположен на площади листов P-58-XXII; XXVII; XXVIII. Он объединяет проявления и пункты минерализации золота, серебра, свинца, меди серебряно-золотой адуляр-кварцевой и проявления олова оловорудной силикатно-сульфидной рудных формаций [5].

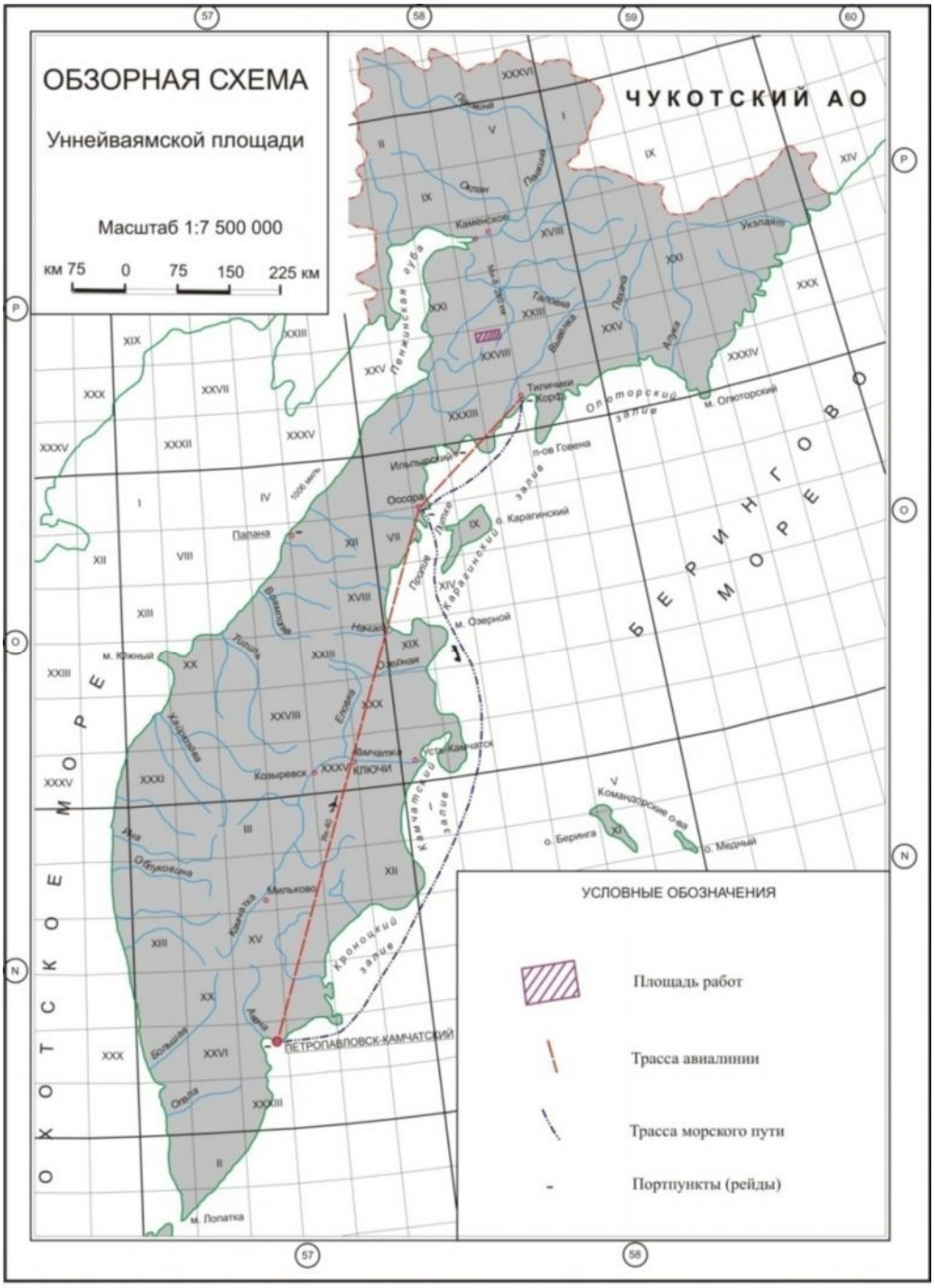


Рис. 1. Обзорная схема Унневаямской площади
(по данным ОАО "Камчатгеология").

Формирование серебряно-золотого оруденения связано с этапами проявления вулканизма продуктивной андезит-дацит-риолитовой формации (эоцен-олигоцен). Оловянное тесно ассоциирует по площади с интрузивными образованиями диорит-гранодиорит-гранитового комплекса (олигоцен). В пределах района выделены Тклаваямский серебряно-золоторудно-россыпной узел, Уннейваямский прогнозируемый золото-

серебрянорудный узел, Резниковское прогнозируемое и Айнаветкинское серебряно-оловорудные поля вне рудных узлов (согласно последнему изданию листа P-58-XXVIII) [5].

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РУДОПРОЯВЛЕНИИ

Рудопроявление Спрут расположено на востоке Тклаваямского (Ичигинского) серебряно-золоторудно-россыпного узла. Оно приурочено к одноименной вулкано-тектонической структуре (ВТС). В геологическом строении ВТС принимают участие магматические образования ичигинского комплекса, представленные покровной, субвулканической и пирокластической фациями, а также экструзивные породы Уннейского вулканического комплекса (рис. 2) [3-5].

Покровная фация образована мощной (170-180 м) толщей потоков андезитового, дациандезитового состава. Дациандезиты имеют палеотипный облик, легко разрушаются, часто хлоритизированы, ожелезнены. Андезиты свежие, плотные, массивные. Большая часть структуры перекрыта чехлом рыхлых четвертичных отложений долины р. Тклаваям.

Магматические образования уннейского комплекса представлены значительными по своим размерам экструзивными телами, занимающими заметную площадь в южной части рудопроявления. Они приурочены к водораздельным пространствам, слагая все господствующие высоты. Форма тел - неправильная, контакты извилистые, часто заливообразные. Экструзивные тела сложены игнимбритами риолитового состава. Для всех экструзивов характерно зональное строение [4].

Рудоносные структуры приурочены к довольно крупному субвулканическому телу дацитов ичигинского комплекса.

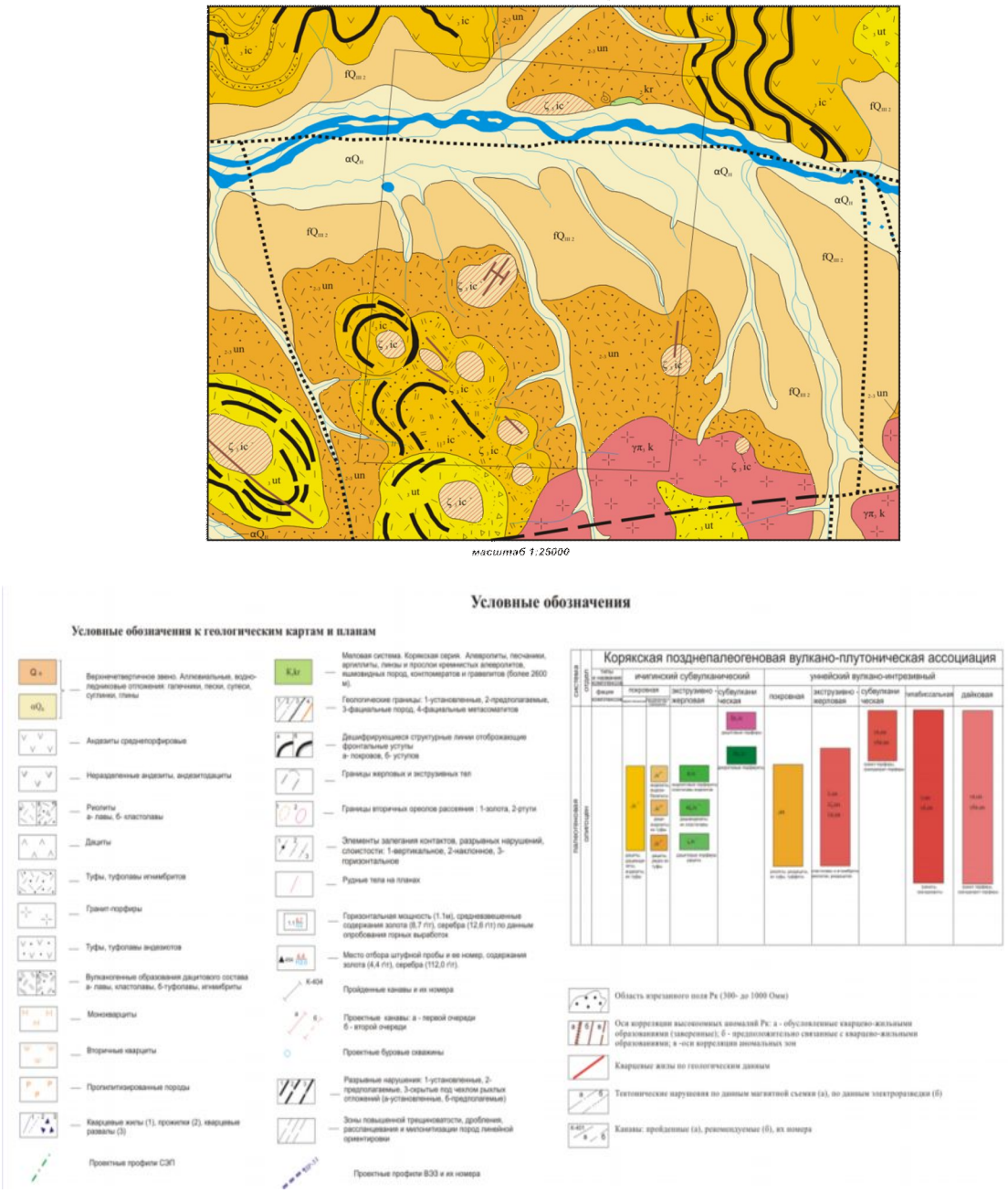


Рис. 2. Схематическая геологическая карта рудопроявления Спрут масштаба 1 : 25 000 (составлена по данным ОАО "Камчатгеология", 2014 г.).

Непосредственно рудопроявление занимает территорию имеющую в плане овальную форму с длинной осью северо-восточного простирания при видимых размерах 0.6х0.6 км и представляет собой небольшую сглаженную возвышенность среди заболоченной пологонаклонной тундры (рис. 3) [3].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Авторами был использован комплекс методов, разработанный в лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН и который входят: - минералого-петрографические, химико-аналитические исследования, а именно: классические методы минералогии, минераграфии и петрографии с использованием прецизионных микроскопов Axioskope 40, Carl Zeiss; Eclipse LV100 pol, Nikon; - аналитическая сканирующая электронная микроскопия (SEM Vega 3 Tescan); - рентгенофлуоресцентный анализ (RFA) для изучения поведения петрогенных оксидов, химических элементов группы железа, бария, стронция и других.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Породы субвулканической фации представлены собой светло-серыми порфировыми дацит-порфирами (рис. 4). Во вкрапленниках - плагиоклаз, кварц, редко - роговая обманка, биотит. Размеры фенокристаллов плагиоклаза меняются от 1-2 мм (субфенокристаллы) до 4-6 мм, а вкрапленников кварца - от 1-2 до 3-4 мм.

Рис. 3. Панорама Северного фланга рудопроявления Спрут.

Субфенокристаллы - роговая обманка и биотит таблитчатой формы, размеры по длинной оси до 1.5-2.0 мм. Общее количество вкрапленников от 30 до 40 % (высокая степень кристалличности свидетельствует о затвердевании пород на субвулканическом уровне). Отличительной особенностью пород этой фациальной разновидности служит постоянное присутствие кристаллов кварца, которые отличаются в большинстве случаев ксеноморфной остроугольной формой. Они образуют вкрапленники, субфенокристаллы, насыщенные включениями затвердевших магматических расплавов (стекловатые включения) и вторичными газово-жидкими включениями (флюидными). Вкрапленники несут признаки перекристаллизации, обусловленной образованием более позднего, собственно, гидротермального кварца. Они образуют часто гломеропорфировые срастания, как между собой, так и с фенокристаллами плагиоклаза. В основной микролитовой массе встречены отдельные зерна хлорапатита и рутила.

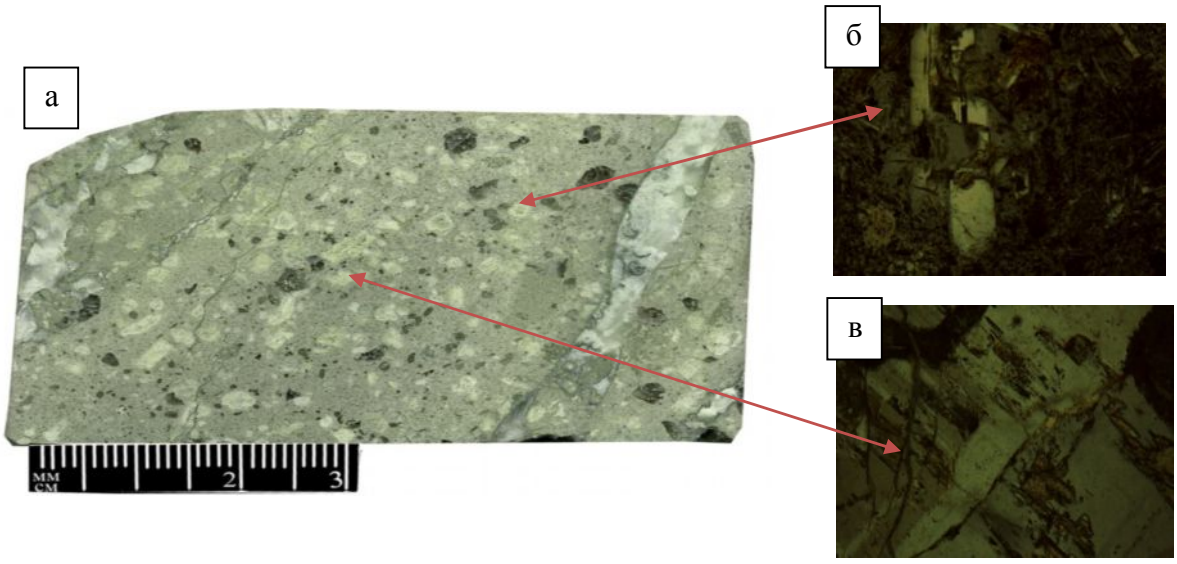


Рис. 4. а - дацит-порфир, обр. № СП 1408/53 м. Полированный штуф; б, в - гломеропорфировые сростки плагиоклаза. Николи X. Шлиф № SP-143.

К породам пирокластической фации относятся разнообразные по размеру и составу обломков туфы, как правило, смешанные или кислого состава (рис. 5). Преимущественным развитием пользуются литокристаллокластические туфы с размерностью обломков от 1-2 до 3-5 мм (мелко- и среднеобломочные разности). Обломки сложены зернами, в основном, плагиоклаза, кварца, в единичных случаях - роговой обманки и биотита (?).

Литокласты - обломки пород среднего и кислого состава (от фельзитов до дацит-порфиров) с размерами от 1-2 до 15-20 и более мм. В отдельных случаях обнаружены обломки кислых пород с размерами более 40 мм.

Химический состав дацит-порфира (образец SP-143): SiO_2 - 62,8%, TiO_2 - 0,692%, Al_2O_3 - 15,6%, Fe_2O_3 – 3,11%, FeO – 1,97%, MnO – 0,084%, CaO – 3,6%, MgO – 3,0%, Na_2O – 2,89%, K_2O – 1,88%, P_2O_5 – 0,097%.

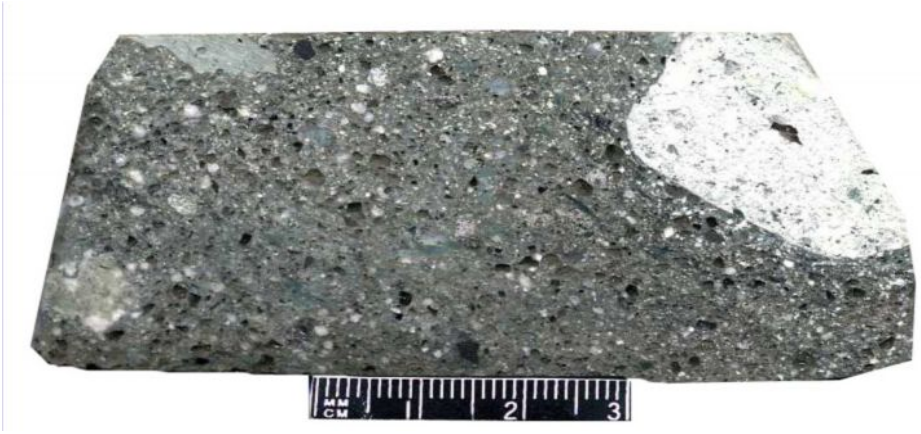


Рис. 5. Литокристаллокластический туф, обр. № СП1407-4. Полированный штуф.

В отдельных разностях туфов наблюдаются признаки слоистости. Она обусловлена грубой сортировкой обломков различной размерности и морфологии. Встречены туфы, в которых количество обломков превышает 50 и более процентов.

Все разновидности туфов изменены в различной степени вторичными гидротермальными процессами с образованием ассоциаций глинистых минералов (хлорита, смектита, гидрослюды).

Рудопроявление Спрут характеризуются многообразием текстур руд: от сравнительно простых прожилковых, прожилково-полосчатых, полосчатых, колломорфно-полосчатых, крустификационно-полосчатых, метаколлоидных до кокардовых и фестончатых. В подавляющем большинстве случаев это комбинированные текстуры, обусловленные присутствием брекчиевых и брекчиевидных. Такие текстуры - типичные для близповерхностных эпитермальных жильных золото-серебряных (Low-sulfidation) месторождений. Они свидетельствуют о том, что рудообразование происхо-

дило на небольших глубинах, из истинных и коллоидных растворов путем жильного выполнения и метасоматического замещения.

Сложность и многоактность процесса рудоотложения приводит к разнообразным взаимоотношениям рудных агрегатов между собой, что хорошо видно в данном примере (рис. 6). Здесь отмечается сочетание трех основных и самых распространенных для объекта исследований текстур - колломорфно-полосчатой, крустификационной и брекчиевидной. Колломорфно-полосчатую текстуру образуют перемежающиеся слои молочно-белого, серого и бежевого цветов, мощность которых колеблется в пределах 0.5-7.0 мм.

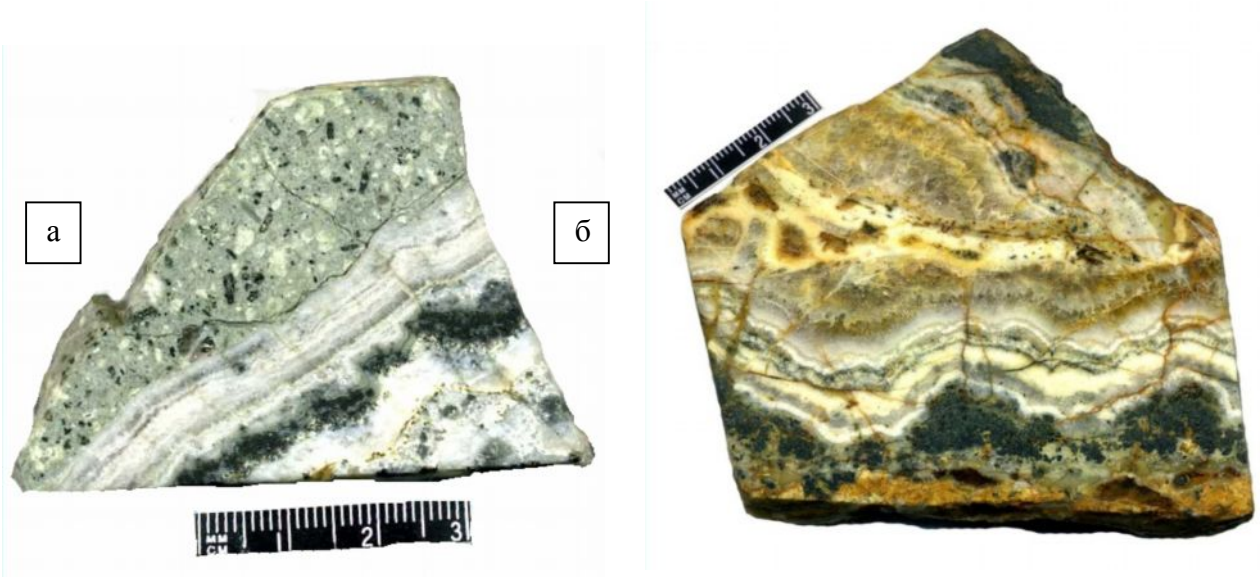


Рис. 6. Комбинированные колломорфно-полосчатые с элементами крустификационных и брекчиевидных текстуры: а - обр. № 1410-2; б - СП К 403, канава 403. Полированные штуфы.

Такая текстура указывает на ритмическое осаждение минеральных соединений. Преимущественно слои сложены различными генерациями кварца. Брекчиевидная текстура представлена небольшим количеством обломков, размером от 2 до 7 мм, более ранних модификаций кварца, которые зачастую сцементированы молочно-белым.

Структуры руд, как правило, мелкозернистые, кристаллически-зональные, коррозионно-метасоматические, колломорфные.

Минеральный состав руд очень богат и разнообразен. Исследования показали, что объект отличается большим разнообразием форм нахождения сурьмы, ртути, теллура, а также селена и германия.

Анализируя рудные минералы, к главным можно отнести акантит(Ag_2S), пираргирит (Ag_3SbS_3); к второстепенным и редким - халькопирит, галенит, сфалерит, пирит, агвиларит (Ag_4SeS), прустит (Ag_3AsS_3), самородное золото, электрум, кюстелит, киноварь, различные теллуриды, селениды и другие.

Несмотря на принадлежность к золото-серебряной формации, рудопроявление Спрут можно назвать преимущественно сереброносным объектом. Серебро установлено во всех образцах руд. Оно присутствует в двух формах: собственные минералы (рис. 7, 8) и в качестве элемента-примеси (в блеклых рудах – до 4.5%; халькопирите – до 0.7%).

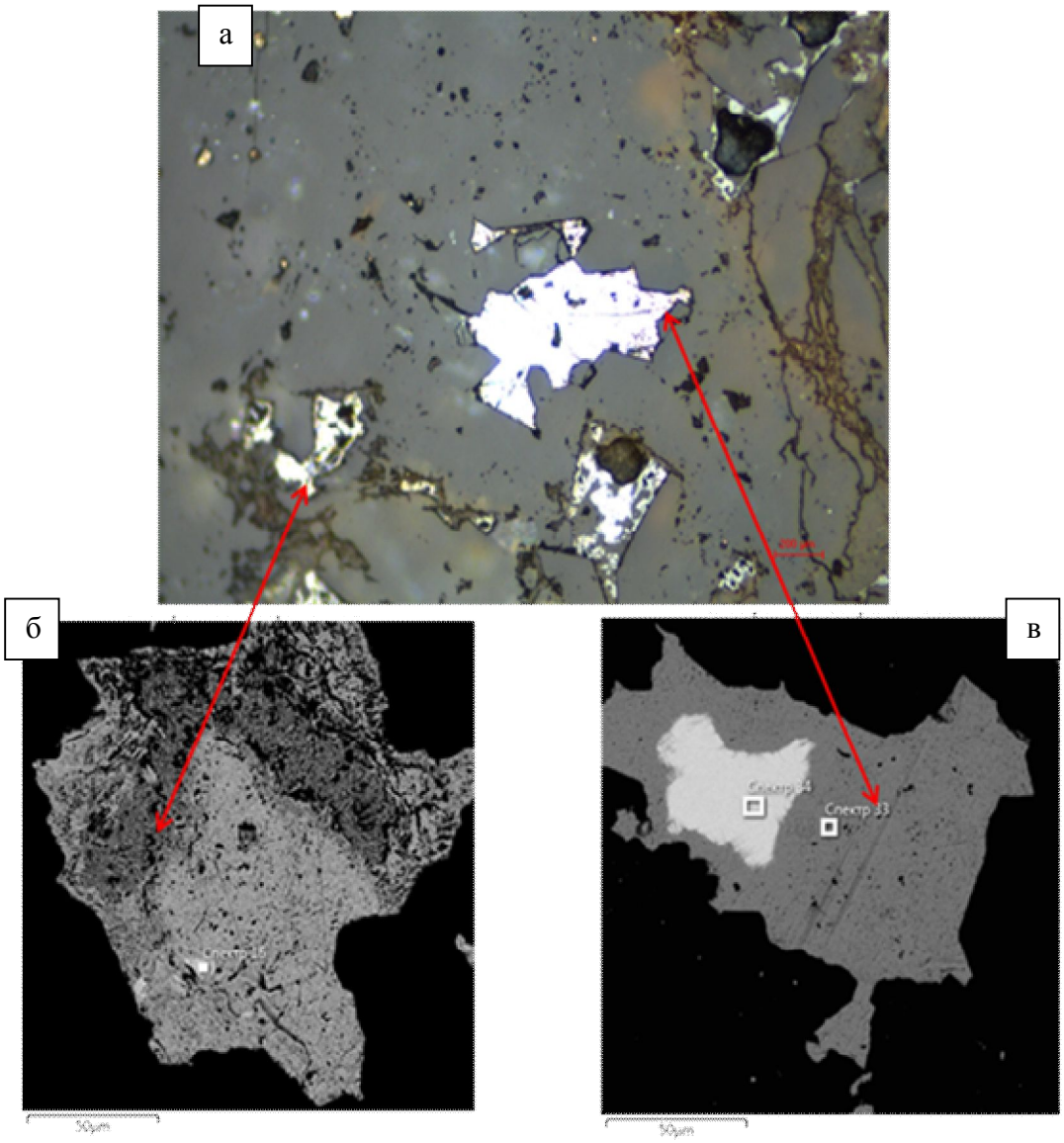


Рис. 7. Формы выделения некоторых минералов серебра: а – агвиларита и акантита, фото в отраженном свете, обр. № СП-403 (канава 403); б - агвиларит, в - аргентит с галенитом (более светлая фаза). Фото СЭМ.

Самородное золото резко уступает серебру по распространенности и по разнообразию форм нахождения. В свободном виде оно не установлено и находится в связанной форме в виде включений в сульфосолях серебра, сложных оксидах.

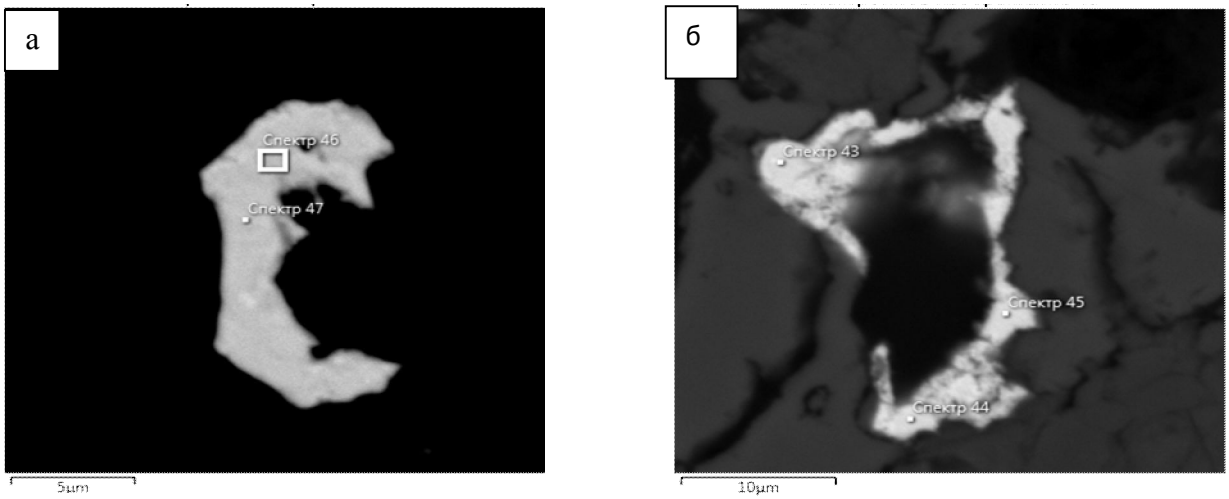


Рис. 8. Формы выделения акантита с примесью селена (а) и германия (б). Фото СЭМ.

Главные жильные минералы представлены кварцем, адуляром и карбонатами, соответственно.

Для оценки температурных условий рудообразования были изготовлены пластинки из образцов с наибольшим количеством рудных минералов, при этом были выбраны участки с наиболее хорошо раскристаллизованным кварцем (рис. 9).

По составу включения двухфазные - газ-жидкость. Размер включений от 1 до 10-15 микрон. Объем газовой фазы меняется от 10 до 35-50 %. По соотношению объемов газ-жидкость температуры гомогенизации таких включений могут быть оценены величинами 150-250 °С.

Наличие включений, в которых газовая составляющая превышает 50 и более % может указывать на процессы вскипания, что подтверждается развитием брекчиевых текстур в рудах объекта исследований.

По разнообразию форм нахождения селена Спрут не уступает рудам известных Камчатских месторождений (Озерновского, Асачинского). Встречаются следующие минералы селена: агвиларит, науманит, клаусталит.

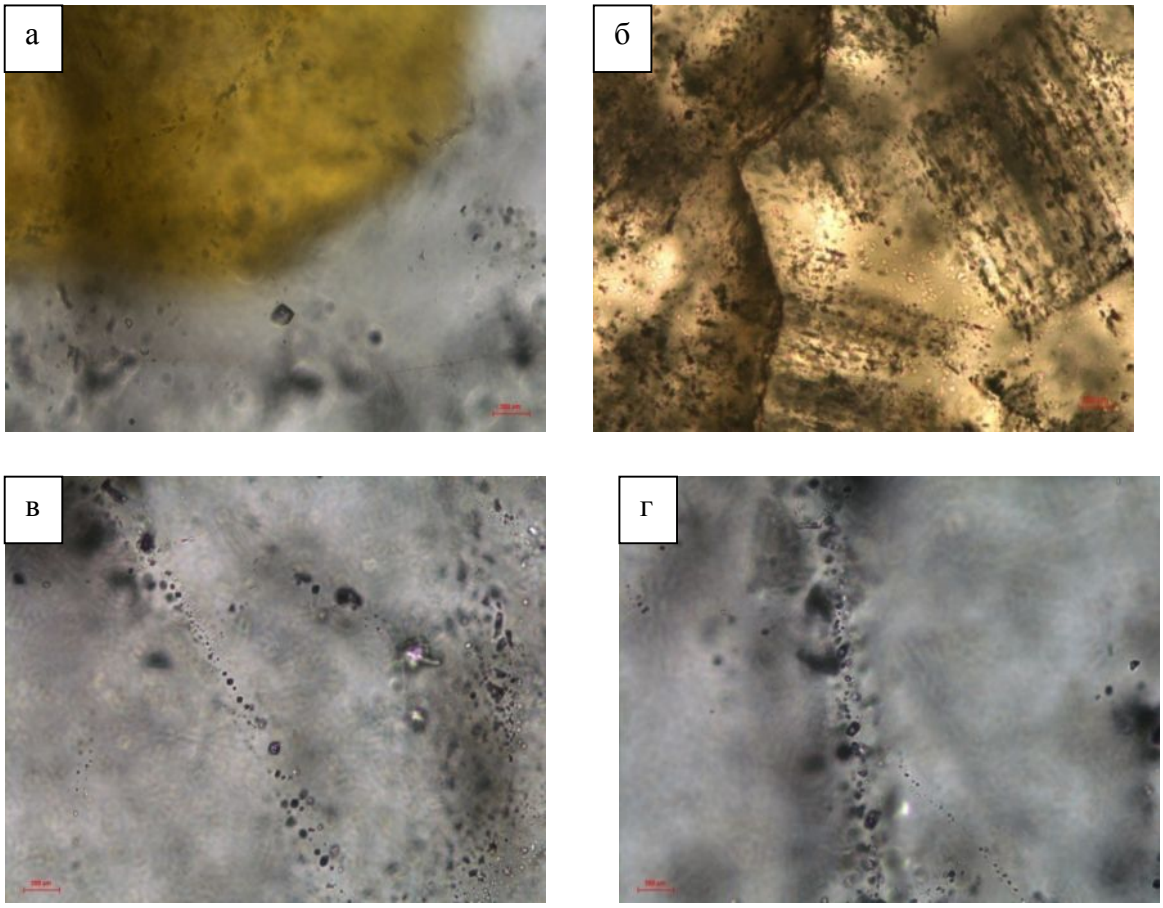


Рис. 9. Генетические типы газово-жидких включений в продуктивном кварце:
а – первичные, б – псевдовторичные, в, г – вторичные.

ВЫВОДЫ

На основании выше изложенного, можно предположить, что рудообразование на рудопроявлении Спрут проходило носило полистадийный характер и авторами выделяются три стадии:

I. дорудная стадия представлена пирит-кварцевым минеральным комплексом. Основной минерал - кварц. Пирит присутствует в небольшом (первые проценты) количестве. Характерная особенность дорудного жильного материала - массивные, прожилковые, друзовидные текстуры, хорошая раскристаллизация кварца, интенсивное окварцевание и пиритизация вмещающих пород;

II. рудная стадия представлена серебряно-золото-адуляр-кварцевым минеральным комплексом. Его минеральные агрегаты цементируют обломки измененных вмещающих пород и дорудного кварца в рудах брек-

чиевой текстуры. Основные рудные минералы - аргентит и пираргирит; второстепенные – блеклые руды, науманит, прустит, галенит, сфалерит и другие. В качестве редких минералов отмечены: самородные серебро, золото, электрум;

III. пострудная стадия минералообразования представлена карбонат-кварцевым минеральным комплексом. Основные минералы - кварц, кальцит, выполняющие пострудные жильно-прожилковые зоны и участки брекчирования жильных образований дорудной и рудной стадий. В жилах и прожилках пострудной стадии присутствует в незначительных количествах пирит.

Сравнивая текстурно-структурные, минеральные и вещественные характеристики руд месторождений Камчатки (в частности, рудопроявление Спрут) с известным гигантом полиметаллическим месторождением Дукат в Магаданской области можно предположить, что Камчатка - продолжение сереброносной Магаданской провинции. Сравнительная оценка процесса формирования месторождений золото-серебряной формации, выяснение закономерностей пространственного расположения, изучение химического состава руд и вертикальной минералогической зональности - вот перечень тех видов работ, которые необходимо использовать в практической геологии и на производстве. Это значительно улучшит методику поисков, разведки и оценки золоторудных месторождений, а также прогнозирования оруденения, особенно не выходящего на дневную поверхность.

Авторы выражают благодарность В.Ф. Лунькову, В.В. Куликову, Р.Н. Куликовой, А.А. Платонову за помощь в подготовке каменного материала, Т.М. Философовой, М.В. Чубарову, С.В. Москалевой – за полезные советы при обработке результатов, научному руководителю к. г.-м. н. В.М. Округину за постановку задачи, внимание и поддержку.

ЛИТЕРАТУРА

Опубликованная:

1. *Петренко И.Д.* Золото-серебряная формация Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1999. С. 52-53.
2. *Карта* полезных ископаемых Камчатской области масштаба 1: 500 000. Краткая объяснительная записка. Каталог месторождений, проявлений, пунктов минерализаций и ореолов рассеяния полезных ископаемых // Главные редакторы: Литвинов А.Ф., Патока М.Г. (Камчатгеолком), Марковский Б.А. (ВСЕГЕИ). Петропавловск-Камчатский: Изд-во СП КФ ВСЕГЕИ, 1999, 560 с.

Фондовая:

3. *Василенко Т.И., Афанасьева Л.Б.* Отчет о поисковых работах в пределах Тклаваямско-го золоторудного поля (Аметистовая поисковая партия). СКК ГРПЭ пос. Корф. //1978. С. 112-125.
4. *Волков В.А., Декин А.Г.* Отчет о результатах поисково-оценочных работ, проведен-ных на северо-восточном и юго-восточном флангах Аметистового месторождения и в пределах Тклаваямского рудного узла (геофизические работы). Елизовская геофизи-ческая экспедиция г. Елизово. //1983. С. 85-96.
5. *Полунин В.П.* Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна рек Ичигиннываям и Тклаваям (Окончательный отчет об исследованиях Ичигинской ГСП м-ба 1:50000 за 1973-74 гг. листы Р-58-102-А, Б, В; Р-58-103-А, Б, В). Олюторская комплексная геологоразведочная экспедиция пос. Корф. //1974. С. 56-61.

NEW DATA ABOUTGOLD-SILVER MINERALIZATION OF SPRUT ORE FIELD (NORTH KAMCHATKA)

Russu K.I., Shishkanova K.O., Lobzin E.I.

In 2015, the company "Kamchatgeologiya" carried out search and estimate works of gold and silver ore in the Sprut ore field area pertaining to Ichigin-Unneyvayamsky silver-gold-tin ore area. In this paper data of gold-silver mineralization occurrences, description of accommodating rocks are presented. These studies can significantly affect the method of prospecting, exploration and evaluation of gold-ore deposits, as well as the prediction of mineralization, particularly without runout on the surface.

Keywords: Sprut, Kamchatka, gold, silver, epithermal deposits

УДК 552.312

ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДОНОСНОГО ЭКСТРУЗИВНОГО КОМПЛЕКСА АСАЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА)

Агаськин Д.Ф.[1,2], Кудаева Ш.С.[1,2], Ким А.У.[2], Залевский В.В.[3]

[1]Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга
[2]Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
[3]ЗАО «Тревожное Зарево»

Научный руководитель: к.г.-м.н. Округин В.М.

Объект исследований – Асачинское вулканогенное эпитермальное, жильное класса LS (низко-сульфидное, кварц-серицит-адуляровый тип по европейской классификации) месторождение принадлежит к числу наиболее крупных и сравнительно хорошо изученных золото-серебряных объектов Камчатского края. Строение жильных зон, минеральный состав руд, формы нахождения важных в промышленном отношении химических элементов в рудах месторождения были всегда в центре внимания геологов. Вмещающие породы оставались за пределами детальных исследований. Авторами предпринята попытка привести новые данные о геологии и петрографии экструзивного липарито-дацитового плиоценового комплекса, выделенного В.С. Шеймовичем и М.Г. Патокой в качестве рудовмещающего (рудоносного) комплекса Асачинского месторождения. Особое внимание уделено результатам, полученным в процессе проведения горно-геологических эксплуатационных и применения новейших методов физико-химических исследований.

Ключевые слова: Асачинское месторождение, силицитолит, липарито-дацит

ВВЕДЕНИЕ

Асачинское месторождение находится в 160 км к югу от краевого центра г. Петропавловск-Камчатский. Было открыто в 1973 г., при геолого-съемочных работах Опалинской партией. Асачинский ГОК стал вторым горнорудным предприятием Камчатки, разрабатывающим коренное рудное золото. В 2011 году на Асачинском месторождении предприятие ЗАО «Тревожное зарево» презентовало открытие горно-обогатительного комбината и в настоящее время ведет активные эксплуатационно-разведочные работы [3,4].

Асачинское рудное поле приурочено к эрозионно-тектонической кальдере площадью около 20 км^2, которая располагается в центральной части Асачинской вулкано-тектонической структуры (ВТС) с диаметром ~28 км. В геологическом строении месторождения участвуют вулканиты,

отнесенные к трем структурным ярусам (дорудный, синрудный и пострудный) [5,6,8].

Месторождение состоит из серии сближенных крутопадающих меридиональных жильных зон мощностью первые метры и протяжённостью до километра и более (рис. 1). Возраст месторождения 4,1–1,2 Ма, оно относится к числу полихронных и полигенных рудных объектов [1,2].

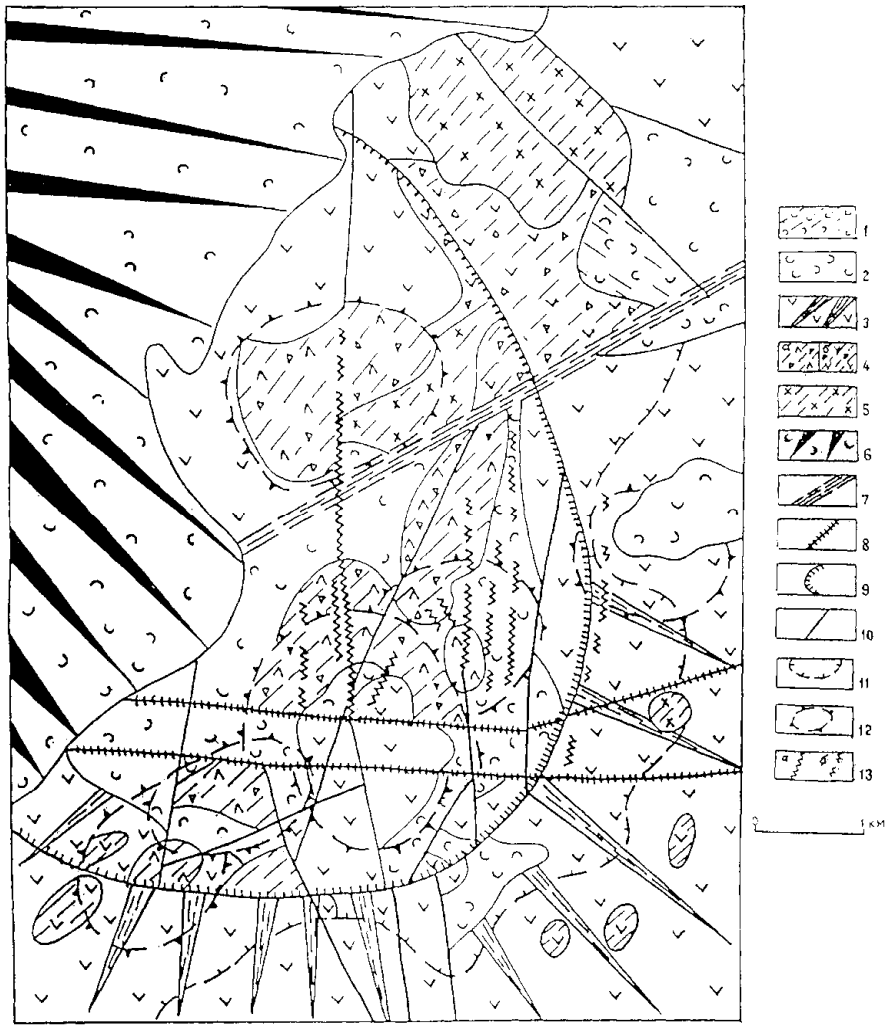


Рис. 1. Структурная схема Асачинского рудного поля: 1 — андезитовая формация, вулканогенно-осадочные образования олигоцен-миоценового возраста; 2—5 — базальт-андезит-риолитовая формация верхнемиоцен-плиоценового возраста: 2 — туфы дацитов нижней толщи, 3 — эффузивно-пирокластические образования постройки Асачинского палеовулкана, 4 — лакколиты андезидацитов (а), штоки, лакколиты и трубки взрыва андезитов (б), 5 — диоритовые порфириты; 6 — базальт-андезитовая формация четвертичного возраста; 7—10 — разрывные нарушения: 7 — осевая зона системы Мутновского глубинного разлома, 8 — разломы Асачинской широтной зоны повышенной проницаемости, 9— кольцевые разломы кальдеры, 10—прочие; 11 —эрозионные уступы кальдеры; 12—рудолокализующие тектоно-магматические купола; 13 — золоторудные кварцевые жилы: установленные (а), предполагаемые (б) [6].

Отличительная особенность руд месторождения — высокое содержание селена (до 2500 г/т) при многообразии форм его нахождения: от собственных минералов до примеси, практически, во всех рудных фазах [7].

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

На ранних стадиях изучения месторождения было установлено, что золотосодержащие жилы пространственно приурочены к субвулканическим телам андезидацитов. Эти тела, внедрившись в основание Асачинского палеовулкана и на границе с толщей кислых туфов, лежащей в его основании, на небольшой глубине образовали единую систему, состоящую из близко расположенных либо слившихся друг с другом лакколитов [6]. Наиболее крупный купол (Центральный) диаметром около 2 км слагает центр рудного поля. Кроме того, выделено еще семь аналогичных структур меньшего размера (от 0,5 до 1,5 км). Для всех лакколитов характерна аномальная относительно вмещающих пород трещиноватость, в силу чего гидротермальные изменения их значительно выше, чем вмещающих пород.

В строении Асачинского рудного поля принимают участие разновозрастные комплексы различных магматических формаций. В.С. Шеймовичем и М.Г. Патокой были выделены 4 комплекса [7]:

- липарито-дацитовый плиоценовый комплекс (р. Асача), принадлежащий липарито-дацитовой формации;
- плиоценовый андезибазальтовый комплекс;
- плиоценовый (плиоцен-плейстоценовый) андезибазальтовый комплекс (хр. Пемзовый);
- верхнеплейстоценовый андезибазальтовый комплекс вулкана Асача.

Авторами предпринято изучение экструзивных липарито-дацитовых фаций комплекса, принадлежащего в целом к плиоценовой формации стратовулкана.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились двумя методами: полевой и лабораторный. Полевые работы проходили на лицензированном участке золотодобывающего предприятия ЗАО «Тревожное зарево» - Асачинском месторождении. В полевой период авторами были выполнены следующие работы: полевое минералого-петрографическое картирование горных выработок и обнажений; отбор представительного каменного материала для научно исследовательских работ. Образцы были отобраны из забоев и бортов горных выработок (штольня, штрек, восстающие), для научных исследований отбирались образцы вдоль рудного тела из вмещающих пород представленными липарито-дацитами, их брекчиями и инъекциями силицитолитов.

Для изучения текстур, структур, химического и минерального состава применялись методы современной минералогии и минераграфии, физико-химического анализа (современные прецизионные микроскопы Axioskop 40, Discovery), физико-химического анализа - аналитическая сканирующая электронная микроскопия (SEM Vega 3 Tescan с волновым и энергодисперсионным спектрометром Oxford Instrument X-max 80 mm^2), рентгеноспектральный электронно-зондовый (EMPA Camebax, укомплектованный четырьмя волновыми и одним энергодисперсионным спектрометром Oxford Instrument X-max 50), рентгенофазовый (рентгеновский дифрактометр XRD-7000 MAXima Shimadzu), рентгенофлюоресцентный (“S4 PIONEER” фирмы “BRUKER”). Исследования проводились в лаборатории вулканогенного рудообразования и АЦ ИВИС ДВО РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Липарито-дацитовый комплекс представлен липаритами, андезито-дацитами, туфами. Судя по ряду таких признаков, как: состав пород, характерная флюидальная текстура, наклонные вертикальные следы течения, наличие ксенолитов, купольный рельеф отдельных участков и тектоническое сопряжение петрографических разнородных блоков, то можно пред-

полагать, что данный комплекс представляет собой сочетание субвулканических интрузивных и экструзиных тел кислого и среднего составов.

Общая площадь комплекса на участке около 15 км^2 отдельные тела имеют площадь до нескольких квадратных километров. Со всеми дочетвертичными вулканическими образованиями они сопряжены по тектоническим нарушениям. Среди пород комплекса преобладают дациты с содержанием SiO_2 от 64 до 68%, в меньшей степени встречаются липариты.

Дациты – серые, породы с отчетливой флюидальной текстурой и порфировой структурой. Порфировые выделения составляют до 25% породы. Они представлены преимущественно плагиоклазом и в меньшей степени моноклинным пироксеном (до 5%), обычно полностью замещенным гидрослюдами. Плагиоклаз – зональный, образует полисинтетические двойники до 2 мм в длину. Состав его варьируется от андезина до анортита, преобладают андезин (до 50% вкрапленников) и лабрадор (25%). Среди них большой процент (до 35%) кристаллов с высокой структурной упорядоченностью (от 0,8 до 1%), что подтверждает интрузивную природу тел. Акцессорные минералы - циркон и апатит. Основная масса микрофельзитовая и гиалиновая. Характерная особенность - наличие пятнистых кварц-калишпатовых выделений с микрогранофировой структурой. Флюидальность обусловлена сочетанием субпараллельных полос со сферолитовой, гиалиновой или фельзитовой структурой. Среди вторичных минералов развиты эпидот, карбонаты, хлориты, гидроксиды железа.

Липариты отличаются от дацитов меньшим количеством вкрапленников, большим развитием кварца и мусковита в основной массе.

Возраст комплекса - плиоценовый. Он определен на том основании, что экструзии дацитов в бассейне р. Федотовой прорывают образования алнейской вулканической серии - вулканического массива горы Острой. Абсолютный возраст андезидацитов, определенных калий-аргоновым методом, 5,7±1,5млн.лет, возраст измененных пород (адуляризированных и окварцованных) из зоны дробления - 4,0±1,0 млн. лет[6].

По химическому составу породы относительно свежие, отличаются слабой степенью вторичных изменений (nnn 0,93-2,93 %), с повышенной щелочностью (Na_2O+K_2O 7,12-9,11 %), K_2O в пределах от 4,52 до 7,30 %.

По содержанию SiO_2 (68,6-75,4%) они относятся к кислым разностям: дациты, риолиты, риодациты, трахидациты, трахириолиты (табл.1, рис. 2).

Таблица 1. Химический состав вмещающих пород Асачинского месторождения, по данным РФА, (вес. %)

№	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO_2	68,6	73,0	71,8	68,7	69,4	70,7	75,4	73,5
TiO_2	0,453	0,410	0,3900	0,4190	0,441	0,408	0,301	0,385
Al_2O_3	13,9	12,8	12,7	14,3	14,3	13,4	9,93	12,7
Fe_2O_3	0,673	1,49	1,450	1,190	1,08	1,72	1,78	1,17
FeO	2,85	1,29	2,060	2,060	2,09	1,51	1,44	1,80
MnO	0,0787	0,0570	0,0791	0,0685	0,0626	0,0822	0,0527	0,0560
CaO	2,17	1,06	1,08	0,89	0,418	0,559	0,482	0,764
MgO	1,08	0,386	0,98	1,22	0,833	0,551	0,465	0,205
Na_2O	2,55	3,10	3,16	2,19	1,91	1,89	0,740	2,16
K_2O	4,57	4,68	4,54	6,92	6,88	6,76	7,30	6,06
P_2O_5	0,0947	0,0866	0,0951	0,1030	0,0974	0,0895	0,0726	0,0829
nnn	2,93	1,46	1,6	1,9	2,34	2,16	1,99	0,940
Sum	99,95	99,82	99,93	99,91	99,85	99,83	99,95	99,82
S	0,0209	0,0478	0,045	0,0552	0,0915	0,0739	< 0,001	0,0673

Примечание: № 1-3 – гидротермальный цемент; № 4-6 – флюидальные обломки; № 7-8 – силицитолит; nnn. – потери при прокаливании.

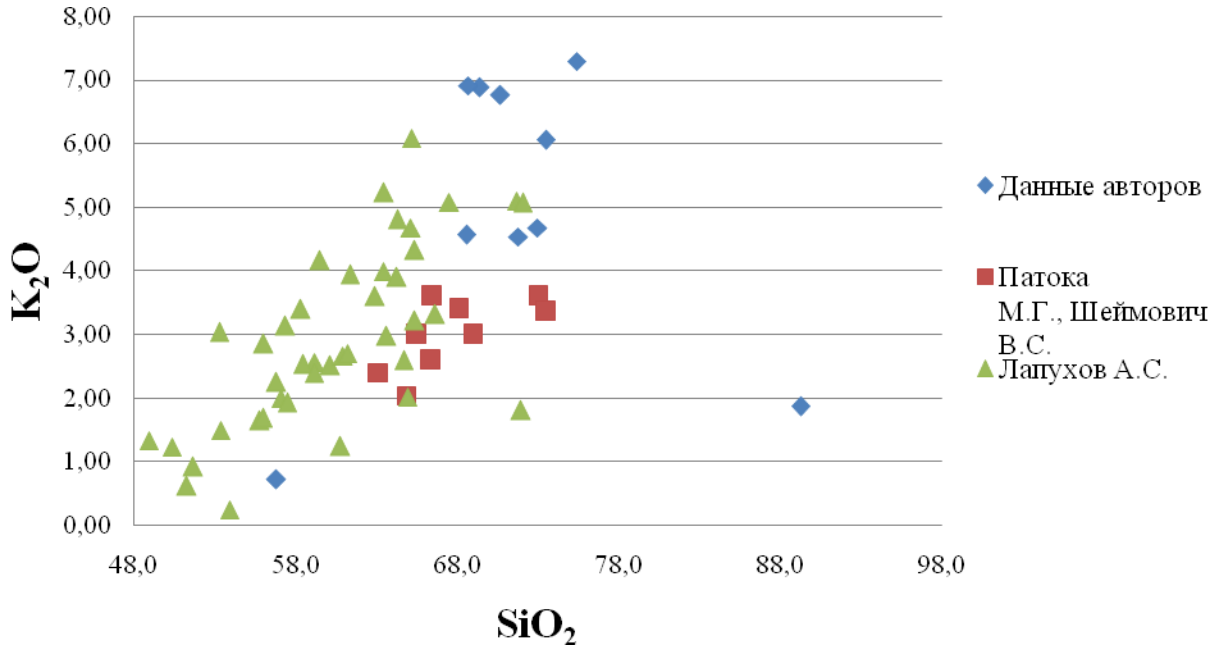


Рис. 2. Диаграмма химического состава, составленная по данным Шеймовича В.С., Патоки М.Г, Лапухова А.С и авторов.

Объектами исследований комплекса стали три разновидности пород (рис. 3):

- гидротермальный цемент – дациты, риолиты, риодациты;
- флюидальные обломки – трахидациты;
- силицитолиты – трахириолиты.

Во всех трех разновидностях пород обнаружены As-содержащий пирит, F-апатит и Cl-апатит.

Основная масса силицитолитов сложена мелкими (до 50 микрон) зернами кварца и адуляра, в соотношении примерно 50:50 (рис. 4). Рудные минералы представлены пиритом (70%) и халькопиритом (30%). Это зерна размером до 250-300 микрон, правильной кубической формы, иногда в виде сростков, зональность не обнаружена. Есть примеси в пирите Cu и As до 15,0 вес.%, Zn 0,5-1,0 вес.%. Вторичные кварцевые микропрожилки в силицитолитах выполнены зернами пирита (до 10%) размером 20-300 микрон.

Рис. 3. Магматическая брекчия, темно-серое, черное - прожилок силицитолита, с кварцем (белое). Полированный штуф.

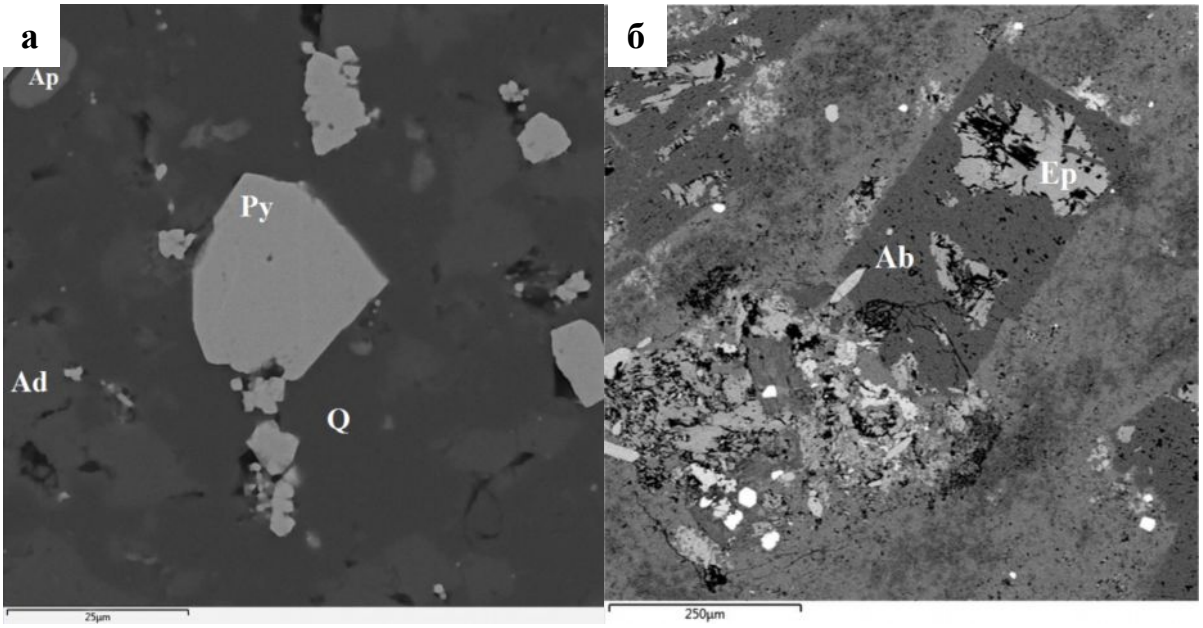


Рис. 4. Фрагменты строения основной массы (а) и вкрапленников (б) силицитолитов. Ad – адуляр, Q – кварц, Ap – апатит, Py – пирит, Ab – альбит, Ep - эпидот. Фото BSE.

ВЫВОДЫ

В строении Асачинского экструзивного липаритодацитового выделено 3 типа пород:

- силицитолиты (трахириолиты) – инъекции во вмещающих породах и цементирующая масса
- флюидальные обломки
- гидротермальный цемент

Предполагается, что силицитолиты могли быть инъекциями остаточных высокоплотных гидротермальных растворов

Установлено наличие минеральных фаз, содержащих летучие компоненты: F- апатит, Cl-апатит.

Авторы выражают благодарность коллективу лаборатории вулканогенного рудообразования; Куликову В.В., Куликовой Р.Н., Лунькову В.Ф. и Платонову А.А. за помощь в пробоподготовке; Философовой Т.М., Москалевой С.В., Чубарову М.В. за помощь в проведении аналитических исследований, аналитическому центру ИВиС ДВО РАН за проведение химических анализов. КамГУ имени Витуса Беринга за возможность проведения полевых работ. Геологическому отделу ЗАО «Тревожное зарево» за пре-

доставленный каменный материал и за возможность посещения Асачинского месторождения

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО "Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга" на 2012-2016 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лапухов А.С., Гузман Б.В., Горев В.А., Солотчина Э.П., Травин А.В.* Возраст эпитермального золото-серебряного оруденения Асачинского месторождения по данным 40Ar/39Ar метода // Вулканология и сейсмология, 2007в, № 5, С. 54—59.
2. *Некрасов И.Я.* Генезис Асачинского вулканогенного золотого месторождения на Камчатке // Докл. РАН, 1996, т. 348, № 1, с. 94—96.
3. *Округин В.М., Ким А.У., Андреева Е.Д.* Самородное золото Асачинского месторождения (Южная Камчатка) // Горный вестник Камчатки, выпуск № 4(14), 2010 г., С. 75-83.
4. *Округин В.М., Ким А.У., Москалева С.В., Округина А.М., Чубаров В.М., Агаськин Д.Ф.* О рудах Асачинского золотосеребряного месторождения (Южная Камчатка) // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога "Вулканизм и связанные с ним процессы", 2014, С. 329-333.
5. *Округин В.М.* О возрасте и генезисе эпитермальных месторождений зоны перехода контенент-океан (северо-западная Пацифика) // Современный вулканизм и связанные с ним процессы, материалы юбилейной сессии Камчатского научного центра ДВО РАН, посвященной 40-летию Института вулканологии. П-К, 2004 г, С.106-108.
6. *Петренко И.Д.* Золото - серебряная формация Камчатки. Петропавловск-Камчатский. Из-во Санкт-Петербургской картографической фабрики ВСЕГЕИ, 1999. 115 с.
7. *Шеймович В.С., Патока М.Г.* Геологическое строение зон активного кайнозойского вулканизма.– М,: ГЕОС, 2000.–208, С.102-106
8. *Takahashi R., Matsueda H., Okrugin V. and Ono S.* Epithermal Gold-Silver Mineralization of Asachinskoe Deposit in South Kamchatka // Russia. Resource Geology № 4. P.354-372.

GEOLOGY AND PETROGRAPHIC FEATURES OF ORE-BEARING EXTRUSIVE COMPLEX ASACHINSKOE DEPOSIT (SOUTHERN KAMCHATKA)

Agas'kin D.F.[1, 2], Kudaeva Sh.S.[1, 2], Kim A.U.[2], Zalewski V.V.[3]

[1]Kamchatka State University named after Vitus Bering
[2]Institute of Volcanology and Seismology
[3]CJSC "Anxious Glow"

The object of research is Asachinskoe volcanogenic epithermal, vein, LS (low-sulfide and quartz-sericite-adularia type on the European classification) field is one of the largest and relatively well-studied gold-silver objects of Kamchatka. The structure of the vein zones, mineral composition of ores, form finding industrially important chemical elements in the ore deposits were always the center of attention of geologists. Host rocks remained outside of detailed studies. The authors attempt to bring new data on the geology and petrography of extrusive liparite-dacite pliocene complex isolated V.S. Sheimovich and M.G. Patoka as Asachinskoe field ore-bearing complex. Particular attention is paid to the results obtained in the course of geological and operational application of the newest methods of physical and chemical research.

Keywords: Asachinskoe deposit, silitsitolite, liparite-dacite

УДК 553.086

ЗОЛОТО СУЛЬФИДНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ АГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КАМЧАТКА)

Кудаева Ш.С.[1,2], Зобенько О.А.[1,2], Яблокова Д.А. [1,2], Ульянов Д.А.[3]

[1]Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга
[2]Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
[3]ЗАО «КамГолд»

Научный руководитель: к.г.-м.н. Округин В.М.

Объект исследований – Агинское Au-Ag-Te месторождение, руды которого отличаются исключительным разнообразием текстур, структур и минерального состава. Для них характерно резкое преобладание жильных минералов (кварц, адуляр, значительно реже глинистые и карбонаты) над рудными (халькопирит, теллуриды золота и серебра, самородное золото) при соотношении более чем 10:1. Количество сульфидов (пирит, сфалерит, галенит) за исключением халькопирита - крайне незначительное (<0,01%). На месторождении широко проявлены зоны окисления, в которых первичные минеральные комплексы подвержены интенсивному преобразованию с появлением многочисленных Te-содержащих фаз, ковеллина, халькозина, оксидов и более сложных соединений меди и в, особенности, «вторичного» (гипергенного) переотложенного самородного золота. В том числе и достаточно редкой его разновидности - так называемого "горчичного" золота. Зона гипергенеза прослеживается по всему видимому вертикальному почти трехсотметровому интервалу оруденения. С глубиной ее масштабы резко сокращаются.

В декабре 2014 г. на глубоких горизонтах были встречены необычные для этого месторождения руды с большим количеством пирита. При детальных минераграфических исследованиях в ассоциации с пиритом обнаружено самородное золото, которое по своему химическому составу отличается от «вторичного» высокопробного золота, распространенного в верхних частях жильных зон.

Ключевые слова: золото, пирит, сульфиды, Агинское месторождение, горчичное золото

ВВЕДЕНИЕ

Агинское золото-серебро-теллуридное месторождение располагается в Центрально-Камчатском горнорудном районе. Систематическое изучение этого месторождения началось в 1971 году, в 2005 году на его базе был введен в эксплуатацию Агинский ГОК. Месторождение занимает северо-восточный склон Агинского палеовулкана, сложенного слабо дифференцированными вулканитами среднего и основного состава [3, 4, 6].

Для руд характерно резкое преобладание жильных минералов (кварц, адуляр, значительно реже глинистые и карбонаты) над рудными (халькопирит, разнообразные теллуриды золота, золота и серебра, серебра, свинца, теллураты и самородное золото). В них, практически, трудно обнаружить невооруженным глазом рудные минералы [1,2].

Редко, как правило, в бонанцах с ураганными содержаниями полезных компонентов встречаются гнезда с незначительными количествами халькопирита, теллуридов, теллуратов и самородного золота (рис. 1). Месторождение отличается наличием мощной зоны окисления и цементации. По-видимому, именно с ней связаны аномальные концентрации и основные запасы металлов. По минеральному составу руд месторождение сложное, характеризуется большим разнообразием, в первую очередь, гипергенных минералов (табл. 1) [4,5].

Рис. 1. Типичные руды Агинского месторождения, колломорфно-полосчатая текстура, жильная зона Блуждающая, полированный штуф, Н - 1270-1310 м.

Самородное золото руд из верхних горизонтов месторождения по составу высокопробное, образует срастания с теллуридами и другими разнообразными рудными и жильными минералами [1,5].

Таблица 1. Минеральный состав руд Агинского месторождения [2,4,5].

	Гипогенные		Гипергенные
	рудные	нерудные	
Главные	самородное золото Au калаверит $AuTe_2$ алтаит PbTe гессит Ag_2Te халькопирит $CuFeS_2$	кварц SiO_2 адуляр $KAlSi_3O_8$ кальцит $CaCO_3$ хлорит $(Mg,Fe)_3(SiAl)_4O_{10}(OH)_2$ $(Mg, Fe)(OH)_6$ серицит	самородное золото Au билибинскит ($Au_3Cu_2PbTe_2$) богдановит $Au_5(Cu,Fe)_2(Te,Pb)_2$ оксигидрат золота $[AuO·Au(OH)_2]$ гидрооксиды золота $(Au,Ag,Cu)(OH)_2$ оксигидротеллуриты $(Au,Ag,Cu)TeO_3(OH)_2$ сложные оксителлуриты с Au, Ag, Cu, Pb, Zn, V, Mn, Fe гидрооксиды железа балякинит $Cu[TeO_3]$ плюмботеллурит (ромб.) $Pb[TeO_3]$ файрбенкит $Pb[TeO_3]$ роджеит $Cu[Te_2O_5]$ грэмит $Cu[TeO_3] · H_2O$ чолоалит $CuPb[TeO_3]_2 H_2O$ тейнеит $Cu[TeO_4] 2H_2O$ ксокомекатлит $Cu_3[TeO_4](OH)_4$ кхинит (ромб.) $Cu_3Pb[TeO_4](OH)_6$ паракхинит (гекс.) $Cu_3Pb[TeO_4](OH)_6$ куранахит $PbMn[TeO_4]O_2$
Второстепенные	электрум AuAg пирит FeS_2 акантит Ag_2S сфалерит ZnS (Cd до 15,8%) сильванит $AgAuTe_4$ костовит $AuCuTe_4$ креннерит $(Au,Ag)Te_2$ петцит Ag_3AuTe_2 риккардит Cu_7Te_5	смектит корренсит пелитоморфное глинистое вещество гидрослюда эпидот $Ca_2Al_2Fe(SiO_4)_3O$ апатит $Ca_5[PO_4]_3(F,Cl,OH)$ десмин $Ca(Al_2)Si_6O_{16}6H_2O$	ковеллин CuS халькозин Cu_2S безсмертновит $Au_4Cu(Te,Pb)$
Редкие	галенит PbS ютенбогардтит Ag_3AuS_2 теннантит $Cu_{10}Fe_2As_4S_{13}$ борнит Cu_5FeS_4 молибденит MoS_2 марказит FeS_2 идаит Cu_3FeS_4 фаматинит Cu_3SbS_4	ломонтит $Ca(Si_4A_{l2})O_{12}4H_2O$ барреррит $Na_8(Si_{28}Al_8)O_{72}26H_2O$	ковеллин CuS малахит $Cu_2(CO_3)(OH)_2$ азурит $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$

Особое место среди них занимают минеральные ассоциации зоны окисления и цементации (гипергенные образования, табл. 1)

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения отдельных зерен минералов (самородного золота и сульфидов) их микроморфологии, микроструктуры и химического состава были использованы следующие методы классической минералогии, минераграфии: современные прецизионные микроскопы Axioskop 40 и Discovery V12 SteREO; последняя версия новейшего сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3 с энергетическим спектрометром Oxford Instruments X-Max 80 mm^2. Исследования выполнялись в лаборатории вулканогенного рудообразования, Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

При посещении подземных горных выработок в 2014 году были отобраны образцы руд "нетипичных" для Агинского месторождения. Они отличаются присутствием большого количества сульфидов. И в первую очередь - пирита. Особенно это заметно на более глубоких горизонтах (рудное тело Сюрприз, горизонты 1130-1170 м), где они слагают кварц-сульфидные руды с колломорфно-полосчатыми и брекчиевыми текстурами (рис. 2). В них отдельные сульфидные "микрополоски" достигают мощности 3-8 мм.

Рис. 2. "Нетипичные" сульфидные руды с колломорфно-полосчатой и брекчиевой текстурами: серая извилистая полоска - пирит. Полированный штуф.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При детальном изучении сульфидных микрополосок из кварц- сульфидных руд было установлено, что они сложены исключительно пиритом (рис. 2, 3). Дисульфид железа отличается характерной катаклазированной структурой. Большинство зерен пирита несет следы дробления. По микротрещинкам и периферии развиваются оксиды, гидрооксиды железа с аморфным кремнеземом (рис. 3).

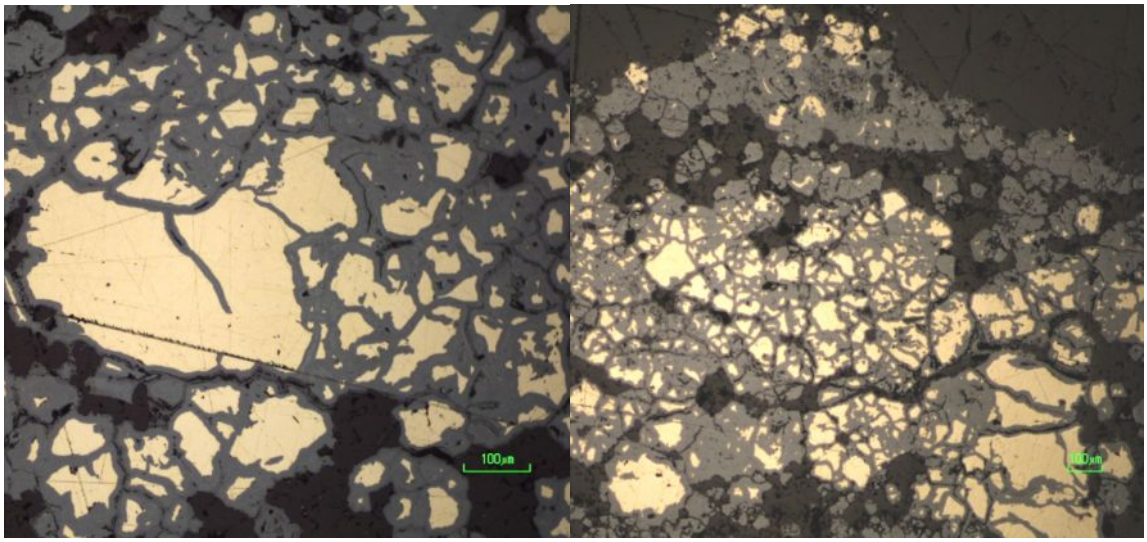


Рис. 3. Формы выделения пирита (светлое) в микрослойках кварц-сульфидных руд. Комбинированные структуры - сочетание катакластических и гипергенных краевых каемок, образованные оксидами, гидрооксидами железа (серое) и кремнезема (черное). Фото в отраженном свете, безрельефный аншлиф.

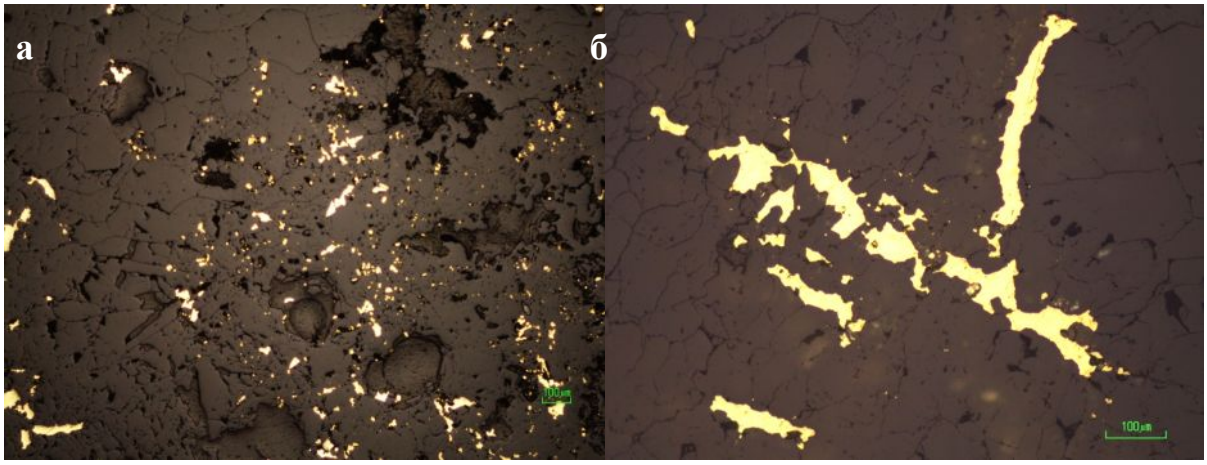


Рис. 4. Формы выделения самородного золота в рудах месторождения: а – «гнездообразное»; б - дендритовидное. Фото в отраженном свете. Горизонт 1130, рудное тело Сюрприз.

В кварцевой матрице таких "нетипичных" руд были обнаружены изометричные гнезда и микролинзы, сложенные самородным золотом. Размеры таких локальных скоплений самородного золота меняются в пределах от 3-5 мм до 10 и даже 15 мм. Каждое из них может нести до 1 грамма металла. Реже встречаются обособленные дендритовидные зерна самородного золота (рис. 4).

В отличие от высокопробного самородного золота верхних горизонтов состав «гнездового» сульфидного золота близок к электруму и составляет 75-77 вес.% (рис. 5а, табл. 2). Такое самородное золото может быть отнесено к «первичному» гипогенному. Оно отличается более низкой пробностью (типичной для руд Центрально-Камчатского горнорудного района) и наличием признаков переотложения [1,2,4]. У него пробность значительно ниже, чем вторичного гипергенного, в том числе и горчичного (табл. 2) [1]. В отдельных выделениях этого относительно низкопробного самородном золоте появляются микропрожилки высокопробного с появлением участков обогащенных золотом до 95-99%, а в отдельных случаях - и до 100% (рис. 5б).

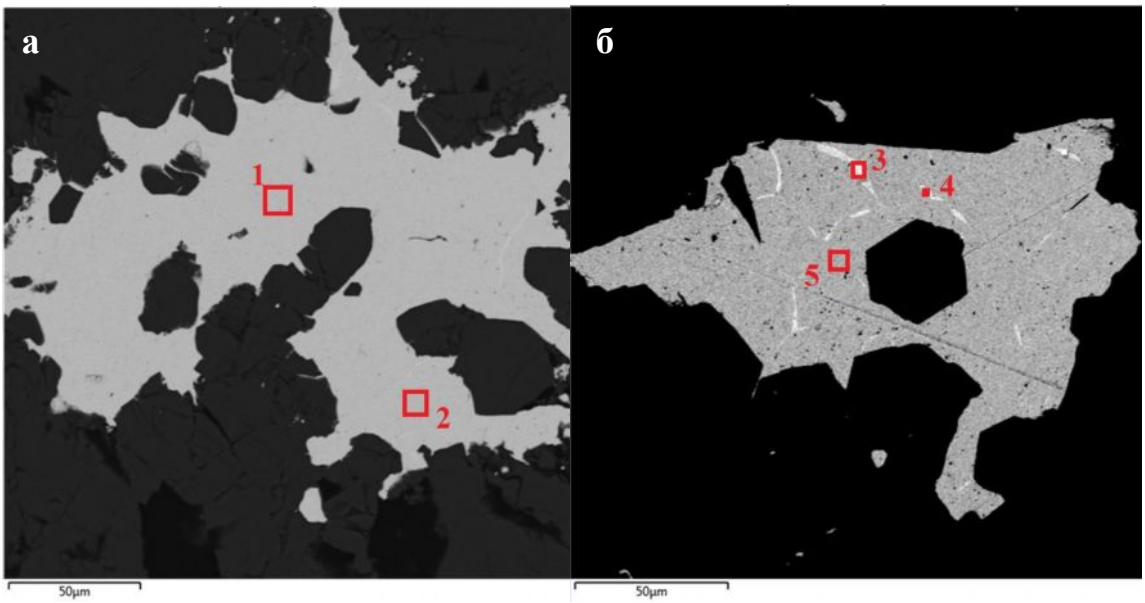


Рис. 5. Формы выделения самородного золота из нижних горизонтов Агинского месторождения. А – зерно самородного золота, однородное по составу; б- самородное золото, с участками переотложения (светлое). Фото BSE.

Такое локальное обогащение зерен первичного гипогенного золота может быть объяснено гипергенными процессами. Метеорные воды и другие агенты гиперегенеза проникают по ослабленным зонам трещинноватости с поверхности на глубокие горизонты месторождения, где и начинается окисление с преобразованием минерального и химического состава первичных руд. В пользу это свидетельствует катаклазирование сульфидных микрополосок и широкое развитие структур вторичных краевых каемок, сложенных оксидами и гидрооксидами железа.

Таблица 2. Химический состав самородного золота по данным SEM, EMPA (в % масс)

№ спектра	1	2	3	4	5	гипергенное высоко-пробное	горчичное
Ag	25.28	25.26	1.42	1.64	24.16	2.50-7.50	0.60 -6.90
Au	74.75	74.18	99.28	98.97	74.38	77.50-72.50	99.40-93.10
Сумма	100.02	99.44	100.70	100.61	98.53		

Примечание: № рентгеновских спектров микроучастков 1-5, показанных на рис. 5.

ВЫВОДЫ

- На глубоких горизонтах в "нетипичных" для Агинского месторождения сульфидных рудах обнаружено первичное (гипогенное) низкопробное самородное золото (750-770);
- первичное низкопробное самородное золото несет признаки переотложения с появлением вторичного высокопробного золота (973-975). Такое локальное обогащение отдельных микроучастков выделений гипогенного золотин может быть результатом проявления процессов гипергенеза, обусловленных воздействием метеорных вод и других агентов окисления;
- на верхних горизонтах в зонах цементации и окисления первичное самородное золото, практически, нацело замещено вторичным высокопробным, в том числе и горчичным золотом;
- технологическая схема Агинского ГОКа следует корректироватья с учетом новых данных по минеральному и химическому составу руд глубоких горизонтов (в частности обогащенных сульфидами при крайне нерав-

номерном гнездообразном распределении более низкопробного самородного золота) для более эффективного извлечения полезных компонентов;

- при отработке отдельных блоков следует обращать особое внимание на наличие зон повышенной трещинноватости (зон гипергенеза). В них могут формироваться "вторичные" рудные тела небольших размеров, но с аномально высокими количествами золота - своеобразные современные "гипергенные бонанцы". Месторождение начало интенсивно разведываться с применением подземных горных выработок а начале 70-х годов прошлого века. Пройдено не менее сорока км подземных горных выработок с применением взрывчатых веществ. Нарушено естественное напряженное состояние горного массива. Резко активизировалось воздействие атмосферных осадков - активных агентов гипергенеза (по сути дела современных агрессивных растворов). Формируются новые современные минеральные ассоциации с большим количеством глинистого вещества, которое способно аккумулировать значительные количества золота.

Авторы выражают благодарность ректору КамГУ им. Витуса Беринга Нат. Г. Ильинской, сотрудникам лаборатории вулканогенного рудообразования Философовой Т.М., Москалевой С.В., Чубарову М.В., Куликову В.В., Куликовой Р.Н., Платонову А.А.. руководству ЗАО «КамГолд» за неоценимую помощь на различных этапах проведения исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО "Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга" на 2012-2016 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудаева Ш.С., Андреева Е.Д. Горчичное золото: характеристика, виды и химический состав. // Материалы XIII региональной молодежной конференции «Природная среда Камчатки». 15 апреля 2014 г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. 2014. с. 17-30.

2. Округин В. М., Андреева Е. Д., Яблокова Д. А., Округина А. М., Чубаров В. М., Ананьев В. В. Новые данные о рудах Агинского золото-теллуридного месторождения (Центральная Камчатка) // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 27 - 28 марта 2014 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014, 343 с.

3. Петренко И.Д. Золото-серебряная формация Камчатки. ВСЕГЕИ, 1999. С. 116.

4. Andreeva E.D., Matsueda H., Okrugin V., Takahashi R., and Ono S. Low-sulfidation epithermal Au-Ag-Te mineralization in Aginskoe deposit, central Kamchatka, Russia // Resource Geology, 63(4), 2013, p. 337-349.

5. Okrugin V.M., Andreeva E.D., Etschmann B., Pring A., Li K., Zhao J., Griffins G., Lumpkin G.R., Triani G. and Brugger J. Microporous gold: confirmation of Au-replacing textures from nature // Am. Mineralog., 99, 2014, p. 1171-1175.

6. Takahashi R., Matsueda H., Okrugin V.M., Shikazono N., Ono Sh., Imai A., Andreeva E.D., and Watanabe K. Ore-forming ages and sulfur isotope study of hydrothermal deposits in Kamchatka, Russia // Resource Geology, 63 (1), 2013, p. 210-223.

GOLD OF SULFIDE MINERAL ASSEMBLAGES AGINSKOE DEPOSIT (KAMCHATKA)

Kudaeva Sh.S.[1,2], Zoben'ko O.A.[1,2], Yablokov D.A.[1, 2], Ulyanov D.A.[3]

[1] Kamchatka State University named after Vitus Bering

[2] Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS

[3] CJSC "KamGold"

The object of research is Aginskoe Au-Ag-Te deposit, ore which are extremely diverse textures, structures and mineral composition. They are characterized by the predominance of gangue minerals (quartz, adularia, much less clay and carbonates) of ore (chalcopyrite, gold and silver tellurides, native gold) at a ratio of 10: 1. Number of sulfides (pyrite, sphalerite, galena) except chalcopyrite - extremely small (<0.01%). Widely manifested in the field of the oxidation zone, in which the primary mineral assemblages subject to intense transformation with the advent of numerous Te-containing phases, covelline, chalcocite, and more complex oxides of copper and "secondary" redeposited native gold. Supergene zone can be traced over the entire visible almost vertical interval trehsotmetrovoy mineralization with depth and degree of secondary changes weakens.
In December 2014 in the deep horizons were opened for this unusual ore deposits with a lot of pyrite. With detailed mineragrafical studies in association with pyrite was found native gold, which in their chemical composition is different from the "secondary" high-grade gold distributed in the upper parts of the vein zones.

Keywords: gold, pyrite, sulphides, Aginskoe deposit, mustard gold

УДК 553.252

ХЛОР И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ В ПРОДУКТАХ ФУМАРОЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВАЧИНСКОГО ВУЛКАНА (2013-14 гг.)

Плутахина Е.Ю. [1,2]***, Малик Н.А.*** [2]

[1]*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*
[2]*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*
г. Петропавловск-Камчатский

Научный руководитель: к.г.-м.н. Округин В.М.

Хлор - один из основных химических элементов, входящих в состав фумарольных газов. В статье приводятся новые данные о концентрациях хлора, соотношений S/Cl в газовой фазе, формах его нахождения в продуктах взаимодействия в системе газ-порода (возгоны) и отложениях, образующихся на стенках кварцевых трубок при прохождении фумарольных газов, полученные при исследованиях, проводимых на Авачинском вулкане в 2013-2014 гг.

Ключевые слова: хлор, фумаролы, возгоны, сублиматы, Авачинский вулкан, галит, тенардит..

ВВЕДЕНИЕ

Авачинский вулкан – один из самых активных и доступных для изучения вулканов Камчатки [1,4,7,82]. Со времени последнего фреатического извержения (активизации) в 2001 году он находится в стадии постоянной фумарольной деятельности [5].

На вершине Авачинского вулкана располагаются многочисленные фумаролы температуры, которых меняются от 90^0C до 670^0C. В составе газов и конденсатов обнаружены значительные количества различных химических элементов и их соединений [4,5]. При взаимодействии фумарольных газов с породами, слагающими стенки кратера и лавовую пробку, возникшую при эксплозивно-эффузивном извержении 1991 года, образуются многочисленные минеральные новообразования, получившие название - возгоны [9]. В газовой фазе переносятся разнообразные вещества, которые оседая на стенках кварцевых трубок формируют так называемые сублиматы (искусственные соединения). Состав минеральных ассоциаций возгонов и сублиматов зависит от следующих факторов:- состояния вулкана, его питающих систем, их связей с магматическими очагами; степени разбавления флюидов компонентами атмосферы и метеорными водами; -

температуры (геохимического барьера); - геохимической специализации "материнских" магматических расплавов, их ассимиляции на путях подъема к дневной поверхности [10,11].

Хлор – один из основных лигандов, входящих в состав магматического вещества. Он, в отличие от соединений серы, относительно хорошо растворим в расплаве. Считается, что основной источник хлора фумарольных газов - магматический флюид, отделяющийся от магмы на различных этапах эволюции вулкана [2,6].

Хлор постоянно присутствует в составе фумарольных газов областей современного вулканизма, различны только его концентрации и формы нахождения. Наиболее устойчивой формой хлора считается Cl_2. Известны в природе многочисленные соли хлора (в первую очередь хлориды) с металлами ($MeCl_x$). Во время реакций в системах "газ-порода" и "вода-порода" образуется HCl, способствующая выщелачиванию вмещающих пород [2].

Одной из особенностей хлора считается его способность накапливать на геохимических барьерах такие щелочные элементы как Na, K с образованием галита NaCl и сильвина KCl.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Авачинский вулкан высотой 2751 м – один из самых активных вулканов Камчатки. Это вулкан типа Сомма-Везувий, состоящий (рис. 1) из соммы поздне-плейстоценового возраста и современного Молодого конуса, становление которого началось около 3800 лет назад [7, 8]. В геологическом строении вулкана преимущественным развитием пользуются лавы и пирокласты от андезитов до базальтов..

За историческое время достоверно известно о 14 его извержениях (1737, 1772, 1779, 1827, 1851-55, 1878, 1881, 1894-95, 1901, 1909, 1926-27, 1938, 1945, 1991) [1,9]. Нынешний облик привершинной части вулкана сформировали извержение 1991 и 2001 годов. Во время эффузивно-эксплозивного извержения 1991 кратер заполнила андезибазальтовая лава, часть которой спустилась к основанию вулкана. а другая образовала свое-

образную пробку [1]. В 2001 году произошло образование трещины в лавовой пробке, сопровождавшееся серией фреатических взрывов [7, 8,9]. В настоящее время фумарольная деятельность вулкане сосредоточена на Серном гребне и местах пересечения трещины с бровкой кратера (Восточное фумарольное поле и Западная фумарола).

ЦЕЛИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования стало комплексное минералого-геохимическое изучение фумарольных образований Авачинского вулкана для оценки воздействия на окружающую среду и прогноза возможной активизации вулкана.

К главным задачам отнесены: - изучение форм нахождения химических элементов в минеральных ассоциациях фумарол; - обнаружение и характеристика токсичных, опасных для человека химических соединений и их концентраций.

В течение полевых сезонов 2013-14 гг. были проведены режимные работы; - минералогическое картирование, сопровождавшееся опробованием фумарольных новообразований; - отбор конденсатов вулканических газов; - установка кварцевых трубок для сублимации газов.

Экспериментальное изучение фумарольных газов (с помощью сублимации в кварцевых трубках) позволило более полно охарактеризовать их химический состав, так как сублимация в трубках проходила от 6 до 9 месяцев. Сублиматы трубки отражают, до некоторой степени, все новообразованные минеральные фазы, неизменённые внешними условиями [3,10,11]. Представительные образцы и монофракции минералов были изучены по методике, разработанной в лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН. Это комплекс методов, включающий классическую минералогию и минераграфию (Discovery V.12 Carl Zeiss), XRF (S4 Pioneer фирмы “Bruker”), XRD (XRD-7000 MAXima Shimadzu), ICP-MS, ICP-AES (АСИЦ ИПТМ РАН, г. Черноголовка), SEM (Vega 3 Tescan).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из главных результатов исследований стала диагностика новых минералов (а их оказалось более 15), участвующих в строении возгонов Авачинского вулкана (табл. 1).

Таблица 1. Минеральные фазы возгонов и сублиматов Авачинского вулкана

Название	Формула	Возгоны	Сублиматы
Самородная сера	**S**	+	
α-кристобалит	SiO_2	+	
Касситерит	SnO_2		+
Гематит	**α-Fe_2O_3**	+	+
Магнетит	$FeFe_2O_4$	+	
Re-содержащие фазы*	$KReO_4$ (?)	+	+
Опал	**SiO_2*nH_2O**	+	
Лимонит	Fe_2O_3*nH_2O	+	
Галенит	**PbS**		+
Сфалерит-гринокит	**(Zn,Cd)S**		+
Висмутин	Bi_2S_3		+
Реальгар	**AsS**	+	+
Пирит (марказит)	FeS_2	+	+
Халькопирит	CuFeS	+	+
Тенардит-арканит	**$(K,Na)_2SO_4$**	+	+
Ангидрит	$CaSO_4$	+	+
Англезит	**$PbSO_4$**	+	+
Барит	$BaSO_4$	+	+
Годовикит	$NH_4(Al,Fe)*(SO_4)_2$	+	
Гипс	$CaSO_4*2H_2O$	+	
Алуноген	$Al_2(SO_4)_3*17H_2O$	+	
Алунит	$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$	+	
Натроалунит	$NaAl_3(SO_4)_2(OH)_6$	+	
Хademит	$Al(SO_4)F*5H_2O$	+	
Эпсомит	$MgSO_4*7H_2O$	+	
Халькантит	$CuSO_4*5H_2O$	+	
Галотрихит-пикеренгит	$(Fe,Mg)Al_2(SO_4)*22H_2O$	+	
Галит	**NaCl**	+	+
Сильвин	**KCl**	+	+
Чаллоколлоит*	KPb_2Cl_5		+
Котунит*	$PbCl_2$		+
Йодид таллия*	TlI	+	+
Йодид таллия и свинца*	Pb_2TlI_5		+
Ферберит*	$FeWO_4$		+
Сассолин	$B(OH)_3$	+	

Примечание: жирным шрифтом выделены наиболее распространённые минеральные фазы; * - новые для Авачинского вулкана минеральные фазы.

После определения основных минеральных фаз классическими минералогическими методами и XRD, были взяты контрольные валовые навески для изучения химического состава с помощью рентгенфлуоресцентного анализа (XRF, табл. 2,).

Таблица 2. Содержания петрогенных оксидов(в % вес) и некоторых химических элементов (ppm) по данным XRF

Петрогенные оксиды	Возгоны	Сублиматы
SiO2	75,4	23,9
TiO2	0,164	0,0404
Al2O3	2,1	2,1
Fe2O3	<0,01	<0,01
FeO	0,64	3,01
MnO	0,0172	0,0210
CaO	0,15	0,198
MgO	0,075	<0,01
Na2O	0,814	13,40
K2O	0,118	9,11
P2O5	0,038	0,079
nnn	9,46	9,28
Sum	88,92	61,14
S	1,22	29,1

Химические элементы	Возгоны	Сублиматы
Na	0.0995	7.0000
Cl	***0.4920***	***5.3500***
K	0.1730	14.4000
As	**3.7000**	**2.6500**
Se	**0.2380**	**0.1770**
Rb	-	0.3130
Mo	-	0.1200
Cd	**-**	***0.3730***
In	**-**	***0.1150***
Sn	-	*0.9170*
Te	**0.1280**	**0.0835**
I	***0.1100***	***0.0900***
Cs	-	0.0890
W	-	*0.0004*
Re	**-**	***0.1010***
Tl	***0.0160***	***0.0319***
Pb	***0.0186***	***0.1030***
Bi	-	6.2500

Примечание: жирным курсивом выделены химические элементы. заслуживающие особого внимания.

Минеральные фазы хлора наряду сульфатами и сульфидами, относятся к наиболее распространённым. Они обнаружены как в возгонах, так и в сублиматах.

Наиболее распространенные минералы хлора - хлориды натрия (галит) и калия (сильвин). Они образуют в возгонах светлые до белесых и агрегаты игольчатых кристаллов (сильвин), отлагающиеся на стенках пор в шлаке и фумарольных корках. При увеличении x120 видны крупные кубообразные формы (галит), осложняющие строение игольчатых образований (рис.1).

В сублиматах из высокотемпературной части экспериментальной кварцевой трубки (T ~550-575°C) галит и сильвин слагают образуют агре-

гаты, аналогичные обнаруженным в возгонах. В средне- и низкотемпературных частях трубки встречены отдельные иголки сильвина, размером до 30 мкм, и кубообразные кристаллы галита в ассоциации с тенардит-арканитом. Присутствие хлора установлено при изучении с помощью SEM тенардит-арканитовой. Возможно это обусловлено тонкими срастаниями кристаллов тенардит-арканита с галитом. В низкотемпературной части трубки (~300-250°С) галит и сильвин установлены в виде единичных кристаллов на реальгаровой подложке.

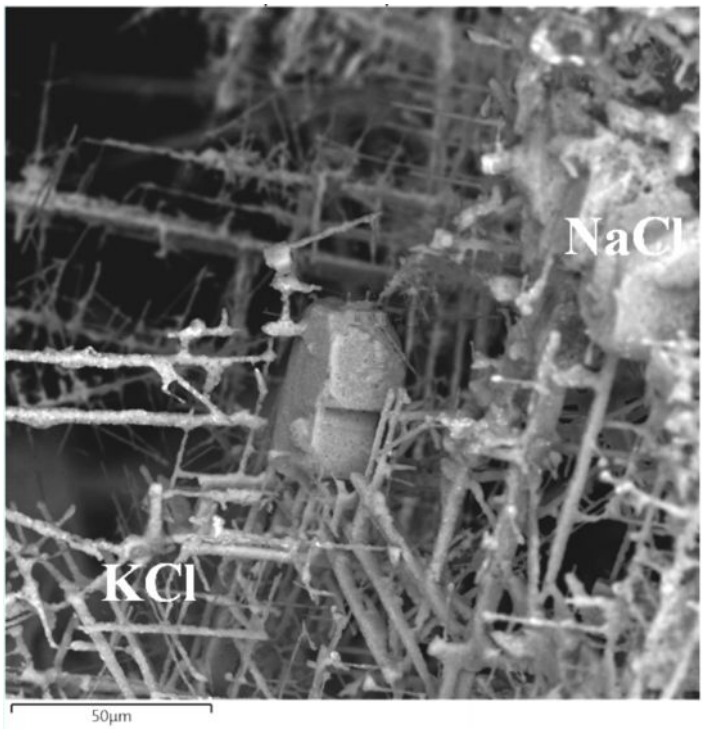


Рис. 1. Скелетообразные агрегаты игольчатых кристаллов сильвина с кубообразными формами галита.

Сильвин и арканит, по данным SEM содержат до 3-4 % Rb, что подтверждено результатами XRF и ICP.

Котунит и чаллаколлоит диагностированы в сублиматах трубки, где ассоциациируют с тенардит-арканитом, галитом, гематитом, гринокит-сфалеритом (рис. 2). Формы выделения – микрокристаллы, их агрегаты - своеобразный "войлок" с размерами до 10-30 мкм.

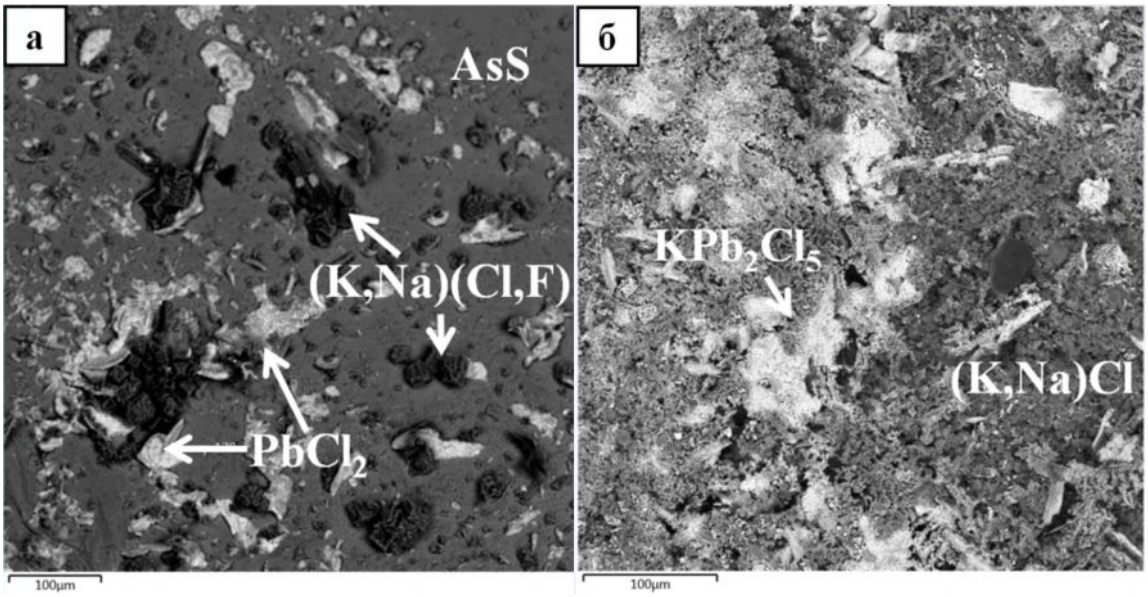


Рис. 2. «Пористые» агрегаты микрокристаллов котунита в ассоциации с галитом и сильвином на матрице реальгара (а); микрокристаллы чаллоколлоита в срастаниях с галитом и сильвином на арканитовой подложке (б).

Замечено, что среди сублиматов на участке трубки ≥ 350°С количество хлоридов резко уменьшается и они сменяются йодидами таллия и таллия со свинцом.

ВЫВОДЫ

1. Резко расширен спектр минеральных форм хлора. Кроме раннее известного галита (NaCl), появились сильвин (KCl), котунит ($PbCl_2$), чаллаколлоит (KPb_2Cl_5);

2. показано, что большинство кристаллов различных минеральных фаз сублиматов независимо от температур образования несет на своих гранях наноагрегаты хлоридов. Возможно, это обусловлено неравновесным состоянием системы или увеличением концентраций хлора в фумарольных газах на заключительных стадиях минералообразования;

3. при изучении состава фумарольных газов выявлены значительные вариации соотношения S\Cl (3-11), S\F (46-17,1) при заметном возрастании их температуры (от 350^0-400^0 до 630-670^0 С) [5].

Полученные результаты свидетельствуют о возрастающей активности Авачинского вулкана, которая может привести к эксплозивному извержению в течение 2015-2020 гг.

Авторы выражают благодарность Ящуку В.В., Пономареву Б.К., Биченко А.Н., Муравьеву Я.Д., Ананьеву В.В.Куликову В.В., Куликовой Р.Н., Лунькову В.Ф., Платонову А.А., Кудаевой Ш.С., Зобенько О.А., Яблоковой Д.А. Округиной А.М., Карташевой Е.В., Назаровой М.А., Чубарову М.В., Чубарову В.М., Курносовой Н.Ю., Карандашеву В.К., Косорукову В.Л. за помощь и содействие на различных этапах проведения исследований и подготовки данной публикации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, в рамках программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга» на 2012-2016 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Б.В., Флеров Г.Б., Масуренков Ю.П. и др. Динамика и состав продуктов извержения Авачинского вулкана в 1991 г. // Вулканология и сейсмология, 1995, №4-5, с. 5-27.
2. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. М.: Недра, 1994. Т. 2. С. 282-289.
3. Зеленский М.Е., Казьмин Л.А., Округин В.М. Моделирование геохимических процессов на вулкане Мутновский (Южная Камчатка) // Вулканология и сейсмология, 2004. №5. С. 37-50.
4. Кирсанов И.Т., Медведева Г.Г., Серафимова Е.К. Фумарольная деятельность Авачинского и Корякского вулканов. // Бюл. вулканол. станций. 1964, №38, с. 3-32.
5. Малик Н.А., Зеленский М.Е. О температуре и составе газа фумарол вулкана Авачинский в 2012-2013 г. // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы», 2014.
6. Меняйлов И.А. Зависимость состава вулканических газов от состояния вулканической активности и геохимический прогноз извержений // Бюлл. вулканол. станций. 1966. № 52. С. 42-48.
7. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н., Базанова Л.И. Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации для долгосрочного прогноза типа и параметров будущих извержений). Часть I (1737-1909 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1993. №6. С. 13-27.

8. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н., Базанова Л.И. Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации для долгосрочного прогноза типа и параметров будущих извержений). Часть II (1926-1991 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1994. №2. С. 3-23.

9. Серафимова Е.К., Овсянников А.А., Муравьев Я.Д. Вулканические эксгаляции вулкана Авачинский в постэруптивном процессе после извержения 1991 г. // Вулканология и сейсмология, 2002, №4, с. 22-30.

10. Magmatic Contributions to Hydrothermal Systems and the Behavior of Volatiles in Magma. Geological Survey of Japan, Rep. 279.

11. Zelenski M., Malik N., Taran Yu. Emissions of trace elements during the 2012–2013 effusive eruption of Tolbachik volcano, Kamchatka: enrichment factors, partition coefficients and aerosol contribution // Journal of Volcanology and Geothermal Research 285, 2014. P. 136–149

CHLORINE AND ITS COMPOUNDS IN PRODUCTS OF FUMAROLIC ACTIVITY AVACHINSKY VOLCANO (2013-14).

Plutahina E.Yu., Malik N.A.

Chlorine - one of the basic chemical elements that make up the fumarolic gases. Back in the early 90s of the last century noted that the composition of fumarolic gases period before the eruption of the volcano is an increase in the concentrations of H2, H2S, SO2, HCl, HF, as well as the increase in the ratio of the less soluble to more soluble components (S / Cl, S / F). Study of distribution of mineral phases chlorides can help catch the changes in the activity of the volcano.
This paper presents new data on the mineral form of chlorine as a natural (sublimates) and artificial (sublimate) in products fumarolic activity of Avachinsky volcano.

Keywords: fumarole, volcanoes, Avachinskiy volcano

УДК 551.21

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МИНЕРАЛОГО-ВЕЩЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА ПЕПЛОВ ВУЛКАНОВ ЖУПАНОВСКОГО (КАМЧАТКА) И КОЛИМА (МЕКСИКА)

Тарасов К.В., Назарова М.А.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
г. Петропавловск-Камчатский

Научный руководитель д.г.-м.н. Карпов Г.А.

На базе различных методов проведен сравнительный анализ состава пеплов двух вулканов: Колима и Жупановского, расположенных в различных частях Тихоокеанского огненного пояса. Обращает на себя внимание большое сходство пеплов обоих вулканов по общему химическому, микроэлементному и минеральному составам. Определены такие минералы как плагиоклаз, пироксен, магнетит, галит, опал. Присутствие гипса в пепле вулкана Жупановского свидетельствует о гидротермальной проработке верхней зоны вулканической постройки.
Ключевые слова: пепел, андезит, влк. Жупановский, влк. Колима

ВВЕДЕНИЕ

Вулканы Жупановский на Камчатке и Колима в Мексике находятся в противоположных частях Тихоокеанского огненного кольца.

Вулкан Жупановский (высота 2958 метров) - сложный вулканический массив, образованный слившимися и наложенными друг на друга разнотипными и разновозрастными вулканическими сооружениями [1] (рис. 1). Он представляет собой восточную часть Дзендзур-Жупановского вулканического хребта и приурочен к разлому северо-западного простирания. Вулкан расположен в кальдере плиоцен-раннеплейстоценового возраста. Наиболее распространенными породами вулкана являются андезиты [2]. Исторические извержения связаны с третьим конусом (Приемыш). Они происходили в 1776, 1882, 1925, 1929, 1940, 1956 - 1957 гг. Текущее извержение началось в октябре 2013 г. [4]. Выброс пепла, который мы исследовали, произошёл 16 января 2015 года из молодого кратера Приемыш. Образец отобран Я.Д. Муравьевым в районе Налычевских источников.

Вулкан Колима (высота 3846 м) – андезитовый вулкан (см. рис. 1), расположенный в западной части Транс-мексиканского вулканического пояса. Он находится на сочленении трех разломов. Это молодой конус крупной постройки, включающей в себя потухший вулкан Невадо-де-Колима (4625 м). Вулкан Колима образовался в южной части древней кальдеры [7]. Это один из самых активных вулканов в Северной Америке. Первое задокументированное извержение произошло в 1560 году [6]. Последние крупные извержения произошли в 2001, 2005, 2014 и в январе 2015 гг. Изученный нами пепел был отобран в районе пос. Ла Йербабуэна 24 июня 2004 года Ю.А. Тараном.

В последнее время большое внимание уделяется изучению самородных металлов, интерметаллидов, сульфидов и других соединений в газо-пепловых выбросах современных извержений [3]. Данное направление исследований требует детального скрупулезного изучения пеплов комплексом современных аналитических методов и предполагается нами в дальнейшем. Настоящая работа посвящена результатам изучения общего химического, микроэлементного и минерального составов двух проб пепла вулканов Жупановского и Колима.

Рис. 1 Вулканы Жупановский (слева, фото А.В. Сокоренко) и Колима (справа, es.wikipedia.org)

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Гранулометрический метод разделения вещества на фракции и микроскопические исследования

Для подготовки материала к детальным исследованиям пробы пеплов были разделены на фракции с помощью сит с размером отверстий 0.2 мм и 0.08 мм. В каждой фракции, под бинокуляром, были описаны минеральный состав и рассчитаны процентные соотношения содержания минеральных компонентов.

Исходные массы пепла были разделены по плотности по следующей методике. Проба высыпалась в бюкс с дистиллированной водой. Взвесь с лёгкой фракцией сливалась в чашку Петри и высушивалась. На поверхности высохшей взвеси, слитой с пробы пепла вулкана Жупановского, в чашке образовались розетки игольчатых кристаллов гипса. В чашке с пеплом вулкана Колима видимых кристаллов не образовалось.

Анализ весового химического состава вещества

Материал пеплов был проанализирован методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии на приборе S4 PIONEER.

Дифрактометрия и инфракрасная спектроскопия

Дифрактограммы получены на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 MAXima, Shimadzu (Япония). Режим съемки: излучение $Cu_{K\alpha}$, интервал углов 2Θ 6-90^0, 2^0/мин, экспозиция в точке 3,0 секунд.

Инфракрасные спектры поглощения записывались с помощью инфракрасного Фурье-спектрофотометра IRAffinity-1, Shimadzu (Япония).

Препараты для съёмки инфракрасных (ИК) спектров готовили путём растирания образца с бромидом калия (спектрально чистым) в агатовой ступке и прессованием в таблетки ручным мини-прессом. ИК-спектры снимались в интервале волновых чисел 400-4000 $см^{-1}$, с разрешением 16 $см^{-1}$, число сканов 45.

Использовалось оборудование Аналитического центра ИВиС ДВО РАН.

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕПЛОВ

Вулкан Жупановский

Пепел вулкана Жупановского (табл. 1) имеет светло-серый цвет. Более 90% занимают тонкие фракции: < 0,08 мм - 49,8% и 0,2 – 0,08 мм - 41,5%. Во всех фракциях преобладают зёрна плагиоклаза (табл. 2), прозрачные, иногда с включениями, реже молочно-белые. Относительно крупные зёрна пироксена светло-зелёного цвета, без включений, занимают в обеих фракциях около 5%. Невысокое (до 2%) содержание магнетита отмечено, в основном, во фракции < 0,08 мм. Зёрна магнетита мелкие, некоторые сохранили кристаллическую форму. Содержание плотного стекла достигает 30%. Очень редко встречаются шлаковидные обломки.

Большинство зёрен раздроблены, имеют угловатую форму, лишь некоторые лейсты плагиоклаза и единичные зёрна магнетита сохранили грани.

Таблица 1. Распределение массы пеплов по фракциям

Название вулкана	Фракции, мм					
	> 0,2		0,2 – 0,08		< 0,08	
в. Жупановский	8,6 %	0,24 г	41,5 %	1,16 г	49,8 %	1,39 г
в. Колима	14,6 %	0,39 г	41,1 %	1,1 г	44,1 %	1,18 г

Таблица 2. Распределение минералов и стекла в пеплах

Название вулкана	Фракции, мм			
	> 0,2			
	Плагиоклаз	Стекло	Пироксен	
Жупановский	55%	40%	5%	
Колима	40%	50%	10%	
	0,2 – 0,08			
	Плагиоклаз	Стекло	Пироксен	
Жупановский	60%	35%	5%	
Колима	50%	40%	10%	
	< 0,08			
	Плагиоклаз	Стекло	Пироксен	Магнетит
Жупановский	90%	5%	3%	2%
Колима	80%	15%	5%	-

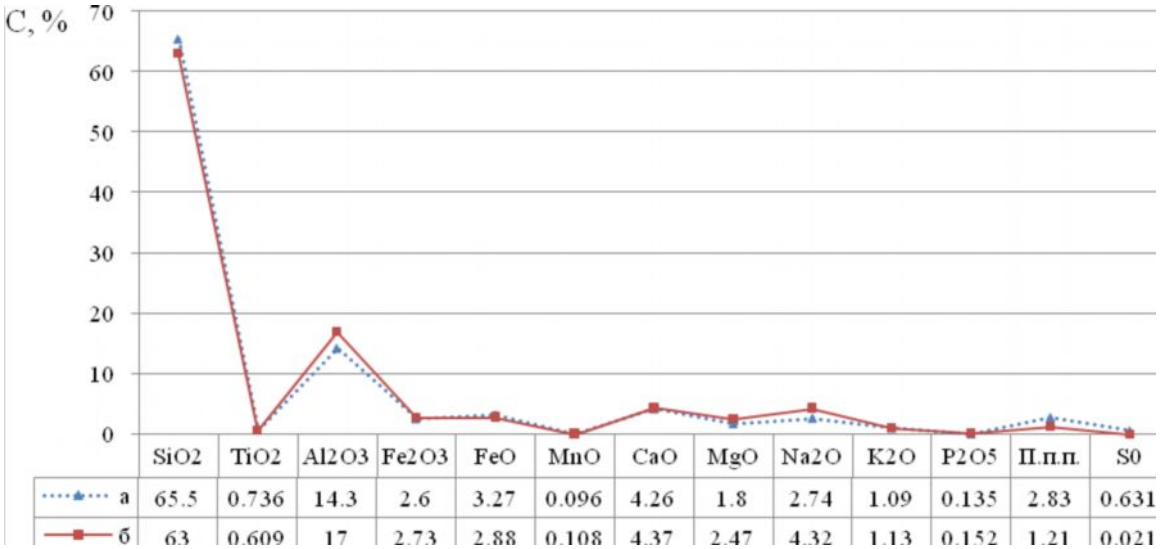
Вулкан Колима

Пепел вулкана Колима имеет светло-серый цвет. Состоит преимущественно из плагиоклаза, большинство зерен прозрачные, в некоторых присутствуют черные включения. Зерна стекла крупные, плотные, частично оглаженные, но сохранили следы дробления. Встречаются зерна стекла чёрного, коричневого и красного цветов. Пироксена не более 5%, зерна мелкие, светло-зеленого цвета. Шлак красный, плотный. Обнаруживаются следы магнетита.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЕПЛОВ

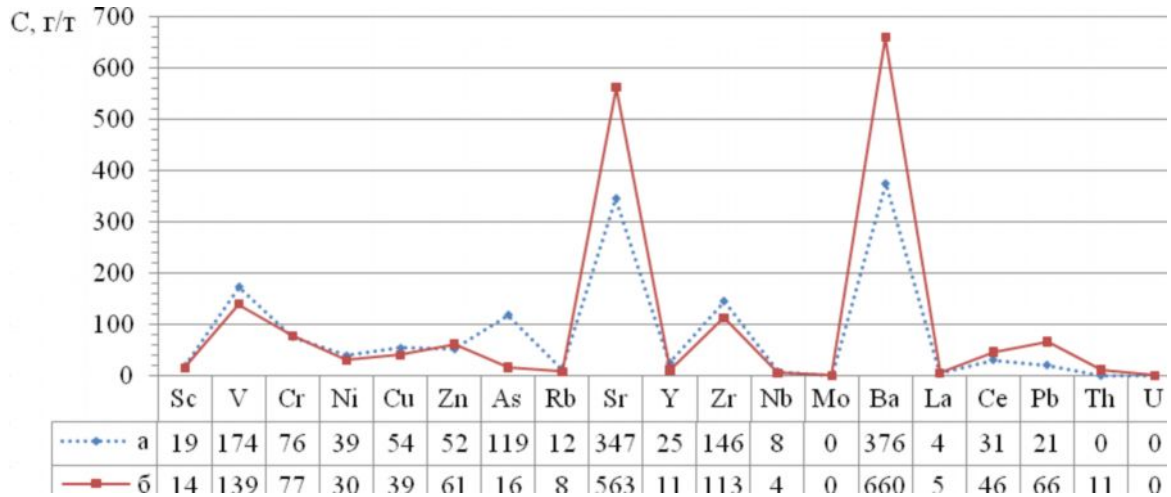
На графике (рис. 2) показан химический состав исследованных пеплов. Они относятся к андезитам. Прежде всего, обращает на себя внимание большое сходство как общего химического, так и микроэлементного составов пеплов вулканов Жупановского и Колима. Но в пепле вулкана Жупановского несколько больше содержание серы.

В обеих пробах пеплов наблюдается значительное содержание V, Sr, Ba (рис. 3). Но в пепле Жупановского вулкана особенно много As, а в пепле вулкана Колима – Pb, Th.



	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	MnO	CaO	MgO	Na2O	K2O	P2O5	П.п.п.	S0
а	65.5	0.736	14.3	2.6	3.27	0.096	4.26	1.8	2.74	1.09	0.135	2.83	0.631
б	63	0.609	17	2.73	2.88	0.108	4.37	2.47	4.32	1.13	0.152	1.21	0.021

Рис. 2. Общий химический состав пеплов вулканов Жупановского (а) и Колима (б)
Определения выполнены в ИВиС ДВО РАН, аналитики Н.Ю. Курносова и В.М. Рагулина.



	Sc	V	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ba	La	Ce	Pb	Th	U
а	19	174	76	39	54	52	119	12	347	25	146	8	0	376	4	31	21	0	0
б	14	139	77	30	39	61	16	8	563	11	113	4	0	660	5	46	66	11	0

Рис. 3. Микроэлементный состав пеплов вулканов Жупановского (а) и Колима (б). Определения выполнены в ИВиС ДВО РАН, аналитики Н.Ю. Курносова и В.М. Рагулина.

МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕПЛОВ

Дифрактограммы (рис. 4) исследуемых пеплов оказались практически одинаковыми, что не противоречит химическому анализу. На фоне основной плагиоклазовой фазы определены опал, магнетит, галит. Гипс определен только в пепле вулкана Жупановского. Вулканическое стекло на дифрактограмме отмечается в виде рентгеноаморфного гало, что говорит о малом его содержании.

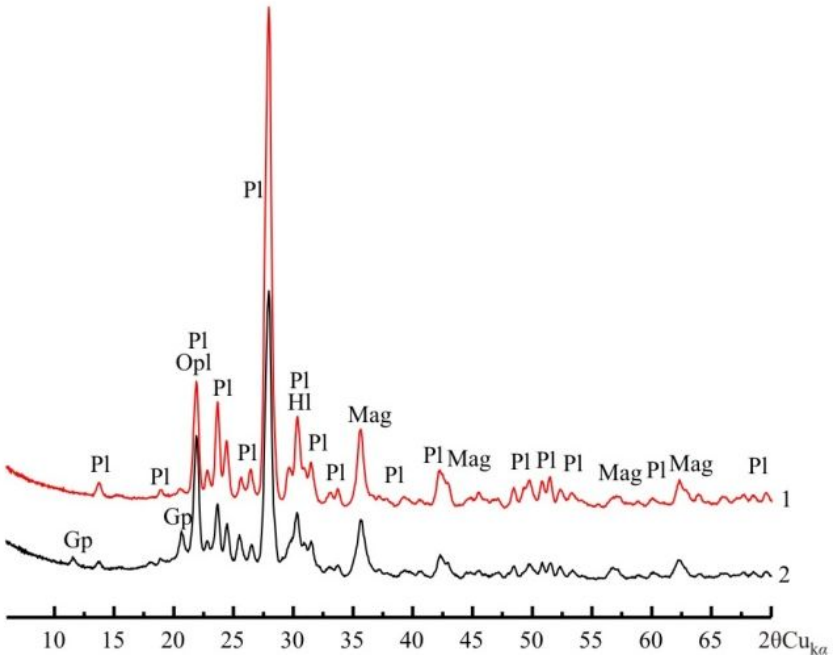


Рис 4. Дифрактограммы образцов пеплов вулканов Колима (1) и Жупановского (2)

На ИК-спектрах пеплов показаны полосы поглощения, имеющие один набор характеристических частот (рис. 5). В низкочастотной области 500-600 см$^{-1}$ проявляются деформационные колебания O-Si(Al)-O, в средней области 900-1100 см$^{-1}$ находятся основные интенсивные полосы валентных колебаний Si(Al)-O и Si-O [5]. Самая высокочастотная область 3000-3700 см$^{-1}$ отвечает валентным колебаниям ОН-групп молекул воды и гидроксилов [5]. Наличие различий в спектрах пеплов по интенсивности, выраженному проявлению некоторых пиков свидетельствует о большем содержании породообразующих минералов в пепле вулкана Колима. Основная полоса в области валентных колебаний 900-1100 см$^{-1}$ для полевых шпатов ряда плагиоклазов может иметь несколько максимумов. На ИК-спектре пепла вулкана Жупановского выявляются частоты (671; 1050; 1620; 3250; 3410; 3450; 3534 см$^{-1}$) в области валентных и деформационных колебаний, характерные для гипса.

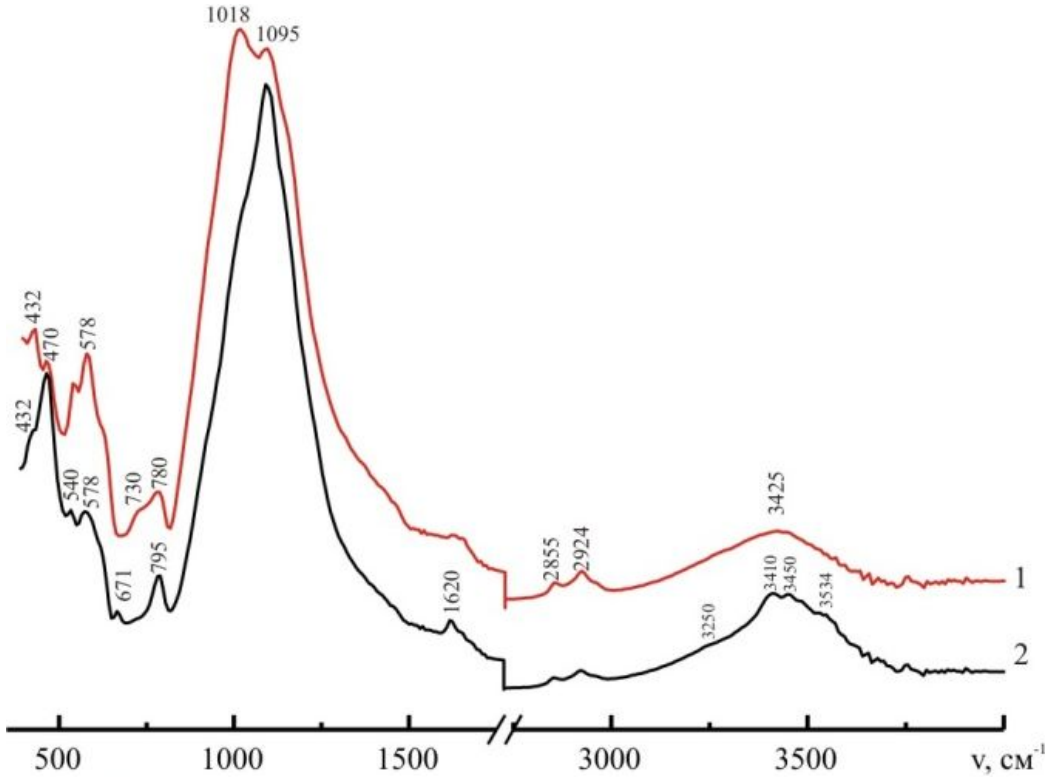


Рис 5. Инфракрасные спектры образцов пеплов вулканов Колима(1) и Жупановского (2)

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Вулканы Жупановский и Колима находятся на разных континентах. Несмотря на это, их пепел имеет схожий состав, что обусловлено близким (андезитовым) составом лав, формирующих постройки вулканов. Но обнаружены и некоторые различия в химическом и минеральном составе пеплов этих вулканов.

Пепел вулкана Жупановского содержит большее количество зерен измененного плагиоклаза, по сравнению с пеплом вулкана Колима. Так же для пробы пепла Жупановского установлены большие потери при прокаливании. Эти факторы могут свидетельствовать о гидротермальных изменениях, которыми затронуты породы вулкана Жупановского.

Различия в микроэлементном составе выражаются большими содержаниями As, V и Zr в пепле Жупановского и Sr, Ba, Pb и Th в пепле Колимы. Высокое содержание мышьяка подтверждает предположение о гидротермальных изменениях пород вулкана Жупановского.

Анализы, проведенные методами рентгеновской дифрактометрии и инфракрасной спектроскопии, выявили отличия в минеральном составе пеплов вулканов: более высокие содержания породообразующих минералов в пепле вулкана Колима и наличие гипса в пепле вулкана Жупановский.

ВЫВОДЫ

Исследования подтвердили сходство состава пеплов вулканов Жупановский и Колима. Пеплы имеют близкие размерность зерен и распределение минералов по фракциям, почти одинаковый химический состав и близкие содержания большинства микроэлементов. Дифрактограммы и инфракрасные спектры также очень схожи. Но пепел вулкана Жупановский содержит больше кристаллов магнетита, присутствует гипс; химический состав отличается повышенными концентрациями мышьяка, стронция и бария.

Наличие в пепле вулкана Жупановский вторичных минералов, а так же высокие содержания As, S и Ba – всё это дает основание предполагать фреато-магматический характер извержения вулкана Жупановский.

Авторы предполагают продолжить изучение пепла названных вулканов, прежде всего, вулкана Жупановский. Одним из наиболее актуальных научных вопросов нам представляется выделение в составе пеплов рудных минеральных фаз и исследование процессов их миграции и аккумуляции при эксплозивных извержениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Базанова Л.И., Дирксен О.В., Кулиш Р.В., Карташова Е.В.* Эволюция новейшего вулканизма Жупанова хребта (Камчатка) // Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Петропавловск – Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. С. 265 -268.
2. *Действующие* вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. 2. С. 218-225.
3. *Карпов Г.А., Мохов А.В.* Микрочастицы самородных металлов, сульфидов и оксидов в андезитовых пеплах Карымского вулкана // Вулканология и сейсмология. 2010. №3. С. 19-35.
4. *Маневич Т.М., Горбач Н.В., Самойленко С.Б.* Количественные характеристики и состав пеплов вулкана Жупановский, изверженных в 2013-2015 гг. // Материалы XVIII ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск – Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2015. С. 73 – 75.
5. *Плюснина И.И.* Инфракрасные спектры минералов. М.: Изд-во Моск. Ун-та. 1977. С. 175.
6. *James F. Luhr, Ian S.E. Carmichael.* Petrological monitoring of cyclical eruptive activity at Volcan Colima, Mexico // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1990. № 42. P. 235-260.
7. *Varley N.R., Taran Y.* Degassing processes of Popocatepetl and Volcan de Colima, Mexico // Geological Society, London, Special Publications. 2003. V. 213. P. 263-280.

COMPARISON OF MINERAL AND MATTER COMPOSITION OF ASHES FROM ZHUPANOVSKY VOLCANO (KAMCHATKA, RUSSIA) AND KOLIMA VOLCANO (MEXICO)

Tarasov K.V., Nazarova M.A.

Various methods have been applied for carrying out comparative analysis of matter composition of ashes from two volcanoes, Kolima and Zhupanovsky, located in different parts of the Pacific Fire Rim. Notable is similarity of total chemical, microelement and mineral compositions of both volcanoes' ashes. Plagioclase, pyroxene, magnetite, halite, and opal have been reported. Gypsum in the composition of the Zhupanovsky ash could suggest the occurrence of hydrothermal processes in the upper part of the volcanic edifice.

УДК 553.078.2

УТОЧНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ НИЖНЕ-КОШЕЛЕВСКОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА) МЕТОДОМ ВЭЗ

Денисов Д.К.,[1,2] Феофилактов С.О.,[1,2] Нуждаев И.А. [1,2]

[1] Камчатский государственный университет,
[2] Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский

Научный руководитель д.г.-м.н. Рычагов С.Н.

Представлены результаты электроразведочных работ, выполненных методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) на Нижне-Кошелевском геотермальном месторождении, которые в значительной мере дополняют информацию, опубликованную нами в 2013 г. Проведено одномерное моделирование кривых зондирований в программном комплексе IPI2WIN по профилям, пересекающим основные термоаномалии (т/а) центральной части месторождения. На основании интерпретации геоэлектрических разрезов, в комплексе с имеющимися геолого-геофизическими данными, определена структура зон разгрузки геотермальных растворов Нижне-Кошелевской т/а, Нижне-Кошелевского Нового термального поля и предполагаемой техногенной аномалии.

Ключевые слова: *пародоминирующее геотермальное месторождение, вулканический массив, вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ), кажущееся удельное сопротивление, геоэлектрический разрез, термальное поле, термоаномалия.*

ВВЕДЕНИЕ

Паужетско-Камбально-Кошелевский геотермальный (рудный) район расположен на юге Камчатки. Он включает Кошелевский вулканический массив и Камбальный вулканический хребет с приуроченными к ним крупными разгрузками парогидротерм, а также Паужетскую гидротермальную систему (рис. 1). К Кошелевскому вулканическому массиву приурочены две крупные термоаномалии (т/а) Верхне- и Нижне-Кошелевская.

Район работ интенсивно изучался в 1960-80-х гг. В последнее время здесь проводятся тематические исследования Южнокамчатско-Курильской экспедиции ИВиС ДВО РАН. В задачи экспедиции входит геохимическое, геологическое и гидрогеологическое опробование, изучение свойств гидротермальных глин и др. минеральных новообразований, слежение за из-

менением геохимического и температурного режимов термальных полей, изучение структуры термопроявлений геофизическими методами [12, 13].

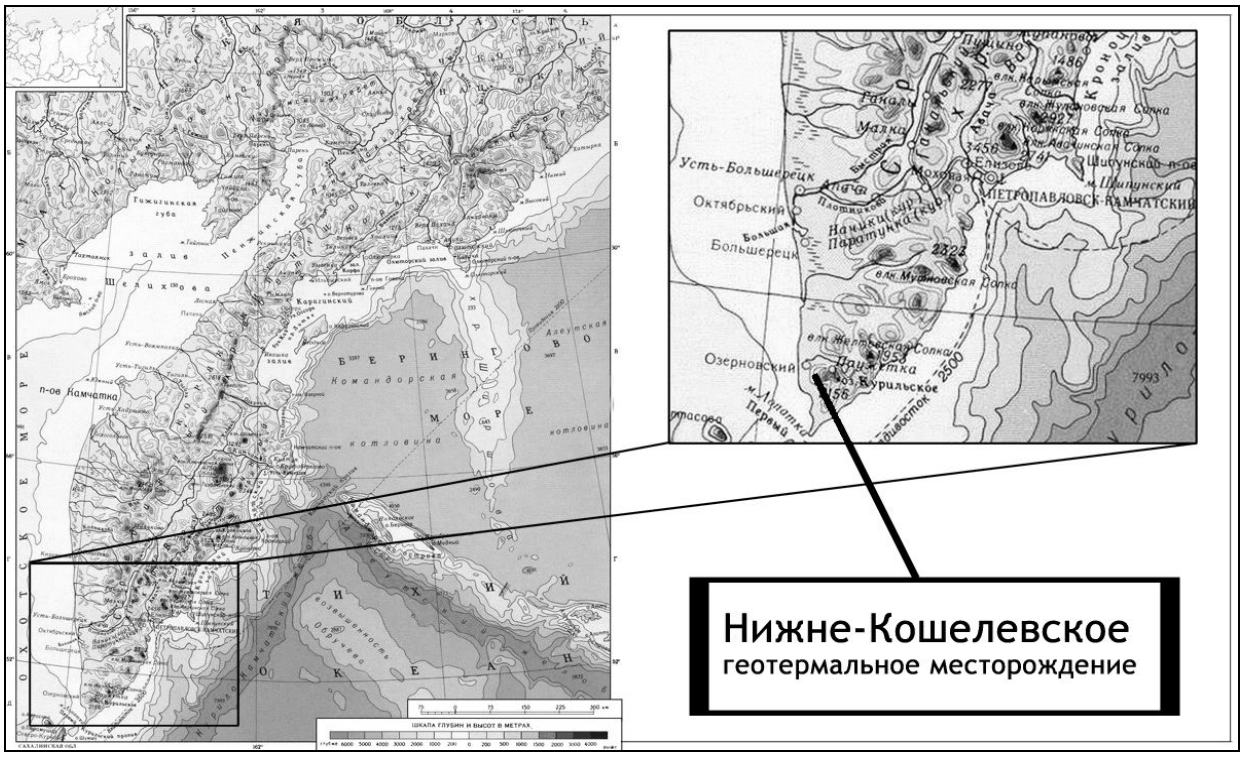


Рис. 1. Схема расположения объекта исследования [15].

С 2008 г. в районе Нижне-Кошелевского геотермального месторождения были проведены геофизические работы различными методами (гравиметрия, магнитометрия, микросейсмические зондирования) [1, 2, 3, 8], т.к. выполненные в 1960-80-х годах исследования не смогли ответить на многие вопросы: об источнике теплового питания, структуре восходящих потоков парогидротерм, строении зоны кипения перегретого пара, и др.

Целью работы является уточнение геологического строения центральной части Нижне-Кошелевского геотермального месторождения, определение структуры и природы Нижне-Кошелевского Нового термального поля и других термоаномалий на данной территории методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ).

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Нижне-Кошелевское пародоминирующее геотермальное месторождение расположено на западном склоне Кошелевского вулканического массива - скалистого хребта, вытянутого в широтном направлении (рис. 2).

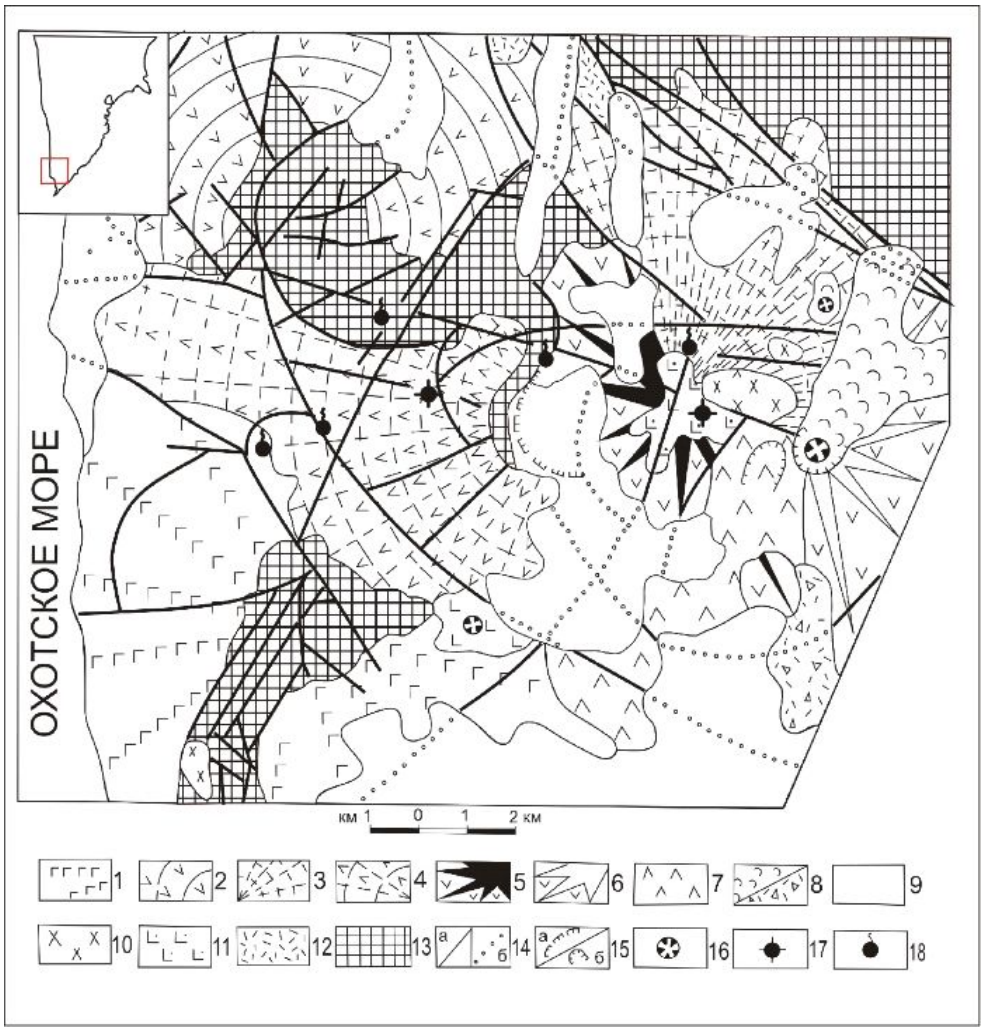


Рис. 2. Схематическая карта геологического строения и термопроявлений Кошелевского вулканического массива [4]. На врезке показан район работ: 1, 2 – эффузивные и пирокластические образования нижнечетвертичных вулканов: 1 – вулкан Дед и Баба ($\alpha\beta Q_I$); 2 – вулкан Третья Речка ($\alpha\beta Q_{II}$); 3-8 – эффузивные и пирокластические образования Кошелевского вулканического массива: 3 – вулкан Древний (αQ_{II}); 4 – вулкан Западный (αQ^1_{III}); 5 – вулкан 1545 (Валентин) (αQ^2_{III}); 6 – вулкан Восточный (βQ_{III-IV}); 7 – вулкан Центральный ($\alpha\beta Q_{III-IV}$); 8 – образования Активного кратера (Q_{IV}): а – лавовые потоки, б – отложения направленного взрыва; 9 – рыхлые отложения различного генезиса и возраста (Q_{II}-Q_{IV}); 10 – экструзии голоценового возраста; 11 – субвулканические интрузии долеритов (βQ_{III-IV}); 12 – предположительно туфы кислого состава верхнепаужетской подсвиты; 13 – дочетвертичные эффузивы (αN_1-N_2); 14 – разрывные нарушения: а – установленные, б – предполагаемые; 15 – отрицательные структуры: а – кальдеры; б – эрозионные кратеры и воронки взрыва; 16 – эффузивные и экструзивные конусы; 17 – основные термоаномалии: Нижне-Кошелевская – в западной части массива, Верхне-Кошелевская – в центральной; 18 – локальные разгрузки термальных вод.

Массив состоит из полуразрушенных и сросшихся между собой стратовулканов (Древний, Валентин, Западный, Центральный, Восточный), экструзивных куполов и субвулканических тел. Месторождение приурочено к вулкану Западный, сложенному лавами андезитов и андезидацитов; в основании постройки залегают лавы и туфы более основного состава.

По результатам бурения глубоких скважин были оценены прогнозные ресурсы месторождения (до 94 МВт электрической мощности) и выделена зона перегретого пара, распространяющаяся на глубину более 1.5 км [10]. Вершина паровой зоны выходит на дневную поверхность, где происходит разгрузка парогидротерм. Эта часть структуры названа Нижне-Кошелевской т/а [4]. В основании изученного разреза залегает многофазное интрузивно-субвулканическое тело диоритов - диоритовых порфиритов.

Этот интрузивно-субвулканический комплекс перекрывается вулканогенно-осадочной толщей, вероятно, неогенового возраста. Лавы и экструзии среднего (до кислого) состава четвертичного возраста служат верхним водоупором для гидротермальной системы [12]. Более подробное описание Нижне-Кошелевского геотермального месторождения и одноименной т/а приводится в работах [7, 8, 12, др.].

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

Электроразведочные работы проводились методом ВЭЗ с симметричной четырехэлектродной расстановкой Шлюмберже. Разносы питающей линии составили от 5 до 1040 м, а приемной линии от 2 до 50 м. Это позволило изучить геоэлектрические свойства пород на глубину до 300 м. По окончании работ проведены контрольные измерения в 5 % объеме. Средняя относительная погрешность съемки составила 1.6 % [14]. Обработка полученных кривых кажущегося удельного сопротивления производилась в программе IPI2WIN (кафедра геофизики МГУ, А.А. Бобачев, И.Н. Модин, В.А. Шевнин). Принцип обработки полученных кривых сводится к

подбору слоев и параметров сопротивления для них с максимальным совпадением теоретической и практической кривой. Коэффициент корреляции для кривых составил не более 7 %. По результатам обработки данных построены псевдоэлектрический и геоэлектрический разрезы на глубину до 300 м.

АППАРАТУРА

Для проведения работ применялась следующая аппаратура (рис. 3).

Электроразведочный генератор ВП-1000 (ООО «Элгео») предназначен для вырабатывания в нагрузке разнополярных прямоугольных импульсов тока и может работать в двух режимах. В режиме РПИ-1 генератор вырабатывает разнополярные прямоугольные импульсы тока без пауз (режим переменного тока). В режиме РПИ-2 генератором вырабатываются разнополярные прямоугольные импульсы тока с паузами, длительность которых равна длительности импульсов. Генератор позволяет работать на частотах от 4.88 до 0.08 Гц. Допустимый диапазон напряжений на выходе – 50-800 В. Максимальная выходная мощность в импульсе тока 1000 Вт. Прибор оснащен ЖК-дисплеем, управление функциями осуществляется с помощью кнопочного интерфейса. Питание генератора осуществляется от внешнего источника переменного напряжения 220 В, 50 Гц [5]. Для питания использовался *бензиновый генератор Yamaha EF2000iS*.

Многофункциональный электроразведочный измеритель МЭРИ-24 (ООО «Северо-Запад») позволяет проводить работы методами: кажущихся сопротивлений (КС), вызванной поляризации (ВП), частотного зондирования (ЧЗ), электрической томографии (ЭТ), естественных полей (ЕП). Измеритель состоит из двух основных узлов: усилителя постоянного тока с АЦП и формирователем сигнала калибровки, а также блока управления. Аппаратура снабжена графическим жидкокристаллическим индикатором и клавишным модулем управления. Питание осуществляется от блока аккумуляторных батарей с выходным напряжением 10.5 – 14.5 В. Прибор может работать в широком диапазоне частот от 0.15 до 680 Гц. Измеритель

оснащен встроенной памятью данных на 16 Мб. Копирование данных на персональный компьютер осуществляется через USB-порт [6]. Для устройства заземлений питающей линии были использованы стальные электроды. В приемной линии использовались латунные электроды.

Рис. 3. Электроразведочная аппаратура:
1 – генератор ВП-1000, 2 – измеритель МЭРИ-24.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На Нижне-Кошелевском геотермальном месторождении в 2013-2014 гг. выполнены зондирования в 30 точках. Пикеты располагались по двум профилям, простирающимся с Севера на Юг и с Запада на Восток, которые пересекаются на периферии Нижне-Кошелевского Нового термального поля. Шаг между пунктами измерений составлял 100 м, со сгущением в районе геотермальных разгрузок до 40 м (рис. 4), что повысило детальность исследований.

Профиль С-Ю проходит через центр Нижне-Кошелевской т/а и Нижне-Кошелевского Нового термального поля (рис. 5).

На геоэлектрическом разрезе по профилю в верхней части наблюдается высокоомный горизонт с удельным сопротивлением (у.с.) от 400 до первых тысяч Ом*м, по всей видимости, являющийся верхним водоупором. Этот горизонт имеет мощность от 5 – 10 м в северной части профиля до 35 – 37 м в южной части с выклиниванием на поверхность в районе термоаномалий. На глубине от первых метров под разгрузками термаль-

ных вод с погружением к периферии профиля до 10, 35 м прослеживается низкоомный горизонт (у.с. 120 – 10 Ом*м), предположительно, пароводонасыщенный.

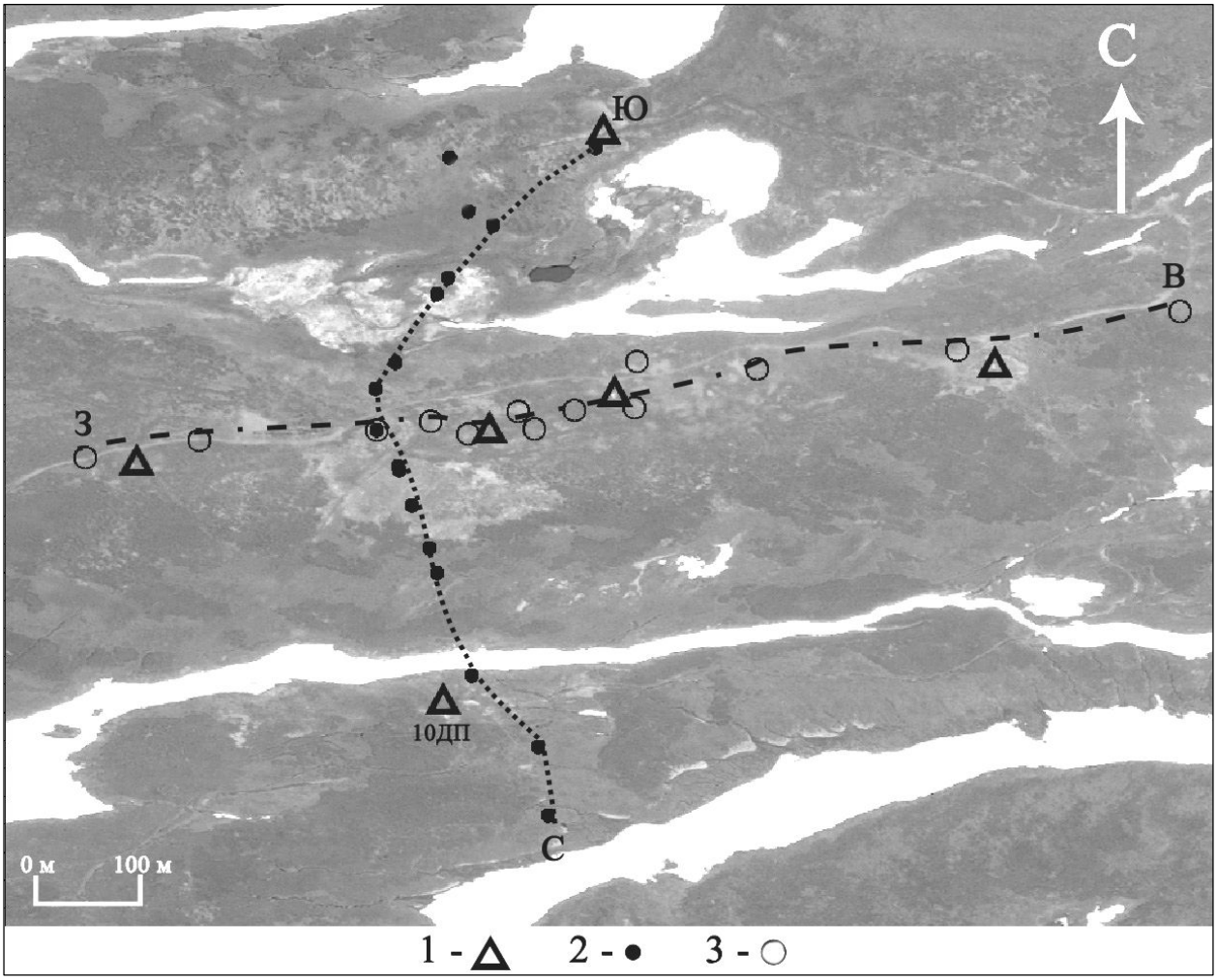


Рис. 4. Схема точек и профилей ВЭЗ: 1 – местоположение скважин, 2 – профиль ВЭЗ в направлении С-Ю, 3 – профиль ВЭЗ в направлении З-В [16].

Под обеими термоаномалиями имеется общий горизонт с низкими сопротивлениями до 10 Ом*м. Это свидетельствует о том, что они связаны на глубине одним источником теплового питания. Под Нижне-Кошелевским Новым термальным полем на глубине около 10 м выделяется область пород с у.с. до 500 Ом*м и мощностью 10 – 15 м.

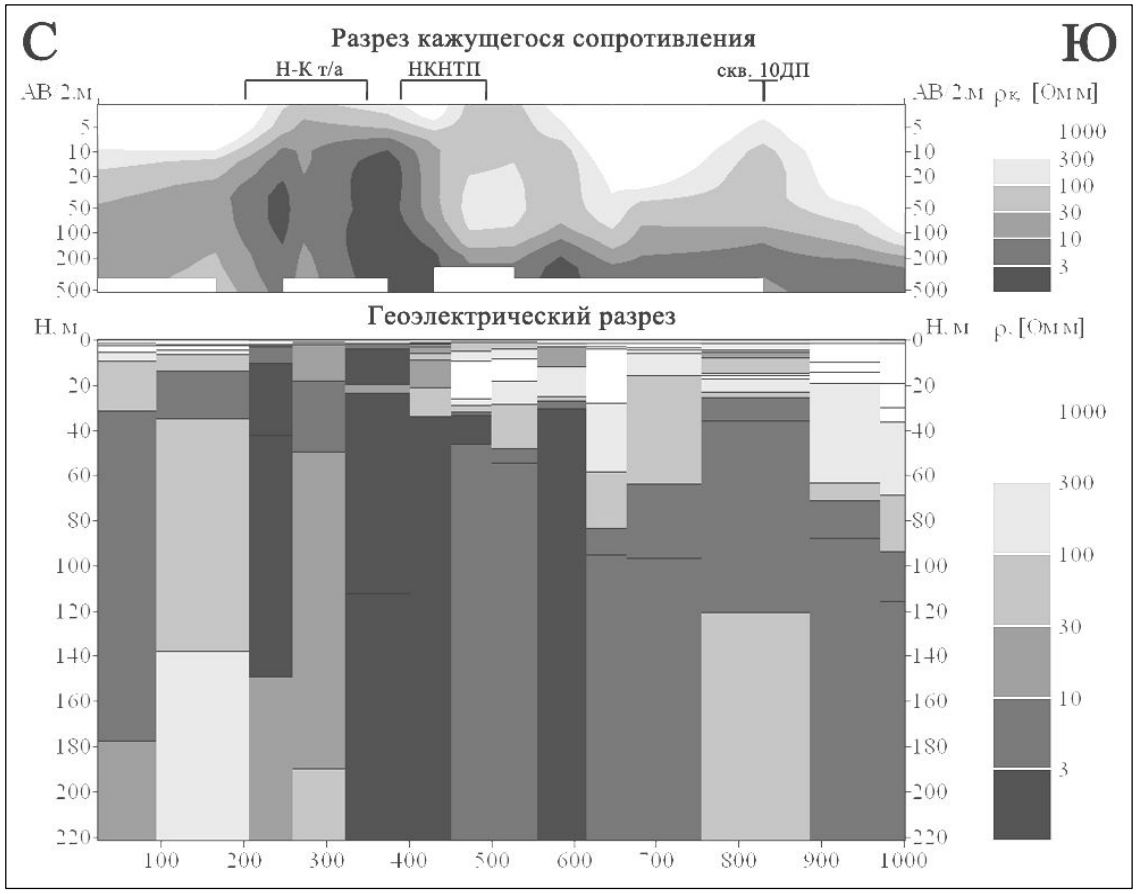


Рис. 5. Разрез кажущегося сопротивления и геоэлектрический разрез по профилю С-Ю.

Области пониженных сопротивлений (до 5 Ом*м, показаны на рис. 5 черным цветом) выделяются непосредственно под разгрузками парогидротерм и уходят на глубину более 200 м.

В южной части профиля, возле скважины 10ДП наблюдается низкоомная линза с сопротивлением от 120 до 20 Ом*м, залегающая на глубине 2 – 3 м. Её мощность составляет до 15 м. Ниже выделяется высокоомный прослой пород мощностью 2 – 3 м с сопротивлением 400 Ом*м. Вероятно, это связано с нарушением обсадки парящей скважины и попадания геотермального раствора в межпластовое пространство. Ниже, по руслу руч. Прямой имеются карбонатные плащи, происхождение которых возможно связано с этим нарушением.

Профиль Запад-Восток проходит между Нижне-Кошелевской т/а и Нижне-Кошелевским Новым термальным полем по периферии последнего (рис. 6).

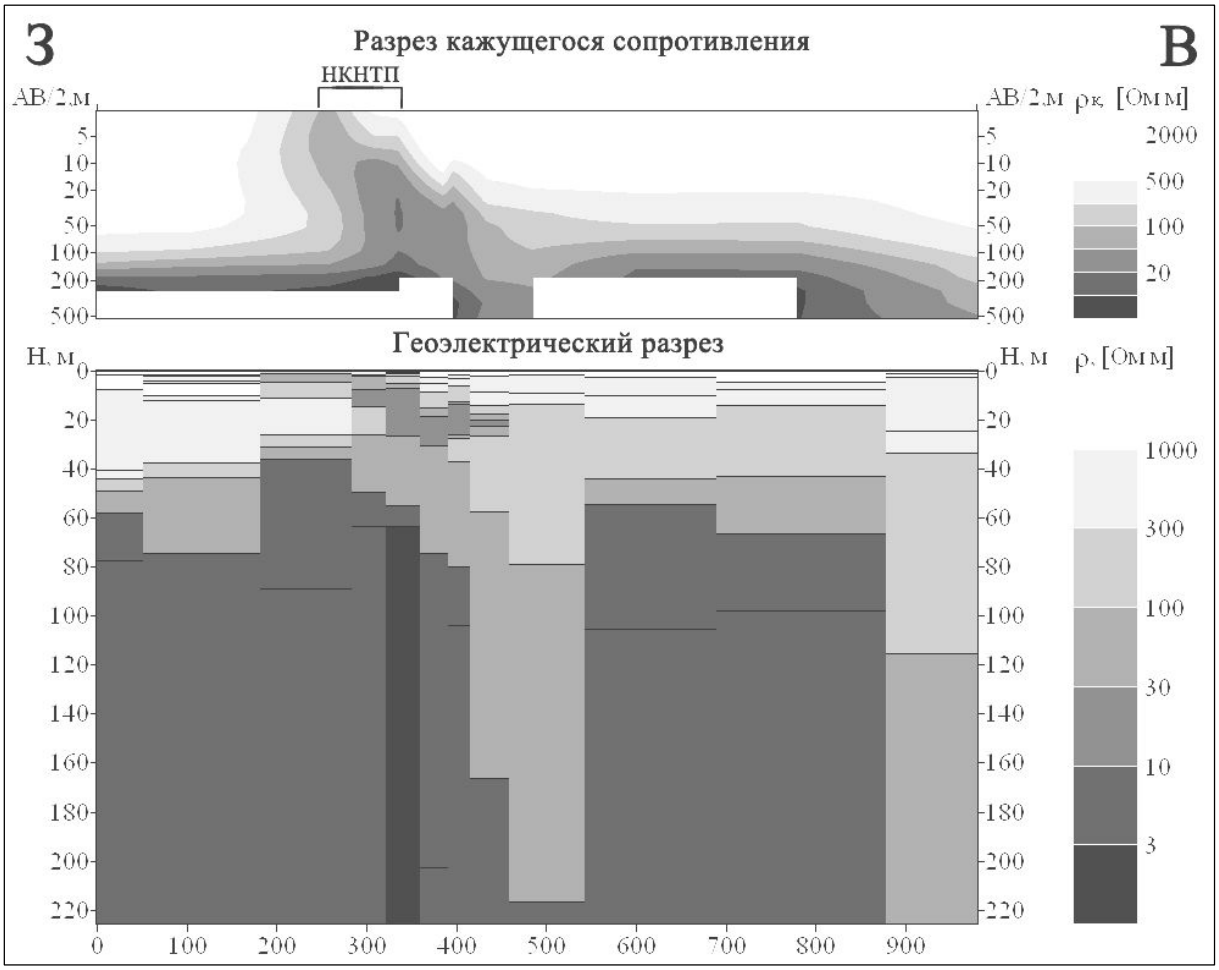


Рис. 6. Разрез кажущегося сопротивления и геоэлектрический разрез по профилю З-В.

Верхняя часть разреза представлена высокоомной толщей с у.с. от 500 до 2000 Ом*м. Мощность этой толщи в западной части профиля составляет 40 м, далее выклинивается к поверхности в районе Нижне-Кошелевского Нового термального поля, в окончании профиля составляет 35 м. Глубже залегает горизонт пород с удельным сопротивлением 120 – 10 Ом*м, который подходит к поверхности в районе термоаномалии.

Под Нижне-Кошелевским Новым термальным полем выделяется вытянутая до 150 м в длину низкоомная линза пород на глубине от 10 до 30 м с сопротивлением около 10 Ом*м, показана темным цветом. Эта зона отделяется от основной проводящей области пород расположенным глубже горизонтом с сопротивлением 40-50 Ом*м. По видимому, в этой низкоомной линзе происходит конденсация и накопление растворов, поступление которых идет по относительно узкому (до 50 м) каналу.

ВЫВОДЫ

На основании вертикального электрического зондирования и сопоставления с результатами, полученными нами ранее [1, 2, 3, 8, 9], уточнена структура зон разгрузки основных термоаномалий на месторождении.

Установлена связь между Нижне-Кошелевской т/а и Нижне-Кошелевским Новым термальным полем: они соединяются общим низкоомным (пароводонасыщенным) горизонтом с сопротивлениями до 10 Ом*м.

На левом борту руч. Прямой обнаружена низкоомная линза пород с сопротивлением 20 Ом*м на глубине около 5 м. Этот горизонт предположительно связан с нарушением обсадки находящейся поблизости скважины 10ДП.

Полученные данные уточняют геологическую структуру Нижне-Кошелевского геотермального месторождения, а также дают представление о природе новообразованного Нижне-Кошелевского Нового термального поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абкадыров И.Ф., Букатов Ю.Ю., Нуждаев И.А., Рылов Е.С., Феофилактов С.О.* Результаты высокоточных гравиметрических исследований на Верхне-Паужетском термальном поле. // Природная среда Камчатки // Материалы X региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». 12–13 апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. 2011. С. 51–60.
2. *Абкадыров И.Ф.*, *Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Букатов Ю.Ю.* Опыт применения метода микросейсмического зондирования на геотермальных полях на примере Нижне-Кошелевской термоаномалии (Южная камчатка) // Природная среда Камчатки. Материалы IX региональной молодежной конференции «Природная среда Камчатки». 12-13 апреля 2010 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010. С. 49-60.
3. *Абкадыров И.Ф., Букатов Ю.Ю.* Результаты высокоточных гравиметрических исследований на Нижне-Кошелевской термоаномалии // Природная среда Камчатки // Материалы IX региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». 12–13 апреля 2010г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. 2010. С. 71–80.

4. *Вакин Е.А., Декусар З.Б., Сережников А.И., Спиченкова М.В.* Гидротермы Кошелевского вулканического массива // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 58-84.

5. Генератор ВП-1000. Руководство по эксплуатации. // С.-Петербург, 2010 г, 8 с.

6. Инструкция по эксплуатации измерителя «МЭРИ-24» // Москва, 2010 г, 24 с.

7. *Нуждаев А.А.* Новые результаты изучения Верхне- и Нижне-Кошелевской термоаномалий // Материалы VI региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле» 26-27 ноября 2008 г. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2008. С. 43-49.

8. *Нуждаев И.А.*, Феофилактов С.О. Современное состояние изученности строения центральной части Нижне-Кошелевского геотермального месторождения и результаты магнитной съемки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2013. № 2. Выпуск 22. С 231-241.

9. *Нуждаев И.А., Феофилактов С.О.* Особенности глубинного строения Нижне-Кошелевского геотермального месторождения на основе сопоставления данных микросейсмического зондирования и гравиметрии.// Природная среда Камчатки // Материалы X региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». 12–13 апреля 2011г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. 2011. С. 119–130.

10. *Писарева М.В.* Зона природного пара Нижне-Кошелевского геотермального месторождения // Вулканология и сейсмология. 1987. № 2. С. 52-63.

11. *Поздеев А.И., Нажалова И.Н.* Геология, гидродинамика и нефтегазоносность Кошелевского месторождения парогидротерм, Камчатка // Вулканология и сейсмология. 2008. № 3. С. 32-45.

12. *Рычагов С.Н., Давлетбаев Р.Г., Ковина О.В., Королева Г.П.* Характеристика приповерхностного горизонта гидротермальных глин Нижне-Кошелевского и Паужетского геотермальных месторождений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Вып. № 12. С. 116–134.

13. *Рычагов С.Н.* Исследования Южнокамчатско-Курильской экспедиции ИВиС ДВО РАН в Паужетско-Камбально-Кошелевском геотермальном районе на Камчатке // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Вып. № 12. С. 203-206.

14. *Хмелевской В.К.* Основной курс электроразведки // Издательство Московского университета. 1970. Часть 1. 241 с.

15. *www.infokart.ru/karta-kamchatskogo-kraya/*

16. *www.kosmosnimki.ru*

SPECIFICATION OF GEOLOGICAL STRUCTURE OF NIZHNE-KOSHELEVSKY GEOTHERMAL DEPOSIT (SOUTH KAMCHATKA) BY VES METHOD

Denisov D.K., Feofilaktov S.O., Nuzhdaev I.A.

The results of electrical exploration works in the area of Nizhne-Koshelevsky geothermal deposits which considerably supplement information published by us in 2013 are presented. One-dimensional simulation of curve sounding in the program complex IPI2WIN on the profiles crossing the main thermoanomalies (t/a) of the central part of a deposit is carried out. Based on the received vertical resistivity profiles, in a complex with the available geologic-geophysical data the structure of zones of unloading of geothermal solutions of Nizhne-Koshelevsky t/a, Nizhne-Koshelevsky New thermal field and estimated technogenic anomaly is defined.

Key words: *vapor-dominant geothermal deposit, vertical electric sounding (VES), apparent resistance, vertical resistivity profile, thermal field, thermoanomaly*.

УДК 550.837.76

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ В РАЙОНЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «КАРЫМШИНА» МЕТОДАМИ МАЛОГЛУБИННОЙ ГЕОФИЗИКИ

Рылов Е.С. [1,2]***, Кравченко Д.С.*** [1]

[1] *Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*
[2] *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

Научный руководитель: д.г.-м.н. Н.И. Селиверстов

В сентябре 2014 года выполнен комплекс геофизических исследований на территории комплексной геофизической обсеватории «Карымшина». Комплекс выполненных исследований включал в себя: электроразведочные работы методами вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и естественного поля (ЕП), сейсморазведочные работы, которые выполнялись по методу преломленных волн МПВ.
В результате проведенных исследований были построены геофизические разрезы с привязкой к результатам бурения. Полученный результат дает хорошее представление о строении верхней части разреза КГО «Карымшина» и дана гидрогеологическая оценка залегания подземных вод.

Ключевые слова: комплексные геофизические исследования, геотермальная система, сейсморазведка, электроразведка.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение строения Карымшинского геодинамического полигона представляет особый интерес для понимания вопросов геодинамики и сейсмичности Камчатки, т.к. на его территории расположена обсерватория «Карымшина» (рис. 1) Камчатского филиала геофизической службы РАН (КФ ГС РАН), где проводятся непрерывные наблюдения вариаций электромагнитного поля в диапазоне частот 0.01 - 40 Гц, электротеллурических токов в двух взаимно перпендикулярных направлениях (7 каналов), акустической эмиссии в скважине (Н = 30 м), трехкомпонентного сейсмического сигнала в диапазоне частот 0.5 - 30 Гц, а также метеопараметров (давление, температура, ветер, осад-

ки, влажность), мониторинг химического состава газов в скважинах и изучение других параметров [1,3,4].

Рассматриваемый район относится к юго-восточной окраине внутренней вулканической дуги полуострова, представляющей собой сложно построенный Южно-Камчатский антиклинорий. КГО «Карымшина» расположена на высоте около 100 м. над уровнем моря, в нижнем течении реки Карымшина, в пределах грабена реки Паратунки [1,5].

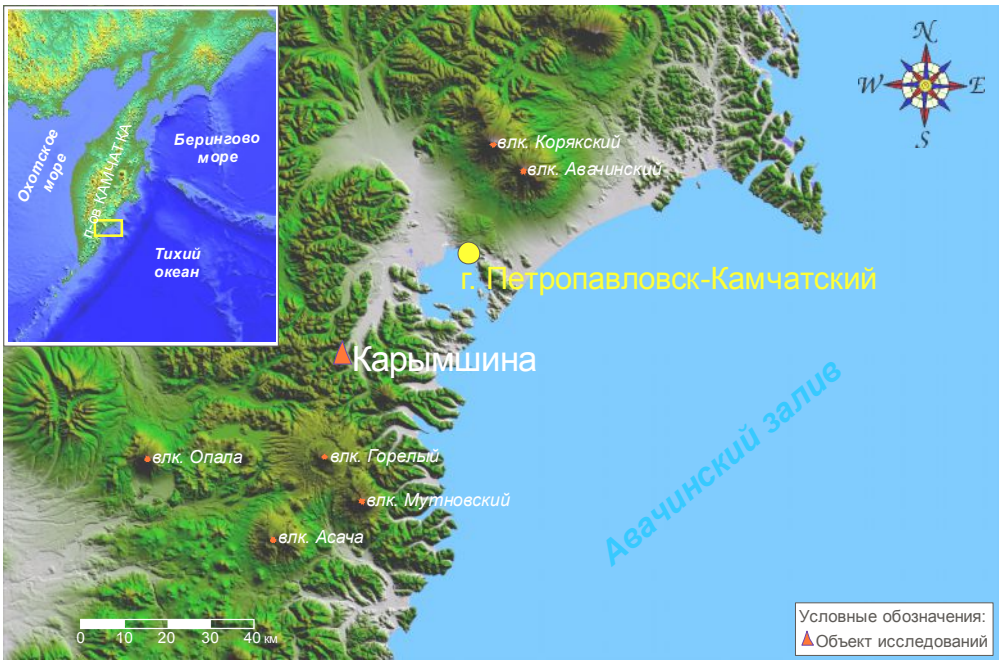


Рис. 1. Карта-схема расположения объекта наблюдений

Долина реки представляет собой сложно построенный грабен, образованный вертикальными блоковыми перемещениями пород кристаллического фундамента в раннечетвертичное время. Ложе долины заполнено толщей четвертичных отложений, их мощность в районе обсерватории – около 90 м (по данным буровых работ). Дно и борта долины сложены в различной степени дислоцированными вулканогенно-осадочными, эффузивными и интрузивными породами неогенового и четвертичного возраста. Породы, слагающие опущенный блок Паратунского грабена, на участках трещинных зон являются коллекторами напорных термальных вод Верхнепаратунского участка Пара-

тунского гидротермального месторождения, для которого характерен трещинно-жильный тип циркуляции [1,5].

Осенью 2014 г. в районе обсерватории «Карымшина» были проведены геофизические исследования:

- сейсморазведочные исследования методом преломленных волн;
- электроразведочные исследования методами вертикального электрического зондирования и естественного поля.

Работы проводились с целью решения следующих задач:

- получение сведений о строении верхней части разреза;
- определение скоростных характеристик горных пород;
- уточнение гидрогеологических условий.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Сейсмические наблюдения выполнены с помощью телеметрической сейсмической станции «ТЕЛСС-3» (ООО «ГЕОСИГНАЛ») (рис. 4). Сейсмоприемники устанавливались с интервалом 2 м. Пункты возбуждения сейсмических волн располагались на 1, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 52 каналах с выносами на 1/4 длины расстановки сейсмоприемников (рис. 2). На изучаемой площадке применялся вариант продольного профилирования в модификации КМПВ с регистрацией zz- (вертикальной) компоненты сейсмического поля по системе встречных и нагоняющих годографов для продольных волн, а также вариант на преломленных волнах с регистрацией yy- (горизонтальной) компоненты [2].

Материалы сейсморазведочных наблюдений обрабатывались с помощью программного обеспечения ZondST2D (разработчик А. Каминский). Были построены системы годографов и, с помощью модулей «Сейсмотомография», «Слоистая среда» и «MASW» были построены скоростные разрезы.

Параллельно проводилась ручная обработка данных методом КМПВ, результаты представлялись в виде сейсмических разрезов.

Рис. 2. Схема расположения сейсморазведочного профиля и точек ВЭЗ.

В модуле MASW на каждую полученную сейсмограмму строится дисперсионное изображение (рис. 3). Дисперсионная кривая извлекается из изображения путем пикировки фундаментальной и высшей моды (если она присутствует на дисперсионном изображении) по максимумам амплитуд. Моделирование разреза поперечных скоростей рассчитывается следующим образом: моделируются теоретическая дисперсионная кривая которая максимально приближена к измеренной кривой. Результатом обработки MASW является 1D модель, которая предполагает изменение физических параметров в слоях по вертикали и стабильность параметров по горизонтали.

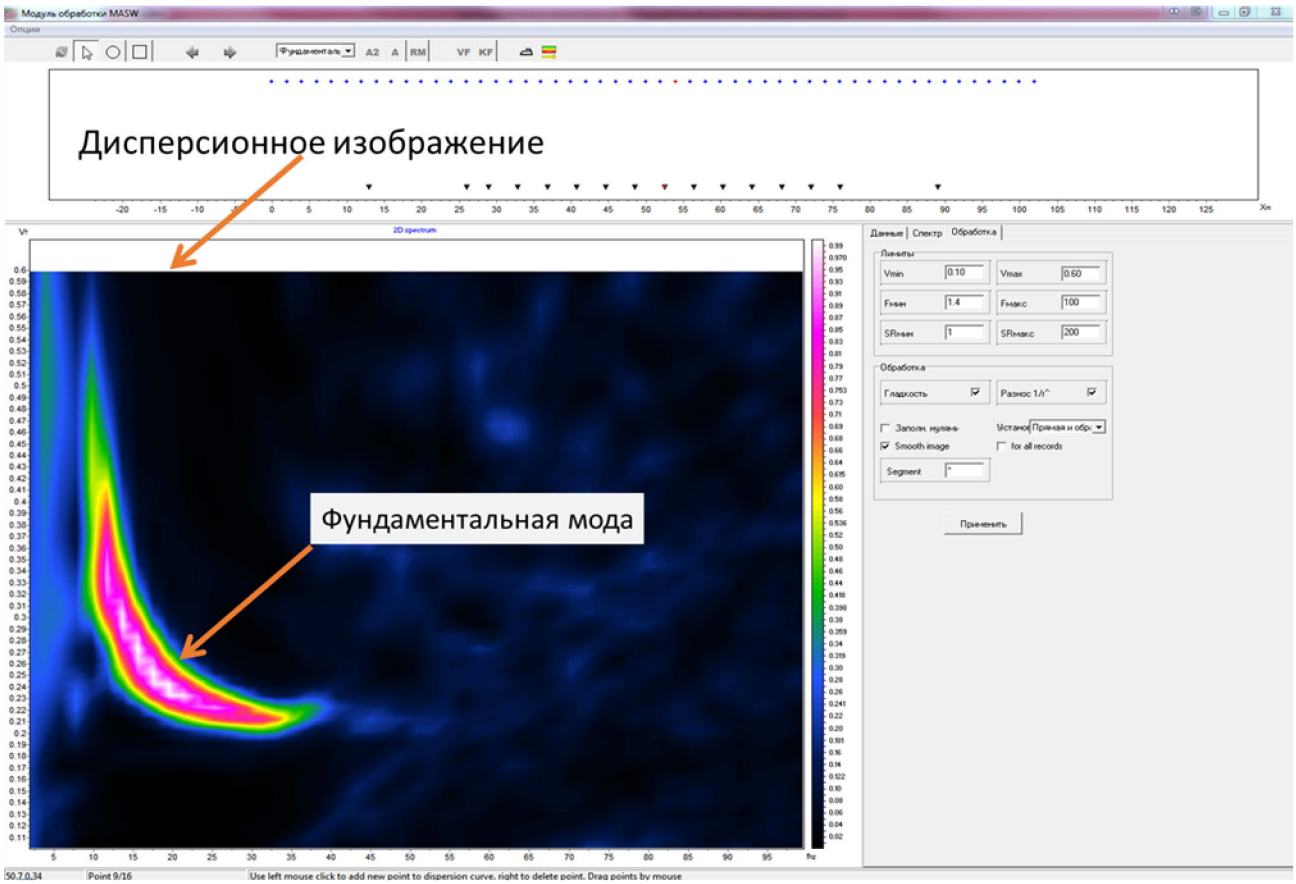


Рис. 3. Рабочее окно модуля «MASW» в программе ZondST2D.

Электроразведочные работы методами ВЭЗ [7], ЕП [2] были отработаны на том же профиле в интервале СП 0-36. В направлении с запада на восток по профилю выполнено 9 зондирований с шагом 10 м (рис. 2). Полуразносы питающей линии AB/2: 3; 4,5; 6; 9;15; 25; 40; 65; 100; 150; 220 м. Длина приемного диполя MN - 2 и 10 м. Измерения выполнялись на квазипостоянном токе (f = 0.6 – 4.88 Гц) комплектом электроразведочной аппаратуры: многофункционального измерителя «Мэри-24» и электроразведочного генератора «АСТРА-100» (ООО «Северо-Запад») (рис. 4). Результаты измерений фиксировались в полевом журнале в виде зависимостей AB/2(ρ_k). Для измерения ЕП использовались мультиметр M890G и неполяризующиеся электроды. Результаты ВЭЗ обрабатывались в программном модуле IPI2WIN.

Рис. 4. Аппаратурный комплекс «ТЕЛСС-3» (слева) и электроразведочный генератор «Астра-100» с измерителем «МЭРИ-24» (справа).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По результатам работ методами сейсморазведки и электроразведки на профиле построены сейсмотомографические (рис. 5) и сейсмические разрезы по продольным (рис. 6) и поперечным волнам (рис. 7), полученные в результате моделирования по методу MASW, геоэлектрический разрез (рис. 8) и график изменения ΔU (рис. 9).

Сейсмические разрезы демонстрируют геометрию границ и скоростные параметры грунтовых толщ.

При анализе сейсмотомографического разреза, построенного по продольным волнам, (рис. 5) видно, что значение скорости сейсмических волн возрастает с глубиной. На фоне слоистого разреза отмечаются участки повышенных значений скорости в приповерхностной части и неравномерное распределение скорости в нижней части разреза. По сейсмическому разрезу (рис. 6) от поверхности до глубины 12 метров наблюдается аналогичная картина: при наклонном залегании сейсмических границ сохраняется их слоистость. Скорость продольной волны на данном участке возрастает от 380 м/с до 2000 м/с.

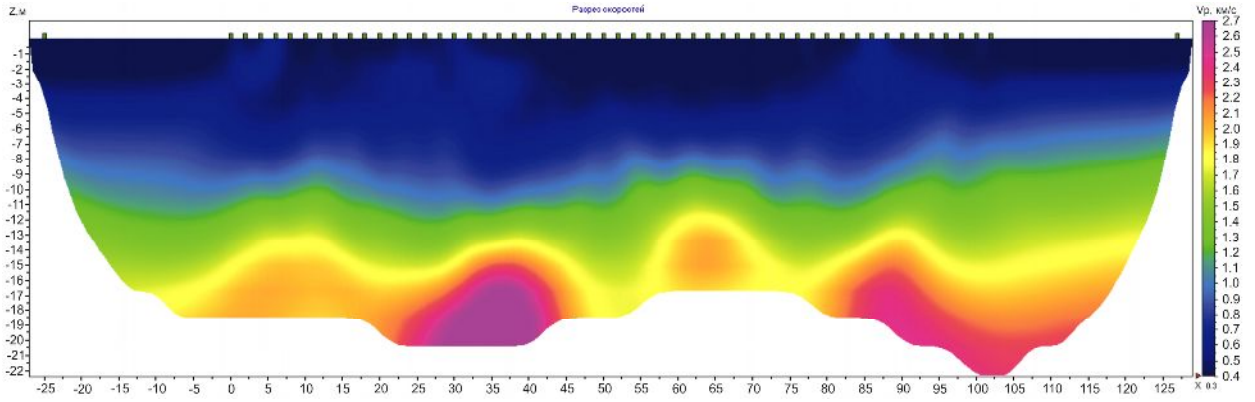


Рис. 5. Сейсмотомографический разрез по продольным волнам, полученный в результате моделирования.

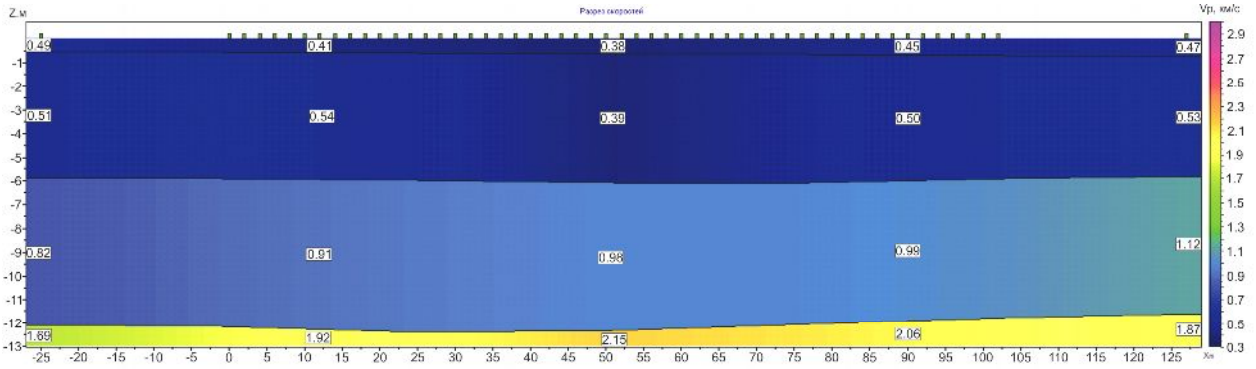


Рис. 6. Слоистая модель по продольным волнам.

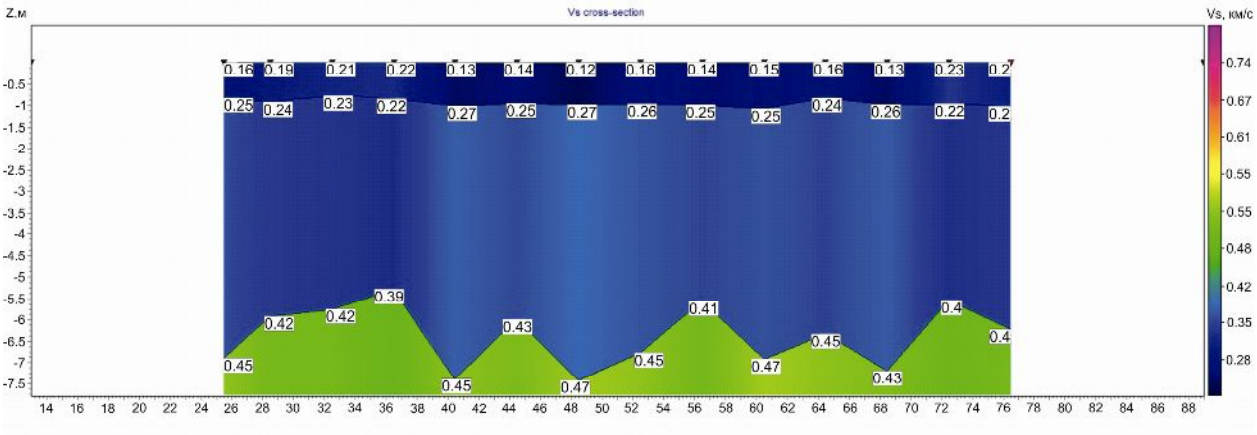


Рис. 7. Скоростное распределение поперечных волн, полученное в результате моделирования по методу MASW

Характер распределения геоэлектрических параметров по данным ВЭЗ (рис. 8) свидетельствует о существовании достаточно сложной системы водообмена в интервале глубин, проявленных на сейсмическом разрезе. При том,

что здесь отсутствует упорядоченная стратификация, особенности распределения потенциала ЕП (рис. 9) свидетельствуют в пользу этого феномена. Скорее всего, это следствие сезонного фактора: область питания водонасыщенных структур существенно обеднена и гальванические связи обеспечены, в основном, инфильтратами. В пользу такой трактовки могут свидетельствовать и повышенные значения электропроводных зон. Как правило, для Камчатки удельные сопротивления для пресных вод имеют значения от 60-70 Омм и выше, для минерализованных термальных вод – менее 20 – 30 Омм.

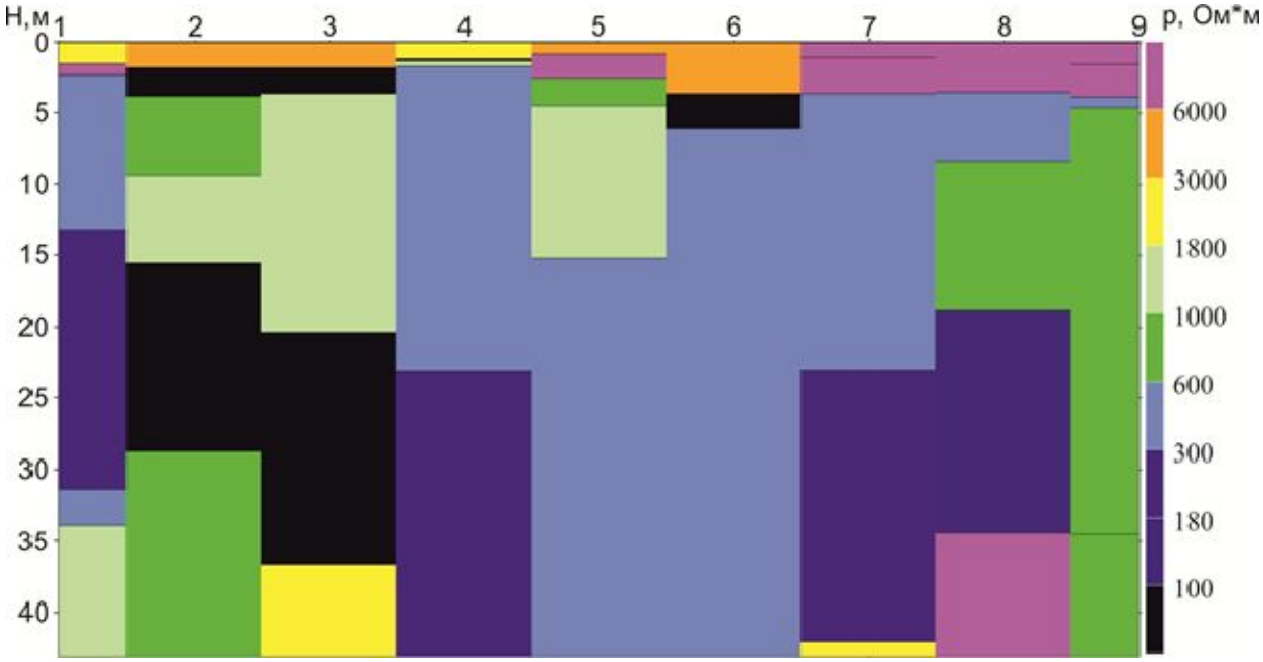


Рис. 8. Вертикальный разрез удельных сопротивлений.

По полученным сейсмическим разрезам, для каждого пикета профиля были рассчитаны физико-механические свойства грунтов: плотность (ρ), коэффициенты затухания (Qp и Qs), модуль динамической упругости (Ед) и коэффициент Пуассона (μ). Результаты сведены в результирующую таблицу 1.

Рис. 9. График распределения потенциала естественного электрического поля.

Таблица 1. Физико-механические свойств грунтов по профилю.

Пикеты	Vp, м/с	Vs, м/с	ρ, кг/м3	Δh м	H, м кровля	Qp, б/р	Qs, б/р	Ед, Гпа	μ, б/р
0	410	160	1904	0.65	-	0.39	1.00	0.9027	0.4102
	540	250	1949	5.35	0.65	0.29	0.64	1.5502	0.3636
	910	450	2054	-	6	0.17	0.35	4.5529	0.3382
25	410	160	1904	0.65	-	0.39	1.00	0.9027	0.4102
	540	250	1949	5.35	0.65	0.29	0.64	1.5502	0.3636
	910	450	2054	-	6	0.17	0.35	4.5529	0.3382
50	380	120	1893	0.65	-	0.42	1.33	0.7896	0.4446
	390	270	1896	5.35	0.65	0.41	0.59	0.5998	0.0398
	980	470	2072	-	6	0.16	0.34	5.3743	0.3506
75	450	230	1919	0.65	-	0.35	0.69	1.0282	0.3232
	500	220	1936	5.35	0.65	0.32	0.72	1.3358	0.3800
	990	400	2074	-	6	0.16	0.40	5.7016	0.4025
100	470	200	1926	0.65	-	0.34	0.80	1.1821	0.3894
	530	230	1946	5.35	0.65	0.30	0.69	1.5131	0.3840
	1120	400	2104	-	6	0.14	0.40	7.5332	0.4269

Примечание: Vp и Vs – скорости, соответственно, продольных и поперечных сейсмических волн в метрах в секунду (м/с); ρ – плотность грунтов в кг/м3, рассчитанная по скоростям продольных волн; Δh – мощность индивидуального слоя сверху в метрах; H – глубина залегания кровли нижележащего слоя в метрах; Qp, Qs – декремент затухания, соответственно, продольных и поперечных волн; Ед (ГПа) – модуль упругости динамический; μ – коэффициент Пуассона.

ВЫВОДЫ

1. По результатам полевых работ 2014 года построены сейсмотомографические и сейсмические разрезы по продольным и поперечным волнам, геоэлектрический разрез и график изменения $U_{ЕП}$.

2. Результаты интерпретации сейсморазведочных данных показали, что коренной массив перекрыт чехлом пролювиальных и аллювиально-пролювиальных отложений, представленных, согласно данным по бурению (скв. 3454), щебнистыми, дресвяными и галечниковыми грунтами, вследствие чего скоростной градиент выражен слабее. Отмечаются участки повышенных значений скорости в приповерхностной части и неравномерное распределение скорости в нижней части разреза.

3. На участке выявлена достаточно сложная система водообмена, особенности которой проявлены во всех исследованных геофизических полях.

4. На основании полученных результатов планируется проведение мониторинга территории в летний период в виде ежемесячных исследований с целью изучения динамики изменения УГВ.

Авторы благодарят КФ ГС РАН за предоставленные данные по геологии, возможность проведения работы, за консультацию и помощь в работе. Так же авторы благодарны С.О. Феофилактову за помощь и участие в проведении геофизических исследований, и Камчатскому государственному университету имени Витуса Беринга за предоставленную аппаратуру.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Боганик Г.Н., Гурвич И.И.* Сейсморазведка. Издание: Издательство АИС, Тверь, 2006 г., 744 стр.
2. *Делемень И.Ф., Мельников Д.В.* Трехмерная структурно-геологическая и геоморфологическая модель полигона геофизических наблюдений КФ ГС РАН «Карымшина – Верхняя Паратунка»// Проблемы комплексного геофизического миниторинга Дальнего Востока России. Первая региональная научно-техническая конференция. 11-17 ноября 2007, Петропавловск-Камчатский. Тезисы докладов. Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2007. С. 13.
3. *Маништейн А.К.* Малоглубинная геофизика. Уч. пособие. НГУ, Новосибирск. 2002. 135 с.
4. *Мельникова А.В., Рылов Е.С.* Комплексные геофизические исследования локальных термальных объектов Юго-Восточной Камчатки// XIII Уральская молодежная школа по геофизике. Сборник докладов. – Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2012г. С. 134-136.
5. *Мельникова А.В., Шульженкова В.Н., Берсенева Н.Ю., Рылов Е.С.* Комплексные геофизические исследования в районе скважины ГК-5 (Карымшинская геотермальная система) // Материалы IX региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле». 2011г. С. 185–200.
6. *Салтыков В.А., Чебров В.Н., Синицын В.И., Касахара М., Кугаенко Ю.А.* Сеть пунктов регистрации высокочастотных сейсмических шумов. Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. К 25-летию Камчатской опытно-методической сейсмологической партии ГС РАН / Отв. ред. Е.И. Гордеев, В.Н. Чебров. - Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 136-151.
7. *Хмелевской В.К.* Электроразведка. Учебник - М. изд-во МГУ, 1984 г. С ил., 422с.

STUDY HYDROGEOLOGICAL FEATURES IN THE GEOPHYSICAL OBSERVATORY "KARYMSHINA" METHOD SHALLOW GEOPHYSICS

Rilov E.S., Kravchenko D.S.

In September 2014 the complex of geophysical investigations on the territory of the complex geophysical obsevatorii "Karymshina." The complex of the research included: electrical exploration methods of vertical electrical sounding and natural field, seismic surveys, which were carried out by the method of refraction seismic refraction.

The studies were built geophysical sections with reference to the results of drilling. The result gives a good idea of the structure of the upper section of the observatory "Karymshina" and given a hydrogeological assessment of underground waters.

УДК 551.432.7+ 528.74

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАГМЕНТА СКЛАДЧАТОГО СЛОЯ НА ЮЖНОМ СКЛОНЕ ВУЛКАНА МОЛОДОЙ ШИВЕЛУЧ

Шевченко А.В.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга

Научный руководитель: к.г.н. Лопатин Д.В.

В процессе дешифрирования аэрофотоснимков южного подножия Молодого Шивелуча от 17.11.1964 г. был обнаружен слой отложений, морфология которого не согласуется с представлениями о недавней активности вулкана. Складчатая структура поверхности и характерная форма залегания отложений позволяют предположить, что они сформировались в результате вязкопластического течения. Выполнено подробное описание поверхности и формы наиболее крупного фрагмента изучаемого слоя. Посредством фотограмметрического метода построена цифровая модель рельефа (ЦМР) исследуемого фрагмента отложений, получены его морфометрические характеристики. Приведены аргументы против предполагаемой ранее гипотезы формирования складок на поверхности отложений в результате надвига обвальной лавины 1964 г.

Ключевые слова: вулкан Молодой Шивелуч, отложения, складки, дешифрирование аэрофотоснимков, фотограмметрия

ВВЕДЕНИЕ

12.11.1964 г. на вулкане Молодой Шивелуч произошло катастрофическое извержение [1], спустя пять дней после которого 17.11.1964 г. сотрудниками Института вулканологии Л.Б. Дмитриевым и Г.С. Штейнбергом была выполнена аэрофотосъемка части поля отложений. Кроме отложений извержения 1964 г. на материалах этой аэрофотосъемки зафиксированы отложения более ранних событий, представленные двумя слоями: нижний – отложения обвальных лавин, верхний – складчатые отложения, возможно, сформированные вязкопластическим течением [2]. В настоящей работе показаны результаты фотограмметрического исследования самого крупного фрагмента верхнего слоя отложений, выполненного впервые по аэрофотоснимкам Л.Б. Дмитриева и Г.С. Штейнберга.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Аэрофотосъемка от 17.11.1964 г. была выполнена Л.Б. Дмитриевым и Г.С. Штейнбергом с применением аэрофотоаппарата АФА-41/10. Масштаб снимков различен: от 1:400 до 1:25 000.

В результате обработки снимков в цифровой фотограмметрической системе PHOTOMOD 4.3. была построена ЦМР наиболее крупного открытого фрагмента складчатого слоя отложений, подстилающих отложения 1964 г. Координаты опорных и контрольных точек определялись по ориентированной модели этого района, построенной по снимкам от 24.08.1993 г. В качестве опорных точек использовались четкие ориентиры (точно опознанные грани наиболее крупных и стабильных камней). На основе построенной ЦМР определены морфометрические характеристики исследуемого фрагмента отложений. Оценка точности внешнего ориентирования показала, что погрешность в построении модели не превышает 1 м.

МОРФОЛОГИЯ СКЛАДЧАТОГО СЛОЯ

Складчатый слой отложений впервые точно и полностью закартографирован в настоящей работе (рис. 1).

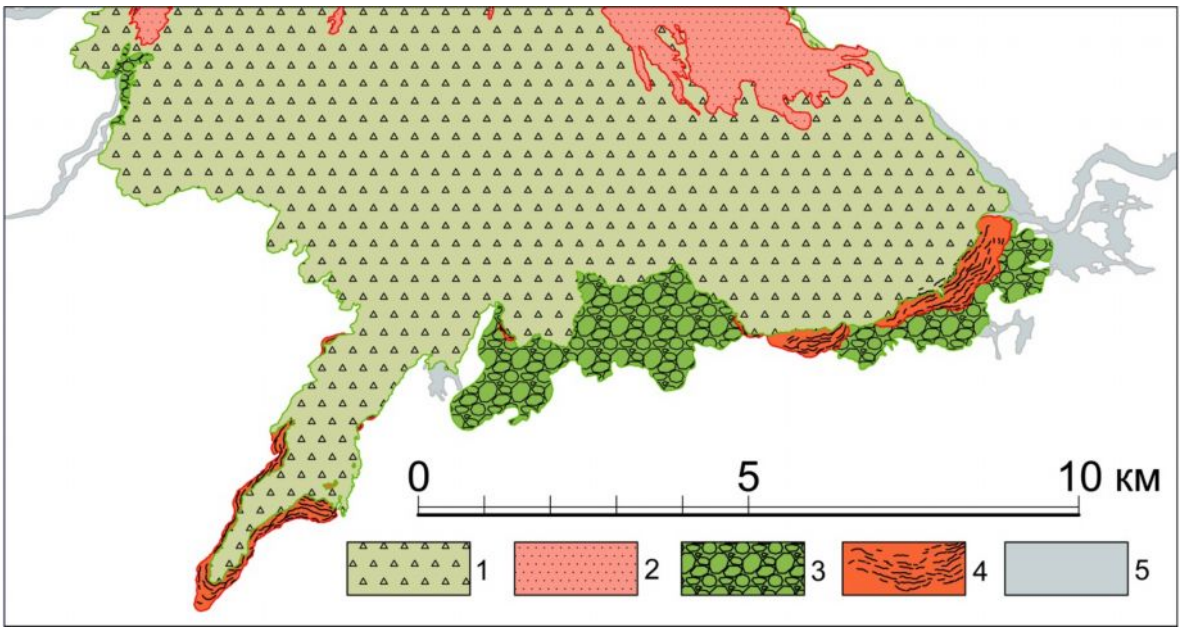


Рис. 1. Фрагмент карты отложений Молодого Шивелуча: 1 – отложения грубообломочных лавин 1964 г.; 2 – отложения пирокластических потоков 1964 г.; 3 – грубообломочные отложения, сформированные до извержения 1964 г.; 4 – складчатые отложения; 5 – отложения лахаров.

Он выступает фрагментами из-под обвальных отложений 1964 г. Два крупных фрагмента с размерами 1,2×0,4 и 2,5×0,6 км расположены в пределах восточного участка нижнего слоя. Третий, наиболее крупный, с размерами 5,5×1,2 км, является основой узкого выступа, протягивающегося к ЮЗ от центральной части поля отложений 1964 г. Границы этого фрагмента четко выражены, мощность по фронту достигает 14 м, на отдельных участках по флангам – 20 м. В центральной части по линии движения выделяется просадка, которая впоследствии была заполнена обвальным материалом извержения 1964 г. По краям заполнения глубина просадки достигает 3 м (рис. 2).

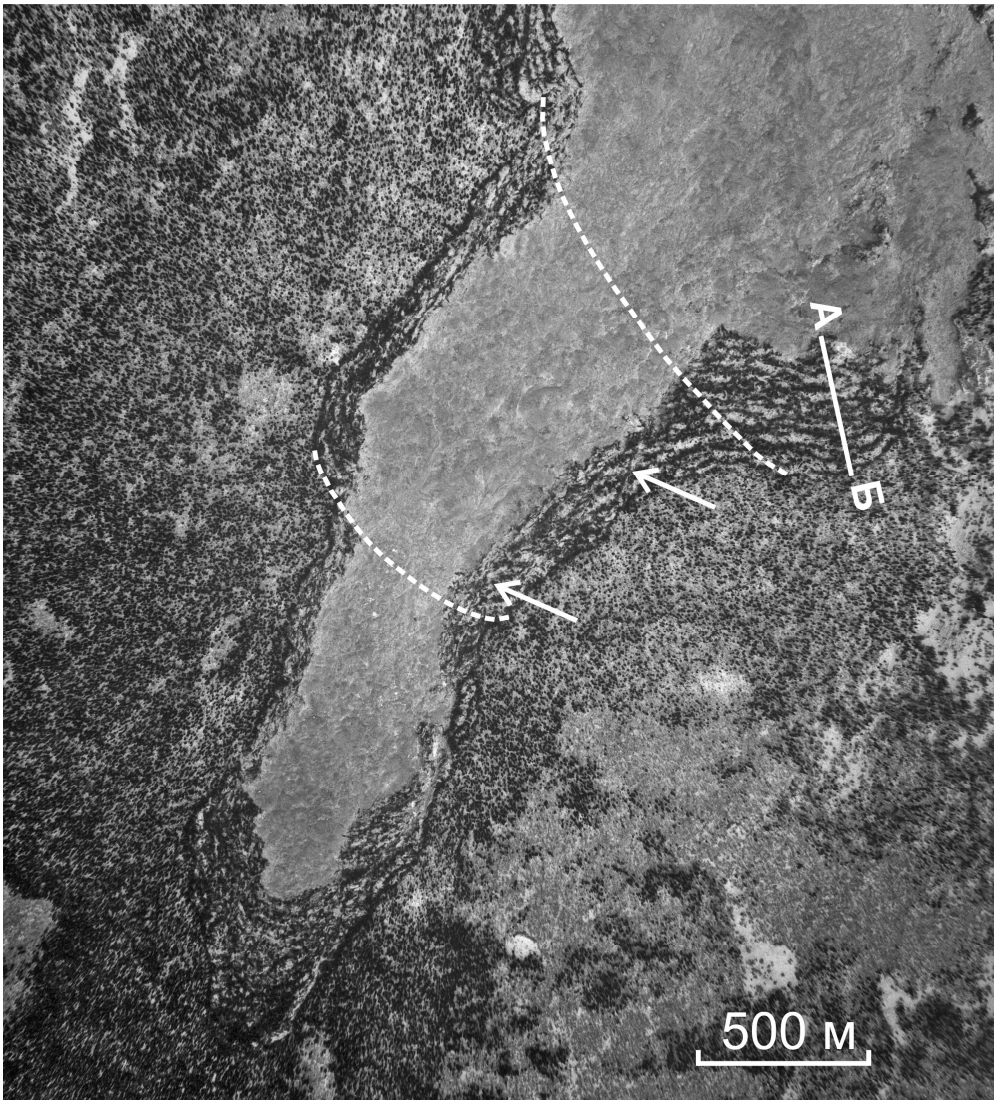


Рис. 2. Юго-западный фрагмент складчатого слоя. Пунктирной линией обведены положения предшествующих фронтов, стрелками обозначены трещины сдвига, А-Б – линия профиля, представленного на рис. 4. Фото Л.Б. Дмитриева и Г.С. Штейнберга, 17.11.1964 г.

Построенная фотограмметрическим методом ЦМР изучаемого фрагмента наглядно отображает его морфологию (рис. 3).

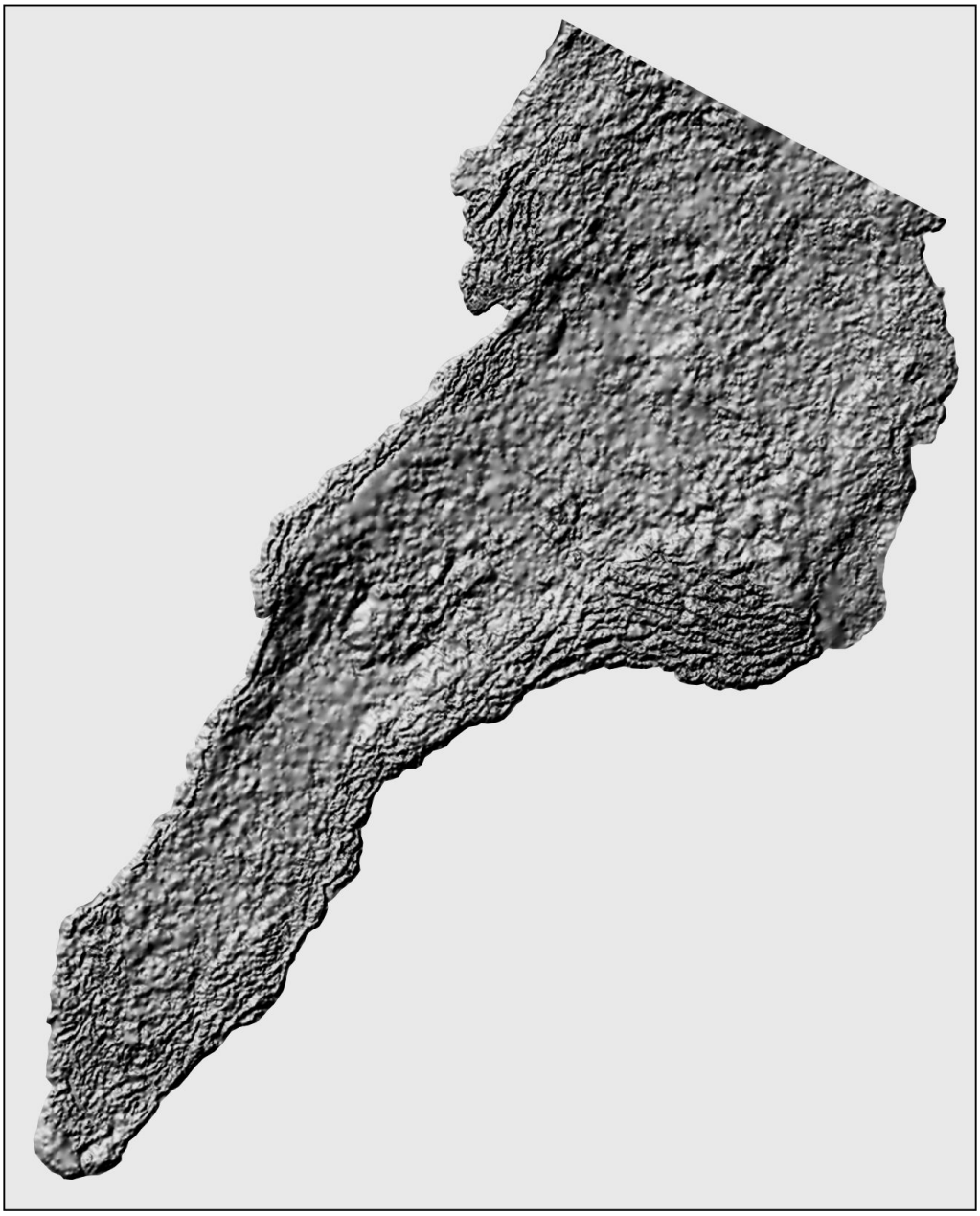


Рис. 3. Визуализация ЦМР исследуемого фрагмента отложений.

Структура поверхности исследуемого слоя отложений резко отличается от структур всех других поверхностей отложений Шивелуча и представляет систему субпараллельных линейных складок, вытянутых преимущественно вдоль фронтальных линий фрагментов этого слоя. На флангах этих фрагментов, особенно на менее пологих участках, складки вытянуты вдоль линии склона в виде бортовых валов. Поперечные размеры складок на исследуемом фрагменте различны: длины волн меняются в

пределах от 11 до 36 м, а высоты – от 2,5 до 11 м. Большая часть складок – прямые: их осевые поверхности вертикальны, а крылья симметричны. Углы складок варьируются в пределах от 69 до 114˚. На основе ЦМР был построен профиль по наиболее протяженному участку складчатого слоя (рис.4).

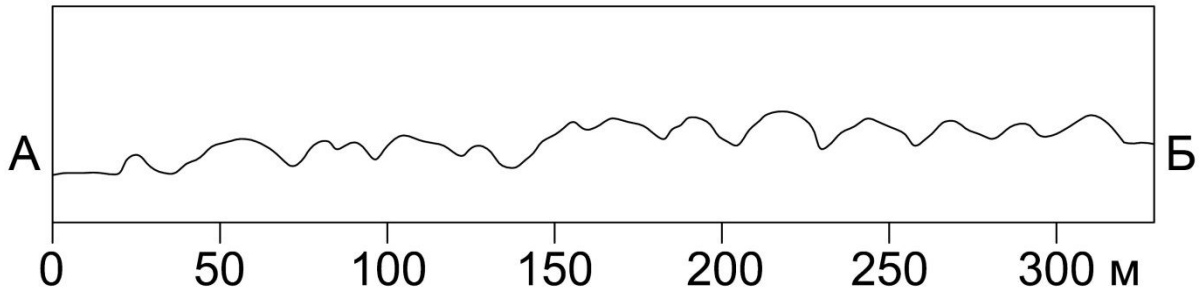


Рис. 4. Профиль складчатого слоя отложений. Положение профиля показано на рис. 2.

Сложная форма залегания исследуемого фрагмента свидетельствует о том, что его формирование происходило в несколько этапов. Сначала его фронт был выше, боковые области вблизи фронта стабилизировались быстрее и начали затвердевать, в то время как центральная часть продолжала постепенно пополняться новым, поступающим из вышерасположенных областей, материалом. Затем фронтальная часть слоя была прорвана, и материал его центральной части спустился далее – вниз по склону. Такая последовательность событий повторилась еще раз, после чего материал окончательно остановился. Предложенный сценарий может также подтверждаться наличием двух трещин сдвига, расположенных на восточном фланге объекта ниже первого фронта (рис. 2). Вероятно, что эти трещины образовались при сдвигании затвердевшей поверхности боковой части вниз по склону под давлением накапливающегося пластичного материала. Произрастающие в этих трещинах деревья указывают на то, что они сформировались задолго до извержения 1964 г.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Ранее предполагалось, что складки на поверхности верхнего слоя являются следствием так называемого "динамического удара" эксплозивно-обвальной лавины 1964 г. [3]. Однако в действительности складки образо-

вались намного раньше 1964 г., так как на аэрофотосъемке от 17.11.1964 г., выполненной через пять дней после извержения, зафиксировано, что в этих складках (местами и на гребнях складок) произрастают деревья высотой около 10 м, стволы которых стоят вертикально и не имеют следов повреждений (рис. 5*а*, 5*б*). Следовательно, извержение 1964 г. не может иметь никакого отношения к происхождению складок.

Также отсутствует корреляция между направлением складок и линией фронта отложений 1964 г. Хорошо видно как складки продолжаются под поверхностью обвальной лавины 1964 г. и заходят под нее практически под прямым углом (рис. 5*б*). Кроме того, "динамический удар" был невозможен по причине очень малой мощности фронта обвальных отложений на этих участках (1-е метры). В то время как на участках, примыкающих к фронту отложений 1964 г. большой мощности (до 15 м), каких либо складок не наблюдается (рис. 5*в*). На рис. 5*г* отчетливо видно, как крупные складки проступают сквозь маломощную поверхность обвальной лавины 1964 г. на удалении от фронта. Трудно представить, чтобы обвальная лавина мощностью до 3 м и средней шириной около 400 м (на исследуемом узком фрагменте), двигающаяся с небольшой скоростью [2], сформировала вдоль своих боковых частей на подстилающей поверхности складчатые участки мощностью до 20 м и шириной до 370 м.

В работе [5] представлены типичные надвиговые складки, которые образовывались на поверхности кратера вулкана Сент-Хеленс при движении экструзивного материала, а также в результате землетрясения 1968 г. на западе Австралии. Такие складки являются лежачими, их осевая поверхность субгоризонтальна. Автор настоящей работы полагает, что в случае ударного воздействия лавины 1964 г. вдоль ее фронта на подстилающей поверхности могли бы образоваться типичные надвиговые складки, но никак не прямые, которые на этой поверхности в действительности присутствуют.

На сновании приведенных фактов мы можем заключить, что не обвальная лавина 1964 г. сформировала эту поверхность, как считалось ранее [3], а наоборот форма залегания обвального материала была обусловлена

рельефом уже существовавшей здесь поверхности, предопределившим движение лавины 1964 г. так, что ее материал продвигался вперед и накапливался в участках локальных понижений, задерживаясь при столкновениях со складками.

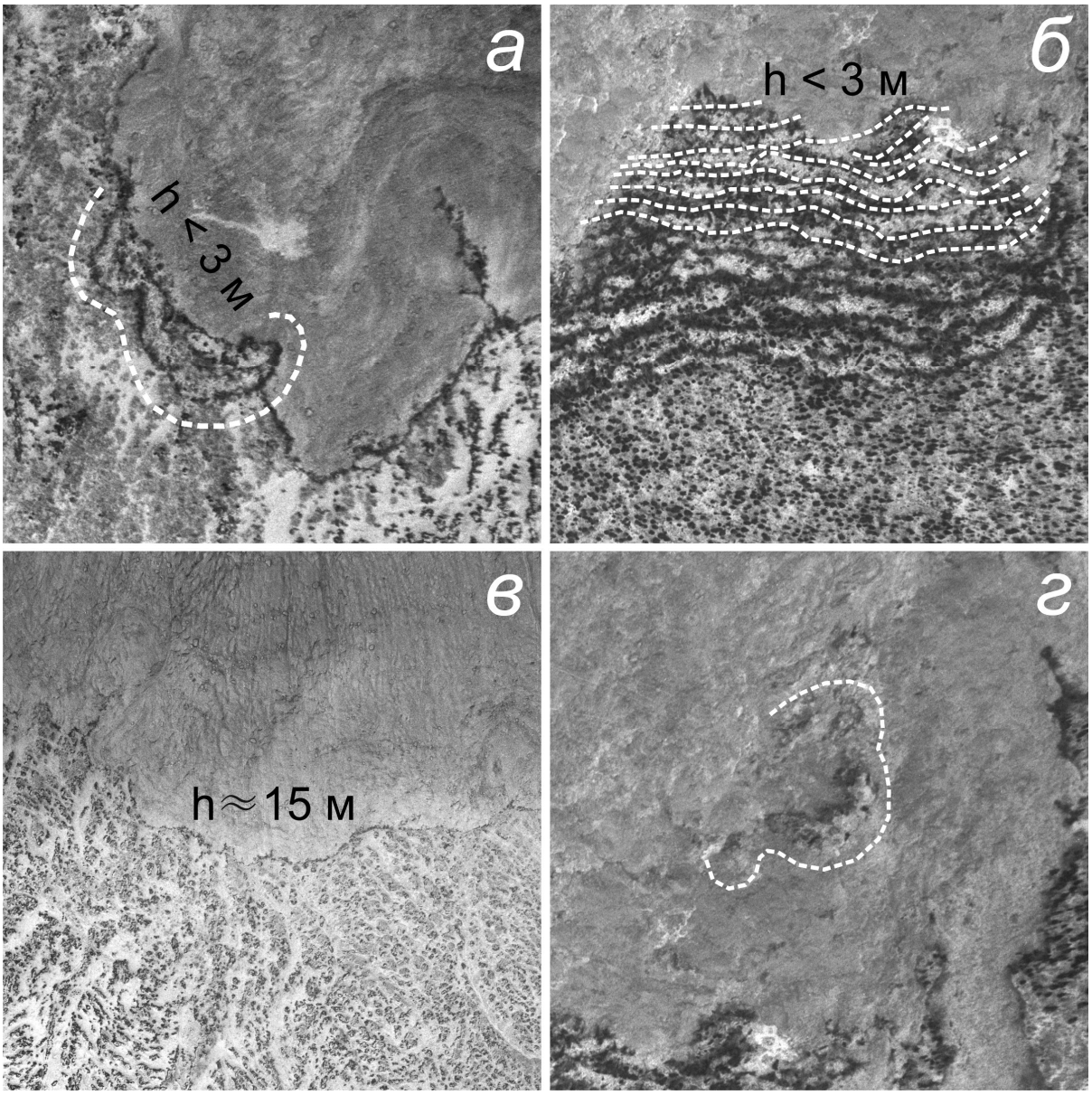


Рис. 5. Структурные элементы отложений, указывающие на формирование складок до извержения 1964 г.: *а* – обтекание маломощной обвальной лавиной уже существующих складок большой мощности (до 25 м), показанных пунктирной линией; *б* – отсутствие корреляции складок, выделенных пунктиром, с линией фронта обвальной лавины; *в* – на отложениях, граничащих с фронтом обвальной лавины большой мощности, складок не наблюдается; *г* – складки, отмеченные пунктирной линией, проступают сквозь поверхность обвальной лавины 1964 г. Фото Л.Б. Дмитриева и Г.С. Штейнберга, 17.11.1964 г.

В статьях [4, 6, 7] вся поверхность, граничащая с фронтом отложений 1964 г., интерпретируется как отложения обломочных лавин изверже-

ния 1430 г. (по данным тефрохронологического анализа). Однако область, обозначенная авторами указанных статей как отложения материала этого извержения, в действительности включает в себя несколько участков различных по возрасту и по типу отложений. Отложения на западном участке отличаются от остальных более древним возрастом, так как произведенный в работе [2] анализ растительного покрова показал, что лес на этом участке имеет возраст не менее 300–400 лет.

Другие участки, покрытые сравнительно молодой растительностью, представлены двумя типами отложений: грубообломочными и сформированными, по всей вероятности, вязкопластическим течением [2]. Кроме того, в статьях [4, 6, 7] отсутствуют точные координаты пунктов производимых геологических работ и отбора материала. Только один из изученных разрезов, показанных точками на карте в работе [7], лежит в пределах складчатого слоя у самой границы с отложениями обвальной лавины 1964 г. Так как граница отложений на этом участке является нечеткой (складчатая поверхность присыпана отложениями обвальной лавины), а описание этого разреза в работах отсутствует (не указана даже его глубина), мы не можем быть уверены в том, что образцы материала складчатых отложений могли быть отобраны и изучены авторами предыдущих работ. Нечеткость границы отложений обвальной лавины на этом участке была также отмечена в работе [7].

Что касается ЮЗ фрагмента складчатого слоя, подстилающего узкий выступ отложений 1964 г., то ранее он не был описан ни в одной из работ предшественников. Таким образом, мы можем заключить, что данные складчатые отложения являются недостаточно исследованными в геологическом и стратиграфическом отношениях.

К сожалению, материалы аэрофотосъемки подножий Молодого Шивелуча, выполнявшейся в 40-х гг. для создания карт, нам не доступны, поэтому остается лишь предполагать, какими были форма и расположение исследуемого образования до извержения 1964 г.

По морфологии и способу залегания описываемый фрагмент более всего походит на лавовый поток. Однако исходя из современных геологических данных для Молодого Шивелуча совершенно нетипично образование лавовых потоков таких размеров (19,9 км длиной) и форм. Поэтому на

основе только дешифрирования и фотограмметрической обработки аэрофотоснимков мы не можем утверждать, что описываемое образование является лавовым потоком.

Можно также предположить, что складчатый слой мог быть сформирован в результате течения вязкой грязевой массы. Однако такое явление не менее уникально для Шивелуча, нежели гигантский лавовый поток. В любом случае необходимо выяснить, чем в действительности являются и как образовались описываемые отложения. По мнению автора, ответ на этот вопрос должны дать непосредственные геологические и геофизические исследования.

ВЫВОДЫ

1. По материалам аэрофотосъемки Л.Б. Дмитриева и Г.С. Штейнберга, выполненной через пять дней после извержения 1964 г., впервые были полностью и точно закартографированы все фрагменты складчатого слоя отложений, подстилающих отложения 1964 г.

2. Посредством фотограмметрического метода была построена ЦМР наиболее крупного фрагмента складчатого слоя и определены его морфометрические характеристики.

3. Анализ растительного покрова и форм залегания отложений на крупномасштабных снимках показал, что обвальная лавина 1964 г. не имеет никакого отношения к формированию складок, как предполагалось ранее.

4. Форма залегания и структура поверхности складчатых отложений дают основания предполагать, что они могли быть сформированы в результате вязкопластического течения.

5. Необходимо выяснить, чем в действительности являются и как образовались складчатые отложения посредством комплексных геологических и геофизических полевых работ.

Автор выражает благодарность старшему научному сотруднику Института вулканологии и сейсмологии В.Н. Двигало за помощь в фотограмметрической обработке аэрофотоматериалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Горшков Г.С., Дубик Ю.М.* Направленный взрыв на вулкане Шивелуч // Вулканы и извержения. 1969. С. 3–37.
2. *Двигало В.Н., Шевченко А.В.* Новые данные о катастрофических извержениях вулкана Шивелуч 1964 и 1854 гг. по результатам фотограмметрических исследований // Тезисы докладов традиционной региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 30 марта–1 апреля 2015 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2015. С. 26–29.
3. *Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирсанова Т.П. и др.* 300 лет жизни камчатских вулканов: Молодой Шивелуч (анализ динамики и последствий эруптивной активности в XVII-XX вв.). Часть I. 1650–1964 гг. // Вулканология и сейсмология. 2003. № 5. С. 3–19.
4. *Belousov A., Belousova M., Voight B.* Multiple edifice failures, debris avalanches and associated eruptions in the Holocene history of Shiveluch volcano, Kamchatka, Russia. 1999. Bull. Volcanol. 61. P. 324–342.
5. *Chadwick W.W., Swanson D.A.* Thrust faults and related structures in the crater floor of Mount St. Helens volcano, Washington // Geological Society of America Bulletin. 1989. 12. P. 1507–1519.
6. *Ponomareva V.V., Melekestsev I.V., Dirksen O.V.* Sector collapses and large landslides on late Pleistocene-Holocene volcanoes in Kamchatka, Russia // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2006. 158. P. 117–138.
7. *Ponomareva V.V., Pevzner M.M., Melekestsev I.V.* Large debris avalanches and associated eruptions in the Holocene eruptive history of Shiveluch Volcano, Kamchatka, Russia // Bull. of Volcanol. 1998. 59. P. 490–505.

PHOTOGRAMMETRIC STUDY OF THE FOLDED LAYER FRAGMENT ON THE SOUTHERN SLOPE OF MOLODOY SHIVELUCH VOLCANO

Shevchenko A.V.

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS,
Vitus Bering Kamchatka State University

The interpretation of aerial photographs of the southern slope of Molodoy Shiveluch Volcano taken on November 17, 1964 allowed detecting the layer of deposits, which morphology doesn't agree with the views on the recent activity of the volcano. The folded structure of the surface and special bedding shape of the deposits give grounds for assuming that they were formed as a result of viscoplastic flow. The author performed the detailed description of the surface and shape of the largest fragment of investigated deposits. The Digital Terrain Model (DTM) of the deposits fragment was built and its morphometric characteristics were obtained using photogrammetric method. The paper presents arguments against earlier suggested hypothesis on the formation of the folds as a result of horizontal push by the 1964 debris avalanche.

Keywords: Molodoy Shiveluch Volcano, deposits, folds, interpretation of aerial photographs, photogrammetry

УДК 550.837

ИЗУЧЕНИЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО СКЛОНА АВАЧИНСКОГО ВУЛКАНА МЕТОДОМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Улыбышев И.С. [1,2]***, Логинов В.А.*** [1]

[1] *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,*
[2] *Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга.*

Научный руководитель: д.г.-м.н. Мороз Ю.Ф.

В работе приводятся результаты исследования глубинного строения юго-западного склона Авачинского вулкана методом магнитотеллурического зондирования. После обработки результатов наблюдений получены кривые кажущегося сопротивления, по ним построен пространственно-временной разрез среды. На кривых поперечного направления был обнаружен аномальный эффект, для объяснения которого привлечено трёхмерное моделирование. Построенная модель, учитывающая влияние берегового эффекта и Авачинского грабена, не дала удовлетворительного результата, поэтому в модель был дополнительно введён глубинный проводник, объясняющий аномальное поведение кривых кажущегося сопротивления.

Ключевые слова: магнитотеллурическое зондирование, Авачинский вулкан, Авачинский грабен, пространственно-временной разрез, трёхмерное моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение глубинного строения вулканических построек является важной задачей современных геологических наук. Весомый вклад в изучение земных недр вообще и вулканических структур в частности вносит геофизика. К сожалению, очень немногие геофизические методы способны дать достоверную информацию о глубинах в первые километры и десятки километров, на которых предполагается существование зон, связанных с деятельностью вулканов, с их питанием. Наибольшее распространение в изучении указанных глубин получили методы сейсморазведки, которые дают информацию высокого качества, но являются весьма трудоёмкими и дорогостоящими.

Альтернативой или дополнением в деле изучения больших глубин может служить один из методов электроразведки, магнитотеллурическое

зондирование (МТЗ). В прошлом уже неоднократно проводились работы методом МТЗ на вулканах Камчатки, в том числе и на Авачинском вулкане. В 1993 году проведены работы на профиле «Опала-Вахиль» [8], однако, склон Авачинского вулкана был лишь небольшой частью изучаемой территории, и затронут поверхностно - всего три точки этого профиля расположены на юго-западном склоне вулкана (рис.1). В качестве первого шага детального изучения этой вулканической постройки методом МТЗ в 2010 году были проведены, а в 2014 году дополнены работы по профилю «Елизово-2010». Этот профиль, протяжённостью около 15 километров, проходит по Сухой речке и состоит из шестнадцати точек. Результатам этих работ, а также их сравнению с результатами работ 1993 года посвящена эта статья.

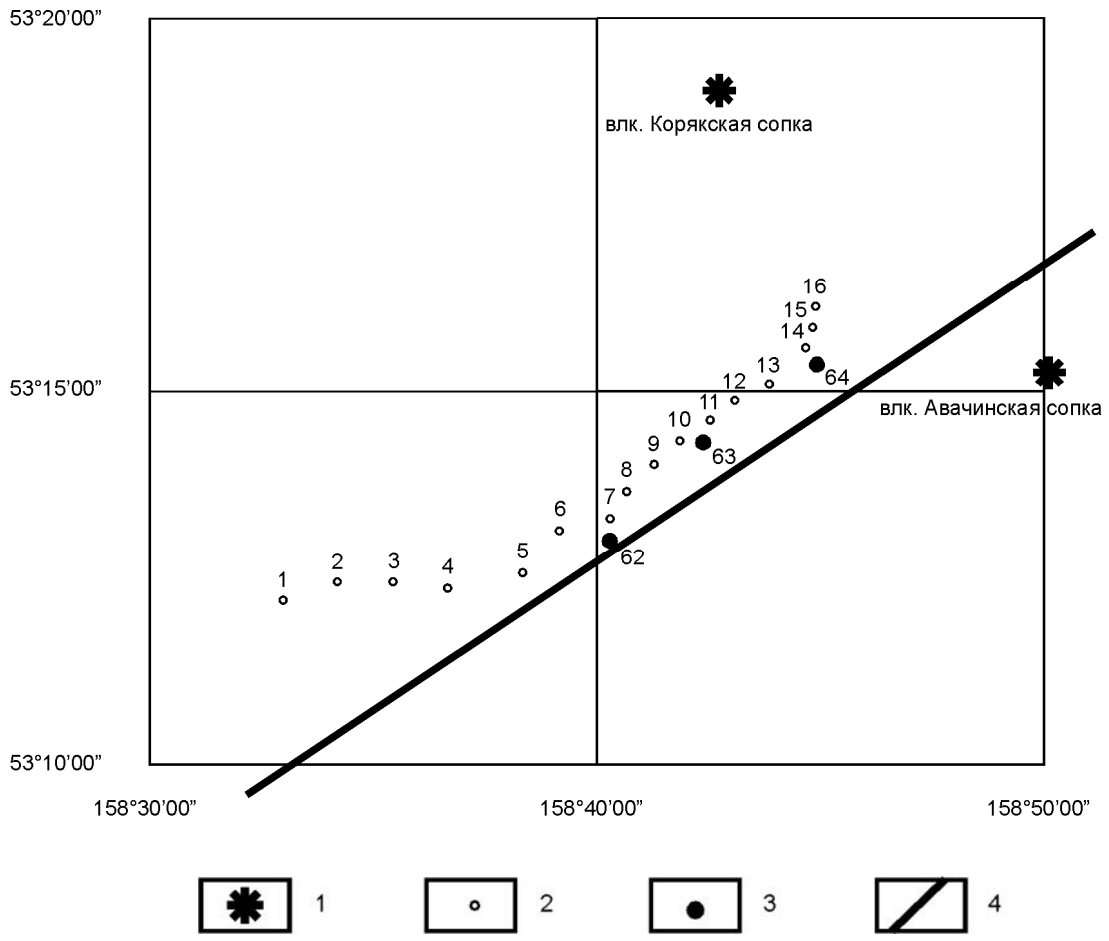


Рис.1. Схема расположения профилей МТЗ: 1 – действующие вулканы; 2 – профиль «Елизово 2010» (2010, 2014); 3 – профиль «Опала-Вахиль» (1993); 4 – линия сейсмического профиля.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Геофизические работы проводились на Авачинском вулкане с 60-х годов прошлого века. За это время склоны вулкана были изучены методами гравиразведки [5], магниторазведки [9], сейсморазведки [3], электроразведки [6, 8]. Кроме того, в окрестностях вулкана находится несколько действующих сейсмостанций и ведётся сейсмический мониторинг, благодаря чему было построено несколько вариантов сейсмического разреза Авачинского вулкана [3, 4]. Один из них представлен ниже (рис.2). На разрезе хорошо выделяются сейсмические границы. Первая граница, между осадочным чехлом и меловым фундаментом, залегает на глубине 1-2 километра, плавно опускается при приближении к вулканической постройке и плохо прослеживается под самим вулканом. Далее идут ещё несколько границ: на глубинах 4-5 километров, 9-12 и 20-25 километров.

На этом разрезе так же выделены четыре аномальные зоны (A, B, C и D), из которых три находятся непосредственно под вулканом, а одна, аномальная зона B, расположена под юго-западным склоном вулкана. Зоны A, C и D традиционно связывают с системой питания вулкана. Первая зона характеризуется повышенным поглощением высокочастотных сейсмических сигналов, вторая - повышенной, а третья - пониженной скоростью продольных волн. Зона B соответствует Авачинскому грабену, который, благодаря своим аномальным свойствам, был выделен в предшествующих работах. Обобщая данные, полученные разными геофизическими методами, можно дать следующие характеристики грабена: его кровля расположена на глубине около двух километров, мощность составляет не менее трёх, а ширина не менее пяти километров; он выделяется по пониженным скоростям сейсмических волн относительно соседних блоков, пониженными плотностью и сопротивлением. Кроме того, в нём происходят активные тектонические процессы. Исследователи расходятся во мнениях: некоторые считают, что данная аномальная зона является глубинным разломом [4], системой разломов [1] или связана с системой питания вулкана [3].

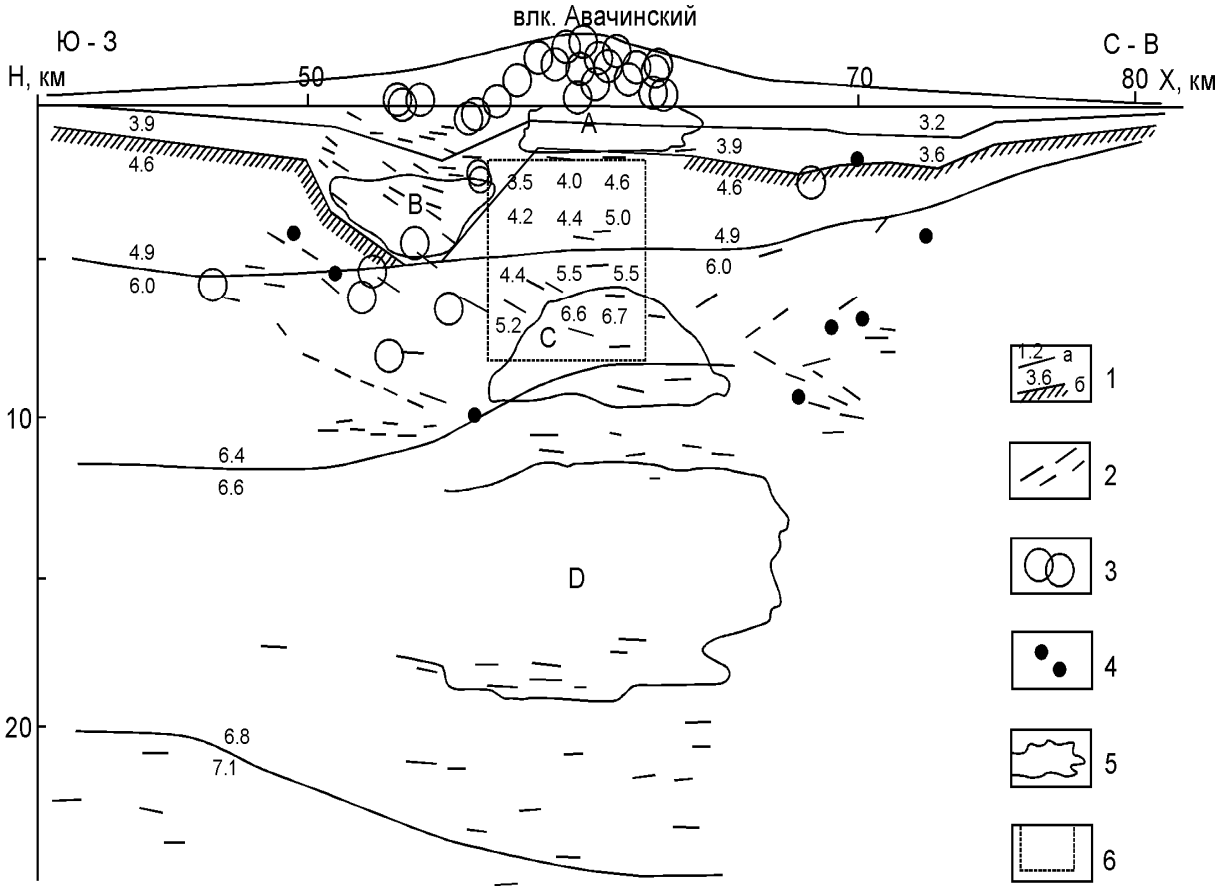


Рис.2. Сейсмический разрез Авачинского вулкана [4]: 1а – изолинии скорости; 1б – поверхность мелового фундамента; 2 – отражающие площадки; 3 – гипоцентры землетрясений; 4 – точки дифракции; 5 – условные контуры аномальных зон; 6 – границы области, в которой рассчитаны значения продольной скорости томографическим методом.

МЕТОД МТЗ

Магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) представляет собой разновидность частотного электромагнитного зондирования, основанную на регистрации колебаний магнитотеллурического поля в широком диапазоне периодов. По наблюдениям, выполняемым в одной точке, определяют величины, характеризующие соотношения между спектрами электрического и магнитного полей. Зависимость этих величин от периода изображают в виде амплитудных и фазовых кривых МТЗ, являющихся частотными характеристиками исследуемого разреза [2].

Амплитудные кривые отражают изменение удельного сопротивления с глубиной. Первый слой исследуемого разреза проявляется в области высоких частот. По мере уменьшения частоты на кривых начинают последо-

вательно отражаться всё более глубокие слои разреза. Сопоставление практических амплитудных кривых с теоретическими в благоприятных условиях позволяет получить раздельную или обобщённую информацию о параметрах геоэлектрического разреза (о мощностях и удельных сопротивлениях отдельных слоёв или суммарной мощности и среднем продольном удельном сопротивлении обобщённых толщ) [2].

Фазовые кривые подобно амплитудным отражают изменение удельного сопротивления с глубиной. Минимумы фазовых кривых отвечают хорошо проводящим слоям, а максимумы – плохо проводящим. Важно отметить, что фазовые кривые практически не содержат новой информации о геоэлектрическом разрезе и могут быть получены из амплитудных путём интегральной трансформации. Однако фазовые кривые улучшают условия выделения информации [2]. При благоприятных условиях, между формами амплитудных и фазовых кривых наблюдается соответствие, называемое дисперсионным соотношением. Нарушение дисперсионного соотношения может говорить о недостоверности полученной информации о геоэлектрическом разрезе.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе работ была использована современная аппаратура канадской фирмы Phoenix Geophysics, в том числе станция MTU-5A, индукционные магнитные датчики и неполяризующиеся электроды. Регистрировались две горизонтальных электрических и три магнитных компоненты электромагнитного поля в диапазоне периодов от 0.0001 до 1000 секунд и более. Для проведения измерений, индукционные датчики и электрические линии располагают перпендикулярно – обычно они направлены на географический север и восток. Нами были выбраны азимуты 30 и 120 градусов, что согласуется с простиранием основных геологических структур района. Схема расстановки приведена ниже (рис.3).

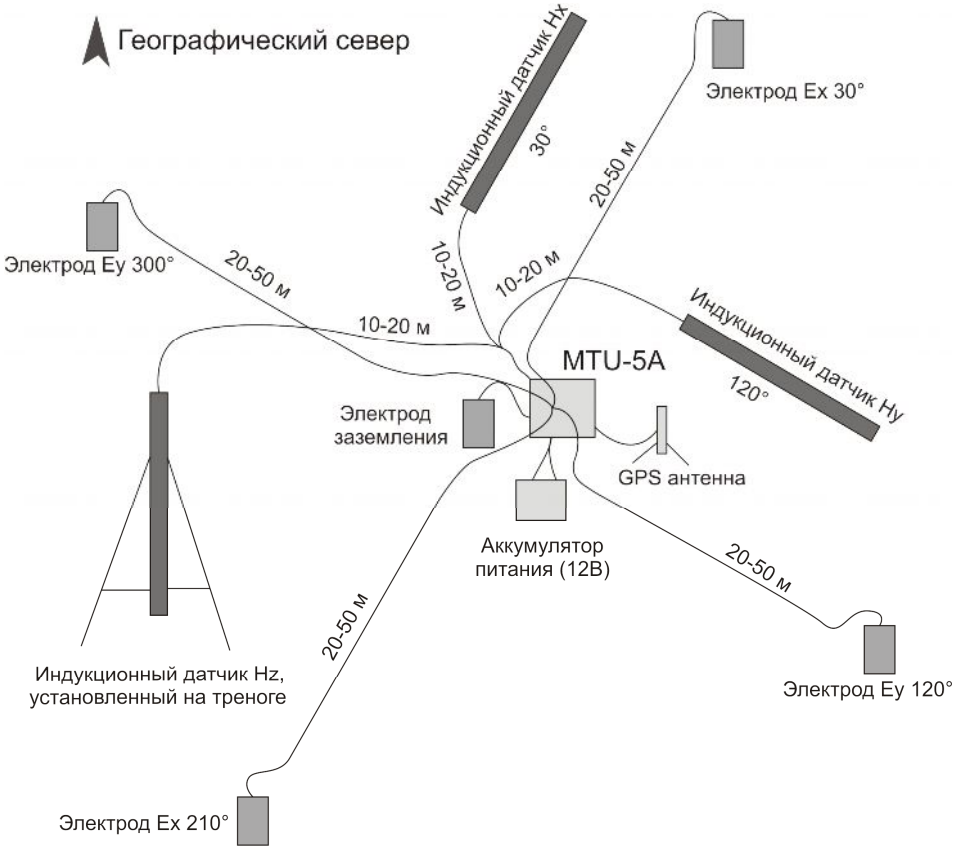


Рис.3. Схема расстановки измерительных линий.

РЕЗУЛЬТАТЫ

После обработки данных наблюдений получены амплитудные и фазовые кривые. Как можно видеть, первые шесть кривых на каждом из графиков практически не отличаются друг от друга (рис.4а). Это говорит о том, что разрез в этой части профиля меняется слабо. Далее картина резко меняется (рис.4б). На кривых продольной поляризации (xy), начиная с точки 7, исчезает небольшой максимум на периодах, близких к одной секунде, и далее кривые имеют близкую форму вплоть до конца профиля. Картина на поперечных кривых (yx) сложнее: на точке 7 и далее максимум на кривых в низкочастотной области резко уходит вниз, а ближе к концу профиля, на точке 13 и далее, он вновь поднимается (рис.4в). Получается, что поперечные кривые затрагивают зону очень низких сопротивлений, которая слабо отображается на продольных кривых. Такое поведение объясняется наличием низкоомной зоны, достаточно небольшой по ширине и вытянутой поперёк профиля. Очевидно, эта зона соответствует Авачинскому

грабену. Далее представлены пространственно-временные разрезы по профилю (рис.5). Они подают информацию более наглядно и подтверждают сделанные ранее выводы о наличии вытянутой перпендикулярно к профилю низкоомной зоне.

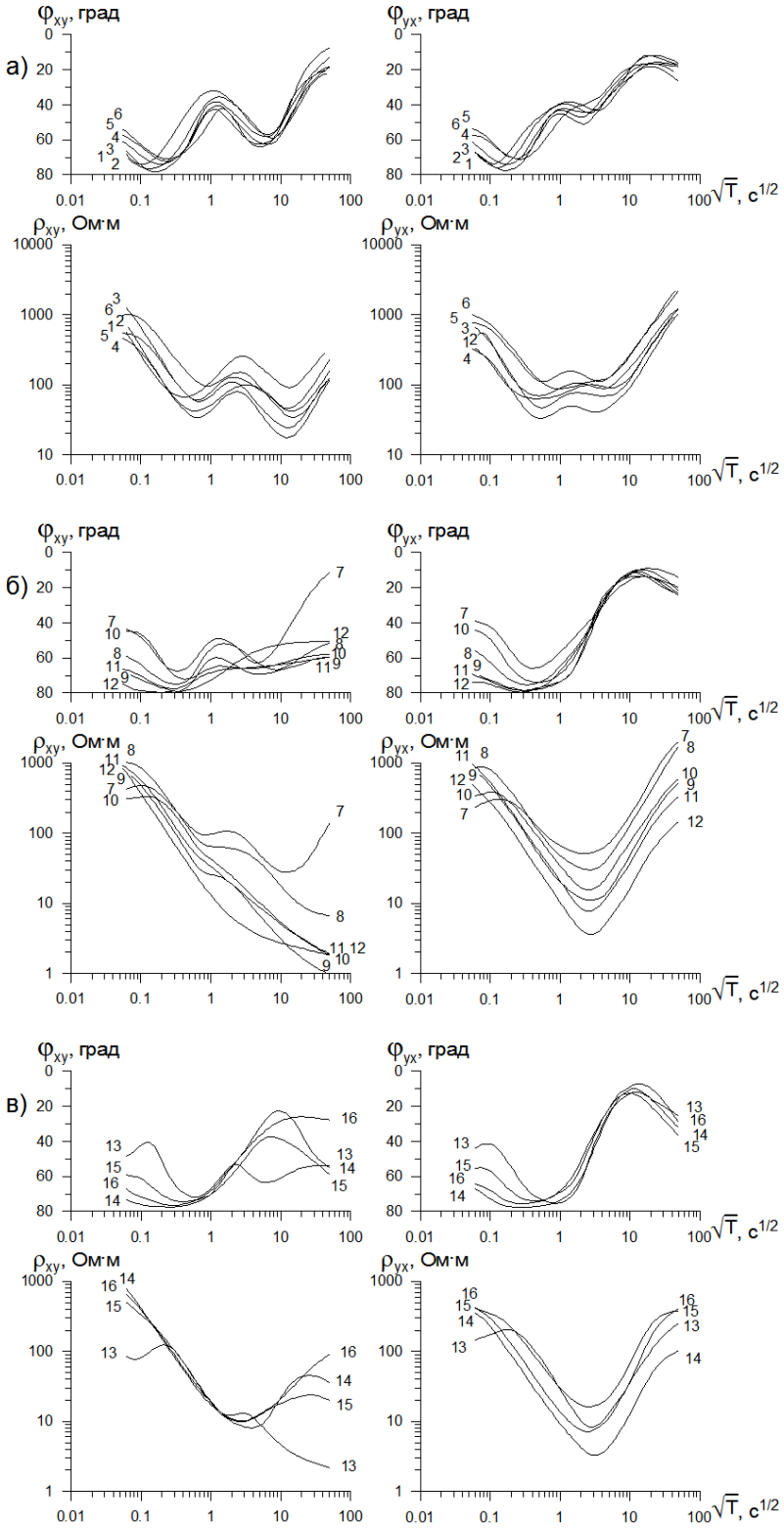


Рис.4. Амплитудные и фазовые кривые МТЗ.

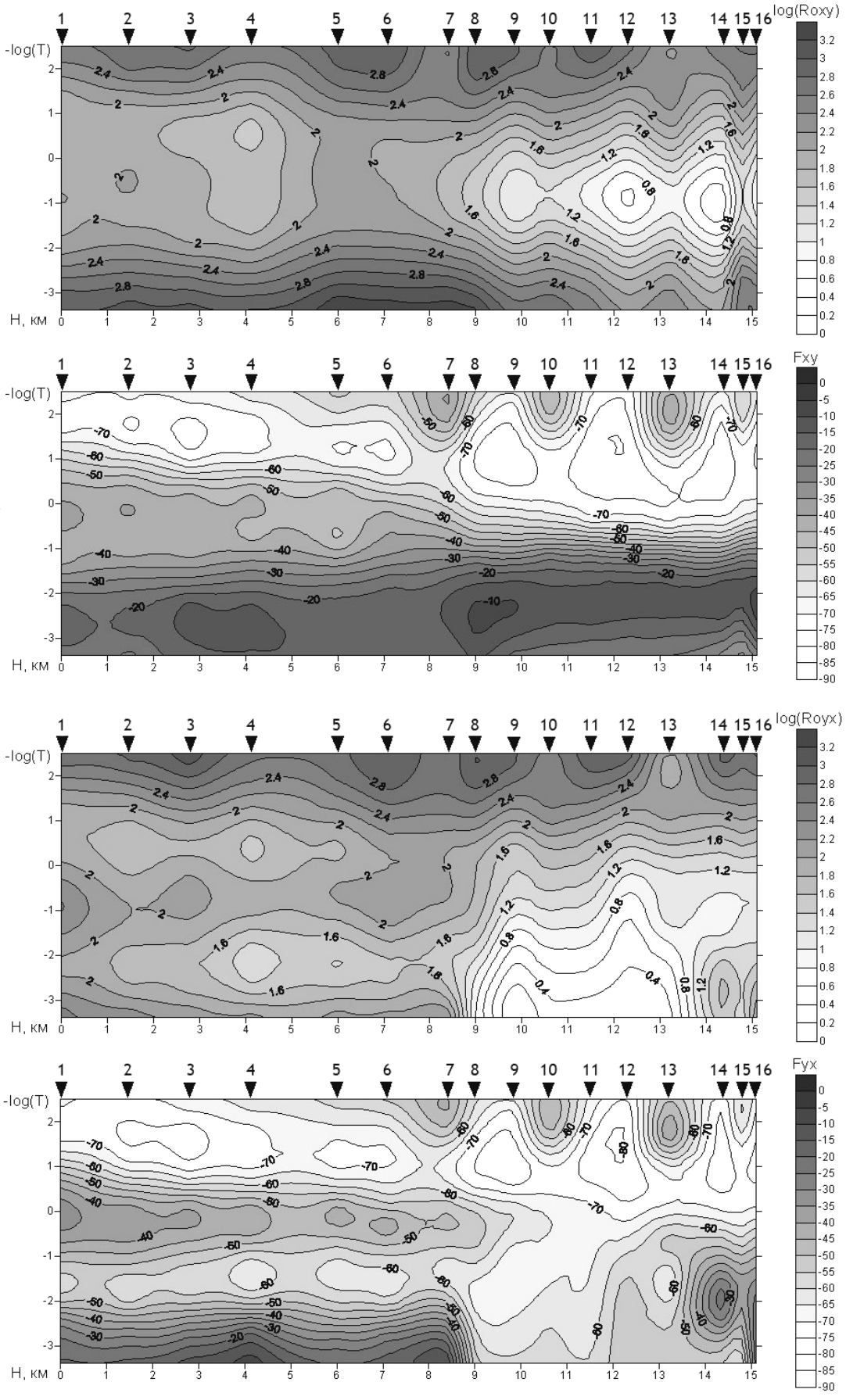


Рис.5. Пространственно-временные разрезы.

СРАВНЕНИЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ПРЕДЫДУЩИХ РАБОТ

Новый профиль «Елизово 2010» совпадает с небольшой частью профиля «Опала-Вахиль», измерения на котором проводились в 1993 году. Три точки старого профиля находятся достаточно близко к новым для того, чтобы построенные для них кривые можно было сравнить друг с другом (рис.6).

Очень хорошее соответствие наблюдается между кривыми, полученными для точки 63 профиля «Опала-Вахиль» и точки 11 профиля «Елизово-2010». Информация, полученная для двух других точек старого профиля, совпадает с новыми данными лишь частично. Здесь приведено сравнение только амплитудных кривых, потому как для указанных точек профиля «Опала-Вахиль» фазовые кривые отсутствуют. К сожалению, отсутствие фазовых кривых не позволяет судить о достоверности амплитудных.

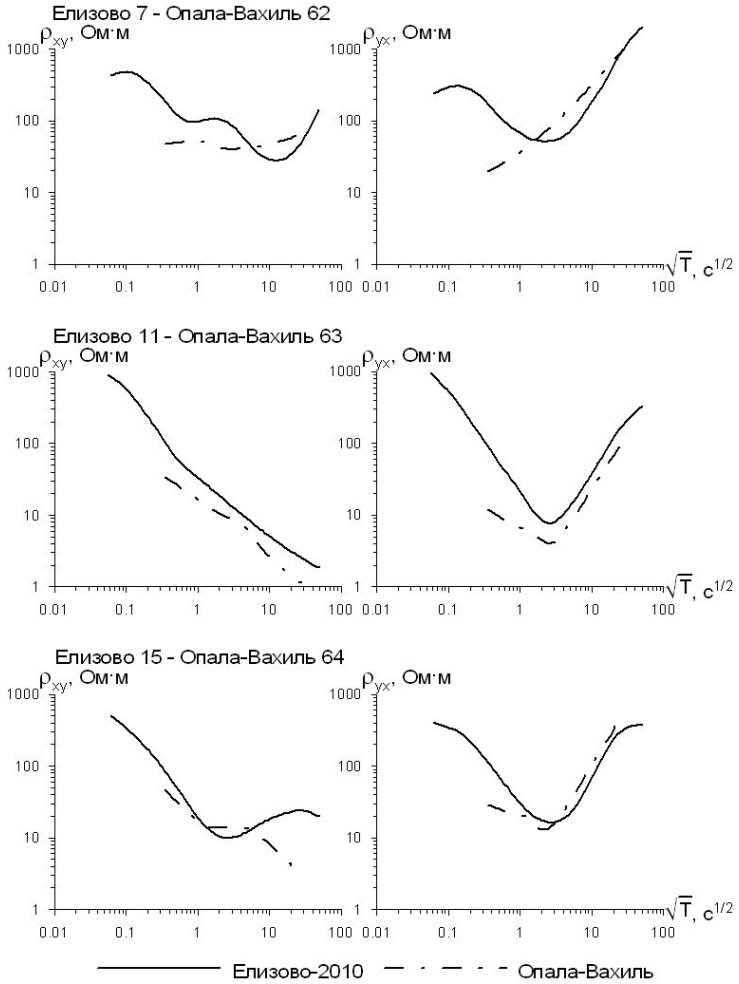


Рис.6. Сравнение кривых МТЗ по профилям «Опала-Вахиль» и «Елизово-2010».

МОДЕЛИРОВАНИЕ

Для исследуемого района по результатам работ 1993 года ранее была построена двумерная геоэлектрическая модель (рис. 7, 8). Мы отметили отличную сходимость экспериментальных и модельных кривых, поэтому результаты двумерного моделирования были учтены нами при трёхмерном моделировании. Также были отмечены следующие недостатки двумерной модели:

- При двумерном моделировании значения сопротивлений изменяются только вдоль профиля, блоки, составляющие разрез, считаются бесконечно вытянутыми поперёк профиля наблюдений, что не соответствует действительности и искажает модельные кривые.

- В ходе двумерного моделирования не учитывался береговой эффект, имеющий значительное влияние на экспериментальные кривые, особенно в условиях близости профиля к береговой линии.

- В ходе моделирования района, совпадающего с районом нашего исследования, авторы опирались на скудные данные предыдущих работ, как уже было упомянуто выше.

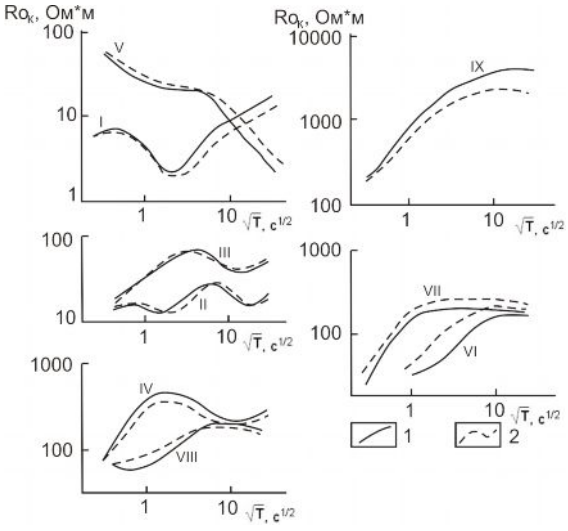


Рис.7. Сравнение кривых при двумерном моделировании [8]: 1 – экспериментальные кривые; 2 – модельные кривые.

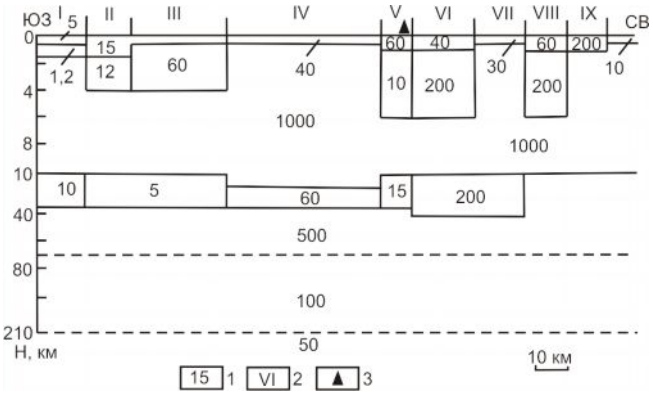


Рис.8. Схема двумерной модели [8]: 1 – удельное электрическое сопротивление (Ом*м); 2 – зоны; 3 – район современного вулканизма

Ниже приводится процесс и результаты трёхмерного моделирования. Стоит отметить, что в данной статье приведены не все пробные модели, которых было построено более десятка, а лишь значительные шаги, указавшие нам дальнейшие пути исследования. Для трёхмерного моделирования была использована программа Mackie [10].

Для начала была построена самая простая модель. В уже существующую модель земной коры и верхней мантии Камчатки [7] был добавлен грабен мощностью 5 километров с пониженным сопротивлением (5 Ом•м) (рис.9а). Полученный эффект сильно отличался от того, который был обнаружен в ходе исследований.

В следующей модели для увеличения влияния грабена на продольную к нему кривую было понижено сопротивление в грабене до 3 Ом•м и повышено до 100 Ом•м сопротивление вмещающих пород, а сам грабен был погружён под осадочный чехол на полтора километра (рис.9б). Однако и эта модель была далека от истины.

Стало понятно, что влияния грабена и берегового эффекта недостаточно для того, чтобы получить кривые, форма которых схожа с полученными в результате наблюдений. Поэтому в следующую модель был добавлен глубинный проводник (рис.9в).

Из-за того, что грабен и глубинный проводник были разделены зоной повышенного сопротивления (1000 Ом•м), второй минимум на продольной к грабену кривой был выражен неярко, и форма кривой не соблюдалась. Дабы сделать этот минимум более выраженным, между грабеном и проводником была добавлена проводимая зона, с сопротивлением выше, чем в грабене или в проводнике, но значительно ниже, чем в окружающих породах (рис.9г). Полученная в результате модель даёт кривые, форма которых схожа с формой экспериментальных кривых, и может считаться удовлетворительной, но ни в коем случае не претендует на роль окончательного варианта и требует доработки в будущем.

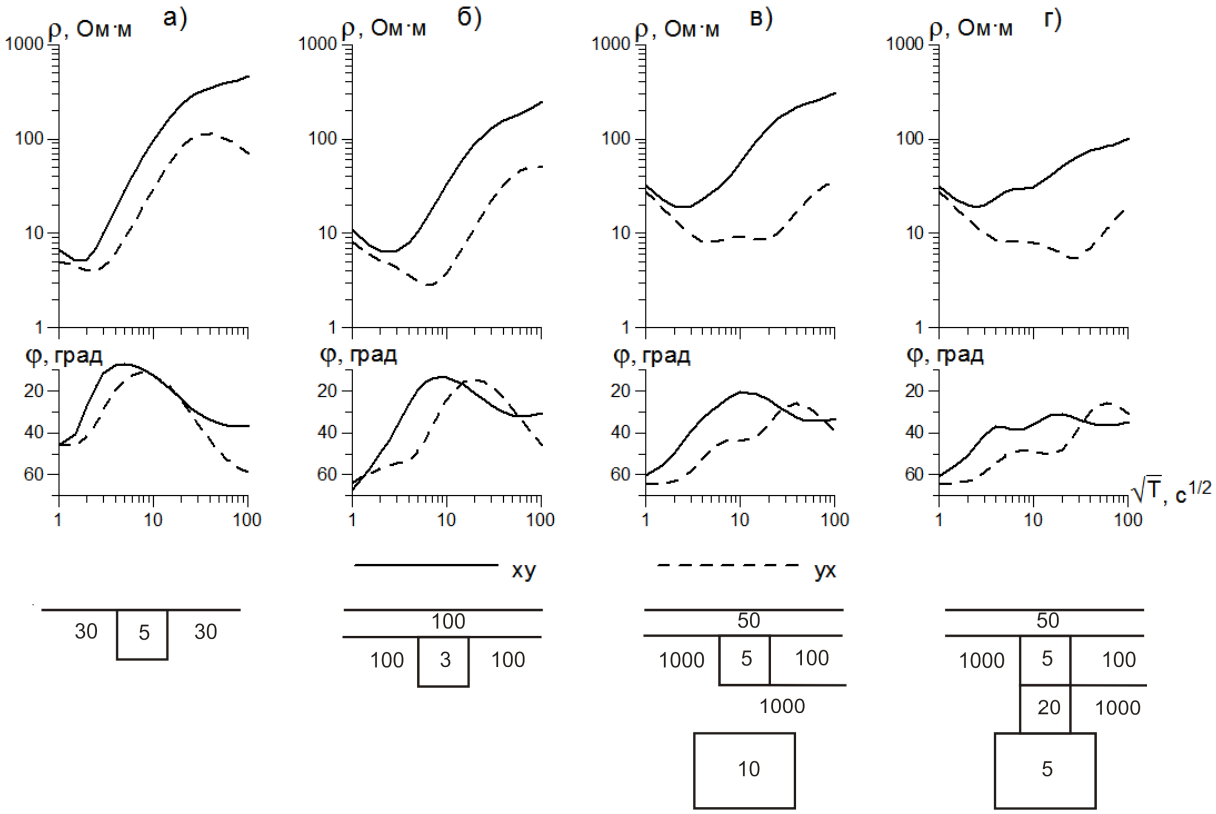


Рис. 9. Трёхмерные модели и модельные кривые: xy - продольные кривые; yx - поперечные кривые. Цифрами на моделях обозначены сопротивления, Ом•м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам обработки измерений отчётливо выделена зона аномально низкого сопротивления, соответствующая Авачинскому грабену. Построено несколько трёхмерных моделей среды, основанных на ранее построенной двумерной модели, и учитывающих влияние берегового эффекта. По результатам моделирования достигнуто удовлетворительное соответствие форм экспериментальных и модельных кривых.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абкадыров И.Ф., Букатов Ю.Ю., Геранин К.О.* Скоростные неоднородности под юго-западным сектором Авачинского вулкана // Природная среда Камчатки // Материалы XIII региональной молодёжной научной конференции «Природная среда Камчатки» 15 апреля 2014 г. Петропавловск-Камчатский: Институт Вулканологии и Сейсмологии ДВО РАН. 2014. С. 89-98.
2. *Бердичевский М.Н.* Электрическая разведка методом магнитотеллурического профилирования. М.: Недра. 1968. 254 с.
3. *Гонтовая Л.И., Ефимова Е.А., Костюкевич С.А., Пийп В.Б.* Сейсмический разрез вулкана Авачинский по данным МПВ-ГСЗ // Физика Земли. 1990. №3. С. 73-82.
4. *Гонтовая Л.И., Сенюков С.Л.* О сейсмической модели земной коры Авачинского вулкана на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 2000. №3. С. 57-62.
5. *Зубин М.И., Козырев А.И.* Гравитационная модель строения Авачинского вулкана (Камчатка) //Вулканология и сейсмология. 1989. № 1. С. 81-94.
6. *Лементуева Л.А., Соболев Г.А*. Естественные электрические поля в районе вулкана Авача на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1986. №3. С. 101-107.
7. *Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А.* Численное трёхмерное моделирование магнитотеллурического поля Камчатки // Физика Земли. 2011. №2. С. 64-73.
8. *Мороз Ю.Ф., Нурмухамедов А.Г., Лощинская Т.А.* Магнитотеллурическое зондирование земной коры Южной Камчатки // Физика Земли. 1996. №11. С. 49-57.
9. *Рындин Э.А., Чирков А.М., Штейнберг Г.С.* Магнитная съёмка на Авачинском вулкане // Бюллетень вулканологических станций. 1964. №38. С. 33-38.
10. *Mackie K.L., Smith J.T., Madden T.R.* Three-dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: the magnetotellurie example // Radio Science. 1994. №29. P. 923-935.

STUDY OF THE SOUTH-WESTERN SLOPE OF THE VOLCANO AVACHA BY MAGNETOTELLURIC SOUNDING

Ulybyshev I.S., Loginov V.A.

This work presents results of the south-western slope of the volcano Avacha deep structure studying by magnetotelluric sounding. Perfomed treatment of observations gave us curves of apparent resistivity, which were used to creation of dimensional-temporal sectional drawing. Anomalaus effect was detected on curves of cross direction, and three-dimensional modeling was used for its explanation. For the reason that the model, built in view of the influence of Avacha graben and coastal effect, didn't give satisfactory results, we built another model with additional deep conductor, which could explain the anomalous behavior of apparent resistivity curves.

Key words: magnetotelluric sounding, Avacha volcano, Avacha graben, dimensional-temporal sectional drawing, three-dimensional modeling.

УДК 550.837

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ В РАЙОНЕ ТТИ ИМ. 50-ЛЕТИЯ ИВИС

Логинов В.А. [1,2]***, Самойлова О.М.*** [1]***, Улыбышев И.С.*** [1,2]***, Авдась А.С.*** [1,2]

[1]*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*
[2]*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

Научный руководитель д.г.-м.н. Мороз Ю.Ф.

Рассмотрена методика наблюдений и интерпретации магнитотеллурического зондирования. Показано, что в первом приближении геологическая среда может быть аппроксимирована двумерно-неоднородной моделью. На основании этого, выполнена инверсия кривых АМТЗ и МТЗ с помощью программы численного двумерного моделирования МТ поля (по алгоритму Mackie R.L). В результате инверсии получены несколько геоэлектрических разрезов, характеризующих структуру электропроводности земной коры и верхней мантии до глубины 60 км.

Ключевые слова: Трещинное Толбачинское извержение, магнитотеллурическое зондирование, тензор импеданса, геоэлектрический разрез.

ВВЕДЕНИЕ

На Камчатке в районе Толбачинского дола в период с конца 2012 по 2013 гг. произошло трещинное извержение, которому присвоено имя 50-летия ИВиС ДВО РАН (ТТИ 50-летия ИВиС). С начала извержения и по сегодняшний день Институт вулканологии и сейсмологии организует полевые работы в этом районе, который имеет интерес для геологов, вулканологов, петрологов, гидрогеологов, геофизиков и многих других. Наибольший интерес представляет изучение глубинного строения района сейсмологическими и электромагнитными методами.

Здесь в 2014 году молодым полевым электромагнитным отрядом в составе пяти человек (начальник отряда Логинов В.А., аспирантка Самойлова О.М., два студента Улыбышев И.С., Авдась А.С. и водитель Толстых О.В.) выполнены электромагнитные исследования методами аудиомагнитотеллурического и магнитотеллурического зондирований. Исследования

проводились с целью выявления аномалий повышенной электропроводности в земной коре, которые могут быть связаны с магматическими очагами. По итогам полевых работ выполнена обработка данных АМТЗ и МТЗ, получен тензор импеданса для каждой точки зондирования, по которым построены кривые частотной зависимости его компонент. В основу интерпретации приняты кривые, полученные в главных направлениях. Они в большинстве случаев ориентированы по простиранию (продольные кривые) и вкрест простирания (поперечные кривые) регионального разлома, к которому приурочены шлаковые конуса. Большое внимание при интерпретации уделено фазовым кривым импеданса, свободным от влияния локальных геоэлектрических неоднородностей. Фазовые кривые содержат дополненную информацию о глубинной неоднородности. Поэтому на этапе качественного анализа фазовые кривые дали возможность получить представление о распределении электропроводности в зоне глубинного разлома и прорыва С.И. Набоко. По данным качественного анализа МТЗ, формальной интерпретации кривых МТЗ и другой априорной геолого-геофизической информации создана стартовая геоэлектрическая модель, которая в дальнейшем уточнена с помощью программы двумерного численного моделирования (Mackie R.L). В результате ряда пробных расчетов была достигнута удовлетворительная сходимость модельных и экспериментальных кривых и построены геоэлектрические разрезы, на которых нашли отражения аномалии повышенной и пониженной электропроводности, связанные с поступлением магматических расплавов из магматического очага.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследований располагается в Толбачинской региональной зоне шлаковых конусов. Южная часть зоны называется Толбачинским долом, где сосредоточено большое количество эруптивных центров в виде много-

численных трещин и шлаковых конусов. Здесь проводилось множество исследований, начиная с 50-х годов XX века и по сегодняшний день.

Так, первые записи о вулкане датируются 1899 годом [13]. Далее следует упомянуть об исследованиях в 40-х – 50-х годах 20 века, включающих в себя бюллетени и отчёты вулканологических станций [3, 4, 5].

Произошедшее в 1975 - 1976 годах извержение (БТТИ) хорошо изучено геолого-геофизическими методами. Результаты исследований опубликованы в обобщающей монографии [2].

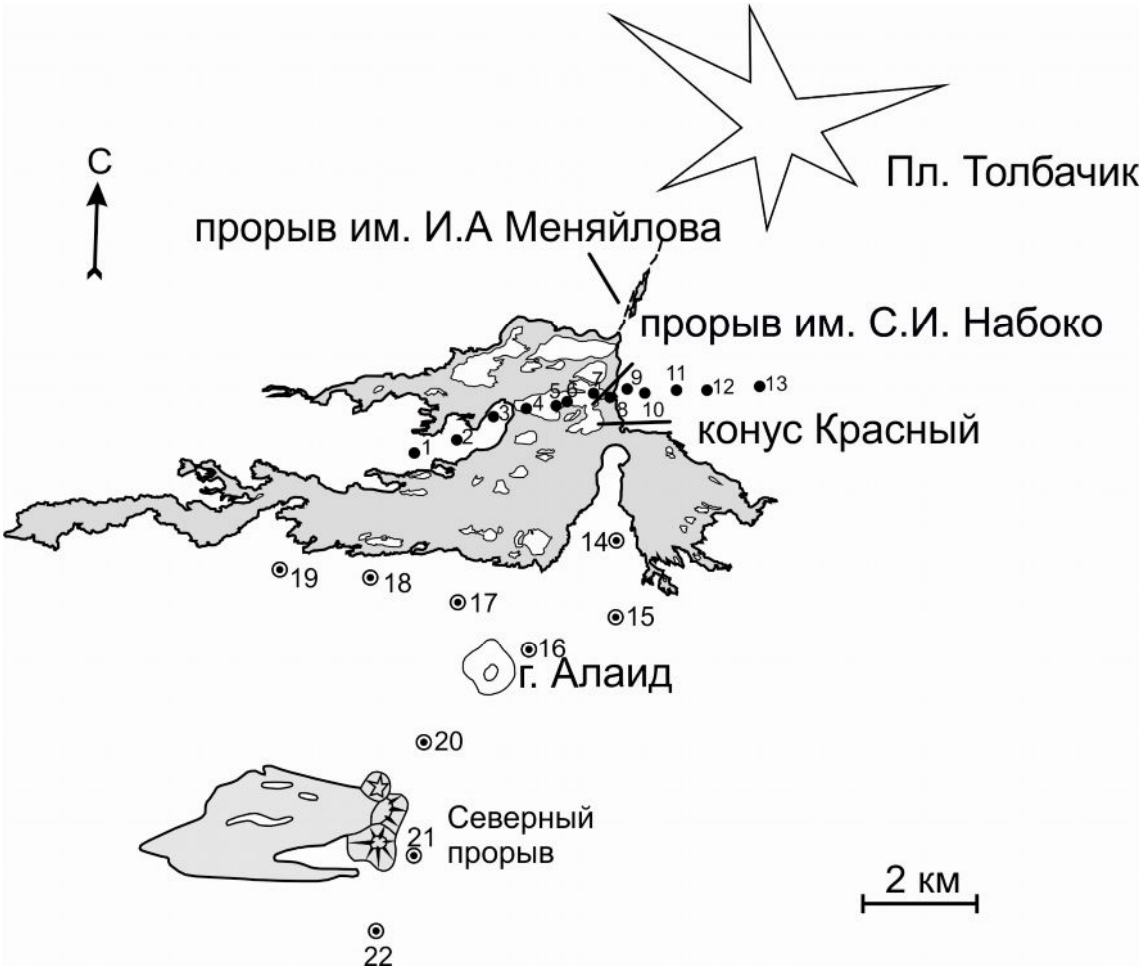


Рис.1. Схема расположения пунктов электромагнитного зондирования. Черные точки пункты АМТЗ с 1 по 13. Кружки с точками пункты МТЗ с 14 по 22.

Последнее трещинное извержение началось 27 ноября 2012 года. Описаны параметры лавовых потоков [8], приведены данные о составе лав и продуктов извержения [6]. Исследованы базальты разного состава, а так же вынесенных продуктов разноглубинной мантии [9]. Определены глубины

палеочагов по составу и магнитным свойствам титаномагнетитов [10]. Изучены минеральные и петрографические особенности алмазосодержащих продуктов извержения 2012-2013 гг. [11]. Изучены геолого-геоморфологические последствия трещинного Толбачинского извержения [12]. Проведен спутниковый мониторинг извержения [7]. Определены физические параметры лавовых потоков по спутниковым данным [14]. Изучен рельеф и дана количественная оценка параметров извержения, в частности при помощи радиолокационной съёмки [15] и многое др.

МЕТОДИКА МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Электромагнитные работы выполнялись аппаратурой канадской компании «Phoenix Geophysics Ltd». Площадь, покрытая лавовыми потоками, является недоступной для перемещения геофизической аппаратуры с помощью автомобиля. Поэтому была принята методика переноса аппаратуры вручную в облегченном варианте АМТЗ для изучения верхних частей земной коры до глубин 10 км. Использовалась крестообразная расстановка с регистрацией четырех компонент электромагнитного поля. Район прорыва С.И. Набоко пересечён профилем АМТЗ с шагом от 200 м в центральной части профиля до 1000 м в краевых частях. Диапазон регистрируемых колебаний от 0.0001 до 100 с. Длина приёмных электрических диполей составляла 40 м. Для заземления электродов использовался глинистый солевой раствор, а сами электроды обмазывались в глине, что обеспечило понижение переходных электрических сопротивлений.

За пределами лавовых потоков есть возможность использовать автомобильный транспорт. Вдоль дороги произведены наблюдения МТЗ в расширенном диапазоне периодов от 0.0001 до 1000 с и более, что позволяет получить более глубинную информацию об электропроводности геологической среды. В этом районе зондирования выполнены с шагом 2 км. Длина приемных диполей составляла ~90 м. Для получения устойчивых

значений импеданса на высоких периодах необходимое время записи составляет более суток.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРОБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МТ ДАННЫХ

В методе магнитотеллурического зондирования (МТЗ) для получения информации об электропроводности геологической среды используется связь (1.1)

$$\mathbf{E}_{\text{гор.}} = [\mathbf{Z}]\ \mathbf{H}_{\text{гор.}} \qquad (1.1)$$

между горизонтальными векторами электрического и магнитного полей на земной поверхности, которая получила название тензора импеданса (1.2).

$$[\mathbf{Z}] = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \qquad (1.2)$$

Компоненты тензора импеданса Z_{xy}, Z_{yx} являются основными, а компоненты Z_{xx}, Z_{yy} - дополнительными [1].

По итогам полевых работ выполнена обработка данных АМТЗ и МТЗ, получен тензор импеданса для каждой точки зондирования, определены главные направления, по которым построены кривые частотной зависимости его компонент (Рис. 2 и 3).

Тензор импеданса даёт возможность оценить характер и степень геоэлектрической неоднородности среды. Выполнен анализ геоэлектрической среды: рассмотрены полярные диаграммы на разных периодах и построены пространственно-временные разрезы параметров неоднородности N [16] и асимметрии Skews[18].

Для примера приведены пространственно-временные разрезы по профилю пересекающего прорыв им. С.И. Набоко.

Параметр неоднородности (Рис. 4) имеет небольшие значения, только в районе прорыва им. С.И. Набоко (п.п. 6-8) значения увеличиваются до 0.7, что говорит о повышенной геоэлектрической неоднородности в данном районе профиля.

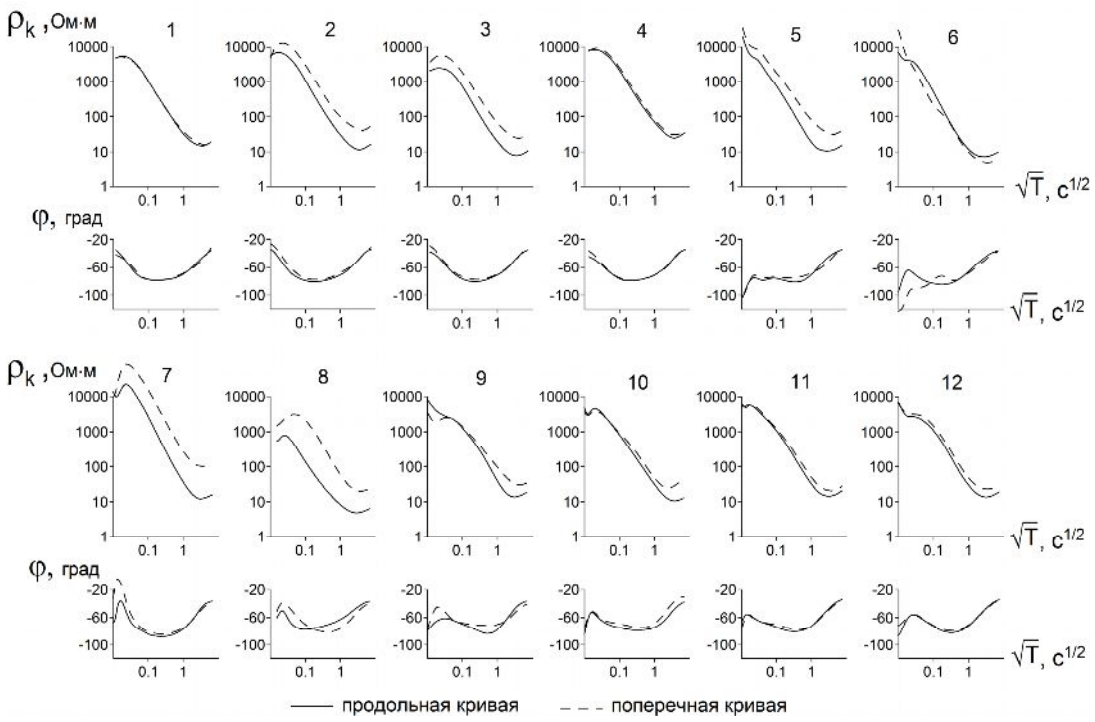


Рис. 2. Амплитудные и фазовые кривые АМТЗ.

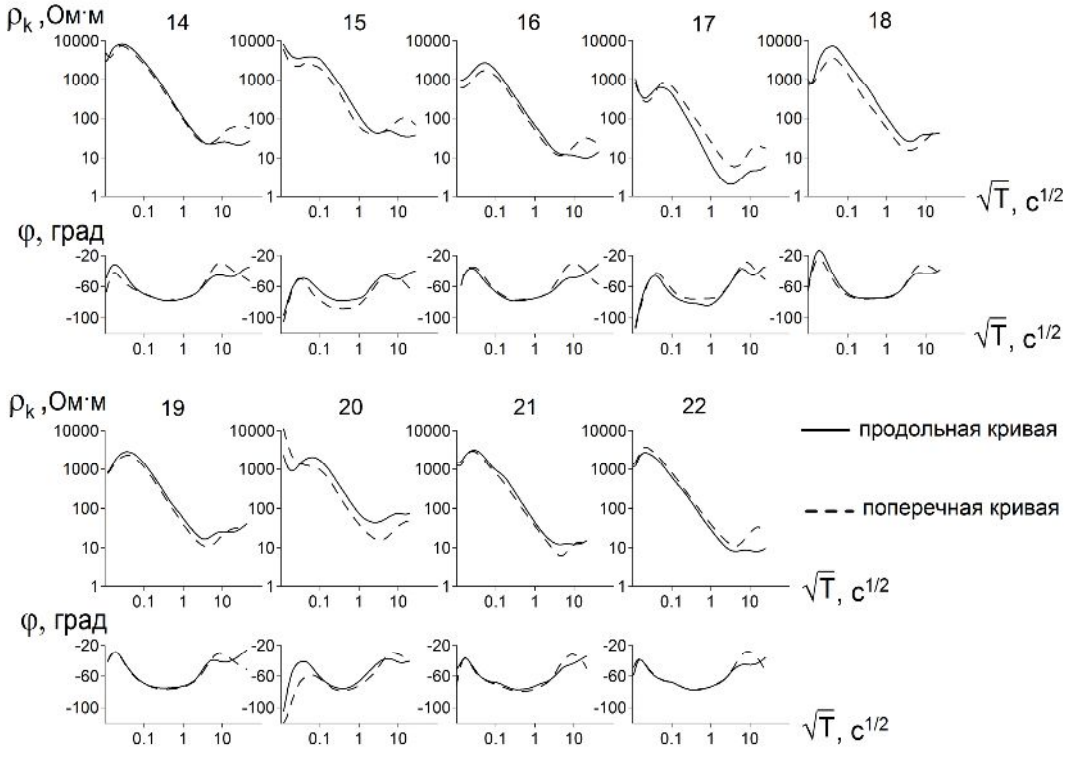


Рис. 3. Амплитудные и фазовые кривые МТЗ.

Также параметр асимметрии Skews (Рис. 5) увеличивается в районе прорыва им. С.И. Набоко (п.п. 6-8), что связано с увеличение трехмерных эффектов.

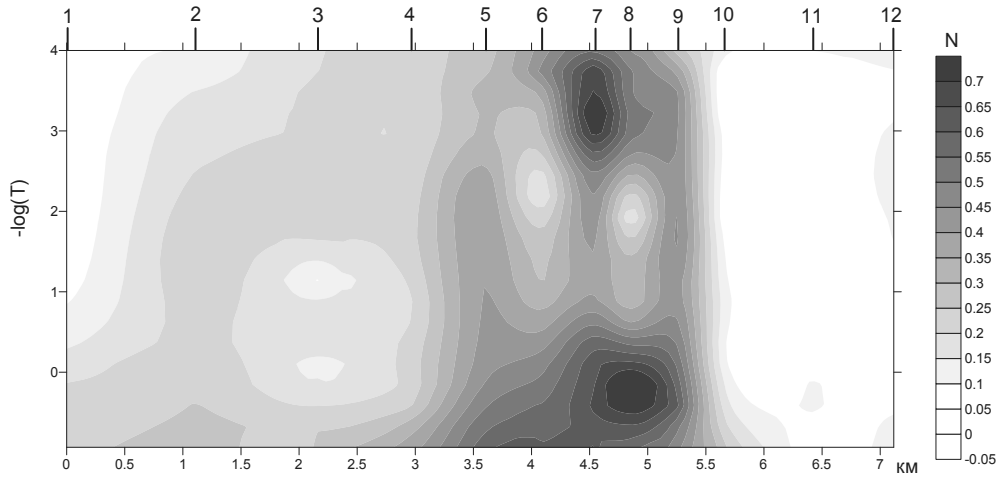


Рис. 4. Пространственно-временной разрез параметра неоднородности по профилю АМТЗ.

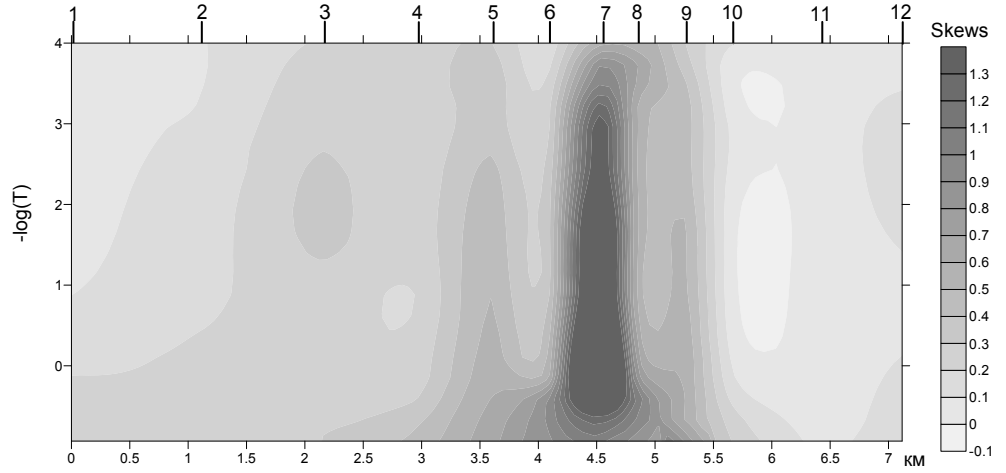


Рис. 5. Пространственно-временной разрез параметра асимметрии по профилю АМТЗ.

Большое внимание при интерпретации уделено фазовым кривым импеданса, свободным от влияния локальных геоэлектрических неоднородностей. Фазовые кривые содержат дополненную информацию о глубинной неоднородности. Поэтому на этапе качественного анализа фазовые кривые дали возможность получить представление о распределении электропроводности в зоне глубинного разлома и прорыва С.И. Набоко.

Выполненный анализ свидетельствует, что на длинных периодах вариаций геоэлектрические неоднородности в первом приближении можно аппроксимировать в качестве двумерных, что связано с влиянием регионального разлома субмеридионального простирания. Это дает нам право выполнить численное двумерное моделирование с помощью программы Макки [17]. По данным качественного анализа МТЗ, формальной интер-

претации кривых МТЗ и другой априорной геолого-геофизической информации, создана модель, которая послужила стартовой моделью для численного двумерного моделирования.

Для интерпретации выбраны продольные кривые, которые обладают повышенной разрешающей способностью к наличию глубинных проводящих зон. Рассмотрим амплитудные и фазовые кривые МТЗ (Рис. 3). На них выражен в левой части максимум, связанный с высокоомными образованиями, представленными вулканогенными породами, включая лавовые потоки. В средней части кривых выражен минимум, отражающий низкоомную осадочно-вулканогенную толщу, перекрывающую верхнемеловой фундамент. Важно отметить, что на продольных кривых МТЗ в низкочастотном диапазоне выражен минимум, свидетельствующий о наличии глубинной проводящей зоны.

Были построены геоэлектрические разрезы по двум профилям. Первый профиль - (п.п. 1 - 12) АМТЗ, пересекающий прорыв С.И. Набоко (Рис. 6),

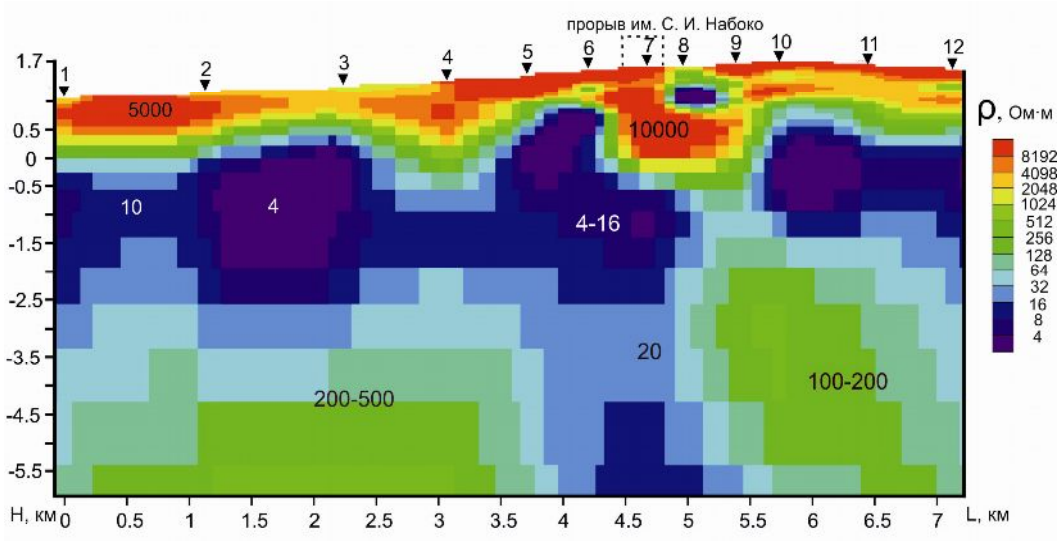


Рис. 6. Геоэлектрический разрез по профилю АМТЗ.

Второй профиль - (п.п. 19 - 15) МТЗ, проходящий на несколько километров южнее первого (Рис. 7).

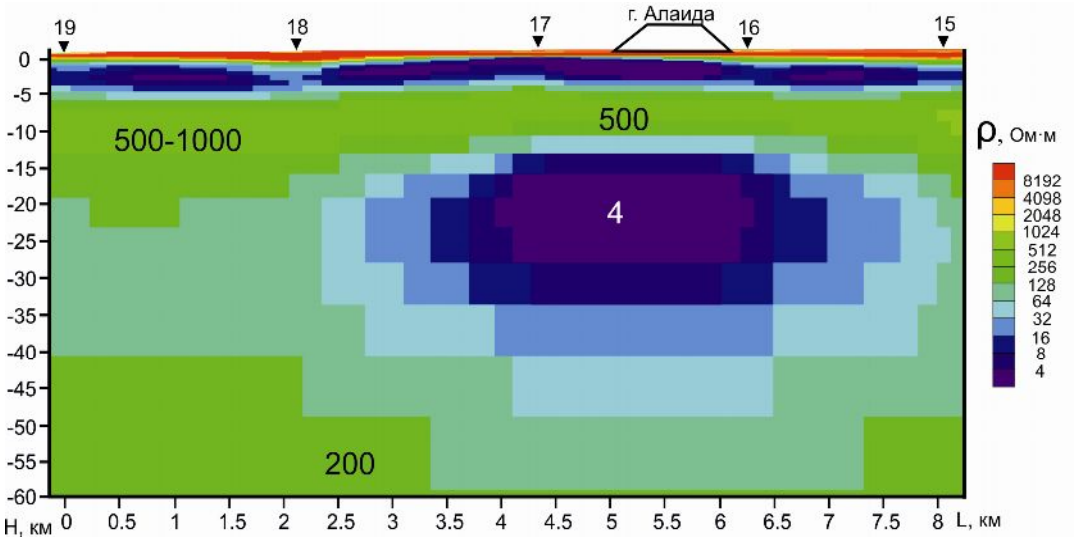


Рис. 7. Геоэлектрический разрез по профилю МТЗ.

Рассмотрим геоэлектрический разрез, пересекающий прорыв С.И. Набоко (Рис. 6). В верхней части разреза выражен высокоомный слой с электрическим сопротивлением до десяти тысяч Ом•м. Мощность осадочно-вулканогенной толщи варьируется от первых сотен метров до 3 км. Удельное электрическое сопротивление её составляет первые единицы – первые десятки Ом•м. Ниже осадочно-вулканогенной толщи расположен кайнозойский фундамент с удельным электрическим сопротивлением в первые сотни Ом•м.

На разрезе по данным МТЗ на глубине 11 км выделяется аномалия повышенной электропроводности мощностью 25 км и шириной 4.5 км с удельным электрическим сопротивлением в первые единицы Ом•м. Пониженные электрические сопротивления можно связать с наличием жидкой фазы в виде магматических расплавов.

ВЫВОДЫ

По данным анализа тензора импеданса установлено, что геоэлектрическая среда в первом приближении может быть аппроксимирована двумерно-неоднородной моделью, что дало нам право выполнить численное двумерное моделирование МТ данных по двум профилям. По продольным кривым получены геоэлектрический разрезы, характеризующих электропроводность среды до глубины 60 км. Выделены аномалии повышенной электропроводности, которые могут быть связаны с наличием магматических расплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И.* Модели и методы магнитотеллурики. Научный мир. 2009. С. 677.
2. *Большое трещинное Толбачинское извержение, Камчатка* 1975-1976. Под ред. С.А. Федотова. М.:Наука, 1984. 638 с.
3. *Былинкина А.А., Горшков Г.С.* Состояние вулканов Ключевской группы во второй половине 1949 г. // Бюл. вулканол. Станций, 1954, № 20. С. 32-37.
4. *Влодавец В.И.* Ключевская группа вулканов // Труды Камчатской вулканологической станции, 1940, № 1. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР. С. 2-124.
5. *Влодавец В.И., Пийп Б.И.* Каталог действующих вулканов Камчатки // Бюл. вулканол. Станций, 1957, № 25. М.: АН СССР. С. 5-95.
6. *Волынец А.О., Мельников Д.В., Якушев А.И.* (2013) Первые данные о составе продуктов Трещинного Толбачинского извержения им. 50-летия ИВиС (Камчатка) // Доклады Академии наук. 2013, Т. 452, № 3. С. 303-307.
7. *Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Нуждаев А.А.* Спутниковый мониторинг Трещинного Толбачинского извержения им. 50-летия ИВиС ДВО РАН В 2012-2013 гг. // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы региональной конференции, посвященной Дню вулканолога, 28-29 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2014, С. 50-56.
8. *Гордеев Е.И., Муравьев Я.Д., Самойленко С.Б., Волынец А.О., Мельников Д.В., Двигало В.Н.* Трещинное Толбачинское извержение в 2012–2013 гг. Первые результаты // Доклады Академии наук. Т. 452, 2013, № 5. С. 562-566.

9. *Еремина Т.С., Хубуная С.А., Колосков А.В., Москалева С.В.* Известковощелочные и субщелочные базальты и андезибазальтывулканов Ключевской, Харчинский и Плоский Толбачик (ТТИ-50) — вулканические продукты разноглубинной мантии // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы региональной конференции, посвященной Дню вулканолога, 27-28 марта 2014 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2014, С. 69-82.

10. *Зубов А.Г.,* Ананьев В.В.О методике определения глубин магматических палеоочагов по составу и магнитным свойствам титаномагнетитов // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 29 - 30 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2014, С. 194-200.

11. *Карпов Г.А., Аникин Л.П., Флеров Г.Б., Чубаров В.М., Дунин-Барковский Р.Л.*Минералого-петрографические особенности алмазсодержащих продуктов Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы региональной конференции, посвященной Дню вулканолога, 27-28 марта 2014 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2014, С. 284-289.

12. *Лукашов А.А.* Геолого-геоморфологические последствия трещинного Толбачинского извержения 2012-2013 годов (Камчатка) // Материалы XXXIV Пленума Геоморфологической комиссии РАН, Волгоград, 6–9 сентября 2014 г.

13. *Маргаритов В.П.* Камчатка и ее обитатели // Зап. Приамурского отдела Имп. Русск. Геогр. об-ва. Хабаровск, 1899, Т. V (Вып. I). 144 с.

14. *Мельников Д.В., Гирина О.А.* Определение физических параметров лавовых потоков на основе данных дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Тезисы докладов. Одиннадцатая Всероссийская открытая ежегодная конференция, 11-15 ноября 2013 г., Москва. М.: ИКИ РАН. 2013. С. 309.

15. *Михайлюкова П.Г., Тутубалина О.В., Мельников Д.В., Зеленин Е.А.* Количественная оценка параметров Трещинного Толбачинского извержения им. 50-летия ИВиС ДВО РАН и динамики вулканогенного рельефа на основе данных дистанционного зондирования// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 11, 2014, № 4. С. 351-359.

16. *Bahr K.* Interpretation of magnetotelluric impedance tensor: regional, induction and local telluric distortion. J. Geophysics. 1988. № 62. P. 119-127.

17. *Rodi, W., and R.L. Mackie,* 2001. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion, Geophysics, 66, 174-187.

18. *Swift C.M.* A magnetotelluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the Southwestern United States. Ph. D. Dissertation, M/T. Cambridge. 1967.

THE MAGNETOTELLURIC SOUNDING TECHNIQUE AND RESULTS IN THE AREA OF FISSURE TOLBACHIK ERUPTION (FTE) NAMED AFTER 50 YEARS OF IVS.

[1,2]Loginov V.A., [1]Samoylova O.M., [1,2]Ulybyshev I.S., [1,2]Avdas A.S.

[1]Institute of Volcanology and seismology FEB RAS
[2]Kamchatka Vitus Bering state university

The magnetotelluric sounding observation technique and interpretation have been considered. It has been shown that geological medium can be approximated by 2D model in the first approach. On this basis the inversion of AMTS and MTS curves has been carried out using numerical 2D modeling of MT field program (by Mackie R.L. algorithm). As a result we have got several geoelectrical sections which characterize structure of the crust and upper mantle conductivity up to 60 km. Also the estimation of the MT method resolving power has been carried out.

Key words: Fissure Tolbachik eruption, magnetotelluric soundings, impedance tensor, geoelectrical section.

УДК 551.594

ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ АНОМАЛИЯ В ВАРИАЦИЯХ ГРАДИЕНТА ПОТЕНЦИАЛА АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ, ВОЗНИКШЕГО ОТ СИЛЬНОГО ЭКСПЛОЗИВНОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ 16 НОЯБРЯ 2014 Г.

Акбашев Р.Р.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН,
г. Петропавловск-Камчатский

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Фирстов П.П.

Высокая чувствительность электрического поля к атмосферным процессам определяет перспективность и эффективность его мониторинга для целей заблаговременного обнаружения признаков развития различных атмосферных явлений, а так же состояния загрязненности атмосферы, мониторинга мощных эруптивных выбросов в зонах активного вулканизма их количественная оценка, оценка дисперсности эруптивного облака. В результате непрерывной регистрации вариаций градиента потенциала атмосферного электрического поля (V′ АЭП) в п. Козыревск, зафиксирована положительная аномалия, длительностью ~ 1,5 час превышающая уровень фона на V′≈90 В/м. отражающая атмосферно-электрический эффект, который возник при распространении вулканического шлейфа от сильного эксплозивного извержения вулкана Шивелуч 16 ноября 2014 г.

Ключевые слова: градиент потенциал атмосферного электрического поля (V' АЭП), эксплозивное извержение, пепловый шлейф, аэрозоли.

ВВЕДЕНИЕ

Как показали экспериментальные исследования, большую роль в электризации эруптивных облаков играет процесс фрагментации (разрушения) магмы [5, 8, 9, 10]. Основными причинами электризации эруптивного облака при фрагментации магмы и формирования эруптивной колоны могут быть [5]:

1. Причиной заряжения продуктов непосредственно при фрагментации магмы может быть разная подвижность катионов Na+ в примесных центрах на поверхности фрагментированных частиц с разной структурой. Частицы с аморфной структурой поверхности заряжаются положительно, а с кристаллической – отрицательно.

2. В дальнейшем разделение частиц разных размеров в эруптивной колоне и образующегося затем шлейфа, приводит к их разнополярному заряжению и пространственному разделению зарядов, как в эруптивной колоне, так и под шлейфом эруптивного облака. В первом случае разделение обусловлено газодинамическим сопротивлением при инжекции пеплогазовой струи в атмосферу, а во втором в результате гравитационной дифференциации.

Наиболее тяжелая фракция пепла выпадает вблизи постройки вулкана, а легкая и аэрозоли начинают двигаться вблизи высоты тропопаузы (рис. 1) [10].

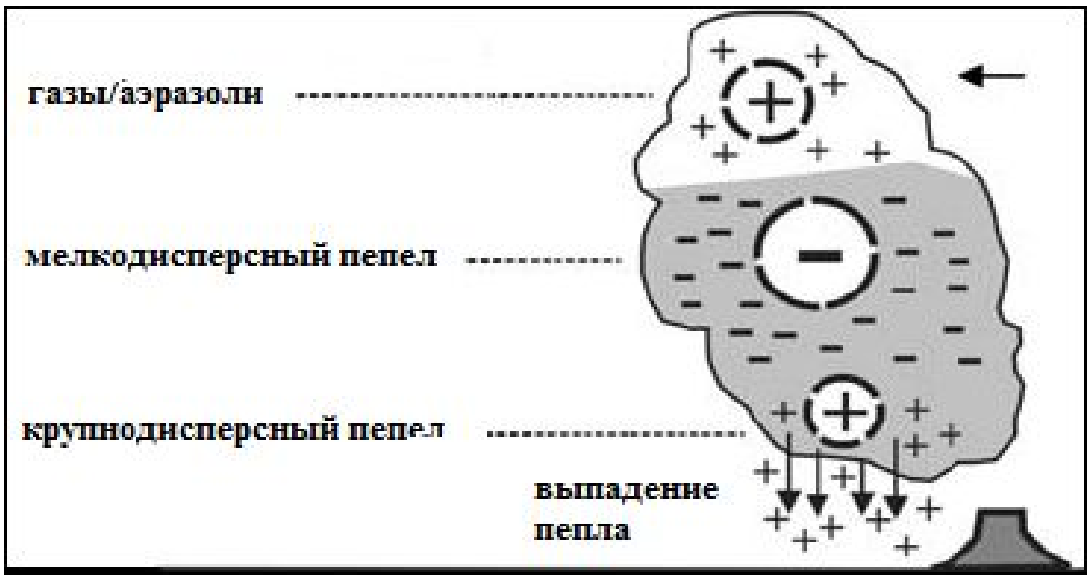


Рис. 1..Схема образования эруптивного пеплового облака его электризациия [10].

Таким образом, пепловые облака, шлейфы от мощных эксплозивных извержений представляют собой аэроэлектрические структуры, которые могут отражаться в вариациях V′ АЭП.

Мониторинг распространения эруптивных аэрозольных облаков, возникающих во время сильных эксплозивных извержений вулканов мира, в последнее десятилетие успешно осуществляется с использованием спутниковых и наземных данных на основании регистрации диоксида серы (SO2). На сегодняшний день наиболее успешным проектом по мониторингу вулканогенного диоксида серы является сеть измерительных станций,

созданная в рамках проекта Европейского союза с привлечением спутниковых снимков [7].

В свою очередь, контролируя градиент потенциала атмосферного электрического поля (V′ АЭП) в приземном слое атмосферы можно обнаружить присутствие даже слабонасыщенных пеплом эруптивных облаков. Поэтому регистрация электрических процессов в эруптивных облаках может быть как одна из составляющих комплексных наблюдений за вулканическими извержениями с целью оценки пепловой опасности для авиатранспорта. Кроме того, по мнению авторов, наземные измерения V′ АЭП под вулканическими шлейфами в ближней зоне (до 500 км) могут дать ответ об объёме самой легкой фракции вулканического пепла в эруптивных образованиях.

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

Рис. 2. Общий вид эквипотенциальной поверхности, на которой установлен флюксметр «Поле-2» на обсерватории ПРТ (а), флюксметр ЭФ-4, установленный в KZY обтюратором вниз (б).

На Камчатке изучение электрического поля атмосферы АЭП ведется с начала 90 годов прошлого века, когда на обсерватории «Паратунка» ИКИР ДВО РАН, которая расположена на юге Камчатского полуострова к западу от Авачинской бухты (52°58,33' с.ш., 158°5,02' в.д.), был установлен флюксметр «Поле-2» (рис.2а). [6].

Необходимо отметить, что регистрация V′АЭП в континентальной части полуострова представляет особый интерес. Интерес в сопоставлении унитарной и годовой вариаций записей V′АЭП зарегистрированных в прибрежной и континентальной частях полуострова. Кроме того представляет интерес расположение датчика V′АЭП в районе северной группы вулканов, к которой относятся Ключевская группа вулканов с четырьмя активно действующими, а так же в. Шивелуч самый северный действующий вулкан полуострова Камчатка (рис.3б). Это повысит вероятность прохождение шлейфов от сильных эксплозивных извержений над зоной регистрации датчика V′АЭП, что является необходимым для изучения электризации пепловых шлейфов. Поэтому в пос. Козыревск на сейсмической станции «KZY» Камчатского филиала Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) был установлен флюксметр ЭФ-4 (рис. 2б), конструкция которого описана в работе [2].

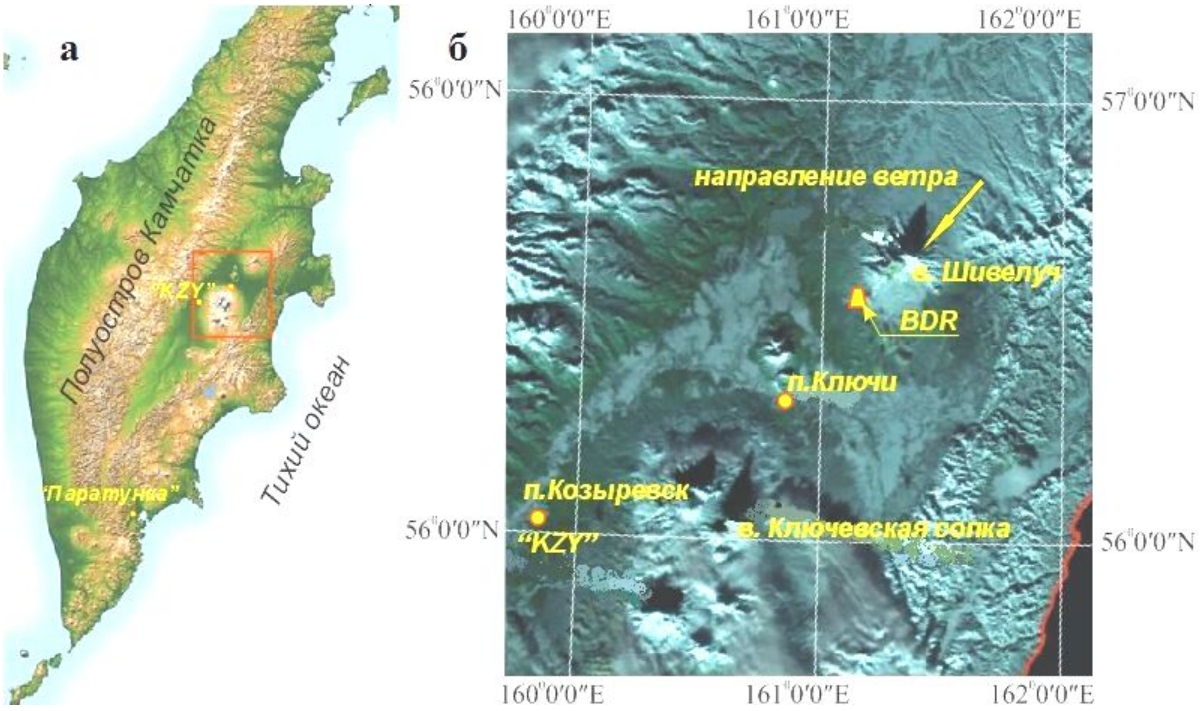


Рис. 3. Схема расположения пунктов регистрации V′АЭП на полуострове Камчатка (а), Северная группа вулканов, РТСС BDR (б).

Кроме того на данной станции установлен комплекс метеорологической аппаратуры Vasiala wxt520, позволяющий регистрировать основные параметры состояния атмосферы (давление, температура, влажность, скорость ветра). Эти данные необходимы для качественного анализа и интерпретации данных V′АЭП.

ЭКСПЛОЗИВНОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ 16 НОЯБРЯ 2014Г.

Вулкан Шивелуч самый северный из действующих вулканов Камчатки (56°47′ с.ш., 157°56′ в.д.) с андезитовым составом лавы и высотой экструзивного купола 2500 м н. у. м. В последние десятилетия его извержение, обусловленное медленным выжиманием магмы и формированием экструзивного купола, периодически сопровождается сильными пепловыми эксплозиями. При этом эруптивное облако может подниматься до высот тропопаузы (для полуострова Камчатка – 10-12 км летом и 8-10 км зимой). Эруптивное облако, состоящее из мелкой фракции вулканического пепла и аэрозоля, по мере движения на высотах в несколько километров сохраняет электрическую структуру на удалении до 1000 и более километров. В этом случае, по геологическим оценкам [4], подтвержденным количеством пепла, рассчитанным на основании акустического излучения [1], в атмосферу выбрасывается не менее $3 \cdot 10^6$ м^3 вулканического пепла.

Все эксплозивные извержения вулкана Шивелуч сопровождаются сейсмическими сигналами. Мониторинг вулканической активности вулканов Северной группы осуществляется КФ ГС РАН на основании изучения сейсмичности отдельных вулканов. В районе северной группы вулканов работает сеть радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС). Ближайшая к вулкану Шивелуч РТСС «Байдарная» (BDR) находится в 10 км от кратера вулкана (рис. 3б). На сейсмических записях BDR 16 ноября 2014 г. выделяется сейсмический сигнал с максимальной скоростью смещения грунта на всех трех сейсмометрах (N-S, W-E, Z) более 200 мкм/с в

течение 13 минут (рис. 4). Время вступления сейсмического сигнала можно рассматривать как время начала эксплозивного процесса с точностью до секунды (t0 ≈ 10 ч. 17 мин. 55 сек).

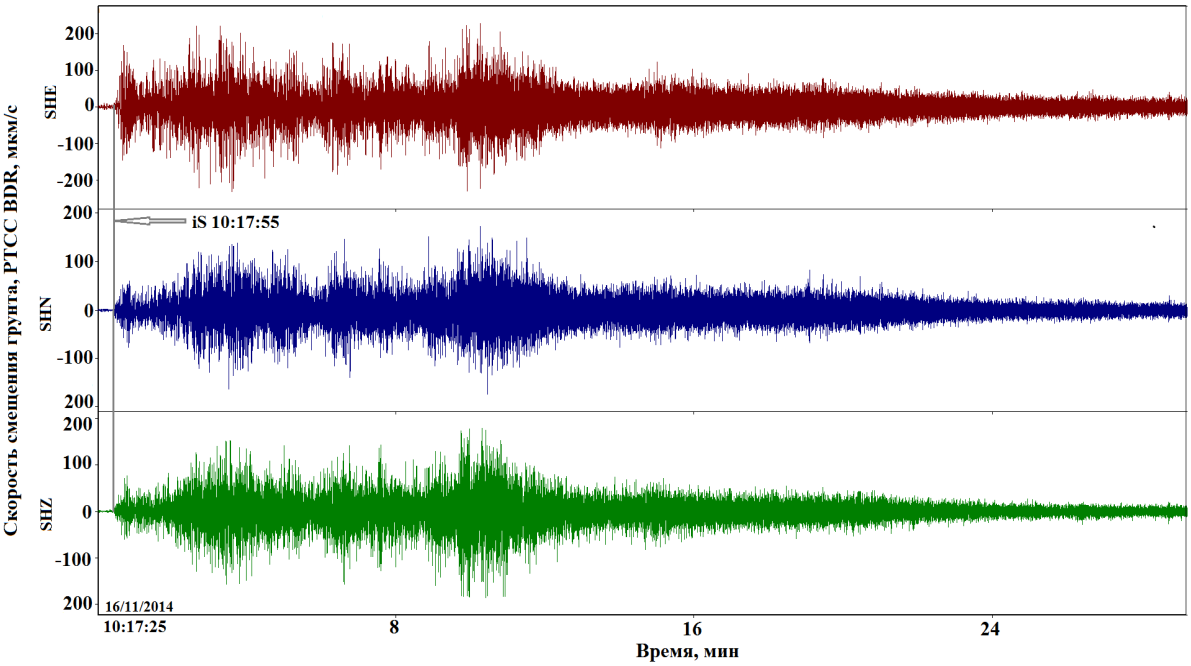


Рис. 4. Сейсмический сигнал, сопровождавший извержение вулкана Шивелуч 16.11.2014 г.

ХРОНОЛОГИЯ РАЗВИТИЕ ЭРУПТИВНОГО ШЛЕЙФА ОТ ИЗВЕРЖЕНИЯ, АНОМАЛИЯ V′АЭП

Направление течение эруптивное облако поднимающегося до высот тропопаузы определяется направлением ветра на данных высотах. На метеорологической обсерватории «Ключи» Камчатского управления по гидрометеорологии и контролю за окружающей средой, расположенной в поселке Ключи в 48 км от вулкана Шивелуч (рис.3б), ведутся наблюдения за метеорологическими величинами (атмосферное давления, температура воздуха, влажность) и два раза в сутки проводится высотное зондирование атмосферы. Данные высотного зондирования можно получить на сайте http://www.esrl.noaa.gov/raobs/intl/intl2000.wmo.

Согласно высотному зондированию 16 ноября 2014 г. в 12 часов на рис. 5 приведены температурная и ветровая стратификация до высоты 25 км на 12 ч. 00 мин. Температурная стратификация имела две инверсии на

высотах 9-10 и 12 км, где скорость ветра составляла 17 м/с и 11 м/с соответственно. Высота нижней инверсии соответствовала высоте тропопаузы характерной в осенне-зимний период для Камчатки. Для этих высот характерно юго-юго-западное направление ветра (азимут 50° и 80°, рис. 5б).

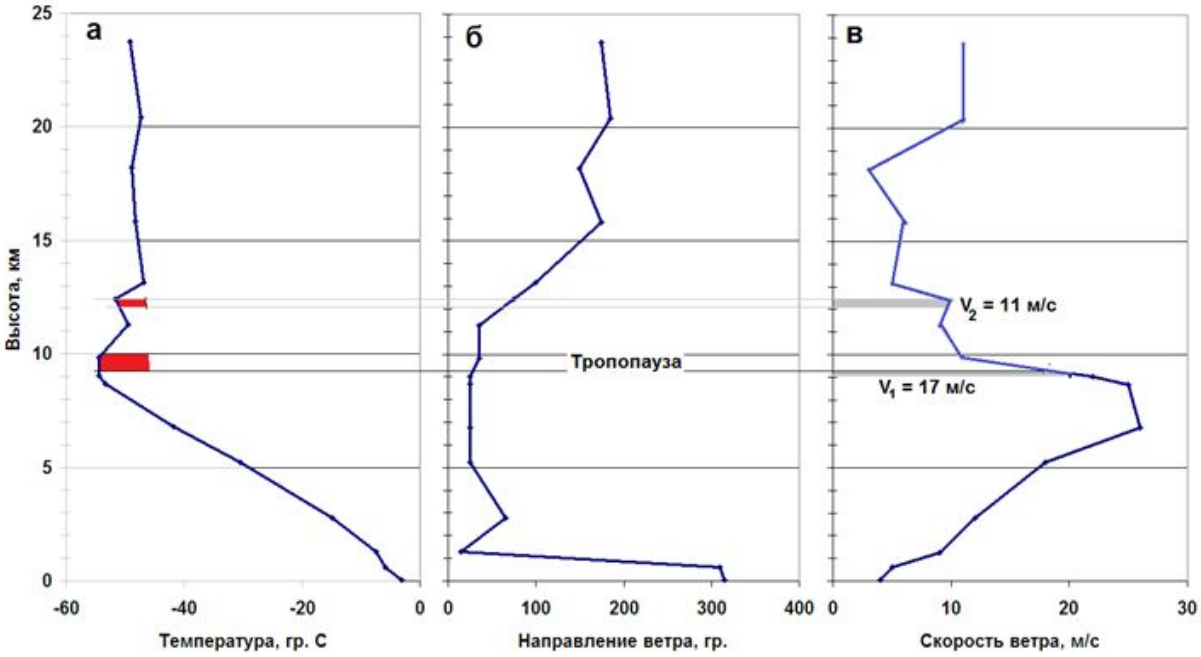


Рис. 5. Стратификация температуры (а), направления (б) и скорости (в) ветра по данным метеорологической обсерватории «Ключи» на 12 часов 16 ноября 2014 г.

Представление о структуре распространяющегося облака дает спутниковый снимок (Landsat 8), полученный через 22 минуты после начала извержения (рис. 6а). В это время головная часть шлейфа еще нагружена пеплом (темная окраска). На спутниковом снимке эруптивного шлейфа, любезно предоставленного О.А. Гириной из информационной системы VolSatView [3], видна конфигурация эруптивного облака. С определенной долей условности, можно выделить две границы по плотности облака (рис. 6б). Зная время съемки и начало эксплозивного процесса, определены скорости движения границ эруптивного облака 19 м/с и 13,7 м/с. Это дает основание предполагать, что распространение облака происходит на двух высотах.

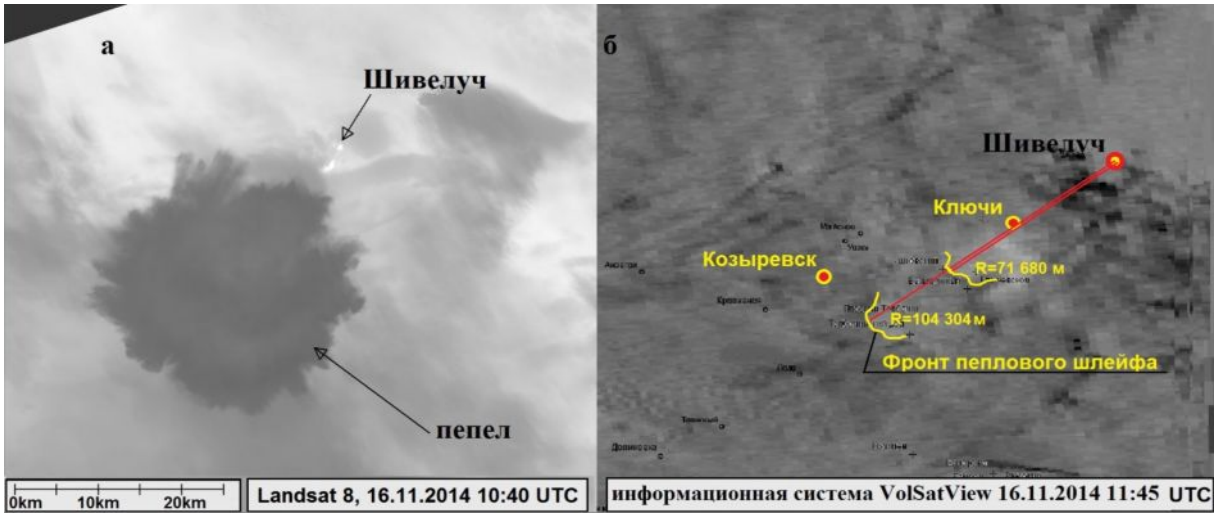


Рис. 6. Спутниковый снимок (Landsat 8) эруптивного облака эксплозивного извержения вулкана Шивелуч, выполненный в 10:40 16.11.2014 г. (а), спутниковый снимок эруптивного шлейфа из информационной системы VolSatView [3] в 11:45 16.11.2014 г.

Спустя 1 час 47 минут после начала эксплозивного извержения в пункте «KZY» на записи V′ АЭП визуально хорошо выделяется аномалия длительностью 1.5 часа (рис. 7а). При этом поведение метеорологических величин достаточно спокойное, что говорит об условиях хорошей погоды (рис. 7в-д).

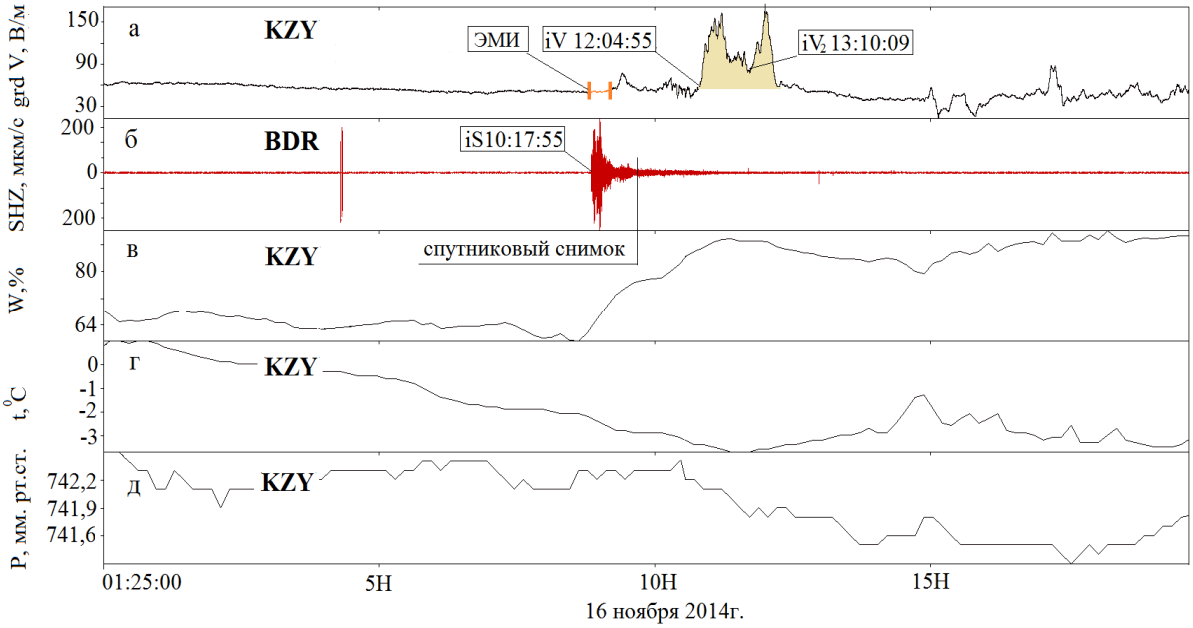


Рис. 7. Градиент потенциала АЭП в пункте KZY (а); запись сейсмического сигнала, сопровождавшего извержение вулкана Шивелуч 16.11.2014 г., на РТСС BDR (б); метеорологические параметры в пункте KZY (в, г, д).

Аномалия представляет собой возмущение с двумя бухтообразными максимумами, превышающими уровень фона на V′≈90 В/м. Если рассматривать аномалию как эффект от эруптивного облака, распространяющегося на 25 км восточнее пункта «KZY», тогда по времени распространения с использованием разности времен между t_0 (рис. 4) и временами прихода обоих максимумов аномалий V′ АЭП, можно оценить скорость движения аэроэлектрических структур, которая составляет 17 м/с и 11 м/с соответственно. Совпадение скоростей распространения аэроэлектрических структур со скоростями ветра на определенных высотах указывает на то, что распространение пепла могло происходить на двух высотах, где существовали температурные инверсии (9-10 и 12 км).

В результате анализа данных на момент эксплозивного извержения вулкана Шивелуч 16.11.2014г. реализована хронология событий, которая заключалась в следующем. Сформировалось эксплозивное облако, поднявшееся до высот тропопаузы. Нижняя часть облака, представленная крупнодисперсными пепловыми частицами, заряжена, по всей видимости, положительно и выпадает вблизи постройки вулкана [10]. Верхняя часть облака, представленная аэрозолями и мелкодисперсными частицами пепла, с соответствующей градацией этих частиц по высоте в результате гравитационного воздействия. По всей видимости, имеет разнополярное заряжение частиц пепла и аэрозолей с преобладанием отрицательно заряженных частиц при формировании эруптивного облака и с постепенным увеличением преобладания при течении шлейфа на высотах тропопаузы положительно заряженных аэрозоля и мелкодисперсного пепла. Пункт «KZY», где установлен датчик «ЭФ-4» расположен в 113 км от вулкана Шивелуч. Вероятно, шлейф, который распространялся в 25 км восточней от пункта регистрации, на тот момент был представлен положительно заряженными аэрозолями, что и отразилось на вариациях V′ АЭП в виде положительной аномалии. В таблице 1 представлена хронология событий.

Таблица 1. Хронология развития эруптивного шлейфа от вулкана Шивелуч 16 ноября 2014 г.

№	событие	Время	φ, с.ш.	λ, в.д.	R, км	v, м/с	Примечание
1	Приход сейсмической волны на PTCC BDR	10:17:55.3					Время начала эксплозивного процесса
2	Спутниковый снимок Landsat 8	10:40					головная часть шлейфа еще нагружена пеплом
3	Спутниковый снимок (2 фронта) системы VolSatView	11:45	55.93	160.19	104,3	19,9	Отсутствует заметная пепловая фракция, шлейф представлен аэрозолями
		11:45	56.06	160.74	71,6	13,7	
4	Аномалии на станции KZY	12:04			113.0	17,7	Положительная аномалия с двумя max с превышением уровня фона на 90 V/m
5		13:10			113.0	10,9	

ВЫВОДЫ

Физика эксплозивного процесса может быть понята и изучена только с помощью натурных наблюдений комплексом геофизических методов. Атмосферное электричество, может существенно расширить наши знания о физических процессах, связанных с образованием эруптивных облаков.

Регистрация V′ АЭП в приземном слое атмосферы вблизи действующих вулканов позволяет обнаружить присутствие даже слабонасыщенных пеплом эруптивных облаков. Поэтому сеть пунктов регистрации V′ АЭП вблизи извергающихся вулканов может дать возможность обнаружения и оценки электрических параметров эруптивного облака. Это дает основание считать, что регистрация электрических процессов в эруптивных облаках должна стать одной из составляющих комплексных наблюдений за вулканическими извержениями с целью оценки пепловой опасности для авиатранспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гордеев Е.И., Фирстов П.П., Куличков С.Н., Махмудов Е.Р.* Инфразвуковые волны от извержений вулканов Камчатки // ФАО. 2013. Т. 49. №4. С. 456-468.

2. *Ефимов В.А., Орешкин Д.М., Фирстов П.П., Акбашев Р.Р.* Применение электростатического флюксметра ЭФ-4 для исследований геодинамических процессов // Сейсмические приборы. 2013. Т.49, №4. С. 35-46

3. *Ефремов В.Ю., Гирина О.А., Крамарева Л.С., Лупян Е.А. , Маневич А.Г., Матвеев А.М., Мельников Д.В., Прошин А.А., Сорокин А.А., Флитман Е.В.* Создание информационного сервиса "Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил" // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С.

4. *Малик Н.А.* Импактный вклад вулканических извержений в формирование химического состава сезонного снежного покрова (Камчатка) / Лед и снег. 2010. № 3. С. 45-52.

5. *Руленко О.П.* Экспериментальное исследование электризации вулканических облаков. Автореферат на соис. уч. ст. к.ф.-м.н. Санкт-Петербург. 1994. 16 с.

6. *Руленко О.П., Иванов А.В., Шумейко А.В.* Краткосрочный атмосферно-электрический предвестник Камчатского землетрясения 6.03.1992, M=6.1 / Докл. РАН. 1992. Т. 326. № 6. С. 980-982.

7. *Galle B., Johansson M., Rivera C., Zhang Y., Kihlman M. at al.* Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change (NOVAC)–A global network for volcanic gas monitoring: Network layout and instrument description // JGR. 2010. V. 115. D05304, P. 1-19.

8. *James M. R., Lane S.J., Gilbert J.S.* Volcanic plume monitoring using atmospheric electrical potential gradiens // J. Geol. Soc. London. 1998. № 155. P. 587-590

9. *James M. R., Lane S.J., Gilbert J.S.* Density, construction, and drag coefficient of electrostatic volcanic ash aggregates // J. Geophys. Res, 2003. V. 108, № B9, P.

10. *Mather T.A., Harrison R.G.* Electrification of volcanic plumes // Serv Geophys. 2006. P. 387-432. DOI 10.1007/s10712-006-9007-2.

POSITIVE ANOMALY IN THE VOLTAGE VARIATION OF THE ATMOSPHERIC ELECTRIC FIELD, WHICH AROSE FROM A STRONG EXPLOSIVE ERUPTION SHEVELUCH NOVEMBER 16, 2014

Akbashev R.R.

Kamchatka Branch of the Geophysical Survey RAS

The high sensitivity of the electric field to atmospheric processes determines the prospects and the effectiveness of its monitoring for early detection of signs of development of various atmospheric phenomena, as well as the state of air pollution monitoring powerful eruptive emissions in areas of active volcanism quantitative assessment, evaluation of dispersion of the eruption cloud. As a result of the continuous recording of variations in atmospheric potential gradient of the electric field (PG) in Sec. Kozirevsk, recorded a positive anomaly, duration ~ 1,5 hour in excess of the background level at V′≈90 V / m, reflecting the atmospheric-electric effect, which originated at distributing volcanic plume from a strong explosive eruption Sheveluch November 16, 2014.

УДК 550.34

ПОДАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ В СКВАЖИНЕ

Полтавцева Е.В.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, 683006

В работе поставлена и успешно решена задача выявления и устранения влияния температуры на результаты измерений удельной электропроводности (УЭП) воды в скважине Г-1, расположенной в г. Петропавловске-Камчатском, полученных с помощью кондуктометра МАРК-1102. Полученный в результате обработки ряд УЭП с отфильтрованной температурной составляющей не противоречит результатам измерений минерализации воды в скважине и используется при подготовке заключений о текущей сейсмической опасности в регионе.

Ключевые слова: удельная электропроводность воды в скважине, устранение температурного влияния.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированные измерения удельной электропроводности (УЭП) воды в скважине Г-1 с использованием кондуктометра МАРК-1102 были начаты группой скважинных измерений ИВиС ДВО РАН в 2014 г. Основной целью при этом было повышение оперативности и точности подобных измерений, проводимых в Камчатском филиале геофизической службы (КФ ГС РАН). В настоящее время в КФ ГС РАН ведутся измерения минерализации воды в скважине Г-1 с частотой один раз в трое суток путем отбора проб воды с дальнейшим анализом в химлаборатории. Точность измерений составляет порядка 1 %. Результаты измерений минерализации предоставляются со стороны КФ ГС РАН один раз в две недели и затем используются группой скважинных измерений при составлении регулярных прогнозных заключений о сейсмической опасности. В этом случае минерализация рассчитывается как сумма концентраций основных показателей катионно-анионного состава воды. В

составе воды скважины Г-1 преобладают хлор-ион (6600 мг/л) и натрий-ион (4200 мг/л). УЭП воды в скважине зависит от подвижностей и концентраций анионов и катионов:

$$\sigma = u_+ n_+ + u_- n_-, \qquad (1)$$

где u_+, u_- - подвижности катионов и анионов ($\frac{м^2}{Вс}$),

n_+, n_- - концентрации катионов и анионов ($\frac{Кл}{м^3}$).

Подвижность ионов зависит от температуры воды, и в этой связи УЭП воды приводится к одной температуре, например, к температуре 18^0С. На рис. 1 представлены исходные данные по изменению УЭП и температуры воды в скважине за весь период наблюдений с использованием кондуктометра МАРК-1102 (июнь 2014 г. - март 2015 г).

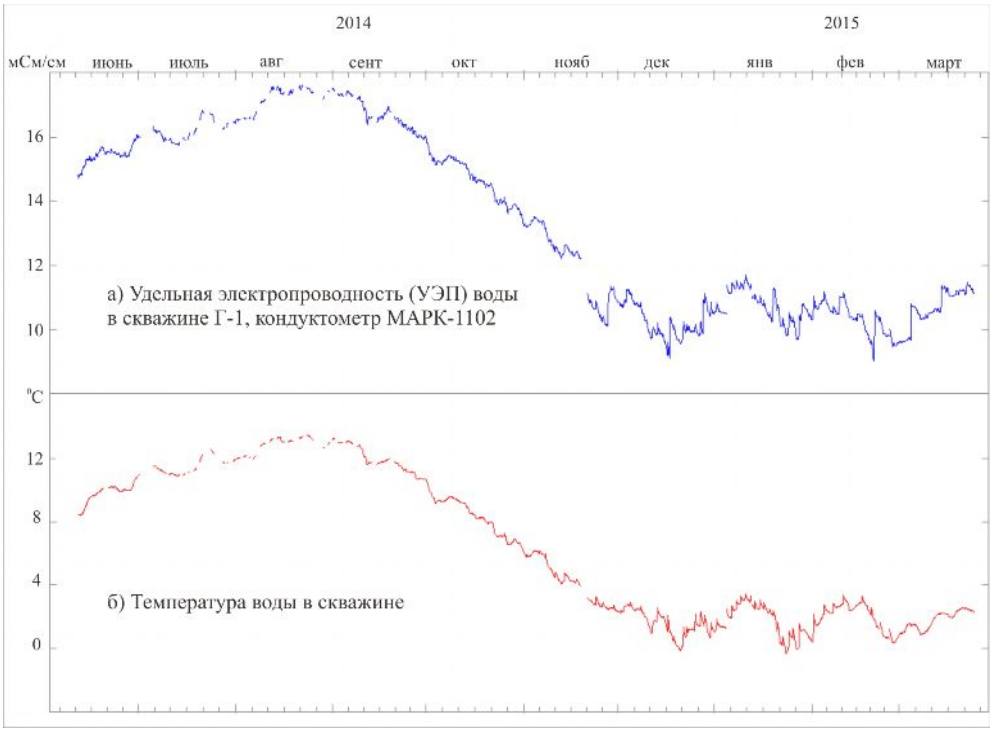


Рис. 1. Ряды исходных данных по изменению УЭП и температуры воды в скважине.

Из рис. 1 видно, что ряд УЭП фактически повторяет ряд температурных вариаций. Таким образом, в данных по УЭП воды в скважине обнаруживается значительная температурная составляющая, обусловленная двумя факторами:

1. Влиянием температуры воды скважины на подвижность ионов, которое корректируется по формуле поправки, указанной в документации к кондуктометру:

$$УЭП_{расч} = \frac{УЭП}{1 + 0.02(t - 18^0 C)} \quad (2)$$

2. Влиянием температуры на измерительную аппаратуру.

К настоящему времени не представляется возможным получать термокомпенсированные данные с цифрового выхода кондуктометра, поскольку пока отсутствует интерфейс для связи с аппаратурой телеметрии, и данные поступают с аналоговых выходов прибора. При этом одновременно с данными по УЭП регистрируются данные по температуре воды в скважине.

В этой связи в работе была поставлена следующая задача:

1. Устранить температурное влияние в данных по УЭП, не связанное с изменениями подвижности ионов в воде скважины;

2. Привести данные по УЭП к температуре 18^0С по формуле температурной поправки.

В процессе работы опытным путем был выбран такой алгоритм подавления температурной компоненты в данных УЭП воды в скважине, когда вначале устраняется температурное влияние, не связанное с изменением подвижности ионов, а затем данные приводятся к температуре 18^0С по формуле температурной поправки. В этом случае итоговый ряд УЭП лучше всего согласовывался с данными измерений минерализации воды в скважине Г-1, не зависящих от температурных вариаций.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Перед тем, как приступать к компенсации температурного влияния, была проанализирована степень связи между рядами УЭП и температурой воды в скважине. Для этой цели был использован один из методов, предложенных авторами работ [2], [3], представляющий собой

исследование внутренней структуры полученных временных рядов через разложение их на трендовые и периодические составляющие. Алгоритм исследования основан на декомпозиции исходных рядов на компоненты с различными характерными периодами в диапазоне от нескольких минут до нескольких месяцев, и попарном исследовании связей между вариациями рядов УЭП и температуры на разных периодах. В случае подтверждения предположения о наличии устойчивой связи между какими-либо вариациями (возможно, связь будет обнаружена не для всех вариаций), подбирается подходящая модель компенсации температурной компоненты в ряде УЭП для каждой полученной вариации ряда УЭП на всем диапазоне характерных периодов. После применения компенсационной модели ряд УЭП, освобожденный от температурного влияния, собирается заново из скомпенсированных составляющих. Декомпозиция исходных рядов на компоненты с разными периодами проводилась следующим образом (здесь и далее для обработки временных рядов использована программа ABD [1]):

1) вариации с характерными периодами 1-3 месяца - исходные ряды УЭП и температуры воды в скважине отбирались с усреднением в 1 сутки и очищались от вариаций с периодами свыше 19 суток и менее 99 суток методом расчета трендов скользящего среднего с варьированием ширины скользящего окна;

2) вариации с характерными периодами 3 суток-1 месяц - исходные ряды отбирались с усреднением в 1 сутки и очищались от вариаций с периодами свыше 29 суток;

3) вариации с периодом 24 часа (суточный ход) - исходные ряды отбирались с усреднением в 5 минут и очищались от вариаций с периодами свыше 10 суток. Далее из них выделялась периодическая составляющая с периодом 1440 минут (1 сутки) методом наложения эпох в скользящем окне шириной 90 суток;

4) вариации с характерными периодами 3-20 часов - исходные ряды отбирались с усреднением в 5 минут и очищались от вариаций с периодами свыше 1 суток. Далее из них дополнительно отфильтровывалась предварительно выделенная периодическая суточная вариация в скользящем окне шириной 10 суток;

5) вариации с характерными периодами 20-200 минут - исходные ряды отбирались с усреднением в 5 минут и очищались от вариаций с периодами свыше 200 минут.

После проведенной декомпозиции рядов УЭП и температуры воды в скважине для каждой пары полученных вариаций в скользящем окне строились коэффициенты корреляции и регрессии, а также взаимно-регрессионные диаграммы. При анализе графиков коэффициентов корреляции и регрессии особое внимание уделялось отсутствию резких скачков в графиках, их плавному поведению в достаточно узком диапазоне значений, а также малой погрешности в расчете уравнений линейной регрессии.

Рис. 2. Декомпозиция исходных рядов УЭП и температуры воды в скважине на составляющие с различными характерными периодами.

На рис. 2 представлены графики полученных вариаций для рядов УЭП и температуры с различными характерными периодами в диапазоне от 1-3 месяца до 20-200 минут.

На рис. 3 представлены результаты построения графиков корреляции и регрессии в скользящем окне (180 суток) и взаимнорегрессионных диаграмм для вариаций с характерными периодами 1-3 месяца и 3 суток-1месяц.

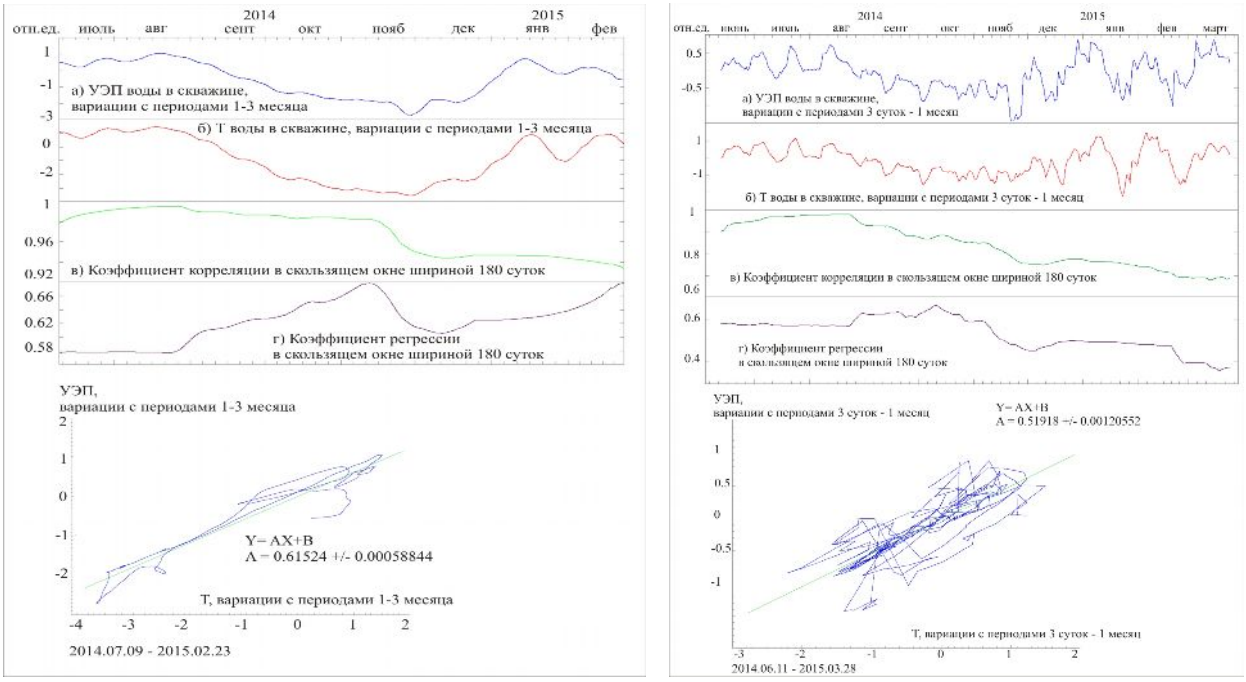


Рис. 3. Коэффициенты корреляции и регрессии в скользящем окне 180 суток и взаимнорегрессионные диаграммы для низкочастотных вариаций с периодами 1-3 месяца и 3 суток-1 месяц.

В случае наиболее длиннопериодных вариаций связь между рядами УЭП и температурой устойчивая, значения коэффициента корреляции доходят до значений, близких к 1. Резких скачков в графиках коэффициентов корреляции и регрессии не наблюдается, значения коэффициента регрессии находятся в узком диапазоне 0.58-0.66. Из взаимнорегрессионной диаграммы видно, что облако точек хорошо аппроксимируется линейным уравнением регрессии.

В случае вариаций с периодами 3 суток-1 месяц связь между рядами УЭП и температурой также наблюдается, коэффициент корреляции существенно выше в первой половине срока наблюдений, далее снижается

до 0.6. Резких скачков в графиках коэффициентов корреляции и регрессии не наблюдается, значения коэффициента регрессии находятся в диапазоне 0.4-0.6. Из взаимнорегрессионной диаграммы видно, что облако точек равномерно рассеяно вокруг тренда линейной регрессии.

Все вышеперечисленное указывает на наличие устойчивой взаимосвязи для низкочастотных компонент рядов УЭП и температуры воды в скважине.

На рис. 4 представлены результаты построения графиков корреляции и регрессии в скользящем окне (90 суток) и взаимнорегрессионных диаграмм для суточного хода, выделенного из обоих рядов.

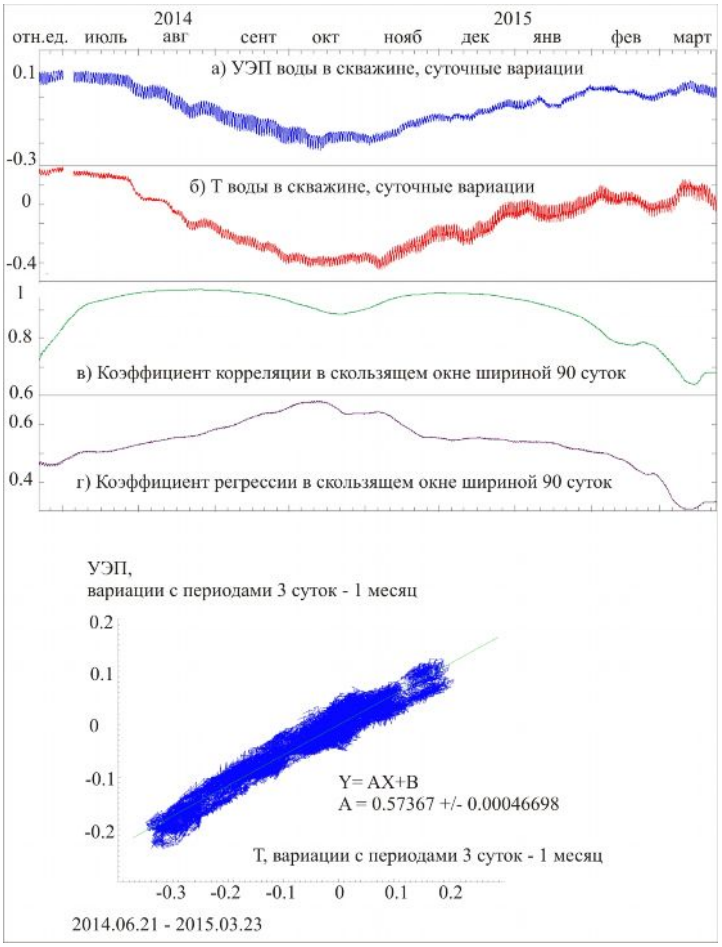


Рис. 4. Коэффициенты корреляции и регрессии в скользящем окне 90 суток и взаимнорегрессионные диаграммы для суточных вариаций.

В случае суточных вариаций связь между рядами УЭП и температурой очень устойчивая, коэффициент корреляции практически достигает 1. Резких скачков в графиках коэффициентов корреляции и

регрессии не наблюдается, значения коэффициента регрессии находятся в диапазоне 0.4-0.6, падают до 0.3 только в самом конце срока наблюдений. Из взаимнорегрессионной диаграммы видно, что облако точек равномерно рассеяно вокруг тренда линейной регрессии. Из рис. 4 можно сделать вывод, что суточные колебания в ряде УЭП воды в скважине обусловлены, главным образом, суточными изменениями температуры воды в скважине.

На рис. 5 представлены коэффициенты корреляции в 3-месячном скользящем окне для наиболее высокочастотных вариаций. Видно, что связь наблюдается только для вариаций с периодами 3-20 часов. Что касается вариаций с периодами 20-200 минут, здесь корреляция не превышает 0.5 за исключением небольшого участка в январе-феврале 2015 г., эту составляющую решено внести в итоговый ряд без изменений.

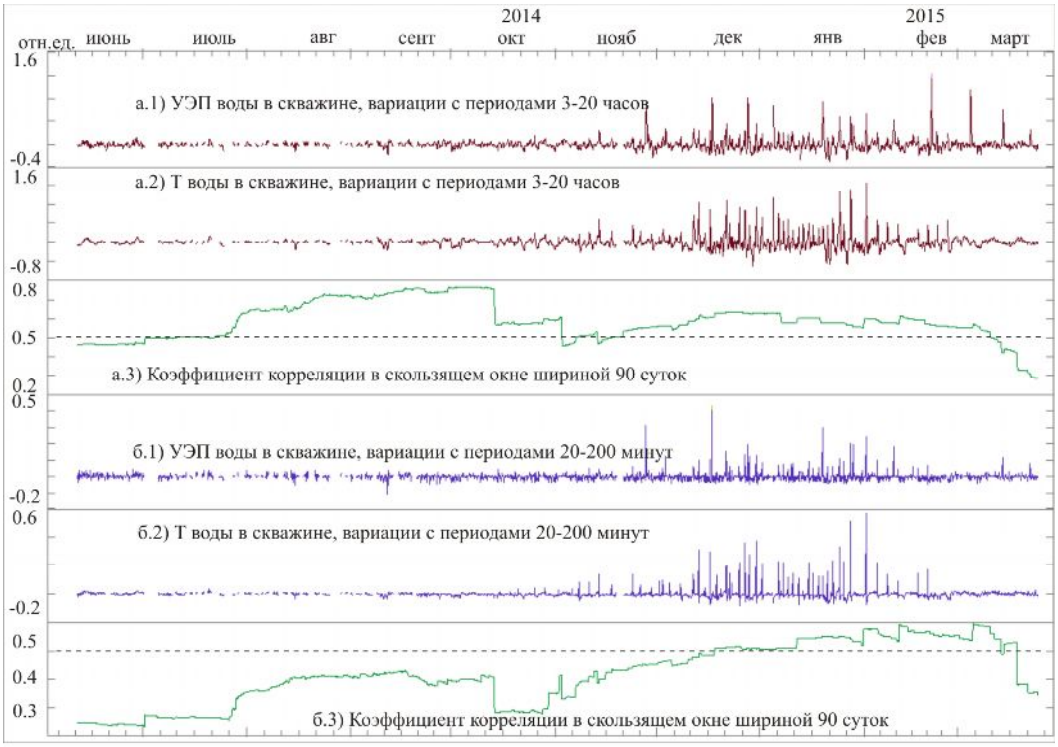


Рис. 5. Коэффициенты корреляции в скользящем окне 90 суток для высокочастотных вариаций с периодами 3-20 часов и 20-200 минут.

На рис. 6 показаны спектры вариаций с периодами 3-20 часов для рядов УЭП и температуры воды в скважине. Можно видеть, что периоды свыше суток подавлены, а также подавлена суточная периодичность

вместе с субгармониками. После анализа спектров эти вариации решено компенсировать от температурного влияния с использованием адаптивных методов фильтрации [4]. В случае вариаций с характерными периодами 3-20 часов значения коэффициента корреляции значительно ниже в сравнении с длиннопериодными составляющими, связь между рядами УЭП и температуры на этих частотах менее устойчива, и применение адаптивной фильтрации поможет избежать искажений в итоговом отфильтрованном от температурного влияния сигнале.

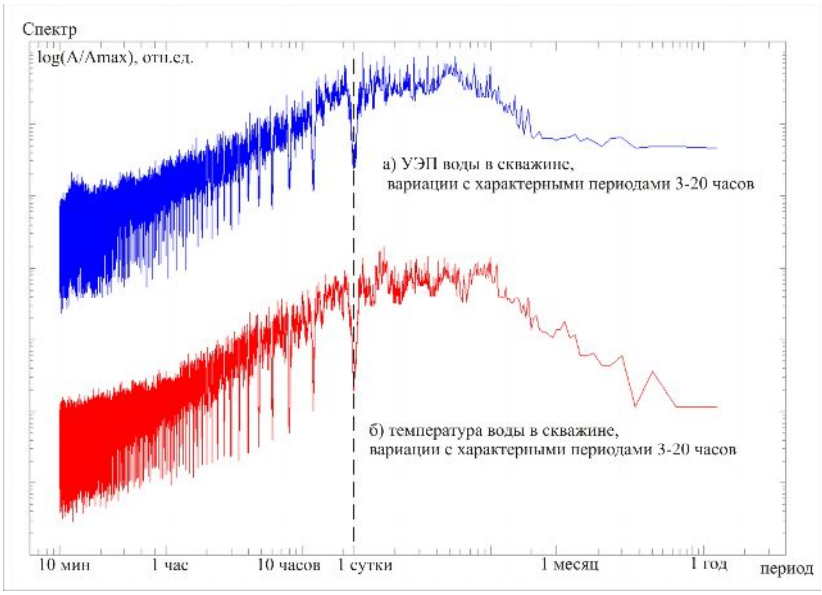


Рис. 6. Спектры вариаций с периодами 3-20 часов рядов УЭП и Т.

Надо отметить, что для рядов, обладающих низкочастотной расходимостью (тех рядов, в которых максимальную амплитуду имеют колебания с наибольшими периодами, то есть, фактически, тренды), применение любых методов шумоподавления, связанных с расчетами корреляционных матриц, в том числе, методов адаптивной фильтрации, является не вполне корректной операцией. В случае же вариаций с периодами 3-20 часов низкие частоты отсечены (рис. 6), эффект низкочастотной расходимости подавлен, и применение адаптивных алгоритмов оправдано. Для работы с вариациями с характерными периодами 3-20 часов выбран адаптивный алгоритм RLS.

В процессе работы адаптивных алгоритмов для шумоподавления решается задача прямой идентификации преобразований шума на пути от источника шума к источнику сигнала. При этом с входным сигналом фильтра коррелирует только шумовая составляющая образцового сигнала, а сигнал ошибки (разность между образцовым сигналом и выходным сигналом адаптивного фильтра) представляет собой очищенный от шума сигнал [4].

На рис. 7 представлен результат компенсации вариаций ряда УЭП с периодами 3-20 часов от влияния температуры средствами среды MatLab с использованием адаптивного алгоритма RLS, реализованного в разделе DSP Blockset среды моделирования Simulink.

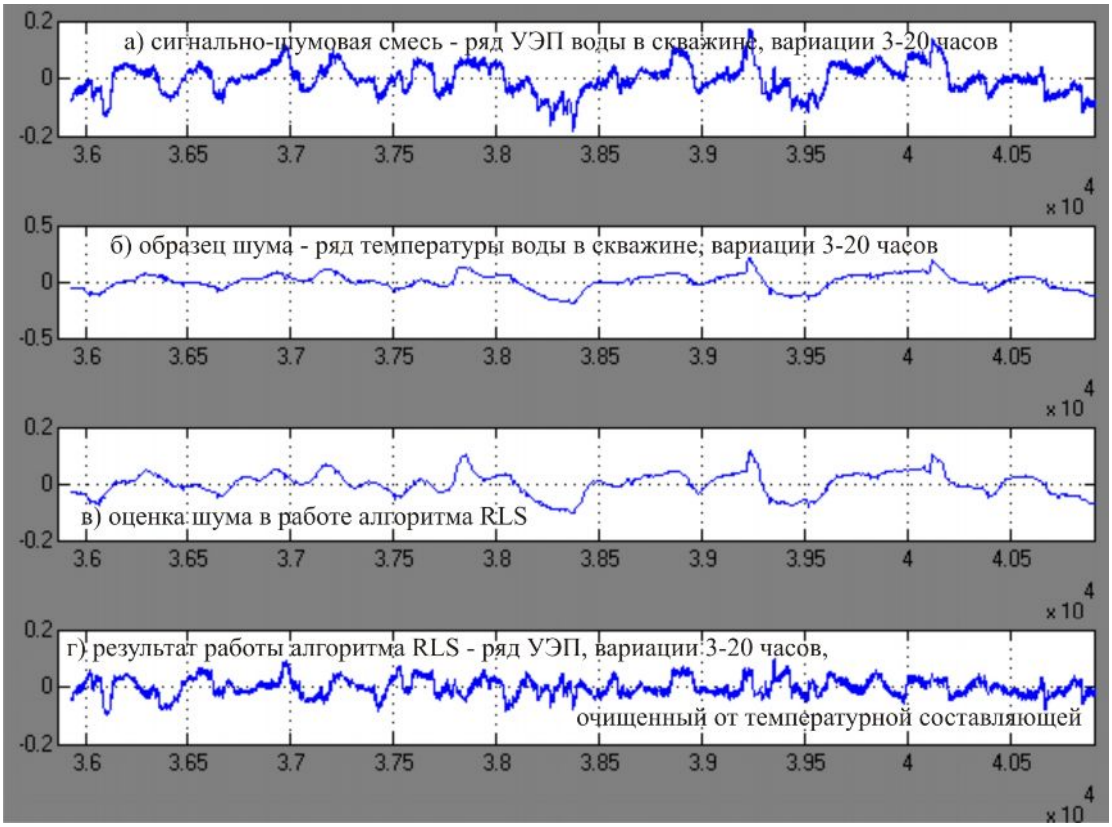


Рис. 7. Результат компенсации вариаций ряда УЭП с периодами 3-20 часов от температурного влияния средствами MatLab с использованием адаптивного алгоритма RLS.

После компенсации можно видеть, как изменился вид взаимнокорреляционной функции (ВКФ) для вариаций с периодами 3-20 часов рядов УЭП и температуры воды в скважине (рис. 8).

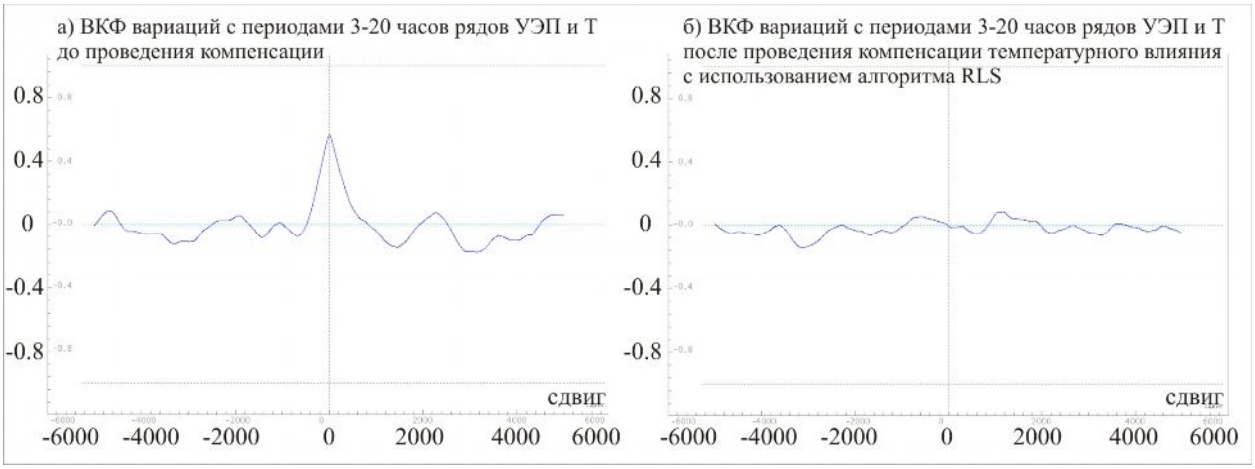


Рис. 8. Изменения в форме ВКФ для вариаций с периодами 3-20 часов рядов УЭП и температуры воды в скважине до и после применения алгоритма RLS.

По результатам проведенного анализа, в частности, построения взаимнорегрессионных диаграмм для низкочастотных вариаций и суточного хода выбрана линейная компенсационная модель с аддитивной температурной поправкой по формуле:

$$УЭП_{комп} = УЭП - A*T, \quad (3)$$

где УЭП - значения соответствующей вариации ряда УЭП, Т - значения соответствующей вариации ряда температуры, А - коэффициент линейной регрессии соответствующей вариации УЭП на вариацию температуры, свободный член равен 0, т.к. тренды с периодами свыше 99 суток из рассматриваемых вариаций удалены. В табл. 1 приведены значения коэффициента А для всего диапазона характерных периодов, вариации с периодами 3-20 часов компенсировались методом RLS, вариации с периодами 20-200 минут не компенсировались.

Табл. 1. Значения коэффициента линейной регрессии А для вариаций всего диапазона характерных периодов.

вариации	1-3 месяца	3 суток -1 месяц	суточный ход	3-20 часов	20-200 минут
А	0.61524	0.51918	0.57367	RLS	-

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 9 приведены результаты проделанной работы, где итоговый ряд УЭП воды в скважине "собран" из рядов компенсированных вариаций на всем диапазоне периодов, включая удаленный на этапе декомпозиции тренд (вариации с периодами свыше 99 суток). Для оценки работы было дополнительно сделано сопоставление ряда УЭП, компенсированного от температуры, с данными по минерализации воды в скважине Г-1. Видно, что ряды УЭП и минерализации обладают общей согласованностью поведения.

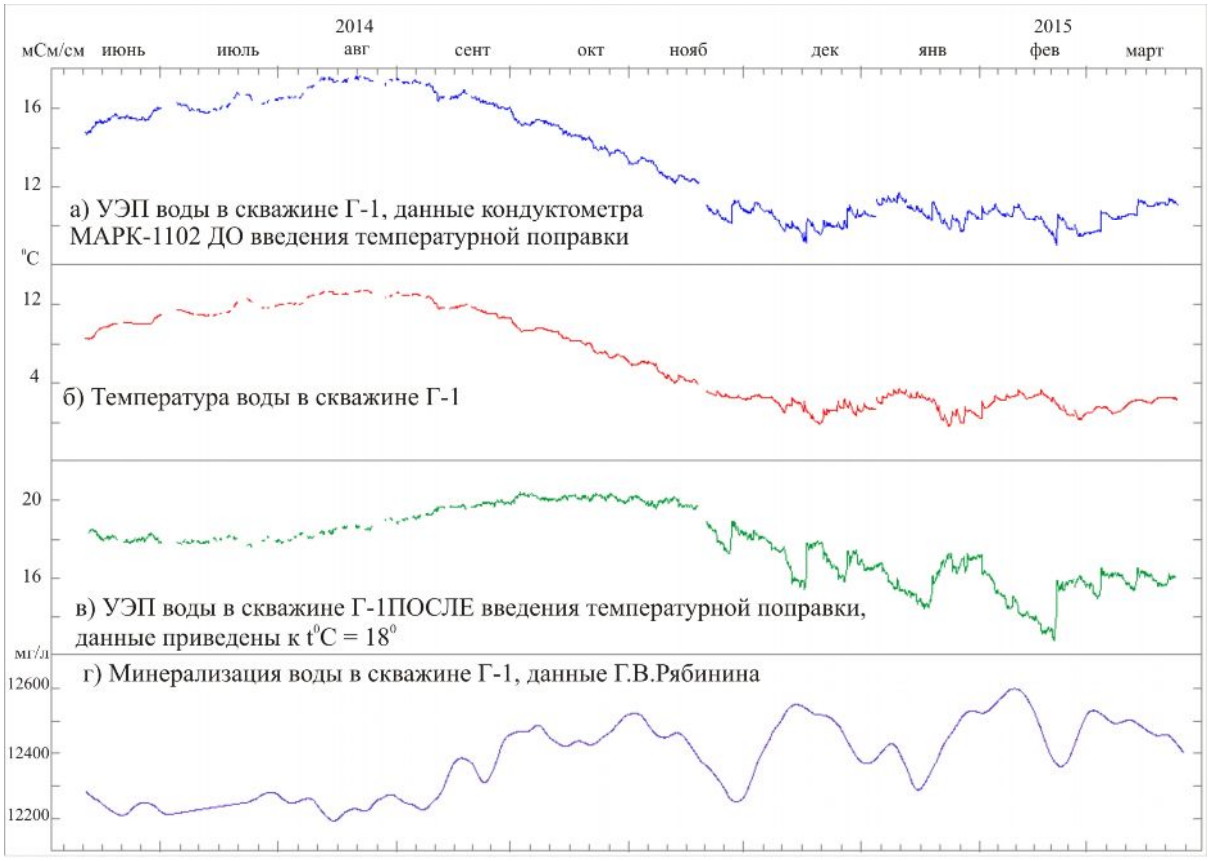


Рис. 9. Сравнение ряда УЭП, компенсированного от температуры, с введенной температурной поправкой на 18^0C с данными по минерализации воды в скважине Г-1.

ВЫВОДЫ

1. Реализован алгоритм анализа и устранения температурного влияния аппаратурного происхождения в ряде УЭП воды в скважине, основанный на декомпозиции исходных рядов на составляющие с

различными характерными периодами и применении к ним линейно-компенсационной аддитивной модели.

2. После температурной коррекции и приведения к температуре 18^0C по формуле поправки наблюдается согласованное поведение ряда УЭП воды и результатов измерений минерализации воды в скважине Г-1.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дещеревский А.В., Журавлев В.И.* Анализ временных рядов с программой ABD. М.: ОИФЗ РАН, 1997. 80 с.
2. *Дещеревский А.В., Журавлев В.И., Сидорин А.Я.* Некоторые алгоритмы фильтрации для геофизических временных рядов // Физика Земли. 1996. № 2. С. 56-67.
3. *Дещеревский А.В., Лукк А.А*. Выделение регулярных составляющих во временных вариациях геофизических параметров методом разложения на негармонические компоненты // Вулканология и сейсмология. 2002. № 5. С.65-78.
4. *Полтавцева Е.В.* Применение алгоритмов адаптивной фильтрации для обработки данных скважинных геоакустических измерений // Материалы XIII Региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». 15 апреля 2014 г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

SUPPRESSION OF A TEMPERATURE COMPONENT IN THE DATA OF THE BOREHOLE WATER SPECIFIC ELECTRICAL CONDUCTION MEASUREMENTS

E.V. Poltavtseva

Institut of Volkanology and Seismology FEB RAS, 683006

In this work the problem of revealing and elimination of the temperature influence in the data of the borehole water specific electrical conduction (SEC) measurements in the borehole G-1 located in Petropavlovsk-Kamchatskii is put and successfully solved. This data received by applying the conductometer MARK-1102.

As a result of processing the received SEC time series with the filtered temperature influence is does not contradict with other results of borehole water mineralization measurements and is used by preparation of the current seismic danger conclusion in the region.

Key words: borehole water specific electrical conduction, elimination of the temperature influence.

УДК 551.2 + 316.4 + 502.31

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ КАТАСТРОФЫ. ВЗАИМОСВЯЗЬ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ

Фереферов К.А.[1], Долгая А.А.[1,2]

[1]Камчатский государственный технический университет
[2]Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

Научный руководитель д.ф.-м.н. Викулин А.В.

В работе приводится описание созданной авторами базы данных геологических (природных) катастроф и социальных явлений, содержащей сведения о 2395 событиях. Все события классифицируются по баллу *J*. Рассмотрено программное приложение, созданное авторами для работы с базой данной. В результате анализа списка событий выявлены свойства цикличности, группируемости и взаимодействия катастроф, построен график их повторяемости. Введено понятие единого геосоциального процесса.

Ключевые слова: база данных, природные катастрофы, социальные явления, геосоциальный процесс

ВВЕДЕНИЕ

Все в Природе взаимосвязано – эта общеизвестная истина своими корнями исходит из принципа Аристотеля-Лейбница-Маха о неразрывном единстве физического и духовного мира. Достижения последних лет убедительно доказывают, что наша планета является в буквальном смысле слова живым организмом, в котором все процессы взаимосвязаны, и такая взаимосвязь и геофизически [7] и социально [9] обоснована.

Проведенный авторами и другими исследователями анализ с использованием большого по объему материала показал [4]: все биологические кризисы на планете в течение последних 600 млн лет, обособление человека в самостоятельный род, все основные этапы становления Homo sapience и формирования социума, возникновение и исчезновение цивилизаций, империй и государств и предварялись и сопровождались природными катастрофами: импактами, климатическими аномалиями и аномалиями геомагнитного поля, наводнениями и засухами, землетрясениями, извержениями вулканов и др.

Все эти данные позволяют ставить задачу исследования природных катастроф и социальных явлений, в совокупности, как взаимосвязанных событий, отражающих единый геосоциальный процесс.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для анализа и формализованного представления данных о природных катастрофах и социальных явлениях, которые в дальнейшем будем называть катастрофами, необходимо уметь классифицировать их единым образом. В качестве таких единых характеристик могут выступить социально значимые параметры в виде материальных потерь Q (\$) и количестве человеческих жизней P. Такого типа логарифмическая шкала (J) была предложена для классификации землетрясений [11]. Эта шкала авторами была модифицирована в соответствии с выявленными демографическими особенностями развития человечества и изменением со временем курса валюты и использована для классификации всех катастроф, и природных, и социальных [3] (табл. 1).

Таблица 1. Шкала классификации природных катастроф и социальных явлений по материальным ***Q* (\$)** потерям и количеству человеческих жизней P в течение пяти исторических эпох, начиная с Древнего мира

Интервал (годы)	Баллы, J					
	J = III		J = II		J = I	
	P, чел.	Q, \$	P, чел.	Q, \$	P, чел.	Q, \$
1995-2014 (до 2025?)	15 тыс. – 1.5 млн.	1.4 млрд. – 150 млрд.	1.5 млн. – 150 млн.	140 млрд. – 15 трилл.	150 млн. – 15 млрд.	15 трилл. – $1.5 \cdot 10^{13}$
1871-1994	3001 – 300 тыс.	14 млн. – 1.4млрд.	301 тыс. – 30 млн.	1.4 млрд. – 150млрд.	31 млн. – 3 млрд.	151млрд. – 15 трилл.
1531-1870	601 – 60 тыс.	400 тыс. – 45 млн.	61 тыс. – 6 млн.	46 млн. – 5 млрд.	6.1 млн. – 600 млн.	5.1 млрд. – 500 млрд.
531-1530	301 – 30 тыс.	40 тыс. – 4.5 млн.	31 тыс. – 3 млн.	4.6 млн. – 500 млн.	3.1 млн. – 300 млн.	501 млн. – 50 млрд.
2000 г. до н.э. – 530 г. н.э.	151 – 15 тыс.	13 тыс. – 2 млн.	16 тыс. – 1.5 млн.	2.1 млн. – 170 млн.	1.6 млн. – 150 млн.	171 млн. – 18 млрд.

Примечание: классификация событий в течение периода 1871-1994 гг. в точности соответствует шкале [11]. Более слабые события (балл J = IV и выше) в работе не рассматривались.

Авторами составлен список сильных $J \leq$III природных катастроф и значимых социальных явлений, включающий N=2395 событий: 1086 природных и 1079 социальных – произошедших на планете в течение последних 36 веков истории человечества [3–6]. События классифицируются по видам: природные – землетрясения (1), извержения вулканов (2), ураганы, наводнения (3), засухи, пожары природные (4) и климатические аномалии (5); социальные – войны, битвы (6), революции, восстания (7), геноцид, резня (8), эпидемии, пандемии (9) и пожары социальные, по вине человека (10) и другие события (11), которые не удается классифицировать по видам (1)-(10). Статистика катастроф по видам приведена в табл. 2.

Таблица 2. Числа N_I, N_{II}, N_{III} и N_Σ, содержащихся в базе данных природных (n = 1, 2, …, 5) и социальных (n = 6, 7, …, 10) катастроф баллов J = I, II и III и всех, в совокупности, соответственно

Классификация, n	N_I	N_{II}	N_{III}	N_Σ
1. Землетрясения	16	110	407	533
2. Извержения вулканов	1	5	47	53
3. Ураганы, наводнения	12	53	283	348
4. Засухи, пожары природные	8	30	56	94
5. Климатические аномалии	3	19	36	58
(1÷5)	40	217	829	1086
6. Войны, битвы	27	154	522	703
7. Революции, восстания,	2	19	38	59
8. Геноцид	4	16	11	31
9. Эпидемии, пандемии	13	77	179	169
10. Пожары социальные	3	10	104	117
(6÷10)	49	276	764	1079
(1÷10)	89	493	1593	2165
11. Другие события	18	44	68	130
N_Σ (1÷11)	107	537	1751	2395

При составлении списка катастроф авторами было проанализировано около 300 источников [например, 1; 8], в которых описаны различные природные и социальные события, имевшие катастрофические последствия для населения. Необходимо отметить, что в источниках могут содержаться разные данные об одном и том же событии. В этом случае в базу данных заносились максимальные оценки из имеющихся. С учетом значительных интервалов материальных и человеческих потерь, заложенных при составлении шкалы классификации по баллу J (табл.1), такой подход, как пред-

ставляется, не может привести к изменению величин баллов и статистики в табл. 2.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для обеспечения удобства хранения данных и автоматизации проведения расчетов при исследовании характеристик составленного списка событий было решено разработать базу данных катастрофических событий и приложения для работы с ней. Для реализации базы данных выбрана СУБД MS Access, так как работа со списком катастроф производится сотрудником локально. Приложение для работы с базой данных разрабатывается в среде программирования Borland Delphi 7.

Главное окно приложения представлено на рисунке 1.

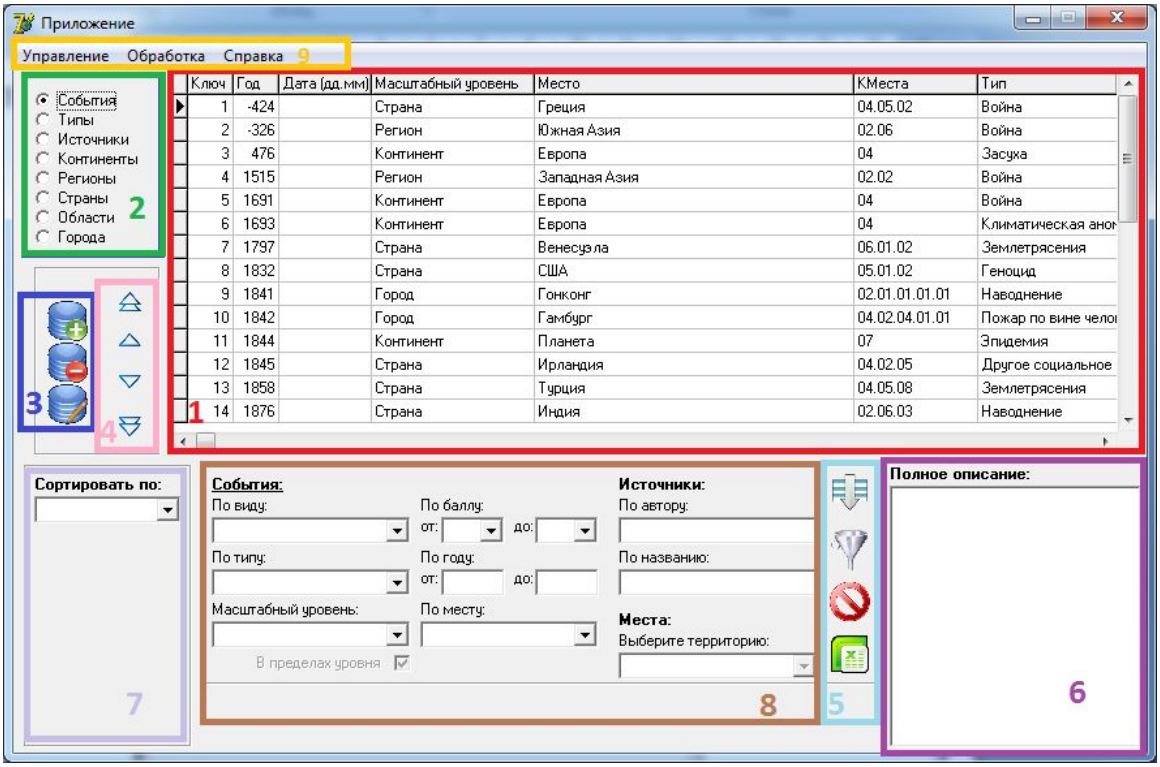


Рис. 1. Главная форма приложения

Здесь выделенные разными цветами области выполняют определенные функции:

– красный цвет (1) – область отображения выбранной пользователем таблицы;

– зеленый цвет (2) – область выбора таблицы;

– синий цвет (3) – область управления записями, кнопки отвечают за добавление, удаление и редактирование записей соответственно;

– розовый цвет (4) – область навигации по записям таблицы, отображаемой в красной области;

– голубой цвет (5) – область работы с записями. Кнопки отвечают за сортировку, фильтрацию, отмену фильтрации и вывод отчета в MS Excel для последующей работы с отфильтрованной информацией;

– лиловый цвет (6) – область вывода полной информации о катастрофе, запись по которой выделена в красной области в таблице «События»;

– сиреневый цвет (7) и коричневый цвет (8) – область работы с сортировкой и фильтрами соответственно;

– оранжевый цвет (9) – меню приложения.

Разработанная информационно-вычислительная система выполняет следующие функции:

1. просмотр содержимого базы данных;
2. добавление, редактирование и удаление записей в таблицах базы данных;
3. сортировка и фильтрация записей по различным критериям;
4. экспорт выборок из списка событий в MS Excel.

В перспективе будут реализованы программные модули, позволяющие:

1. строить графики повторяемости;
2. проводить спектральный и спектрально-корреляционный анализ временных рядов катастрофических событий;
3. работать со справочной системой приложения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

График повторяемости катастроф. По данным табл. 2 методом наименьших квадратов был построен график повторяемости катастроф (рис. 2). Данные за период конец XIX в. – XX в., за последние сто лет, по-

видимому, можно считать достаточно представительными, так как практически все достаточно сильные с J = I, II и III катастрофы за этот интервал времени содержатся без пропусков.

Из данных, представленных на рис. 2, видно, что угол наклона графика повторяемости катастроф, определенный в интервале баллов III ≥ J ≥ I, равен $\frac{\Delta \lg N}{\Delta J} = -0.6$.

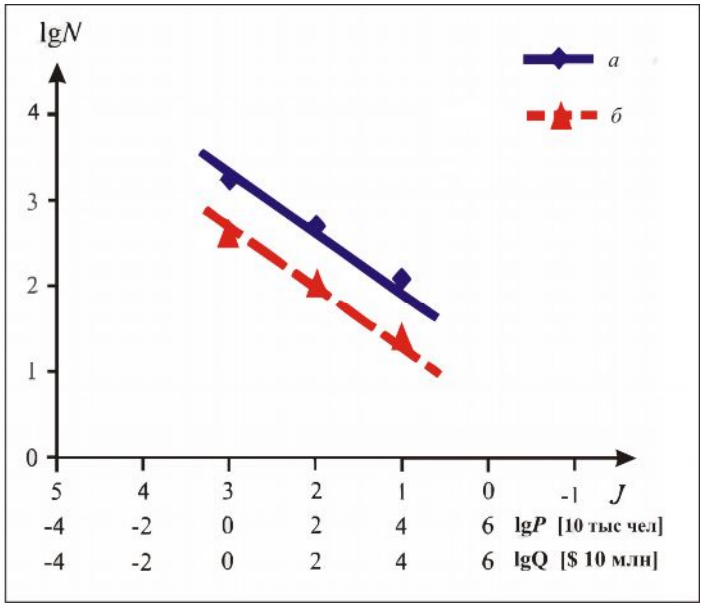


Рис. 2. Графики повторяемости природных и социальных катастроф, построенные по данным за последние 36 веков (а) и за 1871-1994 гг. (б). J – балл катастрофы.

Геологические (природные) и социальные катастрофы в списке представлены примерно поровну (табл. 2), т.е. обе эти совокупности могут рассматриваться как одинаково и значимые, и представительные с позиций «живой» и «неживой» природы процессы, описываемые логарифмическим законом распределения с углом «наклона», равным -0.6.

Цикличность катастроф. Из данных, представленных на рис. 3, видно, что минимумы чисел катастроф на обеих кривых имеют тенденцию следовать через определенные интервалы времени: для природных катастроф – через 230±40 лет (рис. 3а), для социальных явлений – через 330±90 лет (рис. 3б). Для всех событий (и природных, и социальных) в среднем – через 280±60 лет. При этом в интервале III-II до н.э. – XX вв. 10 из 12 ми-

нимумов обоих распределений, только природных (рис. 3а) и только социальных (рис. 3б), приходятся на одни и те же века.

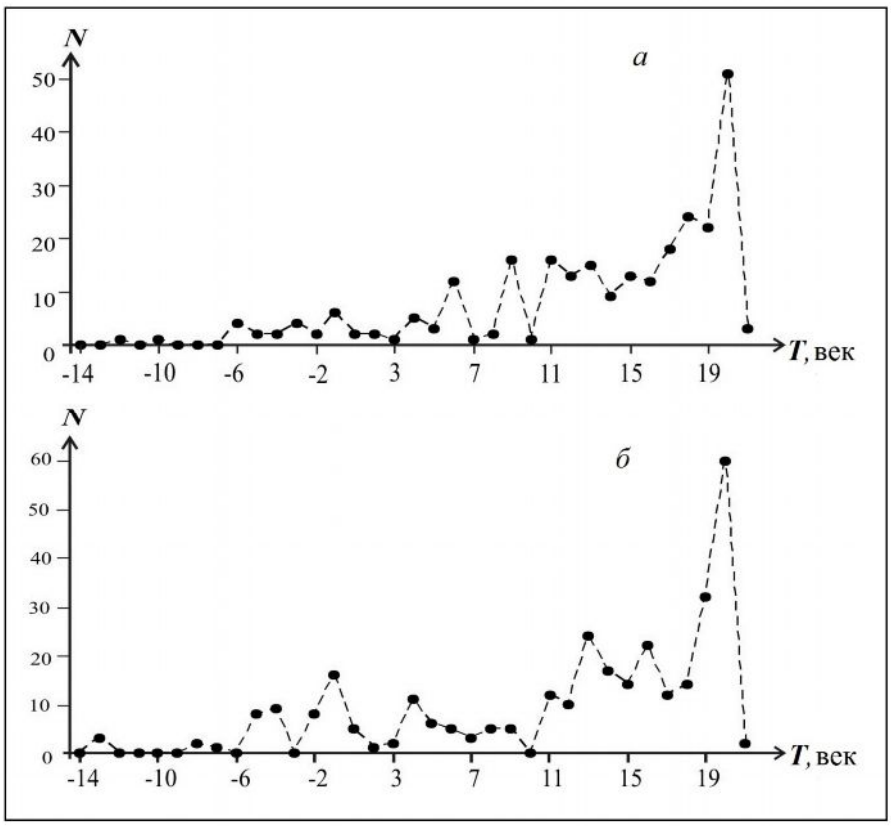


Рис. 3. Числа *N* природных (*а*) и социальных (*б*) значимых (баллы *J*=I+II) катастроф с усреднением по векам *T*; отрицательные числа – века до нашей эры.

Распределение чисел событий (природных + социальных катастроф) по десятилетиям, начиная с середины XIX в., представлено на рис. 3. Видно, что имеет место четкое чередование минимумов чисел событий с периодом 30-40 лет, в среднем, 33±3 года.

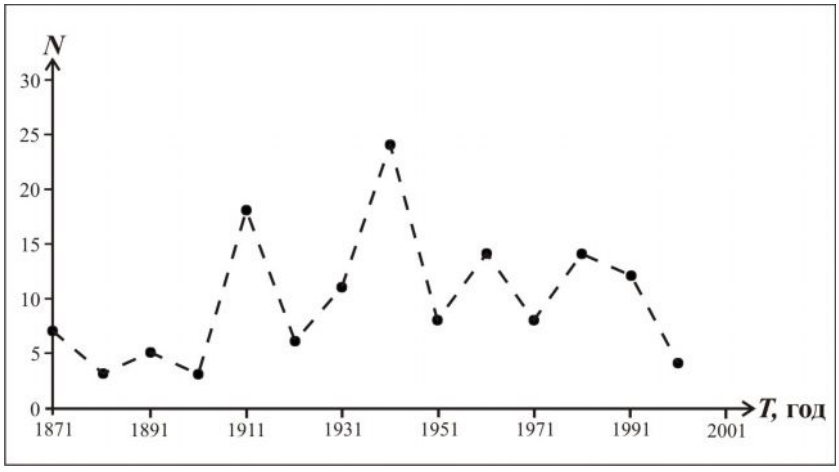


Рис. 4. Распределение чисел природных и социальных событий с баллами *J* = I+II по десятилетиям в интервале 1871-2010 гг.

Полученный результат подтверждает сформулированный ранее [1; 13] и на большем материале подтвержденный авторами [Викулин и др., 2015] фундаментальный вывод о цикличности и природных, и социальных катастроф в отдельности, и всех катастроф в совокупности.

Группируемость катастроф. Исследовались статистики ближайших временных интервалов между сильными (J = I + II) событиями в наибольших по представительности выборках для землетрясений (515 до н.э. – 2011 гг., N = 126), войн (538 до н.э. – 2003 гг., N = 177) и всех событий в совокупности (492 до н.э. – 2014 гг., N = 622). Полученные данные позволили предположить, что катастрофы имеют тенденцию группироваться на малых временных интервалах.

Для проверки этого предположения статистики временных интервалов между ближайшими природными (землетрясения) и социальными (войны) сильными (J = I+II) катастрофами моделировались экспоненциальным распределением Вейбулла–Гнеденко:

$$f(x) = 1 - e^{-(x/\lambda)^k},\ x \geq 0,\ k > 0;$$

$$f(x) = 0,\ x < 0.$$

Здесь λ и k – параметры масштаба и формы, соответственно [2].

Выборки землетрясений и войн, каждая в отдельности, и всех событий в совокупности с достоверностью не хуже α = 0.19 оказалось возможным описать распределениями Вейбулла–Гнеденко с параметрами формы $k < 1$, что может считаться доказательством эффекта группирования на малых интервалах времени и природных, и социальных, каждая в отдельности, и всех катастроф в совокупности.

Взаимодействие между природными и социальными катастрофами. Степенное распределение Парето:

$$f(x) = 1 - \left(\frac{a}{x}\right)^k,\ x \geq a,\ k > 0,$$

$$f(x) = 0,\ x < a,$$

где a и k являются параметрами масштаба и формы, соответственно, как и распределение Вейбулла-Гнеденко, относится к классу распределений с тяжелыми хвостами [10].

Степенной характер определяет распределение Парето как более чувствительное, по сравнению с распределением Вейбулла–Гнеденко, распределение по отношению к тяжелой «длиннохвостовой» части. Поэтому можно ожидать, что распределения, соответствующие «более короткопериодным» (230±40 лет) природным (землетрясения) и «более длиннопериодным» (330±90 лет) социальным (войны) катастрофам, будут по разному описываться распределением Парето.

Описанные ранее выборки землетрясений, войн и всех событий в совокупности моделировались распределением Парето. Оказалось, что все три выборки соответствуют распределению Парето с разной достоверностью α. Проверка значений достоверности α на устойчивость путем «деформации» выборок за счет небольшого изменения (уменьшения) в них чисел событий показала следующее. Значения α для выборок «войны» и «все события» изменяются в достаточно малых пределах α = 0.04-0.17 и α = 0.99-0.999, соответственно, являясь «устойчивыми» к «малым деформациям» исходных выборок. В то же время выборки «землетрясения», скорее, являются неустойчивыми, поскольку построить соответствующие распределения Парето не всегда представляется возможным вследствие значения параметра формы $k < 0$.

Все события в списке в совокупности можно рассматривать как систему, состоящую из двух подсистем – природных и социальных катастроф. Наличие у такой системы в целом и каждой из подсистем в отдельности тождественных свойств – одинаковые наклоны графиков повторяемости катастроф, близкие периоды цикличности и группирование на малых временных интервалах – с одной стороны, характеризует обе подсистемы как независимые. С другой – невозможность моделирования всей системы в совокупности и каждой из ее подсистем в отдельности распределением

Парето позволяет предположить наличие у системы таких свойств, которые не могут быть выражены через свойства каждой из подсистем. Такое свойство в теории системного анализа называется эмерджентностью [12].

Для разрешения противоречия для системы в целом анализировалась статистика таких групп катастроф, в каждой из которых содержатся происшедшие в течение одного года катастрофы из обеих подсистем – и природные, и социальные.

Проведенный анализ показал, что эффект группирования совокупности всех катастроф (геологических и социальных) никак не может быть объяснен эффектами группирования только геологических и только социальных катастроф: подсистема ничего не может «знать» о свойствах другой независимой от нее подсистемы. Свойство эмерджентности в данном случае отражает специфический эффект взаимодействия природных и социальных катастроф между собой. Свойство независимости подсистем, их аддитивность относительно распределения Вейбулла–Гнеденко в данном случае следует понимать в смысле их статистической независимости.

ВЫВОДЫ

В рамках представлений об эмерджентности выявленный авторами эффект «притяжения» между геологическими (природными) и социальными катастрофами позволяет ввести концепцию единого протекающего на Земле геосоциального процесса, для изучения и моделирования которого может быть использована составленная авторами база данных, включающая список взвешенных по величине катастроф, применяемые при анализе методики и выявленные с их помощью закономерности распределения катастроф: логарифмический закон их распределения, цикличность, группируемость на малых временах и взаимодействие.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Блох Ю.И.* Природные катастрофы и революции в религиях // Природа. 2011. № 6. С. 60-73.
2. Вероятность и математическая статистика / Гл. ред. Ю.В. Прохоров. М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. 910 с.
3. *Викулин А.В., Викулина М.А., Долгая А.А.* Геосоциальный процесс // Система «Планета Земля»: 200 лет Священному союзу. М.: ЛЕНАНД, 2015. С. 507-521.
4. *Викулин А.В., Викулина М.А., Семенец Н.В.* Концепция катастрофизма в геологии и социуме // Система «Планета Земля». М.: ЛЕНАРД, 2014. С. 242–276.
5. *Викулин А.В., Вольфсон И.Ф., Грачев Л.А., Долгая А.А.* Геология, медицина и социум // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2015. №1. Вып. 25. С. 231-245.
6. *Викулин А.В., Семенец Н.В., Викулина М.А.* Геодинамика – социум и биосфера глазами катастроф // BIOCOSMOLOGY – NEO-ARISTOTELISM, 2012. V.2. N 3. P.165-181.
7. *Гольдин С.В.* Физика «живой» Земли // Проблемы геофизики XXI века: В 2 кн. Кн. 1. / Ред. А.В. Николаев. М.: Наука, 2003. С. 17–36.
8. *Леви К.Г., Задонина Н.В., Язев С.А*. Радиуглеродная хронология природных и социальных феноменов северного полушария. В 3-х т. Т. 1. Иркутск: ИрГУ, 2010. 715 с.
9. *Леви К.Г., Язев С.А., Задонина Н.В., и др*. Современная геодинамика и гелиогеодинамика. Учебное пособие. Иркутск: ИрГУ, 2002. 182 с.
10. *Писаренко В.Ф., Родкин М.В*. Распределения с тяжелыми хвостами: Приложения к анализу катастроф. М.: ГЕОС, 2007. 242 с. (Вычислительная сейсмология. Вып. 38).
11. *Родкин М.В., Шебалин Н.В.* Проблемы измерения катастроф // Изв. РАН. Сер. геогр. 1993. № 5. С. 106–116.
12. *Тарасенко Ф.П*. Прикладной системный анализ (Наука и искусство решения проблем): Учебник. Томск: Изд-во ТГУ, 2004. 186 с.
13. *Трифонов В.Г., Караханян А.С.* Динамика Земли и развитие общества. М.: ОГИ, 2008. 436 с.

GEOLOGICAL AND SOCIAL DISASTERS. INTERRELATION AND REGULARITIES

Fereferov K.A., Dolgaya A.A.

The paper describes the database of geological (natural) disasters and social phenomena created by authors, which contains information about the 2395 events. All events are classified according to *J*. Software application created by the authors to work with this database is discussed. The analysis of the list of events revealed properties of cyclicity, clusterability and interactions between disasters. The recurrence graph of catastrophes was plotted. The concept of a unified geosocial process was introduced.

Keywords: database, natural disasters, social phenomena, geosocial process.

УДК 550.34+551.24

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОТАЦИОННЫХ ДВИЖЕНИЙ БЛОКОВОЙ ГЕОСРЕДЫ

Герус А.И. [1,2]

[1] *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*
[2] *Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

Научный руководитель д.ф.-м.н Викулин А.В.

В работе рассмотрено два подхода к моделированию ротационных движений земной коры: в геофизическом приближении (до сотен-тысяч лет), когда земная кора предполагается твердой и блоковой, и в геологическом приближении (миллион лет и более), когда земную кору можно считать текучей средой. Приведены соответствующие математические модели, численные результаты и их интерпретация.

Ключевые слова: блоковая геосреда, ротационная модель, уравнение синус-Гордона, вихревые структуры, задача Дирихле-Римана.

1. В геофизическом приближении на небольших временах рассмотрения процесса (до сотен-тысяч лет) земную кору можно считать эффективно «твердой», состоящей из большой совокупности структурных элементов – блоков. Разработаны модели геофизических процессов, протекающих в блоковых средах (работы А.В. Пейве, М.А. Садовского и др.).

Ротационная модель с собственным моментом блока для сейсмического процесса в пределах окраины Тихого океана построена А. В. Викулиным и А. Г. Иванчиным [4]. Она опирается на представления, согласно которым движение блока вдоль поверхности вращающейся Земли механически эквивалентно его движению в не вращающейся (инерциальной) системе координат под действием собственного момента (спина). Такое движение блока создает в окружающей его земной коре напряжения с моментом силы, сопровождается формированием волн поворотных деформаций и позволяет объяснить многие закономерности геодинамического процесса, включая особенности волновых движений

геосреды, ее нелинейные, реидные и «вихревые» свойства [1]. Уравнение движения сейсмофокального блока в цепочке представляет собой известное уравнение синус–Гордона (СГ) [1, 4], которое в рамках ротационной модели является следствием закона сохранения момента блока при его движении:

$$\frac{\partial^2\theta}{\partial\xi^2}-\frac{\partial^2\theta}{\partial\eta^2}=\sin\theta, \tag{1}$$

где $\theta=\beta/2$, $\xi=k_0z$ и $\eta=v_0k_0t-$ безразмерные координаты, z – расстояние вдоль цепочки блоков, t – время, β – функция угла поворота, v_0 – характерная скорость процесса, k_0 – волновое число.

Уравнение СГ имеет множество аналитических решений, одним из которых является функция следующего вида:

$$\theta=4arctg\left[\exp\left(\frac{X-u\eta}{\sqrt{1-u^2}}\right)\right],$$
$$X=\xi-\xi_0,\ u=\frac{U}{c_0},\ c_0^2=\frac{3\sqrt{15}}{8\pi^2}\sqrt{\frac{G}{\rho}}\Omega R_0, \tag{2}$$

где U – скорость распространения уединенной волны деформации (поворота). Такое решение называется *солитонным* и представляет собой уединенную волну.

1.1 В модели движения среды, описываемой уравнением СГ (1), блоки равномерно поворачиваются друг относительно друга, и скорость распространения волны вдоль цепочки постоянна во времени. Для более точного описания реального сейсмического процесса необходимо дополнить ротационную модель эффектами отклонения моментов сил блоков от равновесных положений μ и трения на границах α. В результате закон движения блока в цепочке можно получить в виде модифицированного уравнения СГ [2]:

$$\frac{\partial^2\theta}{\partial\xi^2}-\frac{\partial^2\theta}{\partial\eta^2}=\sin\theta+\alpha\frac{\partial\theta}{\partial\eta}+\mu\delta(\xi)\sin\theta, \tag{3}$$

где $\delta(\xi)$ – Функция Дирака. Уравнение (3) решалось численно методом МакЛафлина–Скотта, суть которого заключается в том, что при использовании функции Грина решение возмущенного уравнения СГ структурно совпадает с (2), но координата X и скорость u зависят от времени и связаны соотношением:

$$X = \int_0^t u(t')dt' + x_0(t),\ \frac{dX}{dt} = u(t) + \frac{dx_0}{dt}$$

Подстановка этого соотношения и (2) в (3) дает систему уравнений:

$$\frac{du}{d\eta} = -\alpha u(1-u^2) + \frac{\mu}{2}(1-u^2)\sec h^2\left(\frac{X}{(1-u^2)^{1/2}}\right)th\left(\frac{X}{(1-u^2)^{1/2}}\right)$$

$$\frac{dX}{d\eta} = u - \frac{\mu}{2}uX\sec h^2\left(\frac{X}{(1-u^2)^{1/2}}\right)th\left(\frac{X}{(1-u^2)^{1/2}}\right)$$

Безразмерные координаты X и скорости u рассчитывались с помощью последних соотношений методом Рунге-Кутта, а затем подставлялись в (2).

Начальные условия $x_0 = 0$, $t_0 = 0$, $u_0 = 10^{-10}$ ($u = U/c_0$ – безразмерная скорость) выбирались таким образом, чтобы скорость деформирования не превышала значения $\dot{\theta}_0 \leq 10^{-13}$ c^{-1}, что близко к средней скорости деформации в сейсмоактивных [9] и вулканических [7] областях и заметно отличается от глобальной средней скорости деформации (вращения отдельных блоков) в различных регионах Земли, оцениваемой величиной $5{,}5\cdot10^{-16}$ c^{-1} ≈ 1-2 град/млн. лет [10]. Следует отметить, что значение скорости 10^{-13} c^{-1} по порядку величины близко теоретической модельной оценке величины угла $\beta_0 \approx 10^{-2}$ град., на который в рамках ротационной модели поворачивается «элементарный» сейсмофокальный блок между двумя последовательными во времени сильнейшими землетрясениями с очагами в его пределах.

При этом скорость распространения локализованной волны уже не является величиной постоянной, так как кроме угловой скорости вращения тела Ω зависит также и от параметров α и μ.

На рис. 1 в качестве примера приведено характерное численное решение возмущенного уравнения СГ.

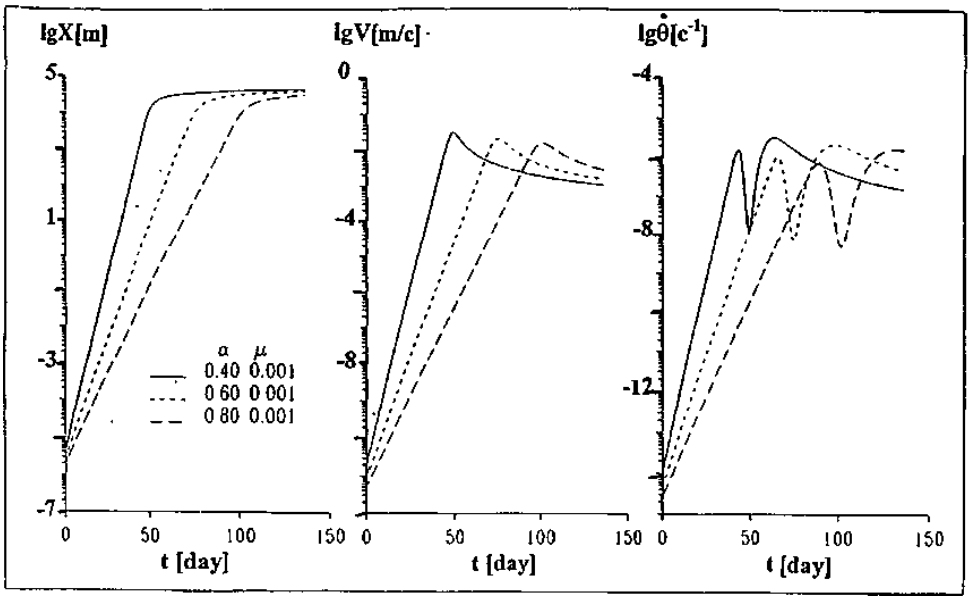


Рис. 1. Решения уравнения (3) для расстояния X, пройденного волной, величины ее скорости V=dX/dt и величины угловой скорости поворота блока (скорости деформации) $\dot{\theta}$=dθ/dt при значениях параметров $\alpha \approx 0{,}4 - 0{,}8$ и $\mu \approx 10^{-3}$.

Видим, что зависимости V(t) имеют точки, в которых скорость волны достигает своего максимального значения, после чего плавно выходит на асимптотику. Анализ показал, что для режима замедленного сейсмического процесса, при котором взаимодействие блоков (очагов землетрясений) между собой осуществляется в основном за счет медленных движений — крипа, асимптотическое значение скорости передачи ротационных деформаций составляет $c_0 \approx 1-10$ см/с [2].

Интервалы времени, в течение которых форшоки и афтершоки происходят относительно сильнейших толчков, соотносятся в пропорции $\Delta t_a/\Delta t_ф = 69/11 = 6{,}3$ [3], близкой к отношению продолжительностей максимумов скорости деформации $\dot{\theta}$ $\Delta t_{\theta max2}/\Delta t_{\theta max1} = 6 \pm 2$. В то же время, при близости значений магнитуд наиболее сильных форшоков и афтершоков: $M_ф \approx M_a$, их числа N_a и $N_ф$, а, следовательно, и суммарные сейсмические энергии E_a и $E_ф$, выделяемые в течение форшоковой и афтершоковой стадий, соотносятся между собою в пропорции $N_a/N_ф = E_a/E_ф = 2{,}3$, близкой к отношению величин максимумов скоростей

деформации $\dot{\theta}_{max2}/\dot{\theta}_{max1}$ = 2 - 2,5.

Интерпретация графика скорости деформации $\dot{\theta}$ может быть следующей. Особенностью взаимодействия сейсмофокальных блоков, по сути, является перераспределение и высвобождение накопленных напряжений при землетрясении, которое происходит в результате локализации неустойчивой деформации в определенный момент времени (минимум на графике $\dot{\theta}$). В рамках такого подхода, первой и второй стадиям взаимодействия тектонической волны с сейсмофокальным блоком (первый и второй максимумы на кривой $\dot{\theta}$) могут соответствовать форшоковая и афтершоковая стадии сейсмического цикла.

Таким образом, ротационная модель позволяет количественно описать такие важные свойства сейсмического процесса, как его форшоковую и афтершоковую стадии и заключенную между ними «особенность» – сильнейшее землетрясение.

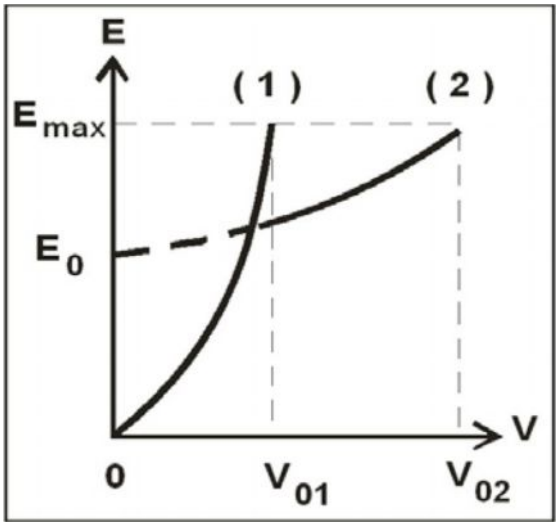


Рис. 2. Волновые решения *E*(*V*) СГ-уравнения [6]: *1* — солитоны; *2* — экситоны. V_{01}, V_{02} — характерные скорости процесса, соответствующие “предельным” энергиям $E = E_{max}$.

Уравнение синус-Гордона имеет много решений. Моделируя движения в длинных молекулярных цепях, А.С. Давыдов показал [6], что волновые движения в таких цепях описываются двумя типами возбуждений: солитонами и экситонами (в смысле [6]) (рис. 2).

Характерными для таких решений являются “предельные” скорости, соответствующие максимальным энергиям возбуждения $E_{\max}$: V_{01} и V_{02}.

Справедливы следующие соотношения: $0 \le E \le E_{\max}$, $0 \le V \le V_{01}$ для солитонного решения и $0 \le E_0 \le E \le E_{\max}$, $V_{01} \le V \le V_{02}$ для экситонного. $E_{\max}$ – максимальное значение энергии, соответствующее наибольшим значениям магнитуд землетрясений; E_0 – значение энергии, соответствующее коллективному возбуждению всей совокупности молекул в цепочке (т.е. очагов землетрясений в сейсмическом поясе в геосреде), как целой, остающейся неподвижной, со скоростью $V = 0$.

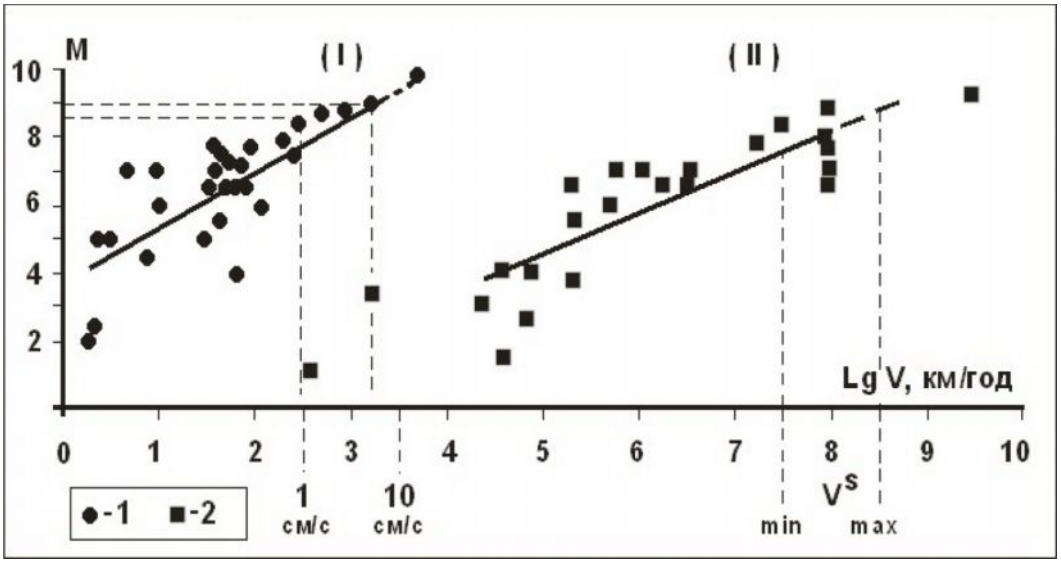


Рис. 3. Значения скоростей глобальной (*1* — вдоль всей окраины) и локальной (*2* — в пределах индивидуальных очагов сильных землетрясений) миграций тихоокеанских землетрясений как функции их магнитуды M [1]: I, II — глобальная и локальная зависимости $M(\mathrm{Lg}V)$ соответственно, определенные методом средних квадратов; V_S — скорость сейсмических волн.

По данным о скорости миграции очагов тихоокеанских землетрясений с глубинами гипоцентров менее 100 км, опубликованным в [1], глобальная (вдоль окраины Тихого океана) и локальная (в очагах индивидуальных землетрясений) миграционные зависимости, предельные значения скоростей и соответствующие им наибольшие магнитуды составляют (рис. 3):

$$M_1 \approx 2\lg V_1,\ V_{1,\max} \approx 1-10 \text{ см/с},\ M_{1,\max} = 8{,}5-9, \quad (4)$$

$$M_2 \approx \lg V_2,\ V_{2,\max} \approx 4-8 \text{ км/с},\ M_{2,\max} = 8{,}3. \quad (5)$$

Показано [4], что теоретические модельные для молекулярных цепей и экспериментальные миграционные для цепочек очагов землетрясений зависимости качественно совпадают между собой. Это позволяет интерпретировать экспериментальные миграционные зависимости (4) и (5) как солитонное и экситонное решения СГ уравнения, имеющие характерные предельные скорости $V_{01} = V_{1,\max}$ и $V_{02} = V_{2,\max}$. При этом предельное значение скорости миграции $V_{1,\max} \approx 1-10$ см/с совпадает с характерной скоростью c_0, полученной в рамках ротационной блоковой модели геосреды, что дает возможность интерпретировать последнюю как предельную скорость солитонного решения уравнения синус-Гордона V_{01}.

Известно, что солитонные решения СГ-уравнения характеризуются рядом важных свойств, соответствующих свойствам реальных элементарных частиц [5], в то время как экситоны являются такими возмущениями, которые в линейном приближении вырождаются в обычные волны [6], в нашем случае — в продольные (P) и поперечные (S) сейсмические (s) волны V^s. Поэтому выявленные в рамках ротационной модели солитонное V_{01} (4) и экситонное V_{02} (5) решения с характерными предельными скоростями:

$$V_{1,max} \approx V_{01} \approx c_0, V_{2,max} \approx V_{02} \approx V^s, \quad (6)$$

по сути, являются новым типом упругих волн в твердых телах — ротационными волнами [1, 4], которые представляют собой уединенные волны, поляризованные перпендикулярно к направлению распространения [2].

В работе [4] показано, что в рамках ротационной модели взаимодействие между блоками имеет своеобразный корпускулярно-волновой характер и осуществляется двумя способами. Во-первых, близкодействием — путем обмена моментами рядом расположенных

блоков, а не за счет (как в моментной теории упругости) трения вдоль их границ, которое в рамках ротационной модели препятствует взаимодействию блоков. В качестве примеров такого взаимодействия можно привести сильнейшие землетрясения-дуплеты (и мультиплеты) с близкорасположенными очагами, при которых кроме сильных сотрясений на обширных участках поверхности Земли всегда возбуждаются интенсивные собственные колебания планеты. Во-вторых, дальнодействием — путем обмена энергиями между блоками на больших (много больше размера блока) расстояниях. Примеры такого взаимодействия в сейсмологии также широко известны — это “миграция” очагов землетрясений вдоль сейсмических поясов на многие десятки тысяч километров, удаленные форшоки и афтершоки и пары землетрясений.

1.2 В процессе исследования миграции сейсмической и вулканической активности в пределах трех наиболее геодинамически активных поясов планеты (окраина Тихого океана, Альпийско-Гималайский пояс и Срединно-Атлантический хребет) был выявлен параметр p, чувствительный к геодинамическим обстановкам в регионах: $p_+ > 0$ для областей сжатия и $p_- < 0$ для областей растяжения [11]. Оказалось, что $p_+ + p_- \to 0$, что наделяет параметр p свойствами, близкими свойствам сохраняющейся векторной величины. В рамках ротационного моделирования геодинамического процесса, протекающего в блоковой среде, сохраняющемуся векторному параметру p может быть придан смысл момента. Тогда исходное уравнение (1) может быть переписано в виде:

$$\frac{\partial^2\theta}{\partial\xi^2} - \frac{\partial^2\theta}{\partial\eta^2} = \mathrm{sgn}(p)\cdot\sin\theta\,. \qquad (7)$$

Полученное уравнение (7) является дальнейшим развитием ротационной модели движения блоковой геосреды, отвечающим закону сохранения момента и позволяющим описывать закономерности сейсмической и вулканической активности во всем их многообразии.

2. В течение геологических отрезков времени (миллион лет и более) «твердая» Земля с достаточно хорошим приближением может рассматриваться как текучая среда, по свойствам близкая к жидкости. Тогда в «геологическом» приближении, когда геосреда имеет реидные (невязкие) свойства, можно наметить другой путь аналитического изучения закономерностей ее движения. А именно: в рамках известной задачи Дирихле (1860) о вращающемся объеме гравитирующей невязкой жидкости, сохраняющем свою эллиптическую форму. В классическом виде эта задача сформулирована следующим образом [1]: «*Дана однородная несжимаемая масса гравитирующей жидкости. Допускают ли законы гидродинамики такое движение этой массы, чтобы ее форма в любой момент оставалась эллипсоидальной, а поле скоростей жидкости – линейным по координатам?*»

Геологическим проявлением таких движений могут являться, например, вихревые структуры земной коры, впервые описанные в 1928 году Ли Сыгуаном. Важные результаты, доказывающие существование во вращающихся реальных системах, включая планеты и звезды, внутренних движений «вихревой» природы, были получены Б. Риманом (1866), Чандрасекхаром (1983), Б.П. Кондратьевым (2003) и др. [1]

В качестве примера на рис. 4 приведен результат одного из инструментальных геодезических наблюдений из работы геофизика Т. Рикитаке [8], на котором отчетливо видна «вихревая» структура векторов смещения триангуляционных пунктов.

Проблема вихревых геологических структур в работах геологического профиля только затрагивается; полностью отсутствуют работы, в которых было бы приведено достаточно полное описание всего спектра наблюдаемых на поверхности Земли вихревых структур с указанием их пространственных и временных параметров. Никем до сих пор не создан каталог вихревых структур, пригодный для анализа,

например, статистического. В геофизических же работах проблема вихревых структур, вообще говоря, практически не обсуждается.

Рис. 4. Векторное изображение смещений триангуляционных пунктов I класса, полученных в результате двух периодов наблюдений в конце XIX - начале XX вв. и в середине XX в., отстоящих друг от друга приблизительно на 60 лет [8].

Мы полагаем, что вихревые геологические структуры могут являться решениями проблемы Дирихле–Римана, которые на поверхности земной коры могут проявляться в виде течений вихревой формы.

Это направление исследований может рассматриваться совместно с представлениями нелинейной физической акустики, в которой трансляционные движения среды могут являться следствием ее нелинейных свойств в результате радиационного давления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Таким образом, моделирование геодинамических движений, протекающих в блоковой геологической среде, может быть сведено к решению задач 1-2, аналитическое содержание которых выше представлено уравнениями синус-Гордона (1), (3), (7) и задачей Дирихле-Римана.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Викулин А.В.* Сейсмичность. Вулканизм. Геодинамика: сб. тр. Петропавловск-Камчатский: КамГУ, 2011. 407 с.
2. *Викулин А.В., Быков В.Г., Лунева М.Н.* Нелинейные волны деформации в ротационной модели сейсмического процесса // Вычисл. технологии. 2000. Т. 5. № 1. С. 31-39.
3. *Викулин А.В., Викулина С.А., Митякин В.П.* Сценарий возможного сейсмического воздействия на Петропавловск-Камчатский в результате катастрофического землетрясения. М.: ИЛ АН СССР. 1991. 55 с.
4. *Викулин А.В., Иванчин А.Г.* О современной концепции блочно–иерархического строения геосреды и некоторых ее следствиях в области наук о Земле // Физико–технические проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). 2013. № 3. С. 67–84.
5. *Гапонов-Грехов А.В., Рабинович М.И.* Л.И. Мандельштам и современная теория нелинейных колебаний и волн // Успехи физ. наук. 1979. Т. 128. Вып. 4.
6. *Давыдов А.С.* Солитоны в квазиодномерных молекулярных структурах // Успехи физ. наук. 1982. Т. 138. Вып. 4. С. 579-624.
7. *Мелекесцев И.В.* Вихревая вулканическая гипотеза и некоторые перспективы ее применения // Проблемы глубинного вулканизма. М.: Наука. 1979. С.125-155.
8. *Рикитаке Т.* Геофизические и геологические данные о Японской островной дуге и ее обрамлении // Окраины континентов и сотровные дуги. М.: Мир. 1970. С.216-236.
9. *Родионов В.Н., Сизов И.А., Цветков В.М.* Основы геомеханики. М.: Недра. 1986. 301 с.
10. *England P., Molnar P.* The field of crustal velocity in Asia calculated from Quaternary rates of slip on faults // Geophys. J. Int.. 1997. 130. N 3. P.551-582.
11. *Vikulin A.V., Akmanova D.R., Vikulina S.A., Dolgaya A.A.* Migration of seismic and volcanic activity as display of wave geodynamic process // Geodynamics & Tectonophysics. 2012. V. 3. № 1. P. 1–18. DOI:10.5800/GT-2012-3-1-0058

MATHEMATICAL MODELING OF ROTATIONAL MOTION IN BLOCK GEOMEDIUM

Gerus A.I.

The paper describes two different approaches to modeling the rotational motion in Earth's crust: a geophysical approach (hundreds-thousands years scale) which implies the idea of a solid block structure of the crust and a geological approach (a million years or longer) in which the Earth's crust appears to be liquid. The relevant mathematical models, numerical results and their interpretation are given.

Keywords: block geomedium, rotation model, sine-Gordon equation, vortex structures, Dirichlet-Riemann problem.

УДК 550.388.2:551.501.8

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАМЧАТСКОГО КРАЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ИОНОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ТОМОГРАФИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Полюхова А.Л., Кайсин А.В.

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Научный руководитель д.ф.-м.н. Богданов В.В.

В работе представлены результаты исследования влияния циклонов на параметры ионосферы, с целью изучения процессов тропосферно-ионосферного взаимодействия. Наблюдение велось средствами автоматического зондирования с использованием низкоорбитальных навигационных космических аппаратов в условиях пониженной сейсмичности. Приемные станции расположены в меридиональном направлении полуострова Камчатка в селах Паратунка, Мильково и Эссо. Показано, что при прохождении ночных циклонов (по местному времени) 18 января, 03 и 17 февраля 2013г. над Камчаткой в области над его эпицентром происходило синхронное повышение электронной концентрации по сравнению с ближайшими без циклонов днями. С ростом широты, т.е. по мере удаления от центра циклона, концентрация электронов в сравнении со спокойными днями уменьшалась. Работа выполнена в рамках программы президиума РАН №12-1-П22-01, при поддержке гранта РФФИ №11-05-00915.

ВВЕДЕНИЕ

Ионосфера Земли являются очень изменчивой частью земной атмосферы. В данное время утвердилось мнение, что атмосфера Земли является единой динамической системой, и вариации ионосферных параметров не могут быть поняты, если считать ионосферу изолированной от нижележащих слоев атмосферы. Следовательно, такие атмосферные явления, как циклоны, в принципе, могут влиять на состояние ионосферы. В настоящий момент появились статьи, посвященные изучению возможного влияния тропических циклонов на разные слои ионосферы [2]. В этой работе было показано, что на расстоянии порядка 3-х тысяч км от центра циклона концентрация электронов в ионосфере падает. Целью работы является исследование влияния зимних циклонов на поведение параметров ионосферы,

на основе данных, полученных, методом томографического зондирования средствами недавно созданной цепи томографических станций, расположенных на п-ве Камчатка. Существенным отличием данной работы от [2], является расположение станций непосредственно в районе действия циклонов.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОТОМОГРАФИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ

Радиотомографическое зондирование ионосферы проводится над территорией п-ова Камчатка с помощью лучевой радиотомографии. Задачи лучевой радиотомографии решаются на практике с помощью ИСЗ и нескольких приемников, которые располагаются в плоскости пролета спутника. В качестве источников когерентного сигнала на частотах 150 и 400 МГц используются низкоорбитальные навигационные спутники типа "Космос" (высота ~ 1000 км). Это позволяет восстановить вертикальное (по высоте) распределение электронной концентрации (число электронов в единице объема) вдоль трассы пролета спутника (по меридиану) с хорошим разрешением (25 км по высоте и 50 км по широте). Наземные приемники сигналов расположены в селах Паратунка (PRT*)*, Мильково (MLK), Эссо (ESS) (рис.1) в меридиональном направлении (158º31' в.д.), что обусловлено углом наклонения орбиты спутников (83º). Приемные станции работают в автоматическом режиме.

Томографическая реконструкция представляет собой обратную задачу. По данным о полном электронном содержании вдоль пути распространения сигнала "приемник-спутник" необходимо восстановить функцию пространственных переменных в узлах заданной сетки [1,4]. При этом интегральной характеристикой при зондировании ионосферы является полная фаза радиосигнала, пропорциональная полному электронному содержанию вдоль распространения сигнала.

Из-за сложностей с определением начальной фазы был выбран метод фазоразностной томографии, основанный на использовании производной

фазы и который является более чувствительным к относительно малым неоднородностям концентрации электронов, вносящих незначительный вклад в фазу и значительный в ее производную. Далее по набору изменений интегральной характеристики формируется и решается система алгебраических уравнений.

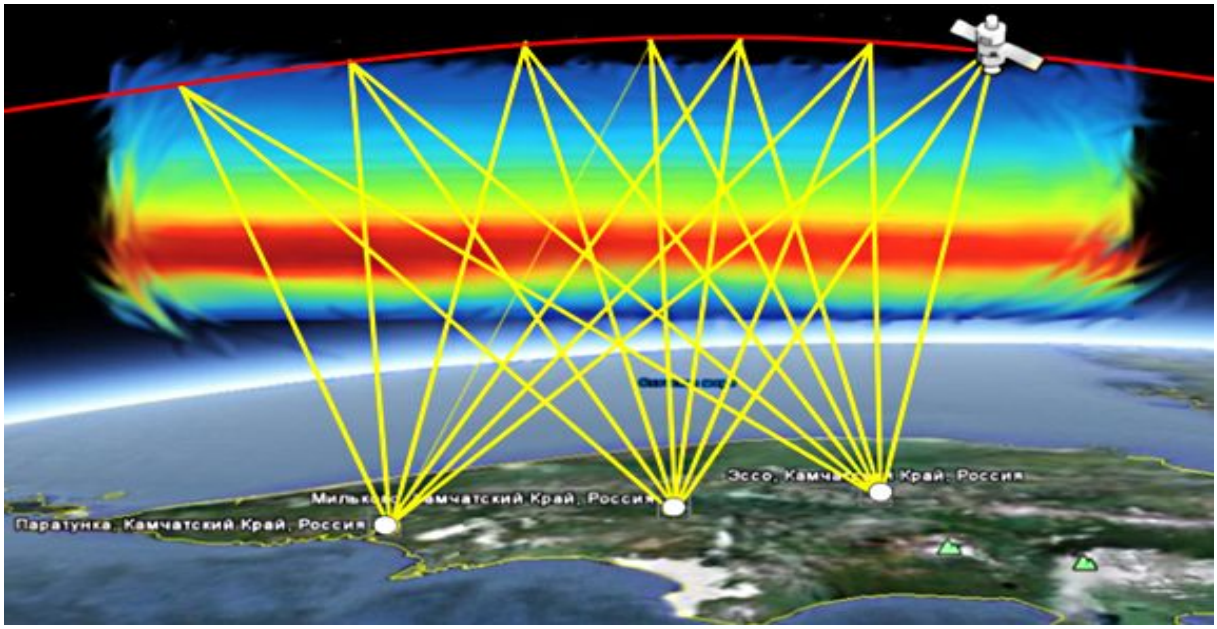


Рис.1. Схема расположения станций приема и распространения зондирующего сигнала.

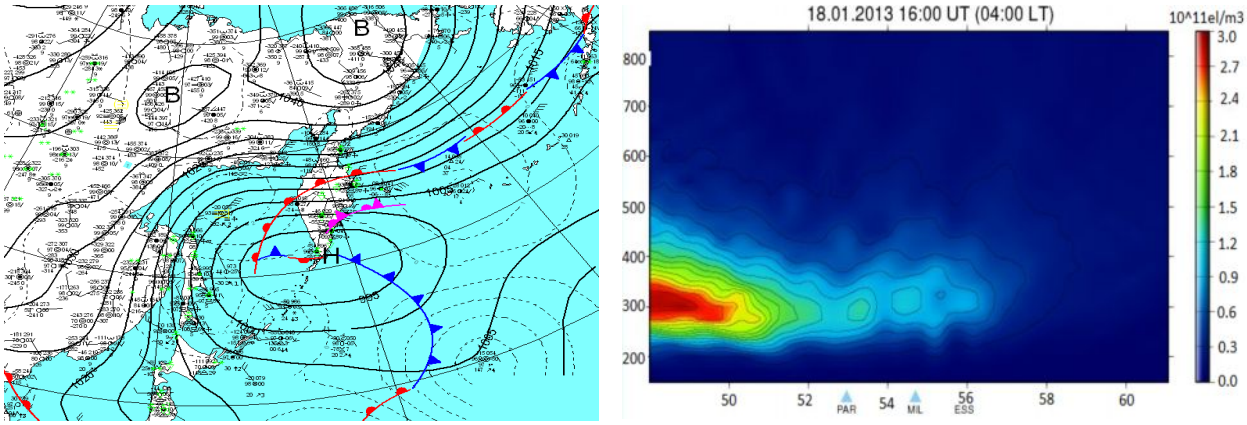
Были отобраны циклоны, прошедшие над Камчаткой с января по февраль 2013г. (см. Таблицу 1), сопровождавшиеся пролетом спутника. Кроме того, условиями отбора являлись наличие спокойной и умеренно спокойной магнитной обстановки с суточным индексом геомагнитной активности $K_\Sigma \leq 17$ и отсутствие сильных землетрясений с энергетическим классом $K_S > 11$. Последнее дает возможность надеяться, что если существуют эффекты влияния циклонов на ионосферу, то это влияние не будет замаскировано ионосферными возмущениями, имеющими другую природу. В левой части Таблицы 1 приведены дата прохождения циклона, время пролета спутника (UT), суммарный индекс магнитной активности (K_Σ) по магнитной станции "Паратунка". В правой части Таблицы 1 представлена информация ближайшего дня к событию (день без циклона – опорный

день), с которым сравнивалось распределение концентрации электронов. Время пролета спутника в опорный день выбиралось по возможности максимально близким ко времени пролета в день циклона.

Таблица 1

День с циклоном			День без циклона		
Дата	**Время пролета спутника, UT**	**Суммарный K_Σ индекс**	**Дата**	**Время пролета спутника, UT**	**Суммарный K_Σ индекс**
18.01.2013	16:00	16	12.01.2013	16:20	2
03.02.2013	18:09	7	31.01.2013	18:32	1
17.02.2013	12:33	17	12.02.2013	13:07	9

На рис.2,4,6 представлены синоптические карты соответствующих циклонов (рис.2a,4a,6a) и рассчитанные цветовые томограммы меридионального распределения концентрации электронов по высоте (рис.2b,4b,6b).



a) b)

Рис.2. Циклон 18.01.2013 год.

a) Ветер восточного направления достигал 30 м/с на высоте 5 км. Эпицентр циклона располагался в южной части полуострова на ~ 48°с.ш.

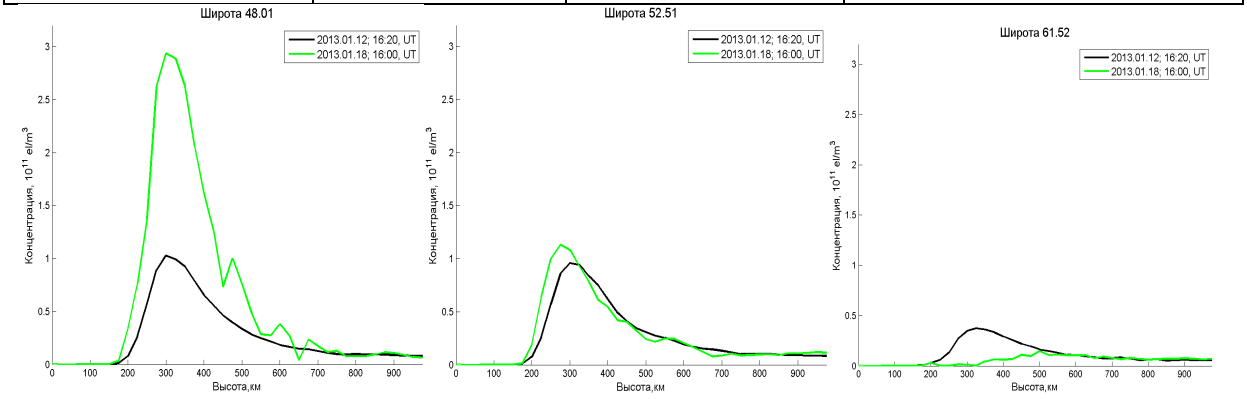
b) Наблюдается турбулизация ионосферной плазмы с ярко выраженным плазменным образованием в интервале широт 48°-49°с.ш. и высот 290-330 км с ростом широты.

На рис. 2a, 4a, 6a принятые обозначения: черная сплошная линия – изобара, числом рядом с линией обозначается значение атмосферного давления в гПа; красная линия – теплый фронт; синяя – холодный фронт; розовая линия – фронт окклюзии. На томограммах по оси абсцисс отложена широта в градусах и обозначены станции приема спутниковой информа-

ции PRT, MLK, ESS по оси ординат высота в км. Справа от томограммы приведена цветовая шкала распределения концентрации электронов. Томограммы строились в интервале широт 48.01^{O}-61.52° с.ш. Для рассматриваемого циклона и соответствующего опорного дня на рис. 3,5,7 представлен разрез распределения плотности электронов для трех широт 48.01°с.ш., 52.96°с.ш. и 61.52°с.ш. В Таблицах 2,3,4 приведены максимальные значения концентрации электронов для трех выбранных широт.

Таблица 2

Пролет спутника	**Максимальное значение концентрации электронов ионосферы, el/m^3 (×10^{11})**		
	Широта		
	48.01°с.ш.	**52.96°с.ш.**	**61.52° с.ш.**
12.01.2013; 16:20 UT	1,0287	0,9313	1,0287
18.01.2013; 16:00 UT	2,9366	1,2030	0,1486

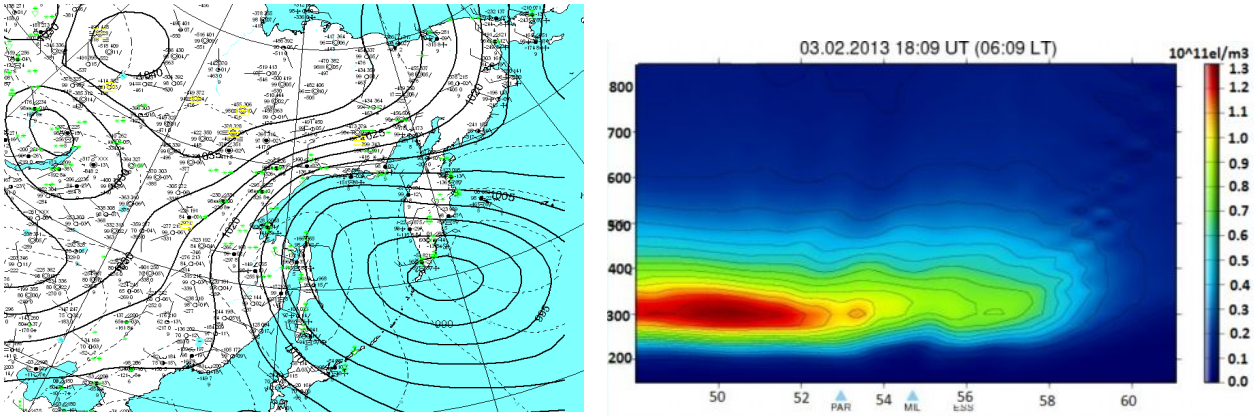


a) b) c)

Рис.3. Разрез распределения плотности электронов в ионосфере во время циклона 18.01.2013 г. в 16:00 UT (04:00 LT) (зеленая линия) для трех широт в сравнении с опорным днем 12.01.2013г. (черная линия).

Таблица 3

Пролет спутника	**Максимальное значение концентрации электронов ионосферы, el/m^3 (×10^{11})**		
	Широта		
	48.01°с.ш.	**52.96° с.ш.**	**61.52 с.ш.**
31.01.2013; 18:32 UT	1,3700	1,4290	0,4803
03.02.2013; 18:09 UT	1,2308	1,0143	0,1400

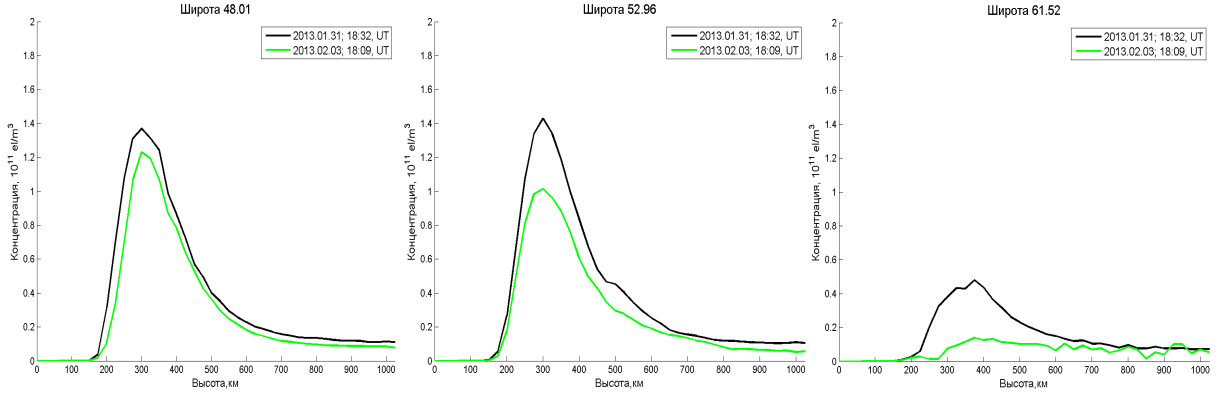


a) b)

Рис.4. Циклон 03.02.2013 год.

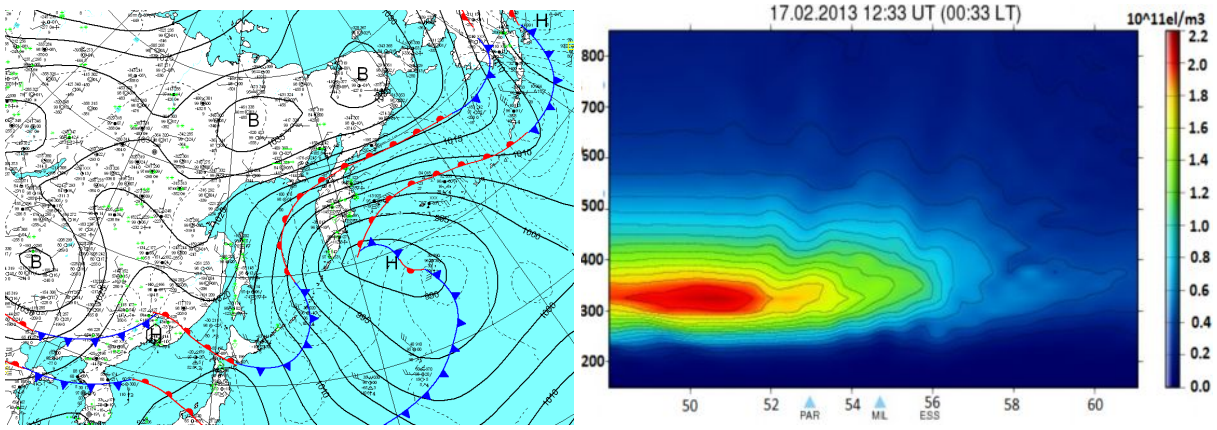
a) Ветер юго-восточного направления достигал 30 м/с на высоте 5 км. Эпицентр циклона располагался в южной части полуострова на ~ 52° с.ш.

b) В ионосфере наблюдается турбулизация плазмы и сформировавшееся протяженное ярко выраженное плазменное образование с повышенной концентрацией электронов в интервале широт 49°-52° с.ш. и высот 290-320 км.



a) b) c)

Рис.5. Разрез распределения плотности электронов в ионосфере во время циклона 03.02.2013г. в 18:09 UT (06:09 LT) (зеленая линия) для трех широт в сравнении с опорным днем 31.01.2013г. (черная линия).



a) b)

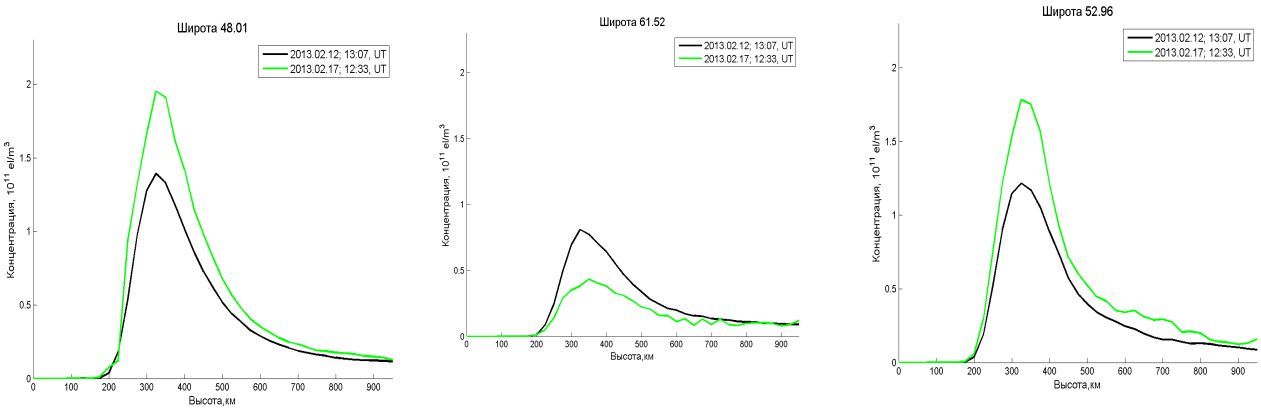
Рис.6. Циклон за 17.02.2013г.

a) Ветер юго-восточного, потом восточного направления, достигал 30 м/с на высоте 5 км. Эпицентр циклона располагался в Тихом океане с координатами: широта ~ 48^{O} с.ш., долгота ~162°в.д.

b) В ионосфере 17.02.2013г. в 12:33 UT наблюдается турбулизация плазмы и сформировавшееся протяженное ярко выраженное плазменное образование в интервале широт 49°-52° с.ш. и высот 290-320 км.

Талица 4

Пролет спутника	**Максимальное значение концентрации электронов ионосферы, el/m^3 (×10^{11}))**		
	Широта		
	48.01°с.ш.	**52.96°с.ш.**	**61.52 с.ш.**
12.02.2013; 13:07 UT	1,3930	1,2171	0,8099
17.02.2013; 12:33 UT	1,9534	1,7840	0,4352



a) b) c)

Рис.7. Разрез распределения плотности электронов в ионосфере во время циклона 17.02.2013г. в 12:33 UT (00:33 LT) (зеленая линия) для трех широт в сравнении с опорным днем 12.02.2013г. (черная линия).

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ влияния циклонов на ионосферу показал, что:

- Общим для рассмотренных циклонов является турбулизации ионосферы и превышение концентрации электронов или почти равенство (03.02.2013; 18:09 UT) по сравнению с опорными без циклона днями вблизи центра циклона.

- Наибольшая турбулизация ионосферы и повышение концентрации электронов происходит непосредственно над центром циклона, что определяется резкими градиентами в распределении электронов (рис. 2b,4b,6b).

- Изменение концентрации электронов ионосферы может быть объяснено за счет переноса механического импульса нижележащих слоев ионосферы

и нейтральной атмосферы [3] на высоты F-слоя и влиянием акустико-гравитационных волн, генерируемых циклоном.

- Необходимо проводить дальнейшие исследования влияния циклона на ионосферу для набора статистики и построения соответствующих физических моделей, с целью выяснения механизма передачи импульса вихревого движения циклона на ионосферные высоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Андреева Е.С., Куницын В.Е., Терещенко Е.Д.* Фазоразностная томография ионосферы//Геомагнетизм и аэрономия,1992. Т32. №1. С104-110.
2. *Ванина-Дарт Л.Б., Романов А.А., Шарков Е.А.*Влияние тропического циклона на верхнюю ионосферу по данным томографического зондирования над о-вом Сахалин в ноябре 2007г//Геомагнетизм и аэрономия,2011. Т51. №6. С790-798.
3. *Данилов А. Д., Казимировский Э. С. и др.* Метеорологические эффекты в ионосфере//Гидрометеоиздат,1987.
4. *Романов А.А., Романов А.А, Трусов С.В., Урличич Ю.М.* Современные подходы к созданию автоматизированной системы регистрации ионосферных предвестников землетрясений по спутниковым данным // Космонавтика и ракетостроение, 2006.№1. С167-172.

STUDY OF CYCLONE EFFECT IN KAMCHATKA ON ELECTRON DISTRIBUTION IN THE IONOSPHERE BY SATELLITE TOMOGRAPHY

Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation (IKIR) FEB RAS,

The paper presents the results of investigation of cyclone possible effect on ionosphere parameters. Monitoring of ionosphere state has been carried out by automatic sounding applying low orbital navigational spacecrafts in the conditions of low seismicity. Receiving stations were locating in meridian direction of Kamchatka peninsular in Paratunka, Mil'kovo and Esso villages. It has been shown that during nighttime cyclone passage (according to local time) on 18.01., 03.02 and 17.02 2013 over Kamchatka, synchronous increase of electron concentration occurred in the region over its epicenter in comparison to the next days without cyclones. With the increase of the latitude, i.e. further from the center of the cyclone, electron concentration decreased in comparison to calm days. The work has been realized within the FEB RAS special-purpose program "Satellite monitoring of the Far East for fundamental researches of FEB RAS" and the project on RAS Presidium Program RAS № 12-1-P22-01.