

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

**Материалы XII региональной
молодежной научной конференции**

**Исследования в области наук о
Земле**

25 ноября 2014 г.

Петропавловск-Камчатский, 2014

ISBN

978-5-902424-18-5

Исследования в области наук о Земле //
Материалы XII
Региональной молодежной научной
конференции «Исследования в области наук
о Земле». 25 ноября 2014 г. Петропавловск-
Камчатский: Институт вулканологии и
сейсмологии ДВО РАН. 2014. 142 с.
В сборнике содержатся материалы,
представленные в виде устных докладов на
XII Региональной молодежной научной
конференции «Исследования в области наук
о Земле», проходившей 25 ноября 2014 г. в
Институте вулканологии и сейсмологии ДВО
РАН (г. Петропавловск-
Камчатский). В сборник включены
материалы 11 из 15 представленных на
конференции и прошедших отбор докладов.

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>стр.</i>
<i>Кудаева Ш.С., Скильская Е.Д., Назарова М.А.</i> НОВЫЕ ДАННЫЕ О БАРРЕРИТЕ В РУДАХ АГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КАМЧАТКА)	5
<i>Яблокова Д.А., Зобенько О.А., Лобзин Е.И.</i> ПИРИТ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СПРУТ (СЕВЕРНАЯ КАМЧАТКА)	17
<i>Малик Н.А., Плутахина Е.Ю.</i> САМОРОДНАЯ СЕРА ВУЛКАНА КИЗИМЕН	31
<i>Шишканова К.О., Лобзин Е.И.</i> СФАЛЕРИТ В РУДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СПРУТ	39
<i>Рылова С. А., Rogozin A. H.</i> ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИГНИМБРИТОВ КАЛЬДЕРЫ КАРЫМШИНА (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА)	51
<i>Рылова С. А., Рылов Е.С., Бреславская А.М.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СЪЁМКИ НА ТЕРМАЛЬНЫХ ПОЛЯХ ПРИРОДНОГО ПАРКА «НАЛЫЧЕВО» (КАМЧАТКА)	63
<i>Нуждаев И.А., Теофилактов С.О.</i> ЗИМНИЕ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ПАУ- ЖЕТСКОМ ГЕОТЕРМАЛЬНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ: МЕТОДИКА, КРАТКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ	75
<i>Берсенёва Н.Ю.</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА КГО «КАРЫМШИНА», КАМЧАТКА	85
<i>Глухова А.Н., Павлова В.Ю.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ)	95

	<i>стр.</i>
<i>Яблочкина К.А.</i>	
СЕЙСМИЧЕСКОЕ ДРОЖАНИЕ ВУЛКАНА ГОРЕЛЫЙ (2007-2014 гг.)	111
<i>Токарев А.В., Чемарёв А.С., Матвеев Е.А., Чеброва А.Ю.</i>	
РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ В КАМЧАТСКОМ ФИЛИАЛЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ РАН	129

УДК 553.085

НОВЫЕ ДАННЫЕ О БАРРЕРИТЕ В РУДАХ АГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КАМЧАТКА)

Кудаева Ш.С.^{1,2}, Скильская Е.Д.^{1,2}, Назарова М.А.²

¹*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

²*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

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

Цеолиты - типичные минералы зон гидротермальных изменений современных и палеогидротермальных, включая рудообразующие, системы. Они установлены в керне скважин Мутновского геотермального и рудах Асачинского, Мутновского, Родникового месторождений.

Баррерит $((\text{Na}_2, \text{K}, \text{Ca}) (\text{Al}_8\text{Si}_{128})\text{O}_{72} \times 26\text{H}_2\text{O})$ - один из наиболее редких цеолитов, был диагностирован в 2008 году среди минералов глинистой фракции товарной руды Агинского золото-теллуридного месторождения.

В процессе эксплуатационных работ на Агинском ГОКе были вскрыты золото-кварц-адуляровые руды, содержащие агрегаты баррерита.

В данной работе приводятся результаты детального изучения баррерита - размеры, цвет, морфология (габитус), микроструктура, химический состав, полученные методами минералогии и физико-химического анализа (XRD, ИК-спектроскопия, EPMA, аналитическая SEM).

Ключевые слова: цеолиты, баррерит, теллуриды, алюмосиликаты, Агинское месторождение

ВВЕДЕНИЕ

Цеолиты это семейство минералов - водосодержащих алюмосиликатов с катионами калия, натрия, кальция и магния. Цеолиты как минеральный вид известны уже более 200 лет. Длительное время они рассматривались в качестве редких минералов, которые не образуют промышленных скоплений, и представляют интерес лишь для коллекционеров [2]. В природе известно до 80 видов цеолитов гидротермального, экзогенного, метаморфического генезиса. Чаще всего они заполняют трещины, пустоты, крупные поры в вулканитах, метасоматитах, кристаллических сланцах и гнейсах.

В мире насчитывается порядка тысячи крупных месторождений цеолитов, которые располагаются в разных странах (более 40). На долю Рос-

сии приходится около двадцати (Кузбасс, Дальневосточный федеральный округ - Якутия, Бурятия, Приморье, Камчатка, Сахалин).

Каждый из цеолитов кристаллизуется при определенных термодинамических параметрах (С-Р-Т), что позволяет использовать их в качестве своеобразных минералогических индикаторов физико-химических условий гидротермального минерало- и рудообразования. Знание типоморфных особенностей цеолитов может быть использовано для более детальной и корректной классификации гидротермальных, в первую очередь, близповерхностных вулканогенных золоторудных объектов [1]. При этом в силу своей высокой абсорбционной способности цеолиты могут способствовать концентрированию золота и других важных в экономическом отношении химических элементов.

Баррерит - один из наиболее редких цеолитов, натриевый член группы стильбита. В эту минеральную группу цеолитов входят стеллерит ($\text{CaAl}_2\text{Si}_7\text{O}_{18} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), стильбит ($\text{NaCa}_2\text{Al}_5\text{Si}_{13}\text{O}_{36} \cdot 14\text{H}_2\text{O}$), баррерит ($(\text{Na},\text{K},\text{Ca})_2\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) [5]. Впервые баррерит был найден в 1974 году на острове Сардиния (Италия), где не был первоначально признан новым минералом группы цеолитов, а идентифицирован как натриевая разновидность стеллерита [4]. Только годом позже (1975 г.) в результате более детальных исследований был утвержден в качестве нового минерального вида и назван в честь Ричарда Малинг Баррера, уроженца Новой Зеландии, британского учителя, который внес большой вклад в изучение цеолитов [5]. Теоретическая химическая формула баррерита - $(\text{Na},\text{K},\text{Ca})_2\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Типичные примеси, которые могут присутствовать в нем: Fe, Mn, Mg, Sr, Ba.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения баррерита были использованы следующие методы классической минералогии, минераграфии (современные прецизионные микроскопы Axioskop 40, Discovery V12 SteREO) и физико-химического

анализа (аналитическая сканирующая электронная микроскопия SEM Tescan Vega 3 Oxford Instrument X-max 80, рентгенофазовый анализ дифрактометр XRD-7000 MAXima Shimadzu), инфракрасная спектроскопия (Фурье-спектрофотометр IRAffinity-1 Shimadzu)). Исследования выполнялись в лаборатории вулканогенного рудообразования, Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН и лабораториях МГУ.

Порошковые дифрактограммы получены с помощью рентгеновского дифрактометра XRD-7000 MAXima (Shimadzu, Япония). Режим съемки: непрерывный, излучение CuK_α , напряжение 30 кВ, ток 30 мА, интервал углов 2θ - $2-75^\circ$. Скорость сканирования $0,5-2^\circ/\text{мин}$, шаг сканирования $0,05^\circ$, экспозиция в точке 1,5-6 секунд. При съемке использовалась система поликапиллярной оптики.

Инфракрасные спектры поглощения получены для диапазона волновых чисел $400-4000 \text{ см}^{-1}$; с разрешением 2 см^{-1} , число сканов - 30. Препараты для съемки готовились путем растирания образца с бромидом калия (спектрально чистым) в агатовой ступке и прессованием в таблетки ручным мини-прессом.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Агинское золото-теллуридное месторождение - первенец горнодобывающей золоторудной промышленности Камчатки, располагается в Центрально-Камчатском района. Систематическое изучение этого месторождения началось в 1971 году, в 2005 году на его базе был введен в эксплуатацию Агинский ГОК.

Первые данные о наличии баррерита на этом месторождении были получены в 2008 году при комплексных минералого-геохимических исследованиях товарной руды, проводимых в рамках выполнения договорных работ ЛВР ИВиС ДВО РАН с ЗАО «Камголд» [1]. Тогда при рентгенофазовом анализе тонких фракций (5 минут и 24 часа) были диагностированы баррерит, смектит, каолинит, кварц, микроклин, альбит, кальцит (табл. 1).

Таблица 1. Минеральный состав глинистой фракции товарной руды Агинского месторождения (по данным РФА, 2008 г.).

Номер образца	Минеральный состав, %						
	смектит	баррерит	каолинит	кварц	микроклин	альбит	кальцит
APR-1	60,6	12,5	5,0	14,0	2,8	2,7	2,4
APR-2	58,5	7,9	9,9	10,4	5,7	5,5	2,1
APR-2-1	52,0	12,2	9,1	13,0	4,7	6,0	3,0
APR-2-3	50,9	7,7	9,7	19,2	4,2	5,5	2,8

В 2012-2013 годах в подземных горных выработках жильной зоны Блуждающая были встречены кварцевые щетки на обломках вулканитов и руд с многочисленными кристаллами баррерита.

Минерал образует прозрачные с алмазным блеском кристаллические агрегаты с размерами индивидуумов до трех- четырех миллиметров (рис. 1).



Рис. 1. Кварцевая «друза», на поверхности которой располагаются многочисленные агрегаты баррерита, а- общий вид, б- фрагмент. Жильная зона Блуждающая, блок 502/09.

Кристаллы баррерита имеют таблитчатую и удлиненную призматическую форму. Часто образуют двойники и срастания между собой (рис. 2).

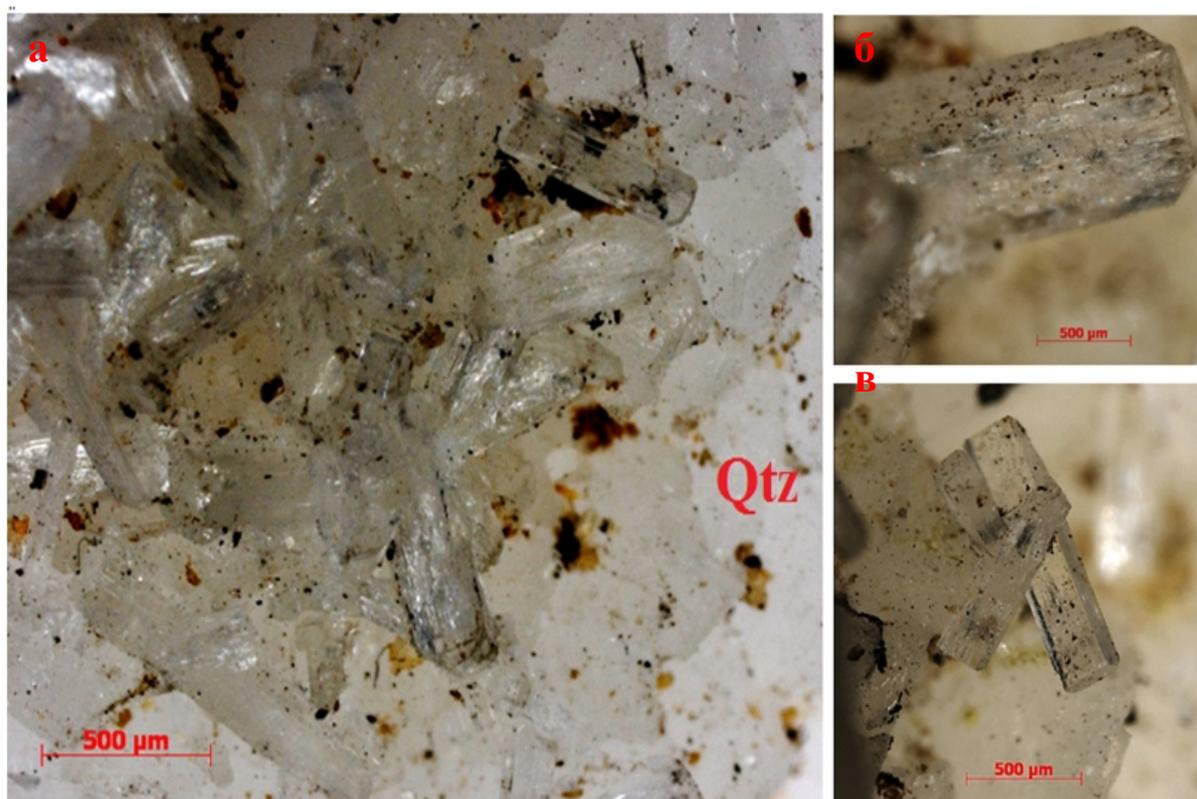


Рис. 2. Кристаллические агрегаты баррерита: а- строение агрегатов баррерита; б,в – морфология отдельных кристаллических индивидуумов. Фото стереомикроскоп Discovery V12.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные нами результаты рентгенофазового анализа (РФА-XRD) и инфракрасной спектроскопии (IRS) для баррерита Агинского месторождения показывают, что они сопоставимы с эталонными (рис. 3,4).

Методами аналитической сканирующей электронной микроскопии и рентгеноспектрального с электронным зондом микроанализа были изучены микроморфология баррерита и его химический состав (рис. 5, табл. 3).

Оказалось, что если по рентгеноструктурным параметрам баррерит Агинского месторождения близок к эталонным значениям, то его химический состав отличается рядом особенностей. В первую очередь - преобладанием кальция над натрием, хотя по определению баррерит - натриевый цеолит. И второе - более низкие содержания кремния и алюминия.

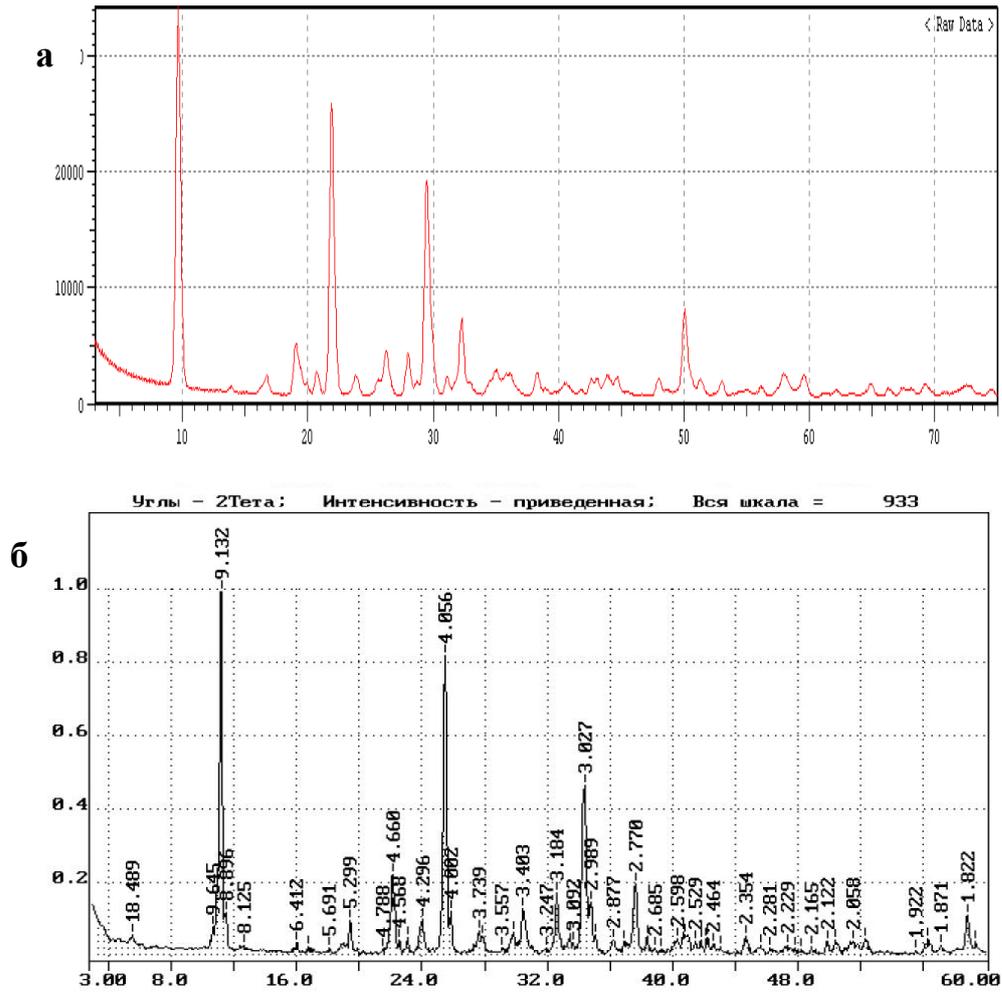


Рис. 3. Дифрактограммы агрегатов баррерита, полученные в: а - АЦ ИВиС; б- МГУ Геолфак.

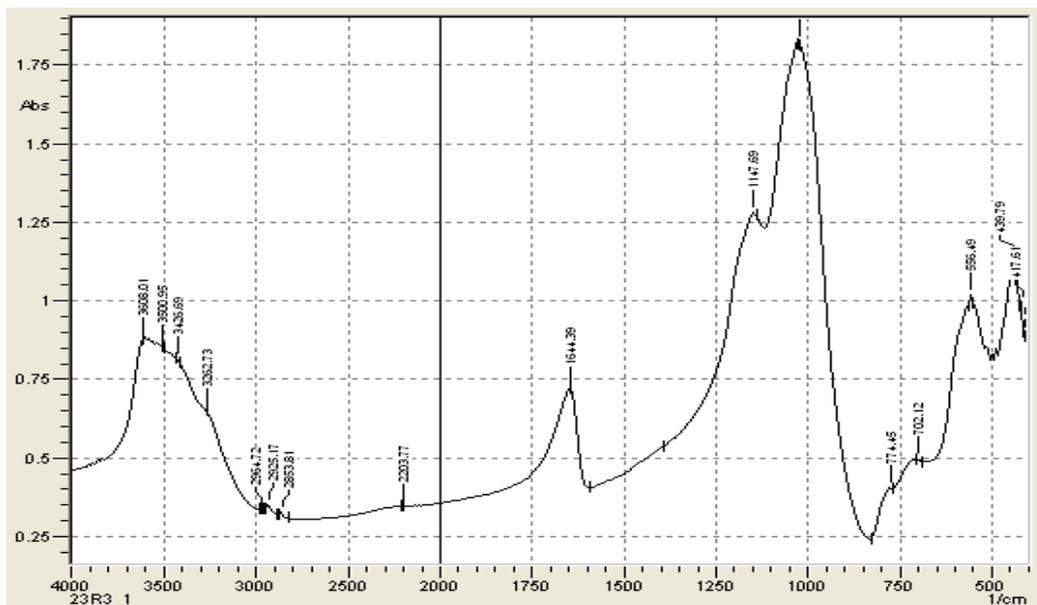


Рис. 4. ИК спектры баррерита (АЦ ИВиС ДВО РАН).

Таблица 2. Межплоскостные расстояния баррерита (1- АЦ ИВиС, 2 - МГУ Геолфак, 3- эталонные значения).

№. п/п	1 d (I)	2 d(hkl)	3 d (I)
1	9.12729 (100)	9.10000	9.10 (100)
2	5.31386 (5)	4.05503	5.301 (6)
3	4.655 (13)	3.02727	4.659 (20)
4	4.56016 (7)	8.92100	4.552 (6)
5	4.27706 (6)	4.65588	4.285 (12)
6	4.05011 (76)	3.73323	4.054 (100)
7	3.72587 (5)	3.00047	3.732 (12)
8	3.47023 (4)	4.28301	3.483(12)
9	3.38972 (12)	3.18584	3.408 (11)
10	3.18329 (11)	3.19379	3.189 (16)
11	3.1027 (3)	2.77166	3.103 (7)
12	3.02303 (56)	3.41075	3.028 (80)
13	2.87093 (4)	3.48454	2.871 (3)
14	2.77145 (19)	4.05325	2.773 (20)
15	2.71618 (3)	3.00690	2.727 (3)
16	2.55457 (6)	3.10392	2.563 (6)
17	2.50621 (5)	3.39179	2.507 (5)
18	2.48274 (6)	2.70942	2.487 (3)
19	2.3479 (6)	2.56411	2.347 (3)
20	2.12057 (4)	2.04117	2.121 (4)
21	2.09944 (4)		2.096 (3)
22	2.06298(5)		2.062 (3)
23	2.0257 (5)		2.025 (3)
24	1.89391 (4)		1.892 (3)
25	1.82021 (22)		1.819 (17)
26	1.80247 (22)		1.804 (4)

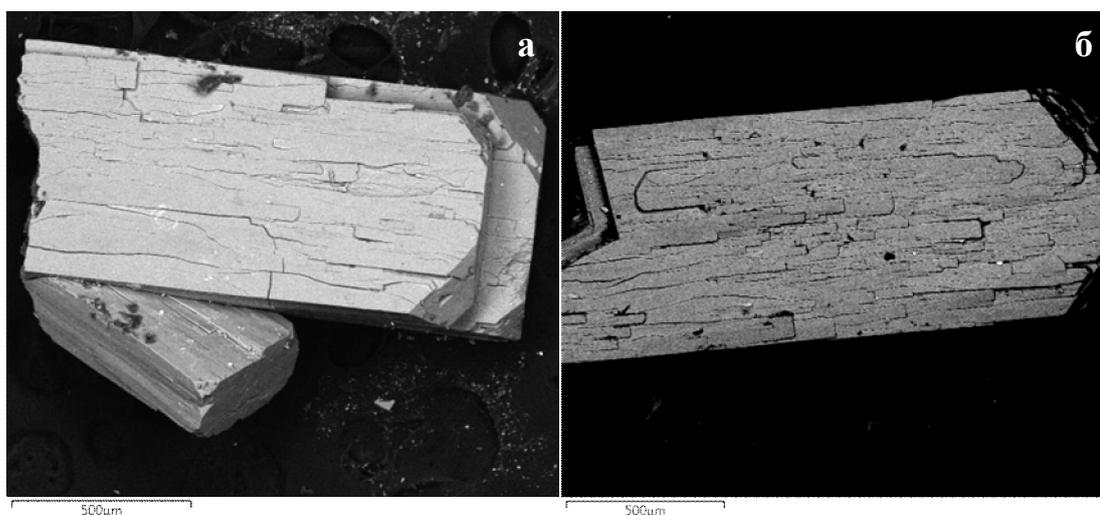


Рис. 5. Микроморфология сростков (а) и единичных кристаллов (б) баррерита. Фото BSE, SEM Vega 3 Tescan.

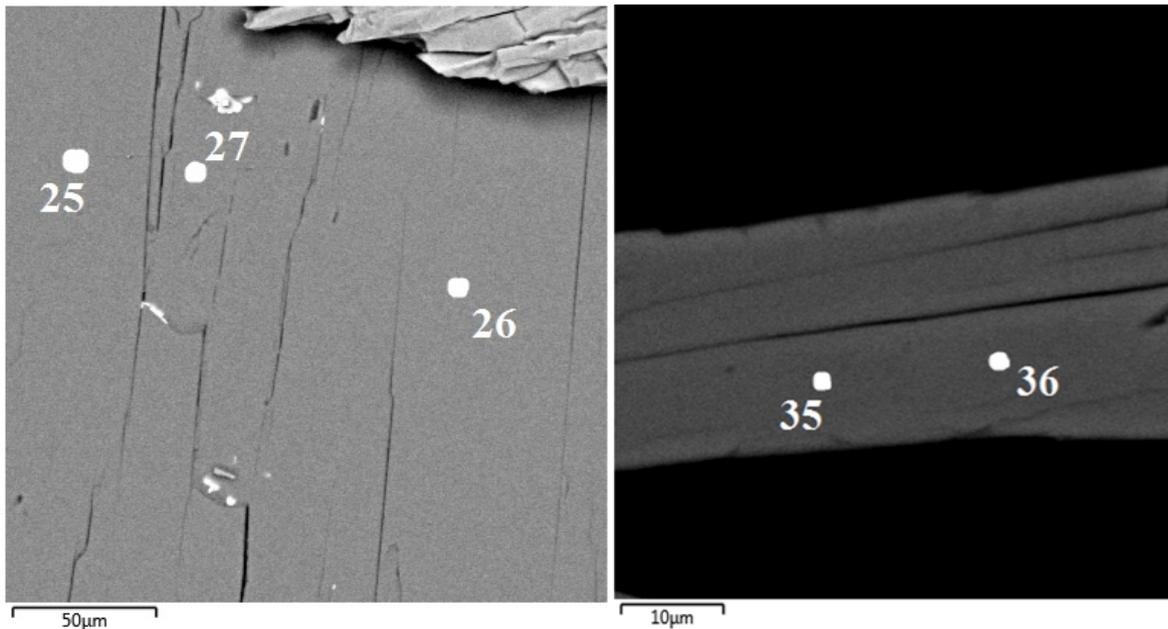


Рис. 6. Аналитические точки на поверхности баррерита, в которых определен химический состав. Результаты представлены в таблице 2. Фото BSE, SEM Vega 3 Tescan.

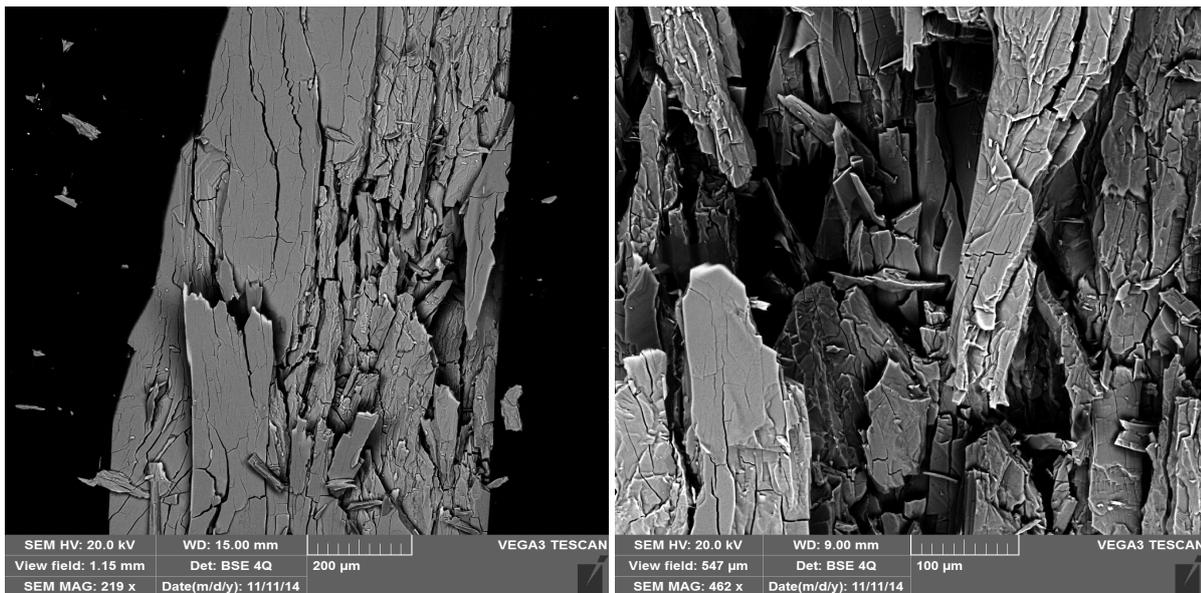


Рис. 7. Микроморфология поверхности поверхности кристаллов баррерита, обусловленная его разрушением. Фото BSE, SEM Vega 3 Tescan.

Полученные нами результаты изучения химического состава баррерита позволили рассчитать химические формулы минерала. Они значительно отличаются от теоретической, что обусловлено различиями в химическом составе эталонного баррерита и баррерита Агинского месторождения (табл. 3). Не исключено, что баррерит названного месторождения может оказаться новой разновидностью изоморфных рядов - «условно» типа стеллерит - стильбит - баррерит. Исследования

планируется продолжить с использованием возможностей лабораторий ИГЕМ, ИЭМ РАН, МГУ, университетов Австралии, Италии и Швейцарии.

В процессе изучения агрегатов баррерита мы установили, что со временем поверхность кристаллов начинает разрушаться («раслаиваться», «шелушиться»). В основном, разрушение поверхности происходит по спайности (рис. 7). Возможно это связано с воздействием атмосферы (влажность, колебания температуры).

Таблица 3. Химический состав баррерита и его химические формулы, вес. % (рис. 6).

Спектр	O	Na	Al	Si	Ca	Сумма	Расчетная формула, *nH ₂ O
25	61.11	-	8.74	25.86	5.63	101.35	(Na,Ca) _{0,66} Si _{4,34} Al _{1,53} O ₁₈
26	60.42	0.46	8.57	26.48	5.64	101.58	(Na,Ca) _{0,77} Si _{4,49} Al _{1,51} O ₁₈
27	61.20	0.57	8.81	26.41	5.59	102.58	(Na,Ca) _{0,77} Si _{4,42} Al _{1,54} O ₁₈
35	40.24	0.60	8.88	26.17	5.80	81.69	(Na,Ca) _{1,22} Si _{6,67} Al _{2,35} O ₁₈
36	39.88	0.61	8.81	25.87	5.90	81.07	(Na,Ca) _{1,25} Si _{6,67} Al _{2,36} O ₁₈

Таблица 4. Химический состав микровключений в кристаллах баррерита.

№	Спектр 21	Спектр 22	Спектр 23
O	30.28	9.81	7.30
Na	0.49		
Al	5.50	2.28	2.24
Si	17.39	7.48	7.11
Ca	4.98	3.45	2.91
V		0.42	0.96
Cu		0.74	2.07
Pb		1.12	2.80
Сумма	58.64	25.30	25.37

В агрегатах баррерита диагностированы мелкие включения (2-3 мкм), которые отличаются сложным химическим составом, где значительную роль играют теллур, ванадий, медь и свинец (рис. 8).

Минералы со сходным набором химических элементов установлены в зонах окисления и цементации рудных тел Агинское, Сюрприз, Блуждающая [3,4].

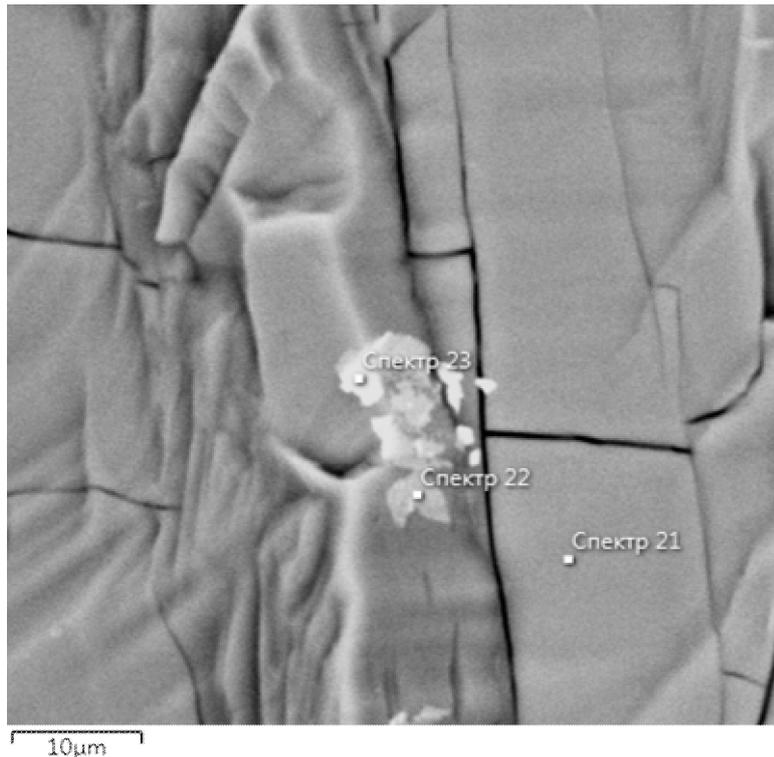


Рис. 8. Баррерит с микровключениями (21-23), содержащими, ванадий, медь и свинец. Фото BSE, SEM Vega 3 Tescan.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Получены новые данные о баррерите Агинского месторождения
2. По своему химическому составу и рассчитанным формулам баррерит Агинского месторождения заметно отличается от эталонного своими более высокими содержаниями кальция при более низких - алюминия и кремния. Возможно, что он может оказаться новым изоморфным членом ряда стеллерит - стильбит - баррерит.

3. Баррерит – типоморфный минерал группы цеолитов в рудах Агинского золото-теллуридного месторождения.
4. Баррерит может применяться в качестве минерала - индикатора золото-теллуридной вулканогенной гидротермальной жильной минерализации на ранних стадиях поисково-разведочных работ и при оценке степени перспективности «новых территорий».

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории вулканогенного рудообразования Чубарову М.В., Философовой Т.М., Москалевой С.В., за помощь в проведении микрозондовых исследований; Куликову В.В., Куликовой Р.Н. - за обработку каменного материала, Ананьеву В.В. - в проведении минералогических расчетов, руководству ЗАО «Камголд» за предоставление образцов и возможность посещения Агинского месторождения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО "Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга" на 2012-2016 гг., Молодежного проекта ДВО РАН 14-III-B-08-192 «Изотопно-геохимические характеристики рудного кварца и карбоната Агинского Au-Ag-Te месторождения, Центральная Камчатка».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Андреева Е.Д., Ким А.У. О цеолитах некоторых эпитеpmальных золотосеребряных месторождений Камчатки // Исследования в области наук о Земле // Материалы VI региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле», 26-27 ноября 2008 г, Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. В. Беринга, 2008, с. 13-20.
2. Еремин Н.И.: Неметаллические полезные ископаемые. Издательство Московского университета, 2-е издание, 2004, 720 с.
3. Кудаева Ш.С., Андреева Е.Д. Горчичное золото: характеристика, виды и химический состав // Материалы XIII региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки», 15 апреля 2014, П-К
4. 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., с. 335-341
5. Galli E., Alberti A. The crystal structure of barrerite // Bull. Soc. Fr. Mineral Cristallogr, 1975, 98, p. 331-340
6. Renzo F., Gabelica Z. Barrerite and other zeolites from Kuiu and Kupreanof islands, Alaska // The Canadian Mineralogist, 1997, Vol. 35, p. 691-698

NEW DATA ON BARRERITE IN ORES AGINSKOE DEPOSIT
(KAMCHATKA)

Kudaeva Sh.S., Skilskaya E.D., Nazarova M.A.

Zeolites are typical minerals of zones of hydrothermal alteration modern and paleohydrothermal, including ore-forming systems. It is installed in the borehole cores Mutnovskoe geothermal field and in ores Asachinskoe, Mutnovskoe, Rodnikovoe deposits.

Barrerite $((\text{Na}_2, \text{K}, \text{Ca}) (\text{Al}_8\text{Si}_{28}) \text{O}_{72} \times 26\text{H}_2\text{O})$ is one of the rarest zeolite. It was diagnosed in 2008, among the clay mineral fraction of saleable ore Aginskoe gold-telluride deposit.

In the process of operational work on Aginskoe Plant were dissected gold-quartz-adularia ores, that contain barrerite aggregates.

In this work, we present the results of a detailed study barrerite - size, color, morphology (habitus), microstructure, chemical composition by methods mineralogy and physico-chemical analysis (XRD, IR-spectroscopy, analytical SEM).

Keywords: zeolites, barrerite, tellurides, aluminosilicates, Aginskoe deposit

УДК 553.661.2

ПИРИТ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СПРУТ (СЕВЕРНАЯ КАМЧАТКА)

Яблокова Д.А.^{1,2}, Зобенько О.А.¹, Лобзин Е.И.³

¹*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

²*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

³*КамчатГеология*

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

В данной работе приводятся первые результаты изучения типоморфных особенностей пирита месторождения Спрут – одного из наиболее распространенных рудных минералов месторождения. Пирит - индикатор геохимических особенностей среды минерало- рудообразования, что позволяет использовать его для более детальной геолого-генетической классификации слабо изученных или новых рудных объектов и оценки степени их перспективности. Методами классической минераграфии и современного физико-химического анализа (EMPA, SEM, XRD, ICP) детально охарактеризованы размеры, цвет, морфология (габитус), микроструктура, химический состав (стехиометричность), химическая неоднородность и её типы, микровключения в пирите. Выделены три стадии и минеральные ассоциации этого минерала.

Ключевые слова: пирит, типоморфизм, месторождение Спрут, Северная Камчатка, минералы серебра

ВВЕДЕНИЕ

Пирит – один из самых распространенных в природе минералов. Он образуется в самых разнообразных условиях - от эндогенных магматических до экзогенных осадочных, что позволяет применять его в качестве своеобразного индикатора (минерального трассера) для выявления не только формационной принадлежности, но и физико-химических условий процессов минерало- и рудообразования, в которых он участвует. Поэтому его типоморфные особенности используются в качестве одного из минерало-геохимических критериев при поисках и для оценки перспективности рудоносности конкретных территорий [2, 3].

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИИ СПРУТ

Месторождение Спрут относится к Корьякско-Западно-Камчатскому вулканическому поясу (КЗКВП) и расположено на востоке Тклаваямского (Ичигинского) серебряно-золоторудно-россыпного узла (рис. 1, 2). Приурочено к одноименной вулcano-тектонической структуре.

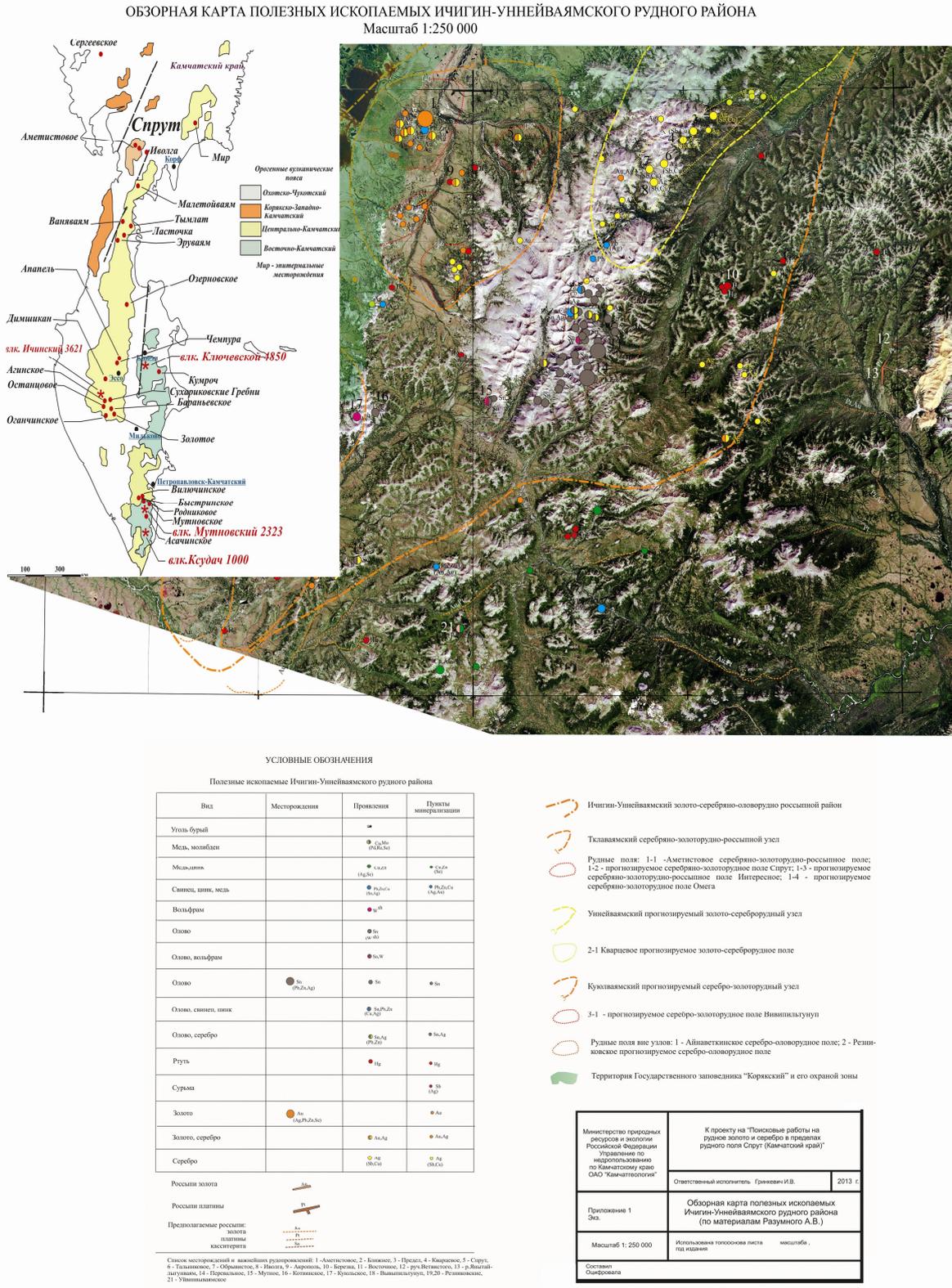


Рис. 1. Обзорная карта полезных ископаемых Ичигин-Уннейваямского рудного района М 1:250 000 (КамчатГеология).

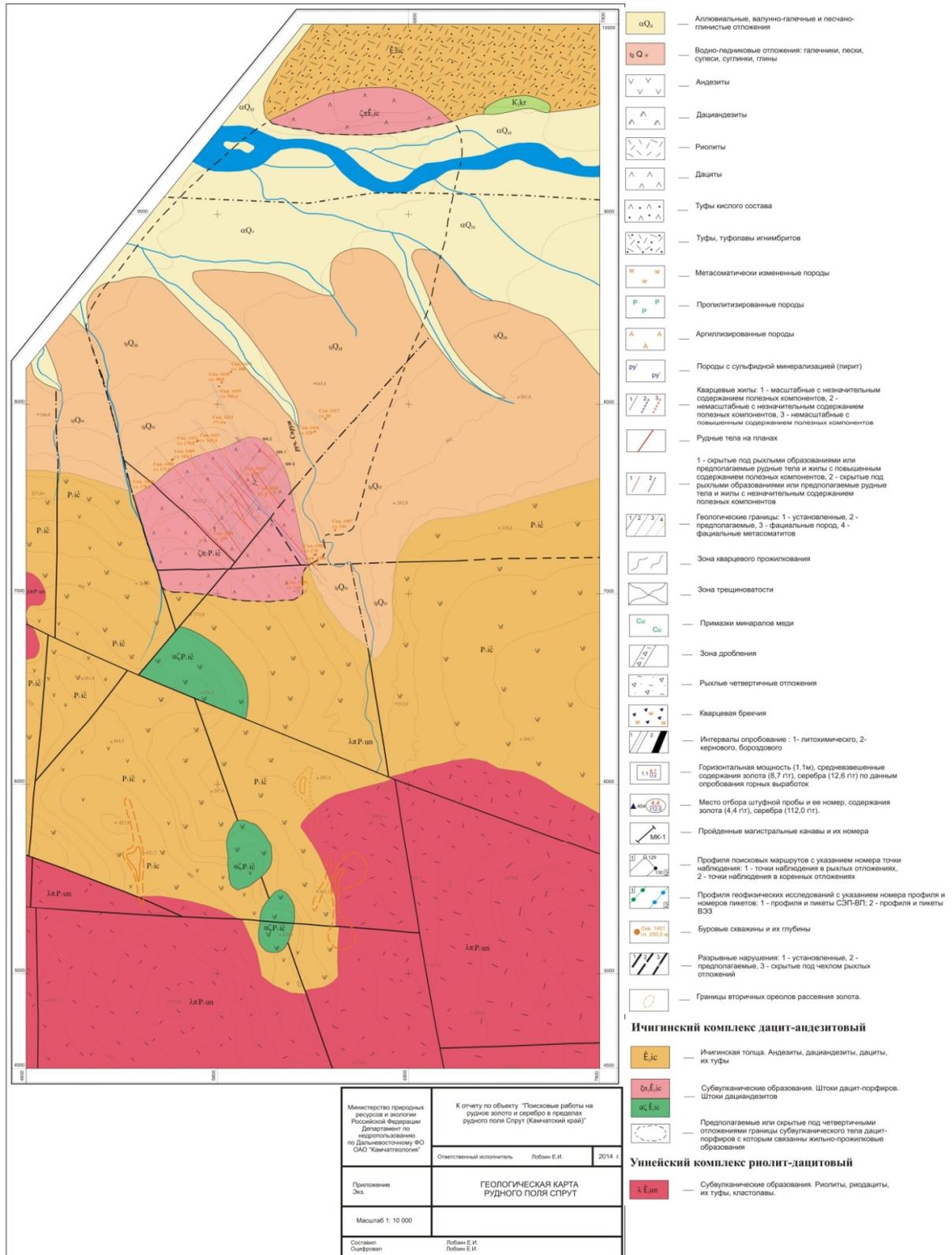


Рис. 2. Геологическая карта месторождения Спрут М 1:10 000 (КамчатГеология).

В геологическом строении ВТС принимают участие магматические образования Ичигинского комплекса, представленные покровной, субвулканическими образованиями.

канической и пирокластической фациями, а также экструзивные породы Уннейского вулканического комплекса (рис. 2). 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 большими экструзивными телами, которые занимают значительные территории в южной части месторождения. Они приурочены к водораздельным пространствам, слагая все господствующие высоты. Форма тел неправильная, контакты извилистые, часто заливообразные.

Потенциально рудоносные структуры приурочены к довольно крупному субвулканическому телу дацит-порфиров Ичигинского комплекса (площадь предполагаемого выхода, с учетом участков, перекрытых рыхлыми отложениями, составляет около 3,5 км²). Оно имеет овальную форму при северо-восточном простираии.

Практически все горные породы, слагающие месторождение Спрут, подвержены в той или иной степени воздействию метасоматических процессов. Метасоматическое замещение - результат циркуляции гидротермальных минералообразующих растворов по трещинам, ослабленным зонам с проникновением на значительное расстояние от них в боковые породы. В результате формируются жилы, различающиеся размерами и мощностью (от первых метров до волосовидных прожилков), и зоны метасоматитов от кварцитов до хлорит-карбонат-кварцевых разновидностей. Карбонаты, кварц, хлорит, адуляр, серицит, смектиты, гидрослюды - типичные метасоматические минералы. Соотношение между ними меняется в широких пределах. Наиболее широкое и интенсивное развитие гидротермальных образований наблюдается в пределах юго-западной части субвулканиче-

ского тела дацит-порфиров. Они представлены метасоматитами фаций пропицитов, гидротермальных кварцитов, монокварцитов и кварцевыми жилами. Наблюдается латеральная зональность метасоматитов.

Окварцевание, карбонатизация и формирование сложных по своему минеральному составу ассоциаций глинистых минералов (смектиты, гидрослюды, каолиниты, бейделлиты) – характерные формы метасоматических образований для месторождения.

Площадь месторождения Спрут - 13 км². Средние содержания серебра варьируют от 146 до 4850 г/т, золота - от 1 до 44 г/т [1]. Оно активно осваивается компанией «Камчатгеология», которая проводит поисковые работы на рудное золото и серебро в его пределах по двухлетнему федеральному контракту.

В течение 2013-2014 гг. на месторождении проводились детальные поисково-разведочные работы с проходкой канав, траншей и скважин, которые позволили получить новый каменный материал для детальных минералого-геохимических исследований (рис. 3), который стал основой изучения типоморфных особенностей пирита.

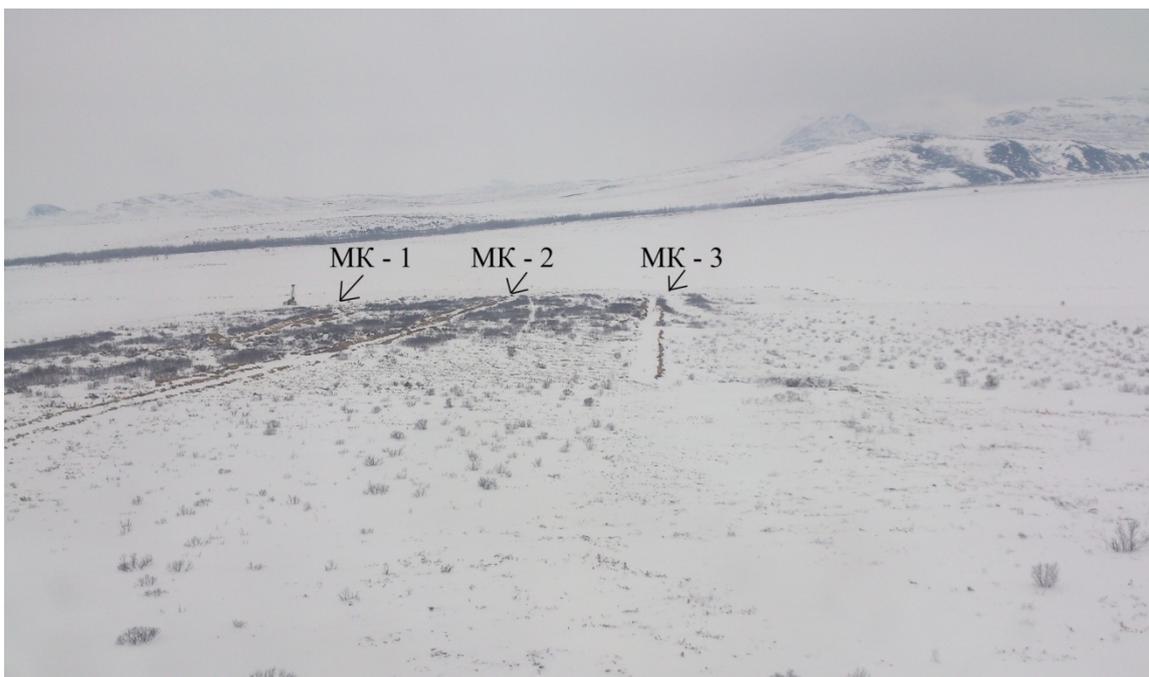


Рис. 3. Панорама месторождения Спрут. На первом плане представлены канавы МК-1, МК-2, МК-3. Зима 2013 года.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования типоморфных особенностей пирита как индикатора геохимической среды (поисковый признак и прогнозный критерий), были применены как классические методы минераграфии и минералогии с использованием микроскопов Axioskop 40, Discovery (Carl Zeiss), так и современные физико-химические: – рентгено-спектральный с электронным зондом микроанализ (автоматизированная аналитическая система Camebax, укомплектованная новейшим энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-max 80), - аналитическая сканирующая электронная микроскопия (SEM Vega 3 Tescan), - индукционно связанная плазма (ICP MS).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пирит - один из наиболее часто встречаемых рудных минералов на месторождении. Для решения поставленных задач, а именно - для изучения количества, размеров, цвета, морфологии (габитус), микроструктуры, химического состава (стехиометричность), химической неоднородности и ее типа, микровключений и минералов, с которыми он ассоциирует были подготовлены образцы пирита из дорудной, продуктивной (рудной) и пострудной стадий (рис. 4).

К дорудной стадии отнесен пирит, распространенный в кислых субвулканических порфириновых горных породах – риодацитах, измененных вторичными гидротермальными процессами (рис. 4 а). Он слагает обычно микропрожилки, выполненные кварцем и кальцитом, где образует гнездообразные скопления. С помощью аналитической сканирующей электронной микроскопии во вмещающих породах присутствуют кварц, хлорит, КПШ, плагиоклазы а также мелкие включения циркона, апатита и рутила (рис. 5).

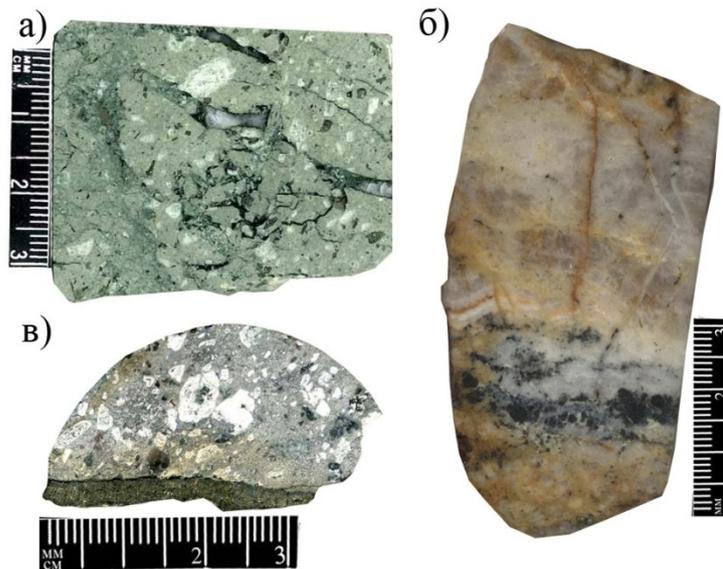


Рис. 4. Представительные образцы месторождения Спрут: а - дорудная, б - рудная, в-пострудная стадии

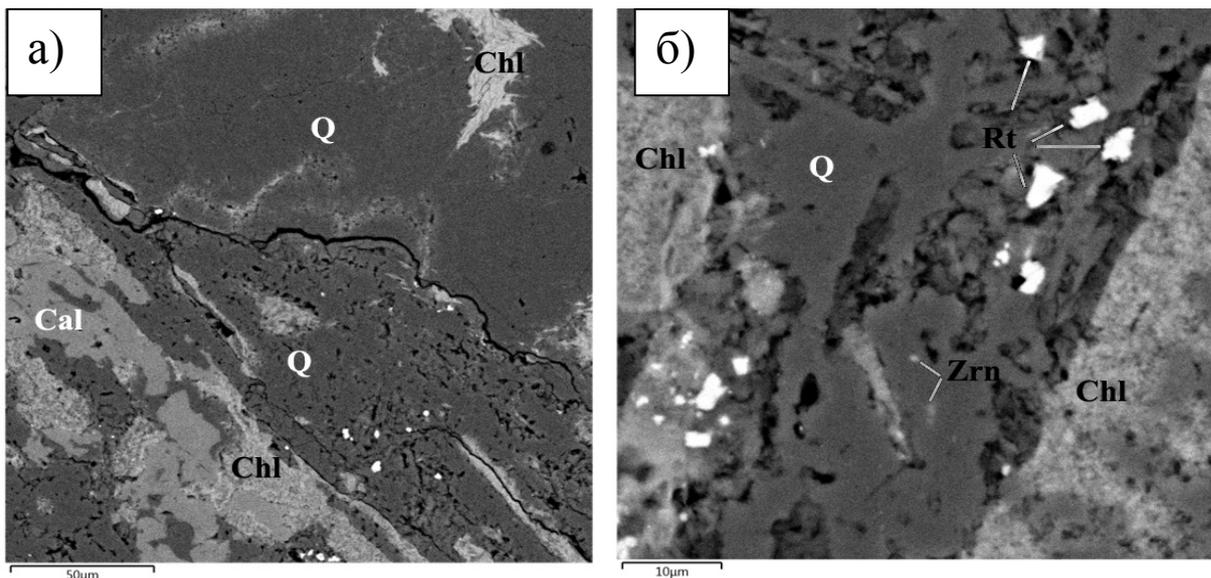


Рис. 5. Формы выделения вторичных минералов в измененных риодацитах: а) взаимоотношение кварца (Q), кальцита (Cal) и хлорита (Chl); б) микровключения циркона (Zrn), рутила (Rt) в кварцевой матрице (Q). В правом нижнем углу - взаимоотношения кварца (Q - серые пятна) и хлорита (Chl). Фото BSE SEM Tescan Vega 3.

Пирит риодацитов представлен в виде единичных зерен - пентагондодекаэдры, кубы, размеры которых от 10 до 250-300 мкм (рис. 6 а,б). Также встречаются срастания зерен пирита в гнезда, размеры которых достигают 1 мм (рис. 6 в,г). Пирит данных пород, в основном, стехиомет-

ричен, редко встречаются зерна с химической неоднородностью за счет обогащения отдельных микроучастков мышьяком.

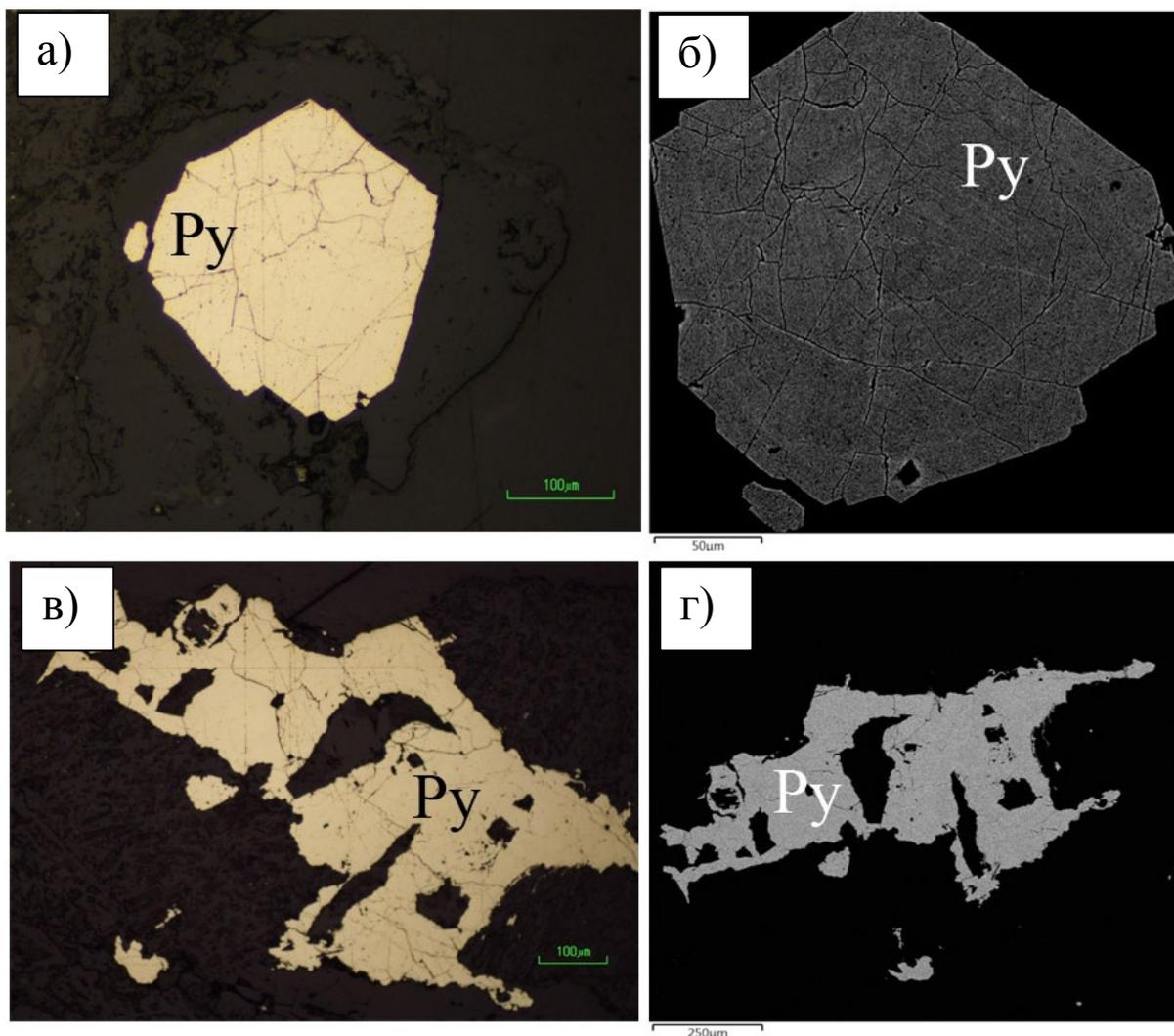


Рис. 6. Две разновидности пирита: а) единичные зерна пентагондодекаэдра; б) гнездообразные срастания агрегатов. Py - пирит. а, в - фото в отраженном свете, б, г - фото BSE SEM Tescan Vega 3.

Минеральная ассоциация - халькопирит, железистый сфалерит и галенит, приуроченный к микротрещинкам (рис. 7).

Для изучения пирита продуктивной стадии была выбрана наиболее богатая руда, представленная сочетанием полосчатой, колломорфно-полосчатой с гнездовой и прожилково-вкрапленной текстур (рис. 4б) с "серебряными чернями типа гингуро", которые отличаются широким спектром сульфосолей серебра, германия, сульфидов свинца, цинка, железа,

серебра (ленаит), серебра с золотом (ютенбогартит), селенидов (включая клаусталит), теллуридов с самородными золотом и серебром.

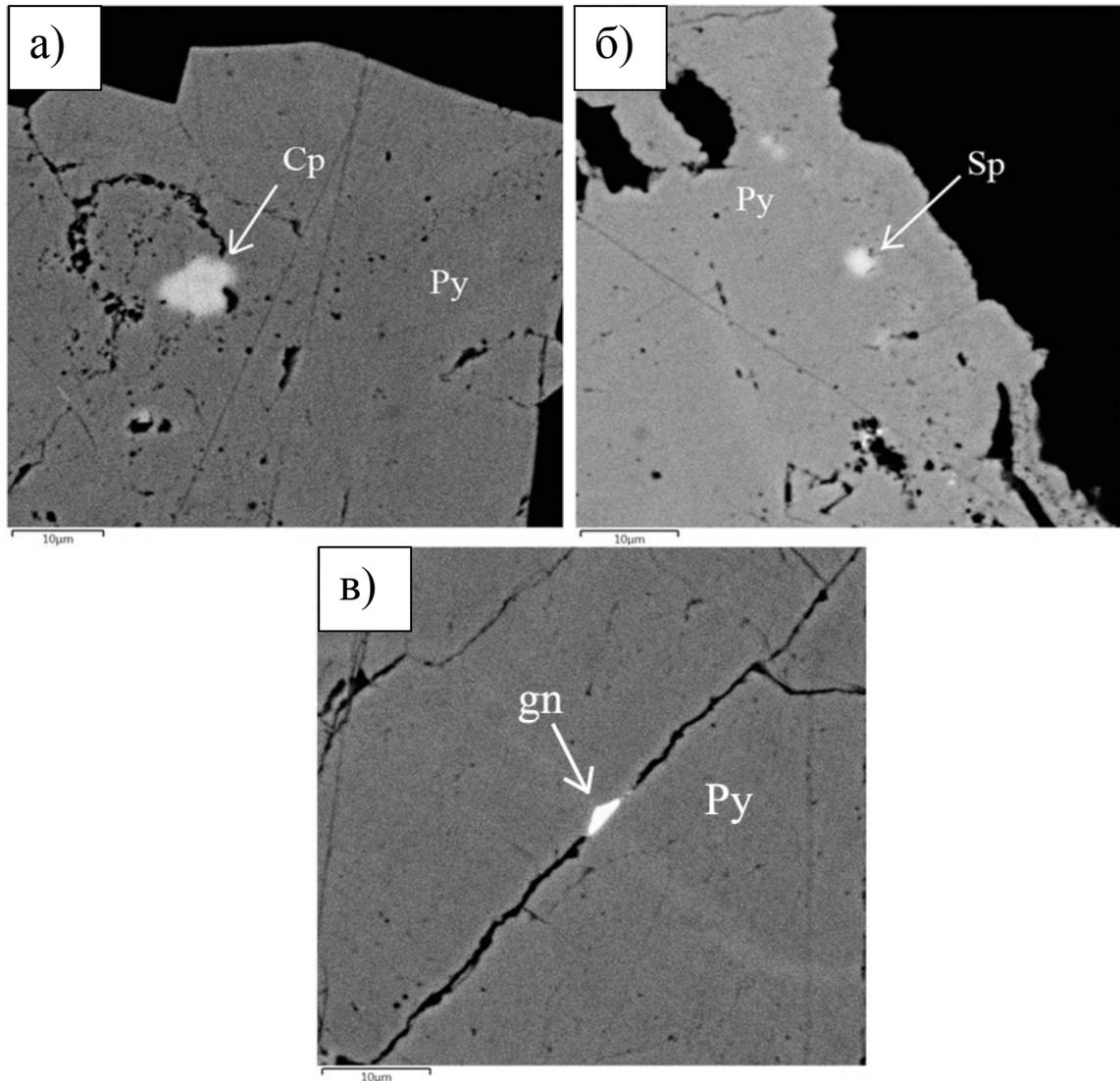


Рис. 7. Микровключения в пирите (Py): а) халькопирита (Cp); б) сфалерита (Sp); в) галенита (gn). Фото BSE SEM Tescan Vega 3.

Пирит продуктивной стадии - идиоморфные зерна кубической, пентегондодэкаэдрической форм, размеры которых достигают не более 200 мкм. Нередко наблюдаются срастания агрегатов пирита в виде гнезд и линз. По химическому составу пирит, в основной своей массе, стехиометричен. Для получения более полной информации о химическом составе пирита продуктивной стадии была отобрана «монофракция», состоящая из кристаллов и агрегатов, для последующего исследования методом индук-

ционно связанной плазмы. Среди наиболее оригинальных химических элементов, которые были обнаружены - As, Sb, Se, Ag, Cu, Zn, Pb. Объяснение природы этих элементов пока вызывает определенные затруднения. С одной стороны они могут входить в качестве изоморфной примеси в структуру пирита.

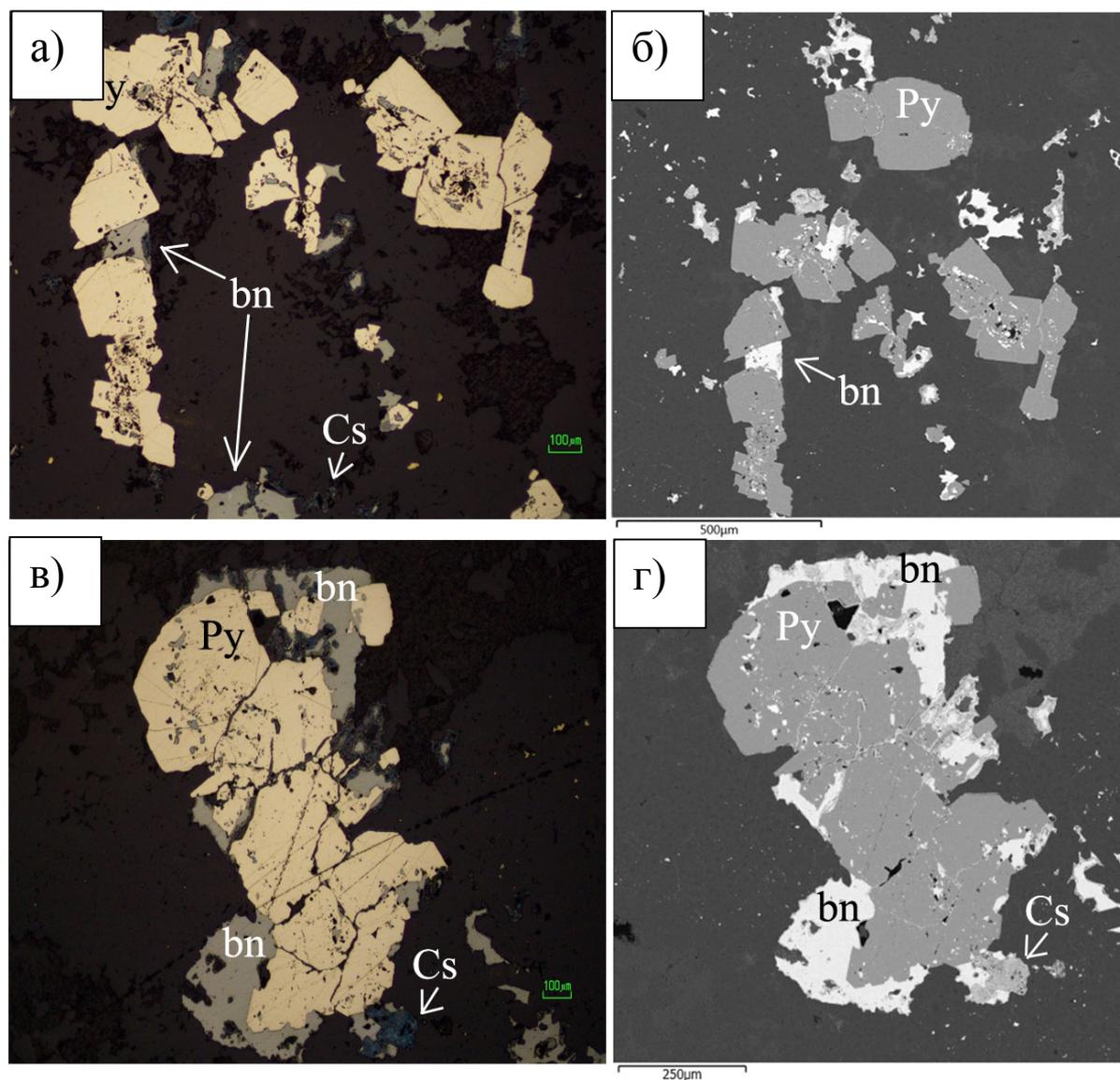


Рис. 8. Пирит (Py) продуктивной стадии в ассоциации с блеклыми рудами (bn) и халькозином (Cs). а, в - фото в отраженном свете, б, г - фото BSE SEM Tescan Vega 3.

С другой стороны они могли стать результатом «загрязнения монофракции» микровключениями сульфидов и сульфосолей, тесно ассоциирующих с ним. При минераграфических и микрозондовых исследованиях в пирите были диагностированы микровключения блеклой руды - тетраэд-

рит-тенантит $(\text{Cu,Fe})_{12}(\text{Sb,As})_4\text{-S}_{13}$, содержащей теллур (до 6.50 здесь и далее % вес), серебро (до 4.50), селен (до 1.25 % вес)); аргентита (Ag_2S), пираргирита (Ag_3SbS_3) и агвиларита (Ag_4SeS). В сростаниях с ним и в минеральных ассоциациях установлены такие минералы, как ковеллин (CuS), клаусталит (PbSe), ленаит (AgFeS_2), халькозин (Cu_2S), галенит (PbS), (рис. 8, 9).

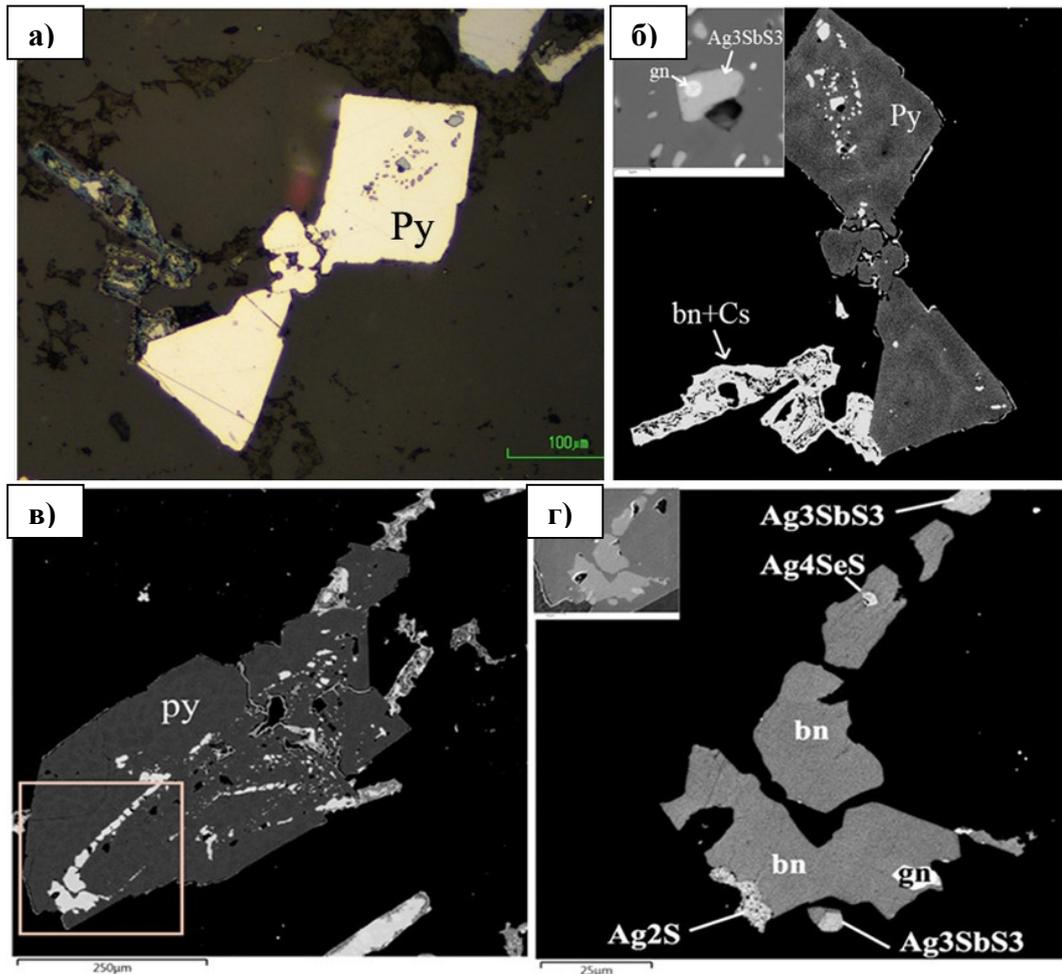


Рис. 9. Минералы рудной пирит-серебро-сурьмяно-кварцевой стадии: а, б - пирит с включениями галенита и пираргирита в ассоциации с блеклой рудой и халькозином; в, г - пирит с включениями блеклой руды и галенита в ассоциации с минералами серебра. Py - пирит, gn - галенит, bn - блеклые руды, Cs - халькозин, Ag_3SbS_3 - пираргирит, Ag_4SeS - агвиларит, Ag_2S - аргентит. а - фото в отраженном свете; б, в, г - фото BSE SEM Tescan Vega 3.

В одном из зерен пирита с включениями блеклой руды нами было диагностировано большое семейство минералов серебра таких как аргентит (Ag_2S), пираргирит (Ag_3SbS_3) и агвиларит (Ag_4SeS) (рис. 9 в,г).

Пирит пострудной стадии представлен сростаниями агрегатов, нередко напоминающих натечные формы (рис. 10). Единичные кристаллы встречаются редко. Размеры зерен пирита варьируют от 20 мкм до 4-5 мм. Пирит встречается, как правило, в виде убогой вкрапленности единичных агрегатов или образует сростания с пирротином и халькопиритом (рис. 11).

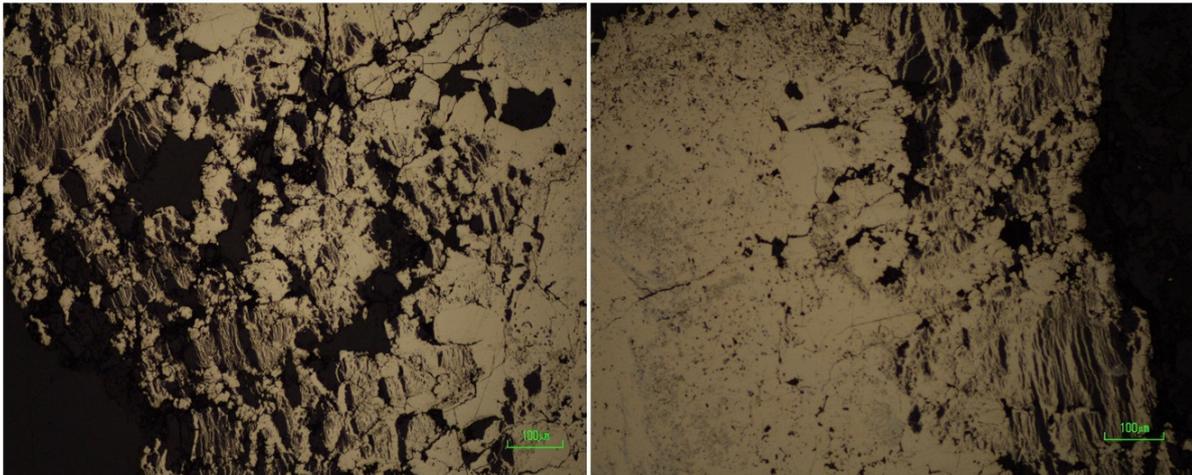


Рис. 10. Формы выделения пирита пострудной стадии. Сростания зерен пирита и прожилки с образованием "натечные" структуры. Фото в отраженном свете.

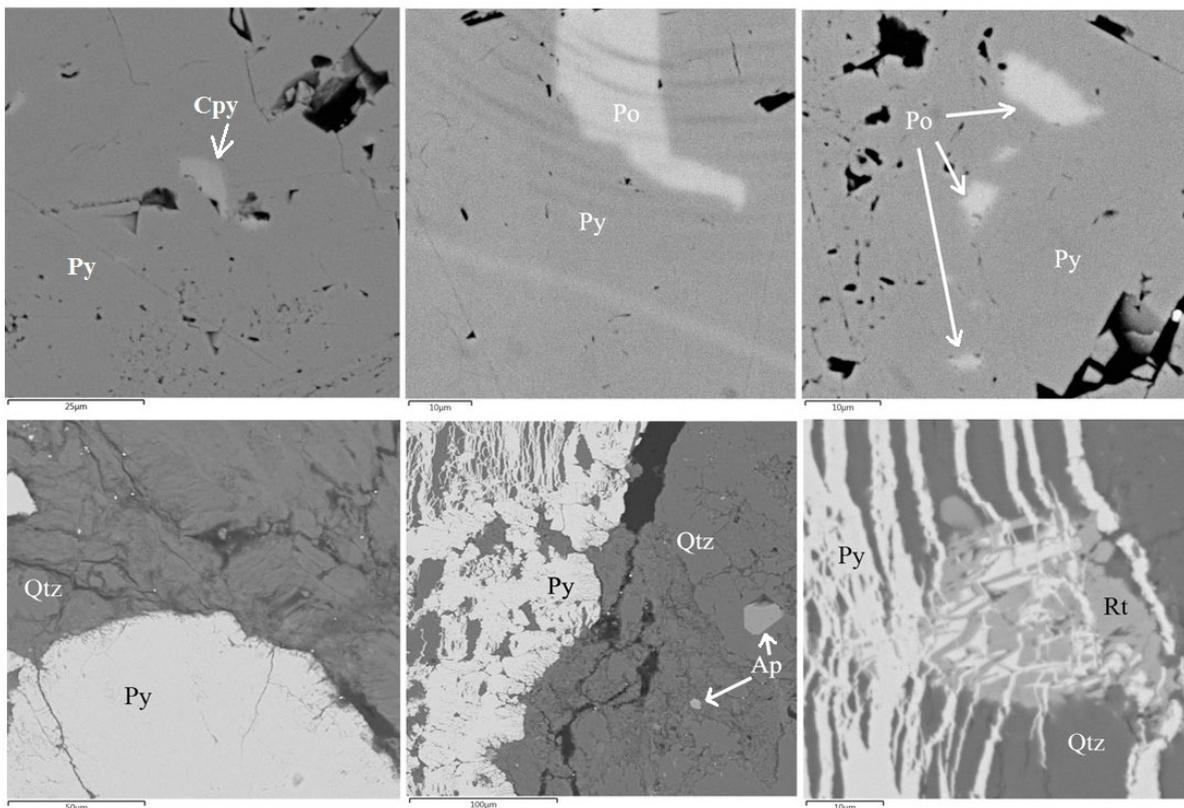


Рис. 11. Минералы пострудной стадии: Py - пирит, Cpy - халькопирит, Po - пирротин, Qtz - кварц, Ap - апатит, Rt - рутил. Фото BSE SEM Tescan Vega 3.

ВЫВОДЫ

Пирит – один из наиболее распространенных минералов месторождения Спрут. Его образование носило полистадийный характер и установлено не менее трех и трех стадий формирования: - дорудная (минеральная ассоциация пирит-галенит-халькопирит-сфалеритовая); - рудная (минеральная ассоциация пирит-серебро-сурьмяно-кварцевая); - пострудная (минеральная ассоциация пирит-пирротин-халькопиритовая).

Пирит продуктивной стадии ассоциирует с минералами серебра, сурьмы, селена и теллура, блеклыми рудами, халькопиритом, галенитом, сфалеритом. Микроэлементный состав и другие типоморфные признаки пирита продуктивной стадии могут быть использованы в качестве поискового критерия для обнаружения подобных месторождений.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории вулканогенного рудообразования Чубарову М. В., Философовой Т.М., Куликову В.В., Платонову А.А. оказавшим неоценимую помощь в обработке каменного материала и обеспечивших своевременное выполнение анализов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, в рамках программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга» на 2012-2016 гг. и гранта ДВО (№ 14-III-B-08-053).

ЛИТЕРАТУРА

1. 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
2. Округин В.М., Яблокова Д.А., Андреева Е.Д., Шишканова К.О., Чубаров В.М., Философова Т.М., Москалева С.В., Чернев И.И., Чубаров М.В. Новые данные о пирите современных и палеогидротермальных систем Камчатского края // Тезисы докладов традиционной региональной научной конференции, посвященной Дню Вулканолога, г. Петропавловск-Камчатский 27 - 28 марта 2014 г. С. 324-329
3. Яблокова Д.А., Зобенько О.А. Пирит Малетойваямского рудного поля (Корякия) // Материалы XI региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле». 26 ноября 2013 г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН 2013. С. 19-30

PYRITE OF THE SPRUT DEPOSIT (NORTHERN KAMCHATKA)

Yablokova D.A.^{1,2}, Zobenko O.A.¹, Lobzin E.I.³

¹*Vitus Bering Kamchatka State University*

²*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS*

³*KamchatGeology*

There are the first results of the study typomorphic features of pyrite Sprut deposits in this paper. Pyrite is one of the most common ore's mineral of deposit. His study as an indicator of environmental geochemistry of mineral ore formation is essential for detailed geological and genetic classification of poorly studied new ore sites and assess their prospects. Methods of classical mineragrafii combined with modern physical and analytical methods (SEM, ICP) described in detail the size, color, morphology (habitus), microstructure, chemical composition (stoichiometry), chemical heterogeneity and its types, micro-inclusions in pyrite. Divided into three stages and mineral associations of this mineral.

УДК 553.661.1

САМОРОДНАЯ СЕРА ВУЛКАНА КИЗИМЕН

Малик Н.А.¹, Плутахина Е.Ю.^{1,2}

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

²*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

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

Приводятся первые данные о типоморфных особенностях самородной серы западного фумарольного поля вулкана Кизимен (размеры, цвет, морфология - габитус, микроструктура, химический состав и минеральные ассоциации), полученные методами классической минералогии и современного физико-химического анализа (XRD, аналитическая SEM, ICP).

Ключевые слова: сера, фумарола, вулканы, Кизимен, Камчатка.

ВВЕДЕНИЕ

Вулкан Кизимен – один из активных вулканов Камчатки, относится к Восточно-Камчатскому вулканическому поясу, отличается сложным строением, обусловленным выступами экструзивных куполов и крупно глыбовыми мощными лавовыми потоками. Он располагается в центральной части Камчатки, в зоне сочленения Щапинского грабена и горста хребта Тумрок. Состав пород - от базальтов до дацитов [2].

Вулкан длительное время находился в состоянии покоя. Его активность была выражена в основном фумарольной деятельностью. Единственное извержение XX века произошедшее в 1928 – 1929 гг. было слабым и носило предположительно взрывной характер (?). Новый этап активности вулкана начался в 2010 г. Это было взрывно-эффузивно-экструзивное извержение, которое продолжалось до конца 2013 г. [3].

До извержения 2010-2013 гг. на северо-западном склоне вулкана, на высоте 1950 м н.у.м. (в 400 м ниже вершины) располагалась единственная постоянно действующая фумарольная площадка, известная с 1825 г. Температура её фумарол, состав газов, конденсатов и возгоны изучались в 1964-67 гг. [5], 1979-80 гг. [4], в 2009 г. [6]. В конце 2011 г. на западном

склоне привершинной части вулкана (на высотах начиная с 2250 м н.у.м. до вершины), судя по фотографиям с облетов, начало формироваться новое фумарольное поле (рис. 1).

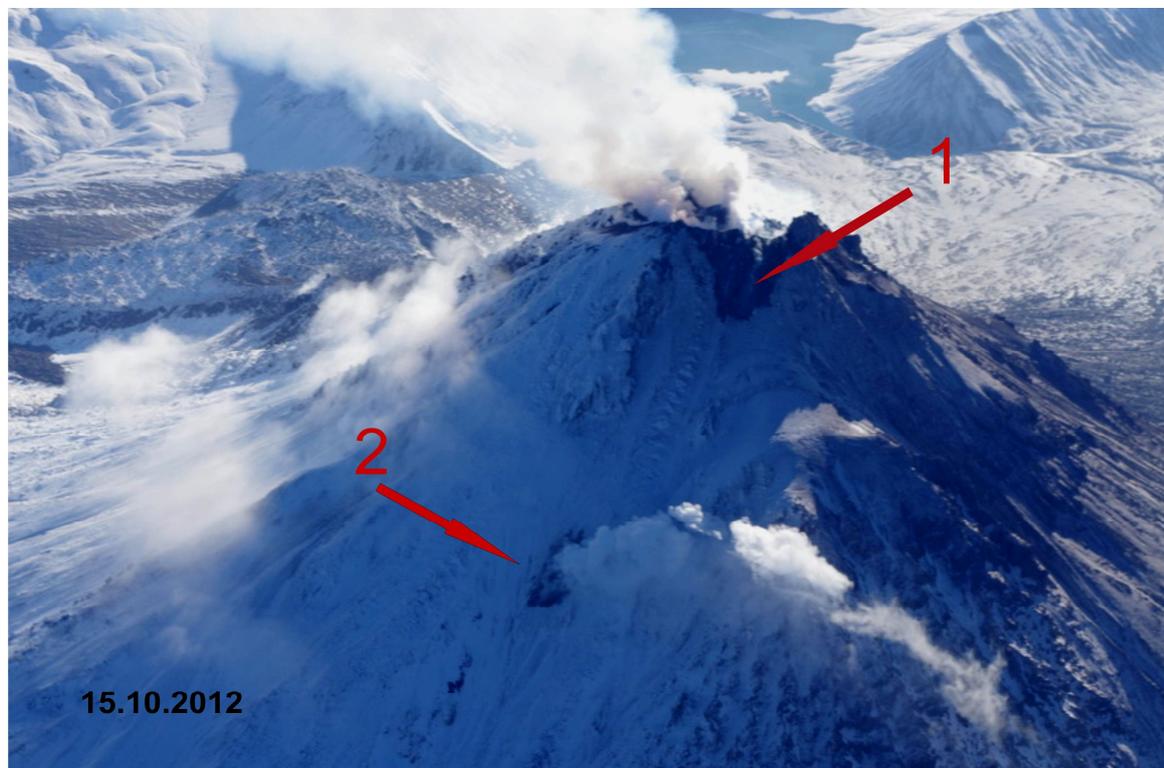


Рис. 1. Слева - ; вулкан Кизимен, вид с запада, 2012 г. 1 – привершинное западное фумарольное поле, 2- постоянно действующее фумарольное поле.

12 октября 2014 г. было проведено обследование привершинного западного фумарольного поля: измерены температуры фумарольных газов, произведен отбор проб вулканического газа и конденсата, взяты пробы серы и снега.

ЦЕЛИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования – изучение типоморфных особенностей самородной серы активных вулканов и вулканогенных месторождений Камчатки.

Основные задачи – изучение типоморфных особенностей (микроморфологии, микроструктуры, химического состава и минеральных ассоциаций) самородной серы новой фумарольной площадки вулкана Кизимен.

Методы исследований: – классическая минералогия и минераграфия с использованием стереомикроскопа Discovery V12 SteREO (Carl Zeiss); – рентгенофазовый анализ (XRD-7000 MAXima Shimadzu, АЦ ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский); – аналитическая сканирующая электронная микроскопия Vega 3 Tescan Oxford Instruments X-max 80 mm² (лаборатория вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН); – масс-спектрометрия с индукционно связанной плазмой (ICP-MS, АСИЦ ИПТМ РАН, г. Черноголовка).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Авторами выделено три типа агрегатов серы: – натечные корки со слабо пористой текстурой; – массивные агрегаты из сложных сростков кристаллов, трубочек и литифицированных прослоев с мелкими хорошо ограниченными ромбодипирамидальными и ромботетраэдрическими кристаллами размером до 0,5 мм; – одиночные дендритообразные и, редко, скелетообразные сростки кристаллов (вероятно являющиеся псевдоморфозой ромбической серы по моноклинной [1]) (рис. 2).

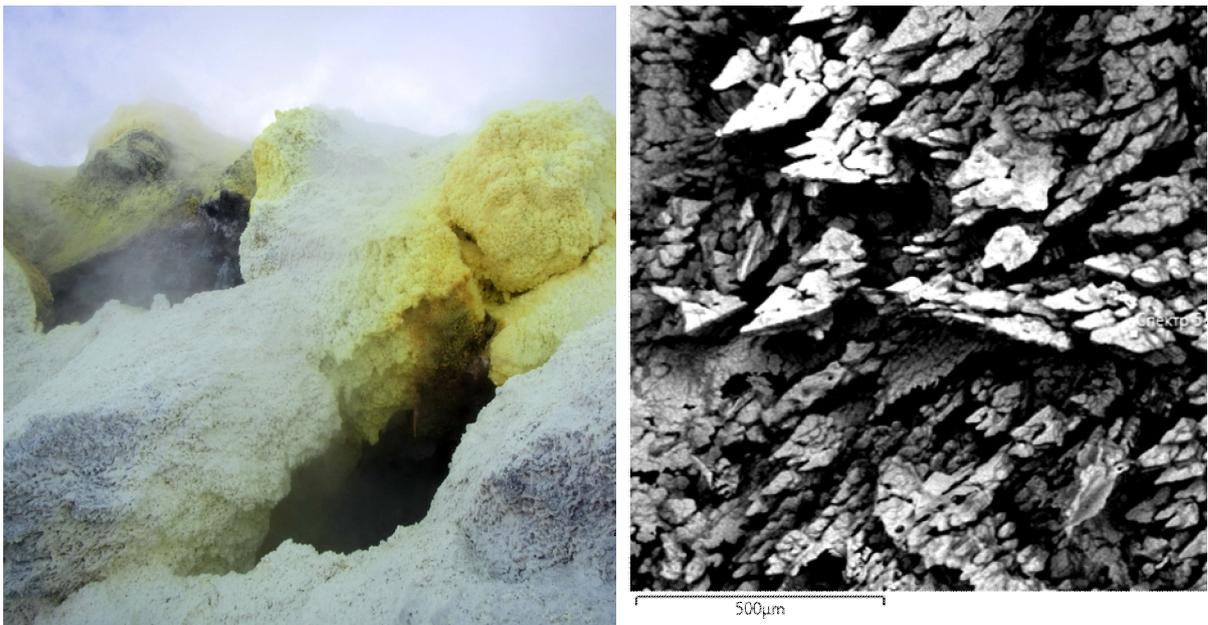


Рис. 2. Морфология агрегатов самородной серы вулкана Кизимен, макрофото (слева) и микрофото в отраженных электронах (справа).

При этом установлено, что значительная часть кристаллов, независимо от типа агрегата, имеет слабо оплавленные грани. В большинстве случаев макроскопический цвет агрегатов желтый с зеленоватым оттенком.

Авторами установлено, что самородная сера западной fumarольной площадки вулкана Кизимен ассоциирует с хлоридами, оксидами, сульфатами и сульфидами (табл. 1).

Таблица 1. Минеральный состав эксгалляций вулкана Кизимен по данным классической минералогии и рентгенофазового анализа.

Минералы	
Серa	S
Нашатырь	NH ₄ Cl
N-H-O-Cl фаза	
Опал	SiO ₂ *nH ₂ O
Алуноген	Al ₂ (SO ₄) ₃ *17H ₂ O
Гипс	CaSO ₄ *2H ₂ O
Гематит	Fe ₂ O ₃
Ангидрит	CaSO ₄
Галотрихит-пиккерингит	(Fe,Mg)Al ₂ (SO ₄)*22H ₂ O
Пирит (марказит)	FeS ₂
Барит	BaSO ₄
Халькантит	CuSO ₄ *5H ₂ O
Галит	NaCl

Микроморфология и химический состав самородной серы изучались с помощью аналитической системы Tescan Vega 3. Установлено, что в спектрах практически всех минералов присутствует хлор (1-10 и более процентов) (рис. 3). Этот факт может быть объяснен захватом микровлю-

чения обогащенной хлором фазы, не выходящей на анализируемую поверхность, или микровключением хлор-содержащих минералов.

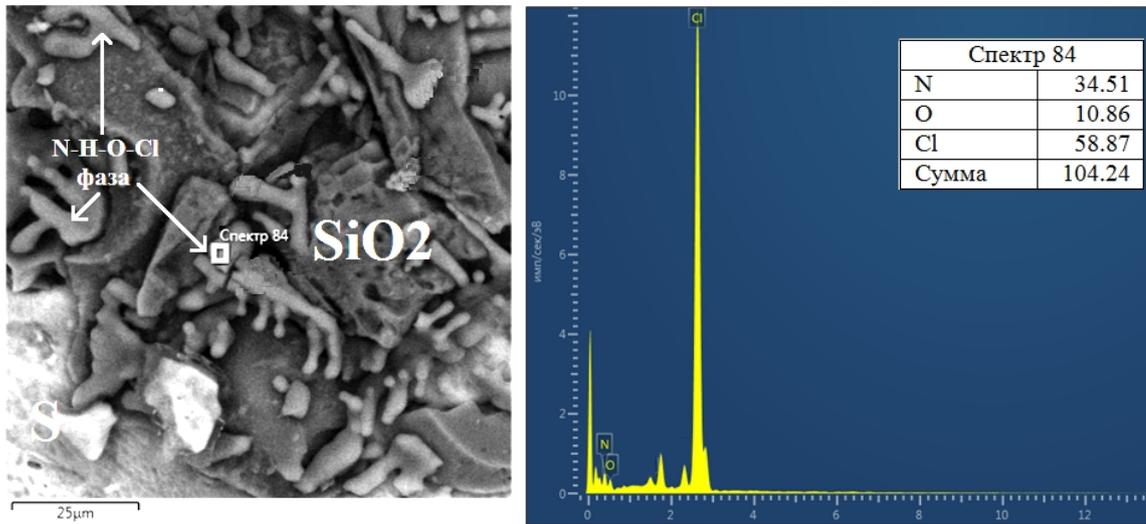


Рис. 3. Микроморфология агрегатов серы, опала и хлор-содержащей фазы (слева) и соответствующий хлор-содержащей фазе спектр (справа).

Результаты ИСР анализа «монофракции» серы, ассоциирующего с ней комплекса сульфатов, конденсата fumarольного газа и снега с fumarольной площадки представлены в таблице 2.

Таблица 2. Химический состав самородной серы, сульфатной смеси и конденсата fumarольного газа.

Элемент	Сера (мкг/г)	Смесь сульфатов (мкг/г)	Снег (мкг/л)	Конденсат (мкг/л)
B	-	-	822,0	2888,0
Na	-	4123,0	-	3912,0
Al	-	20173,0	632,0	2158,0
S	основа	54052,0	20981,0	18734073,0
K	10,3	9329,0	-	7415,0
Ca	57,7	1599,0	4659,0	9027,0
Mn	0,3	117,0	4,8	36,0
Fe	19,6	3789,0	-	1720,0
Zn	0,8	11,5	27,1	284,0
As	-	-	11,3	133,0

Se	637,0	37,6	-	134
Sr	-	13,3	10,7	12,4
Sb	-	0,4	0,5	3,8
Te	0,8	0,3	0,2	31,3
Ba	0,4	352	13,7	86,3
Hg	0,6	-	-	13,8
Tl	-	0,2	0,3	2,9
Pb	-	3,4	1,6	14,0
Bi	-	0,1	0,1	3,1
U	-	0,9	0,1	-

Примечание: предполагается, что содержания химических элементов, выделенных курсивом, обусловлены механической примесью минералов названных элементов; жирным – изоморфной примесью; «-» – содержание элемента в пробе ниже предела обнаружения метода.

Среди химических элементов, обнаруженных в составе самородной серы, максимальных концентраций достигает селен (637 мкг/г), остальные элементы присутствуют в незначительных количествах 0,4 (Ba) – 57,7 (Ca) мкг/г. В смеси сульфатов, судя по полученным результатам, присутствуют сульфаты натрия, алюминия, калия, кальция, марганца, железа, цинка, бария. Содержание селена уменьшается почти в 20 раз, а бария увеличивается более чем в тысячу. При этом в обоих случаях отсутствует мышьяк, а содержания теллура не превышают 0,3-0,8 мкг/г. Интересно, что содержание селена в конденсате вулканического газа практически в 4 раза меньше чем в самородной сере, а содержание цинка более чем в 3000 раз .

ВЫВОДЫ

1. В состав минеральных ассоциаций самородной серы вулкана Кизи-мен входят следующие минералы: алуноген, гипс, аморфный кремнезём (опал), ангидрит, барит, халькантит.

2. Агрегаты серы представляют собой сростки и дендриты ромбических (в основном) кристаллов, рыхлые массивные, местами литифицированные корки с механической примесью ассоциирующих с ней минералов.
3. В отличие от вулканов Авачинский, Мутновский, Горелый, самородная сера отличается крайне убогим спектром таких типоморфных химических элементов, как теллур, мышьяк и селен. Содержание селена не превышает 637 мкг/г, теллура 0,8 мкг/г, а мышьяк не обнаружен.
4. Присутствие мышьяка в конденсатах фумарольного газа и его отсутствие в самородной сере можно объяснить как физико-химическими особенностями кристаллизации, так и флуктуациями состава газов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вулканические серные месторождения и некоторые проблемы гидротермального рудообразования, под ред. Власова Г.М. М., 1971.
2. Иванов Б.В. Андезиты Камчатки. М.: Наука, 2008. 470 с.
3. Кирсанова Т.П., Вергасова Л.П., Юрова Л.М., Таран Ю.А. Фумарольная активность вулканов Шивелуч и Кизимен в 1979 -1980 гг. // Вулканология и сейсмология. 1983. № 3. С. 33-42.
4. Малик Н.А., Максимов А.П., Ананьев В.В. Извержение вулкана Кизимен в 2010–2012 гг. и его продукты // В сборнике «Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 29–30 марта 2012 г.». Петропавловск-Камчатский, 2012. С. 64-70.
5. Петров В.С. Современная сольфатарная деятельность вулкана Кизимен // Вопросы географии Камчатки. 1970. № 6. С. 124-129.
6. Тембрел И.И., Овсянников А.А. Состояние вулкана Кизимен на Камчатке летом 2009 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. № 2. Вып. 14. С. 7-9.

NATIVE SULFUR OF VOLCANO KIZIMEN

Malik N.A, Plutahina E.Yu.

This article presents the first data on the size, color, morphology (habitus), microstructure, chemical composition and mineral association of western fumarole field native sulfur on the volcano Kizimen obtained by the methods of mineralogy and physical-chemical analysis (XRD, IR spectroscopy, analytical SEM)

Keywords: sulfur, fumarole, volcanoes, Kizimen, Kamchatka.

УДК 549.2/.8/38.35.19

СФАЛЕРИТ В РУДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СПРУТ

Шишканова К.О.^{1,2}, Лобзин Е.И.³

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.*

² *Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

³ *КамчатГеология*

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

Сообщение посвящено типоморфизму сфалерита - одного из наиболее распространенных сульфидов гидротермального сереброносного месторождения Спрут, которое располагается в пределах Тклавоямского серебряно-золоторудно-россыпного узла Ичигин-Уннейваямского рудного района на территории Северной сереброносной провинции Камчатского края. Применение современных физико-химических методов исследований позволило авторам получить первые данные о морфологии, микроструктуре, вариациях химического состава сфалерита - одного из главных рудных минералов месторождения. Определены пределы вариаций таких типоморфных для минерала химических элементов-примесей как: железо, кадмий, медь.

Ключевые слова: Спрут, Корякия, типоморфизм, сфалерит, серебро.

ВВЕДЕНИЕ

Вулканогенные эпитепральные золото-серебряные месторождения играют важную роль в развитии экономики Камчатского края. За последние десятилетия геологами открыты и в значительной степени изучены более 400 золоторудных объектов. Руды камчатских месторождений отличаются высокими содержаниями благородных металлов и, серебра, в частности.

На севере Камчатского края выявлено 23 проявления, 22 пункта существенно серебряной минерализации, 5 литогеохимических ореолов и 5 потоков рассеяния. Подавляющее большинство из них сосредоточено в пределах рудного поля Кварцевое Уннейваямского золото-серебряного узла и Тклаваямского серебряно-золоторудно-россыпного узла [3].

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИИ

Месторождение Спрут располагается в восточной части Тклаваямского серебряно-золоторудно-россыпного узла. В административном от-

ношении оно принадлежит Пенжинскому району Камчатского края. Ближайшие населенные пункты - поселки Тиличики и Корф, расположенные примерно в 150 км к юго-востоку от месторождения (рис. 1, 2).

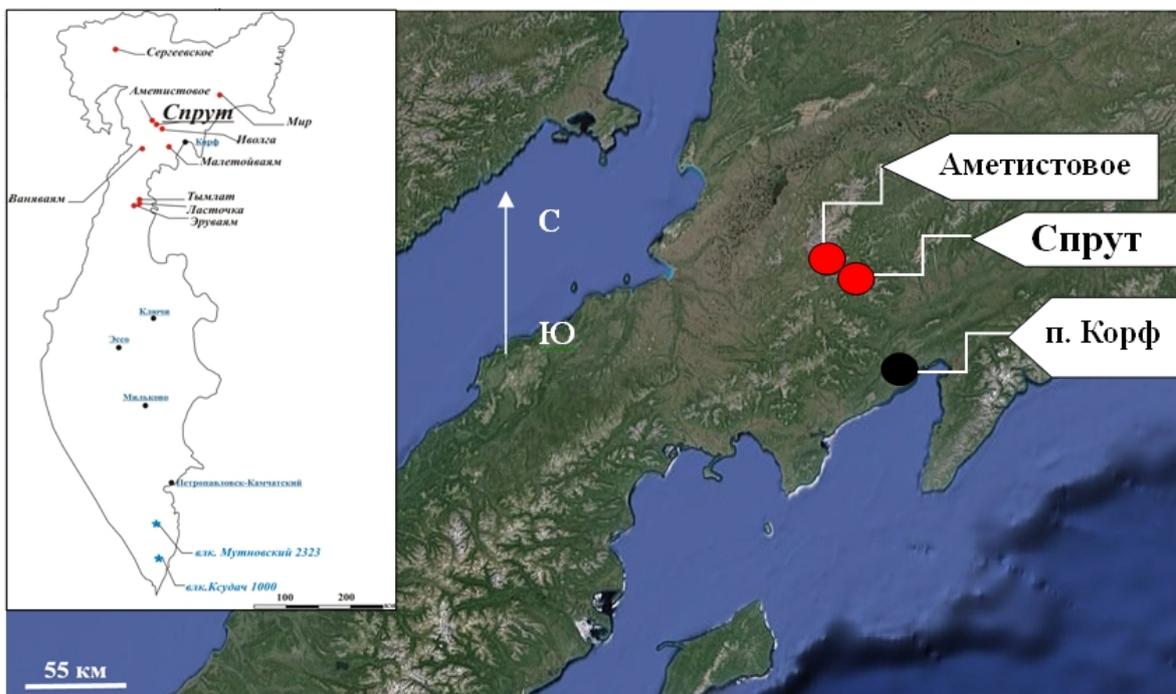
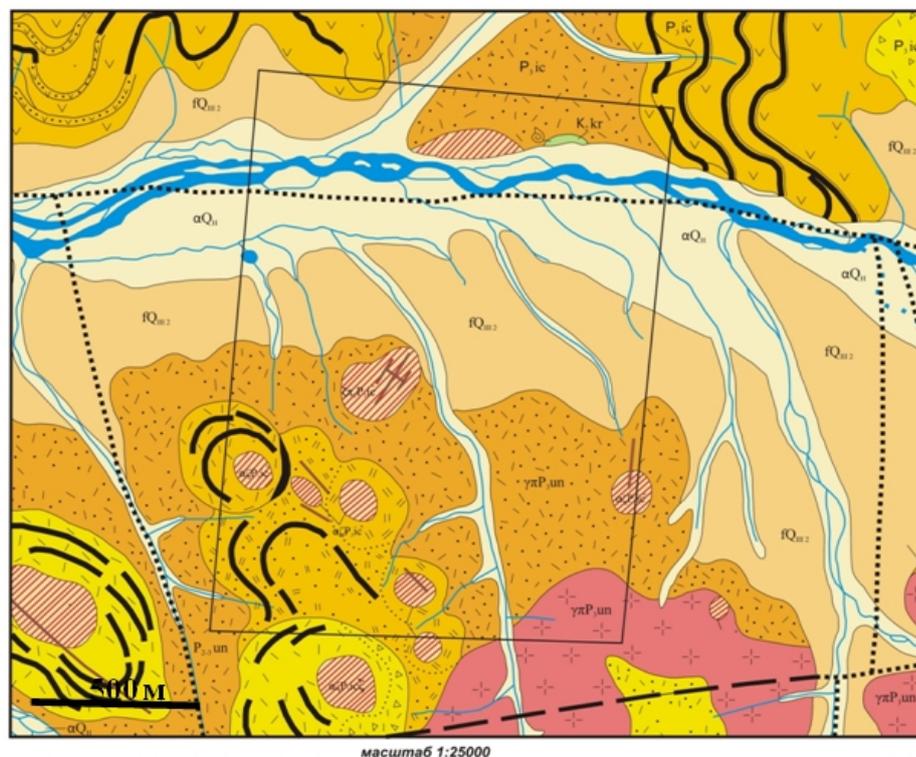


Рис. 1. Схематическая карта Северо-Камчатского горнорудного района, показывающая расположение объекта исследований.



Рис.2. Магистральные каналы месторождения Спрут.

Оно приурочено к одноименной вулcano-тектонической структуре (ВТС), имеющей округлую в плане форму с диаметром около трех километров, входящей в состав Корякско-Западно-Камчатском вулcano-плутонического пояса. В геологическом строении ВТС принимают участие магматические образования Ичигинского вулканического комплекса - преимущественно среднего состава (андезиты, дациты, их туфы) а также субвулканические образования дацитов и дациандезитов; экструзивные породы Уннейского вулканического комплекса [6].



Корякская зона

K.kr — Корякская серия. Алеролиты, песчаники, аргиллиты, линзы и прослои кремнистых алеролитов, яшмовидных пород, конгломератов и гравелитов

Ичигинский комплекс дацит-андезитовый

P.ic — Ичигинская толща. Андезиты, дациандезиты, дациты, их туфы

ш.р.иc — Субвулканические образования. Штоки дацитов. Штоки дациандезитов

Уннейский комплекс риолит-дацитовый

л.р.ун — Субвулканические образования. Риолиты, риодациты, их туфы, кластолавы.

αQ_n	— Аллювиальные, валуно-галечные и песчано-глинистые отложения
βQ_n	— Водно-ледниковые отложения: галечники, леся, супеси, суглинки, глины
∇ ∇ ∇	— Андезиты
∇ ∇	— Дациандезиты
∧ ∧ ∧	— Риолиты
∧ ∧ ∧	— Дациты
∧ ∧ ∧	— Туфы, туфолоаы илнимбритов
∕ ∕ ∕	— Рудные тела на планах
∕ ∕ ∕	— Геологические границы: 1 - установленные, 2 - предполагаемые, 3 - открытые под чехлом рыхлых отложений

Рис. 3. Схематическая геологическая карта месторождения Спрут масштаба 1:25 000 (составлена по данным ОАО «Камчатгеология»).

Руды месторождения представлены комбинированными полосчатыми, колломорфно-полосчатыми, брекчиевыми, брекчиевидными, прожилково-вкрапленными разновидностями и их комбинациями текстур.

Наиболее часто встречаются брекчиевая, образованная преимущественно небольшим количеством обломков раннего кварца, сцементированного молочно-белым (рис. 4 а) и колломорфно-полосчатая с переслаивающимся кварцем различных генераций молочно-белого, серого и бежевого цветов (рис. 4 б).

Такой спектр текстур свидетельствует об относительно сложных и многоэтапных процессах рудообразования.

Руды месторождения Спрут отличаются богатым и не типичным для вулканогенных месторождений Камчатского края минеральным составом, первую очередь, многообразием минералов серебра, селена и сурьмы.

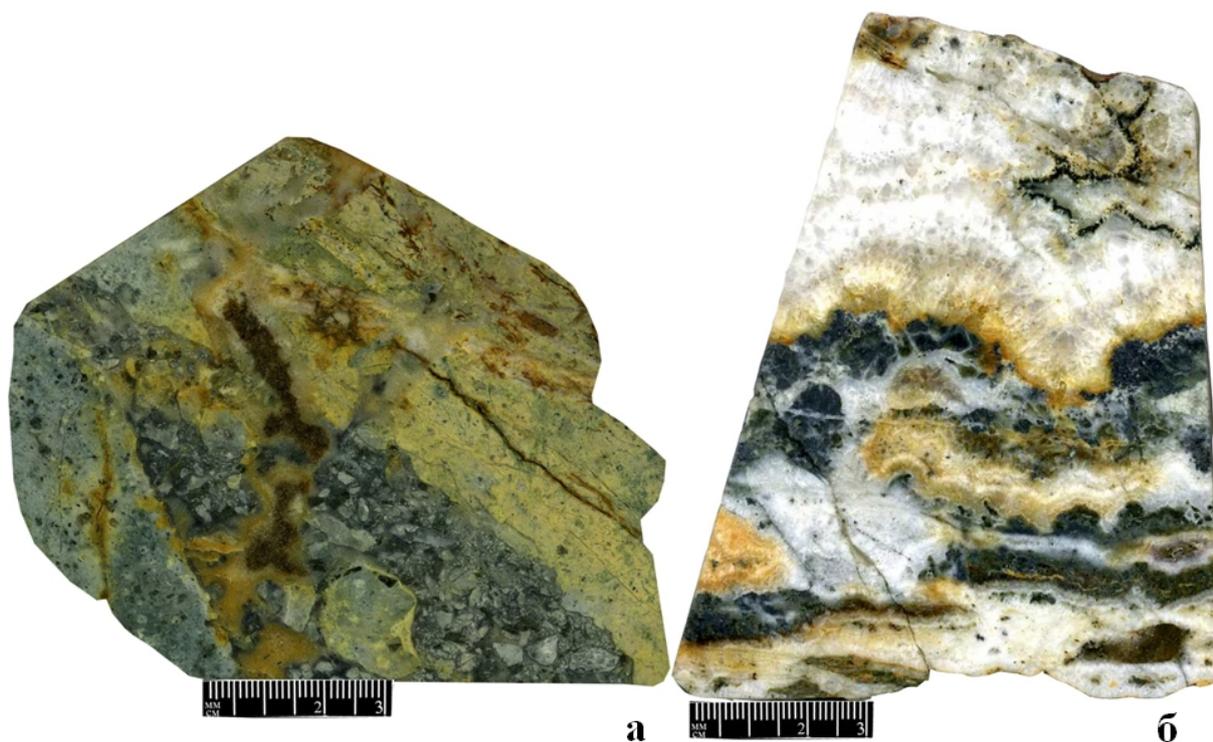


Рис. 4. Комбинированные текстуры руд месторождения Спрут: а - брекчиевая; б - классическая колломорфно-полосчатая с элементами брекчиевидной.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение морфологии, микроструктуры, вариаций химического состава, особенностей элементов-примесей в сфалерите проводилось с использованием методов классической минералогии и минераграфии (прецизионные микроскопы Axioskope 40, Carl Zeiss; Eclipse LV100 pol, Nikon), аналитической сканирующей электронной микроскопией (SEM Vega Tescan) в лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сфалерит в рудах месторождения Спрут распространен крайне неравномерно. Наибольшие его скопления сосредоточены в рудах с колломорфно-полосчатой и гнездово-, прожилково-вкрапленной текстурами (рис. 5, 7). Изучение микроморфологии сфалерита с помощью прецизионных микроскопов в отраженном свете и сканирующего электронного микроскопа показывает, что этот сульфид, в основном, встречается в виде небольших скоплений или гнезд различных форм и размеров (до 1 мм), а также образует крайне убогую вкрапленность единичных зерен с размерами до первых сотен микрон. Для него характерны ассоциации с блеклыми рудами (тетраэдрит-тенантит), халькозином, халькопиритом, пиритом, пираргиритом, гесситом, оксидами теллура. В отдельных случаях в сфалерите наблюдается эмульсионная вкрапленность халькопирита, микропрожилки и каймы халькозина (рис. 5-8).

В рудах с колломорфно-полосчатым текстурным рисунком сфалерит тяготеет к черным полоскам типа «гингуро», в которых сконцентрированы наибольшие скопления сульфосолей серебра, сульфидов цинка, свинца, меди, железа, селенидов, теллуридов (первая группа I, рис. 5). В рудах с гнездово-, прожилково-вкрапленной - к гнездам, скоплениям гнезд (вторая группа II). Кроме того, здесь также диагностированы блеклые руды, сульфиды серебра, железа, свинца (рис. 7).

По структурной позиции выделено несколько разновидностей сфалерита: первая (СП I) - сфалерит в "рубашке" из блеклых руд, вторая (СП II) - в сростании с блеклыми рудами, третья (СП III) - одиночные зерна (для первой группы I, рис. 7).

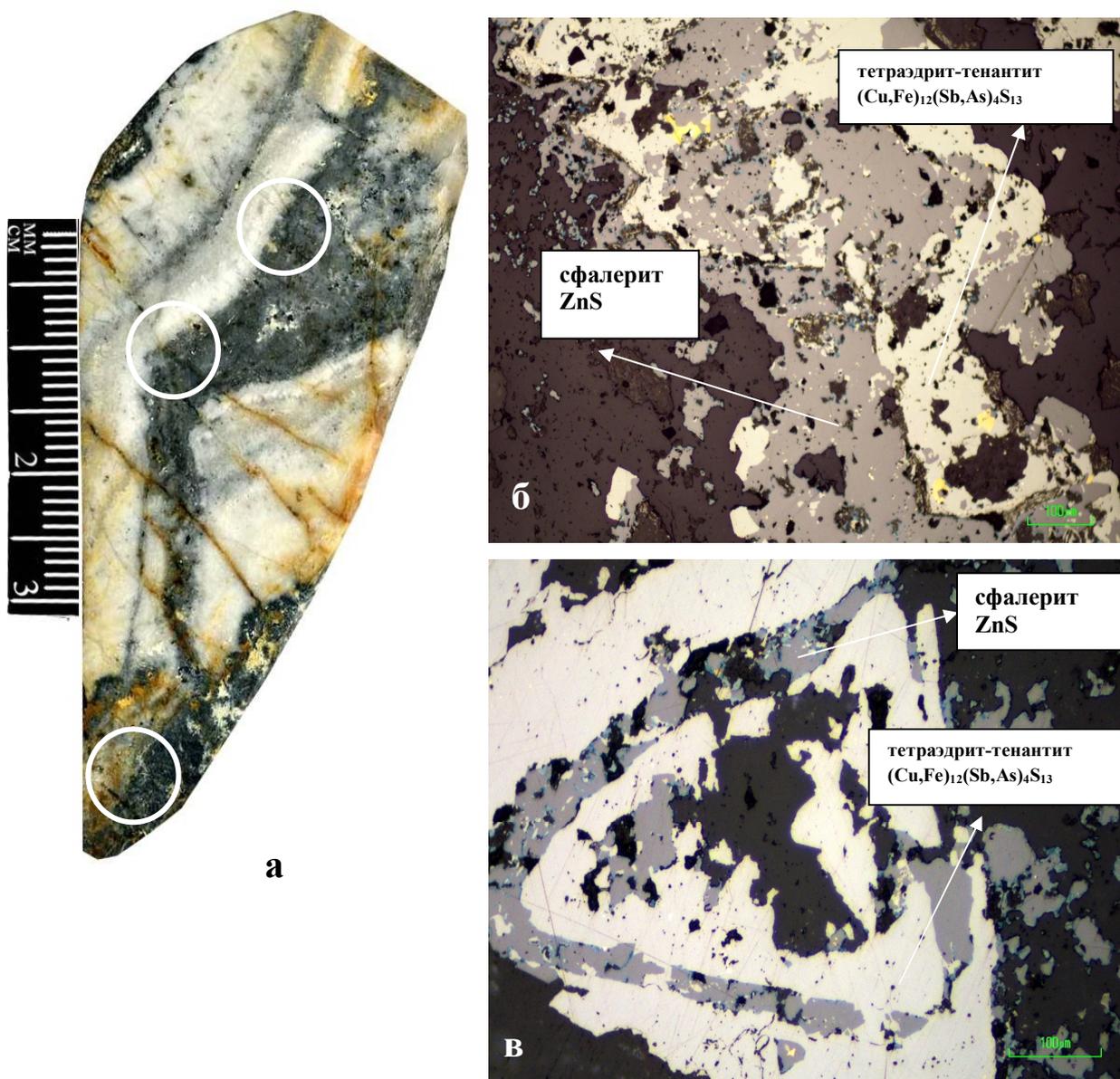


Рис. 5. Колломорфно-полосчатая текстура руд: а - полированный штупф, обр. № SP 993. В выделенных участках (серебряные черные полосы типа "гингуро") - наибольшее скопление серебряных сульфосолей, сульфидов, селенидов, теллуридов; б, в - формы выделения и особенности взаимоотношения сфалерита с блеклыми рудами, сульфидами меди. Фото в отраженном свете.

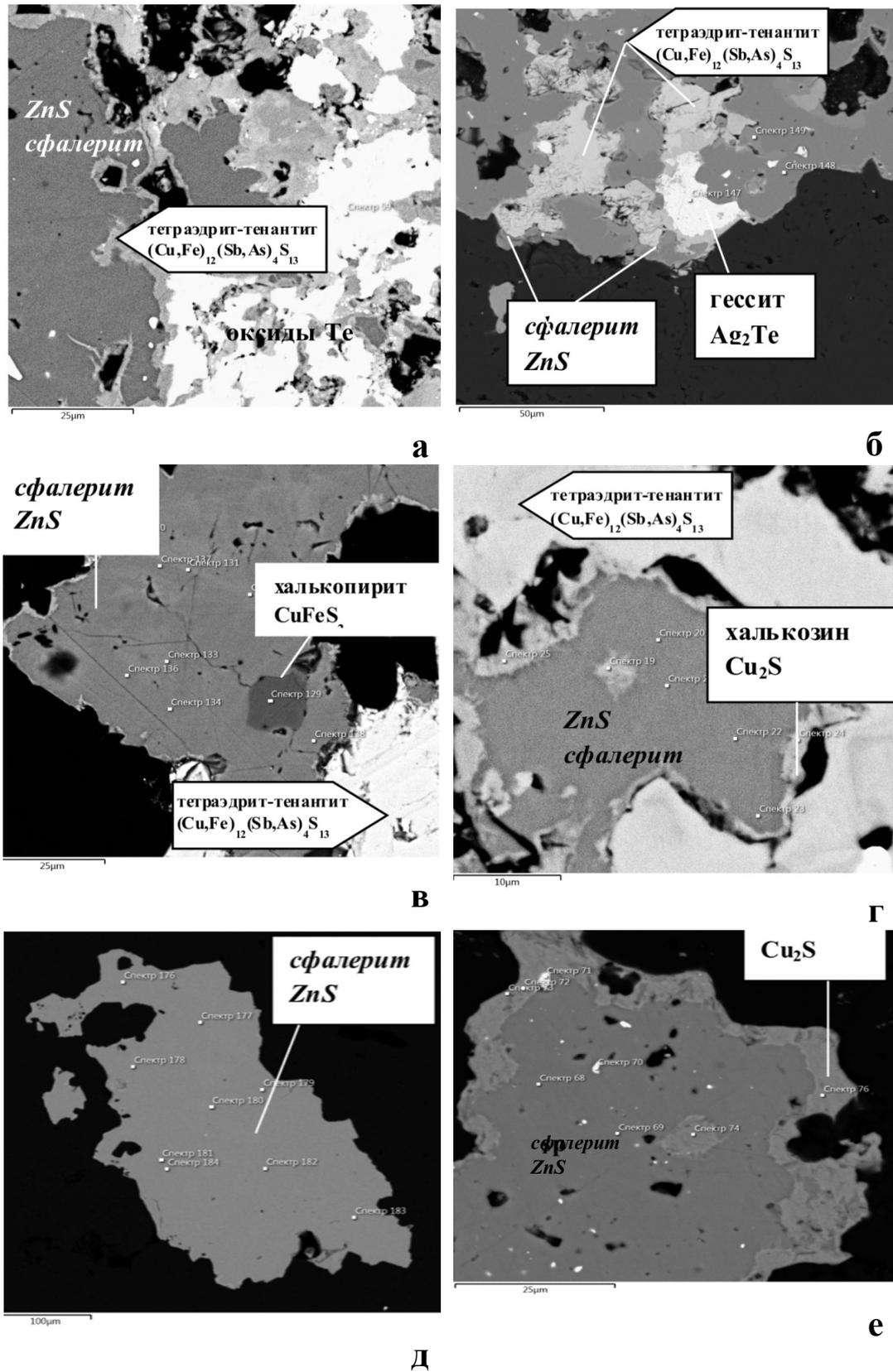


Рис. 6. (Cd, Cu)-Сфалерит в ассоциации с блеклыми рудами, халькозином и гесситом: а, б - сфалерит в "рубашке" из блеклых руд (I СП); в, г - в сростании с блеклыми рудами (II СП); д, е - одиночные выделения (III СП). Фото BSE SEM.

Вторая (СП II) и третья (СП III) разновидности отличаются наличием кайм халькозина; четвертая (СП IV) - в ассоциации с пираргиритом, пятая (СП V) - тесное срастание с блеклыми рудами, шестая (СП VI) - мелкие единичные зерна (для второй группы II, рис. 8).

Диагностика минералов, ассоциирующих со сфалеритом, изучение его химического состава проводились методами минераграфии и сканирующей электронной микроскопии.

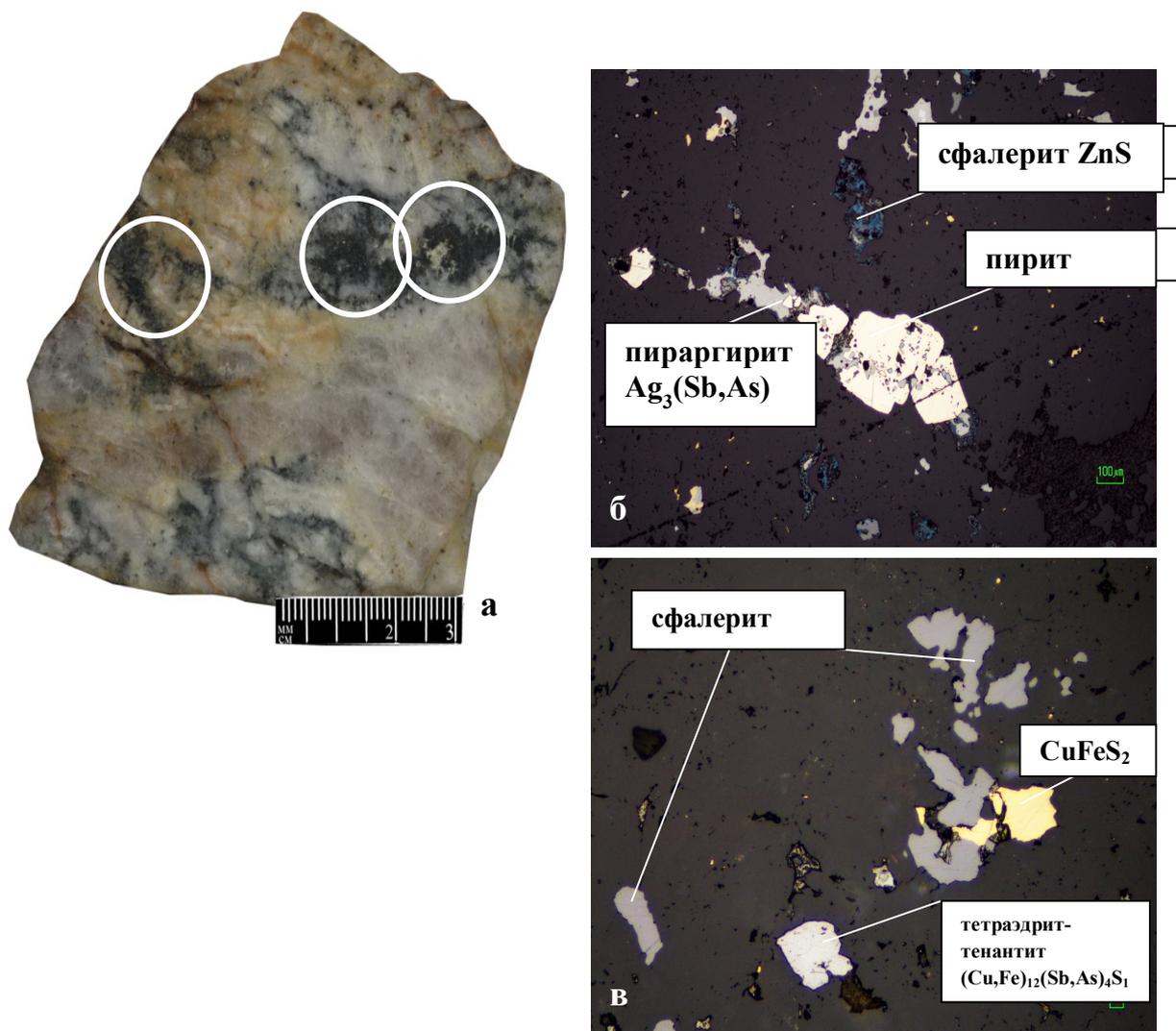


Рис. 7. Гнездово-, прожилково-вкрапленная текстура: а - полированный штуч. Обр. № СР 572. Наиболее обогащенные участки сульфидами серебра, цинка, свинца, меди, сульфосолями серебра; б, в - идиоморфная и аллотриоморфнозернистая структуры сфалерита, его взаимоотношения с сульфидами и сульфосолями серебра, меди. Микрофотографии в отраженном свете.

Сфалериты обеих групп характеризуются однородным строением. Среди элементов-примесей обнаружены медь - до 4,59 % вес., кадмий - до 0,81 % вес., железо - 1,83 % вес., для I группы и до 9,46 % вес. - для II группы, соответственно.

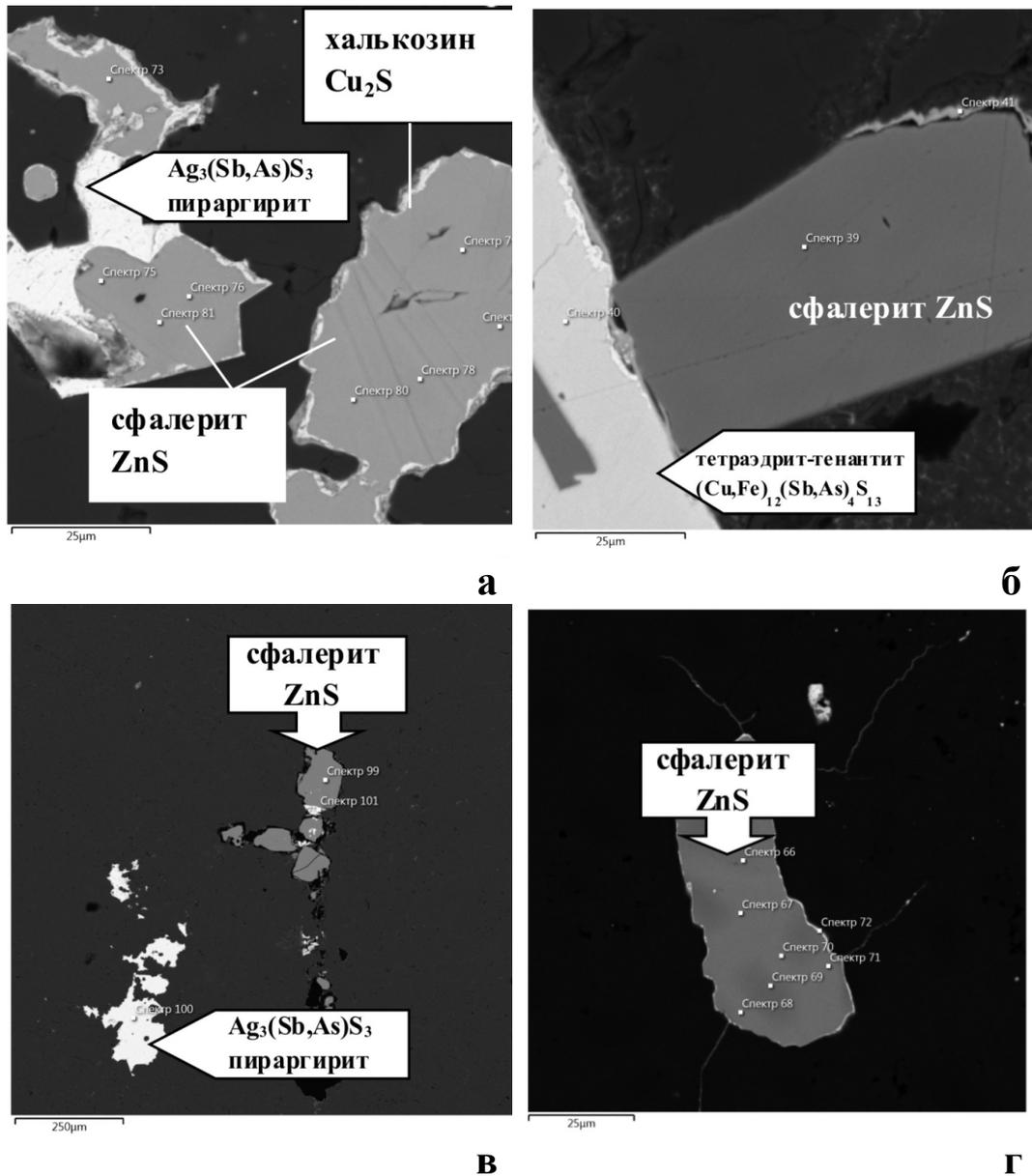


Рис. 8. (Fe)-Сфалерит в ассоциации с пираргиритом, блеклыми рудами, халькозином (а, б, в) - СП IV, СП V, одиночные обособления (г) - СП VI. Фото BSE SEM.

Возможно, такие высокие концентрации меди связаны с присутствием мелких включений халькопирита и халькозиновых кайм. Наличие кадмия и железа - с их изоморфным вхождением в состав сфалерита.

ВЫВОДЫ:

Типоморфные особенности - необходимый элемент детальной геолого-генетической классификации и оценки принадлежности месторождения к конкретному геолого-промышленному типу рудных объектов. Сфалерит - наиболее часто встречаемый среди рудных минералов месторождения Спрут.

Он характеризуется: 1. неравномерным распределением (от единичных зерен до скоплений в виде гнезд, слагая гнездово-, прожилково-вкрапленные руды); 2. размерами от десятков микрон до 1 мм; 3. широким спектром ассоциирующих минералов - блеклыми рудами (группой тетраэдрит-тенантит), халькозином, халькопиритом, пиритом, пираргиритом, гесситом, оксидами теллура; 4. наличием в химическом составе таких элементов-примесей как: медь, кадмий, железо.

Сходные минеральные ассоциации, в которых сульфиды цинка, железа, отчасти, меди играют ведущую роль в составе руд, установлены на относительно глубоких горизонтах Аметистового месторождения, расположенного в непосредственной близости от месторождения Спрут. Для Центральной Камчатки на Агинском месторождении они присутствуют эпизодически, но намечается тенденция их увеличения с глубиной.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН В.Ф. Лунькову, В.В. Куликову, Р.Н. Куликовой, А.А. Платонову за помощь в обработке каменного материала, Т.М. Философовой, М.В. Чубарову – за полезные советы при интерпретации результатов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Андреева Е.Д. Au-Ag-Te минерализация Агинского месторождения (Центральная Камчатка) // Вестник ДВО. Владивосток. 2010. С. 148-153.
2. Добровольская М.Г., Бортников Н.С., Наумов В.Б. Железистость сфалерита как показатель режима серы при формировании рудных месторождений // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33. № 5. С. 80-93.
3. 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.
4. Минчева-Стефанова Й. Типоморфизм сфалерита // Материалы XI съезда ММА, Новосибирск, 4-10 сентября 1978 г. Научные основы и практическое использование типоморфизма минералов. М.: Наука. 1980. С. 255-267.
5. Округин В.М., Шишканова К.О. Новые данные о рудах золото-полиметаллического рудопроявления Останцовое (Центральная Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. №1. Выпуск № 21. 2013. С. 53-65.
6. Петренко И.Д. Золото-серебряная формация Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1999, 116 с.
7. Рамдор П. Рудные и минералы и их сростания. Издательство иностранной литературы. М, 1962. 1132 с.
8. Сфалерит // Типоморфизм минералов. Справочник. М.: Недра, 1989. С. 416-439.

SPHALERITE OF THE SPRUT DEPOSIT

Shishkanova K.O.^{1,2}, Lobzin E.I.³*1. Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS**2. Vitus Bering Kamchatka State University**3. OAO "Kamchatgeology"*

Sprut deposit is located within Tklavoyamskii silver-gold-placer centre Ichigin-Unnevoyamskii ore district in argentiferous Northern Province Kamchatka region. According to the OAO "Kamchatgeology" silver reserves are estimated at about 1.5 million tons, and gold - 40-50 tons. Post devoted typomorphism sphalerite - one of the most common sulphide deposit. Application of modern physical and chemical methods of research allowed the authors to receive new information about morphology, microstructure of sphalerite, variations in its chemical composition, and associated with, minerals. Among the main chemical elements diagnosed iron, cadmium, copper.

Keywords: Sprut, Koriakia, tipomorphizm, sphalerite, argentum

УДК 551.21

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИГНИМБРИТОВ
КАЛЬДЕРЫ КАРЫМШИНА (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА)

Рылова С. А.^{1,2}, Rogozin A. H.²

¹*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

²*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

Научный руководитель: к.г. – м.н. Леонов В. Л.

В статье представлены результаты исследования игнимбритов кальдеры Карымшина, игнимбритов палеовулкана Сучуган (докальдерный этап вулканизма) и пород экструзий, развитых вдоль границ кальдеры (посткальдерный этап вулканизма). Проводится сравнительный анализ этих пород с помощью вариационных диаграмм, диаграмм Харкера и спайдер-диаграмм редких и редкоземельных элементов.

Ключевые слова: геохимия, кальдера Карымшина, Камчатка.

ВВЕДЕНИЕ

В ходе исследований на территории Южной Камчатки в 2007 году была открыта крупнейшая на полуострове кальдера – Карымшина [2]. В плане она имеет овальную форму, вытянутую в северо-западном направлении (по длинной оси – 25 км, по короткой – 15 км). По предварительным подсчетам объем изверженных продуктов, выброшенных при формировании кальдеры, составил $\sim 825 \text{ км}^3$, что позволило отнести ее к суперкальдерам. Возраст кальдеры был определен в 1.78 млн. лет [7]. В последние годы было проведено изучение разрезов вулканогенных отложений и Ar-Ar датирование пород докальдерного комплекса. На основании полученных данных вулканогенные толщи района, относящиеся предыдущими исследователями к единому Карымшинскому комплексу, нами были разделены. Было выделено, как минимум, три этапа кислого вулканизма, проявившегося в плиоцене – раннем плейстоцене на Южной Камчатке [3].

В данном сообщении рассмотрены геохимические особенности пород выделенных в [3] этапов кислого вулканизма. С помощью диаграмм

Харкера, ряда вариационных диаграмм и спайдер-диаграмм по R3Э и редким элементам проводится сравнительный анализ игнимбритов кальдеры Карымшина (кальдерообразующий этап), игнимбритов палеовулкана Сучуган (докальдерный этап) и экструзий (посткальдерный этап), развитых вдоль границ выделенной кальдеры.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД ДОКАЛЬДЕРНОГО, КАЛЬДЕРООБРАЗУЮЩЕГО И ПОСТКАЛЬДЕРНОГО КОМПЛЕКСОВ

В результате структурно-геологических, вулканологических и петрохимических исследований, проведенных на территории рассматриваемого района, были выявлены комплексы пород, отвечающие трем последовательным этапам развития Карымшинской кальдеры: докальдерный, кальдерообразующий и посткальдерный.

Докальдерный этап (I комплекс) предположительно имеет среднеплиоценовый возраст (3.4–2.6 млн. лет). В результате проведенных исследований [1] впервые были выделены и охарактеризованы вулканические постройки, которые существовали в районе, где сформировалась суперкальдера Карымшина, непосредственно перед тем, как произошло суперизвержение. Были реконструированы вулканы по краям кальдеры в ее северной, западной и южной частях (вулканические постройки, вскрытые в разрезах гор Шемедоган (1447.6 м), Ягодная (1246.3 м), Сучуган (1118.5 м), Горячая (1310.0 м) и еще ряда безымянных географических высот района).

Кальдерообразующий этап (II комплекс) имеет эоплейстоценовый возраст (1.78–1.2 млн. лет). Он представлен в основном игнимбритами и кристалловитрокластическими кварцевыми туфами, связанными с образованием суперкальдеры, которые прислонены к останцам вулканов I комплекса, сформировавших борт структуры на докальдерном этапе. Максимальная мощность игнимбритовых отложений была определена в центральной части депрессии, в верховьях р. Пр. Карымчина, где она

достигает 1000 метров. Полевые работы 2012–2013 гг. позволили откартировать ранее не выделявшееся обширное поле игнимбритов – следы мощного пирокластического потока, связанного с кальдерой Карымшина. Максимальная мощность потока – более 500 метров.

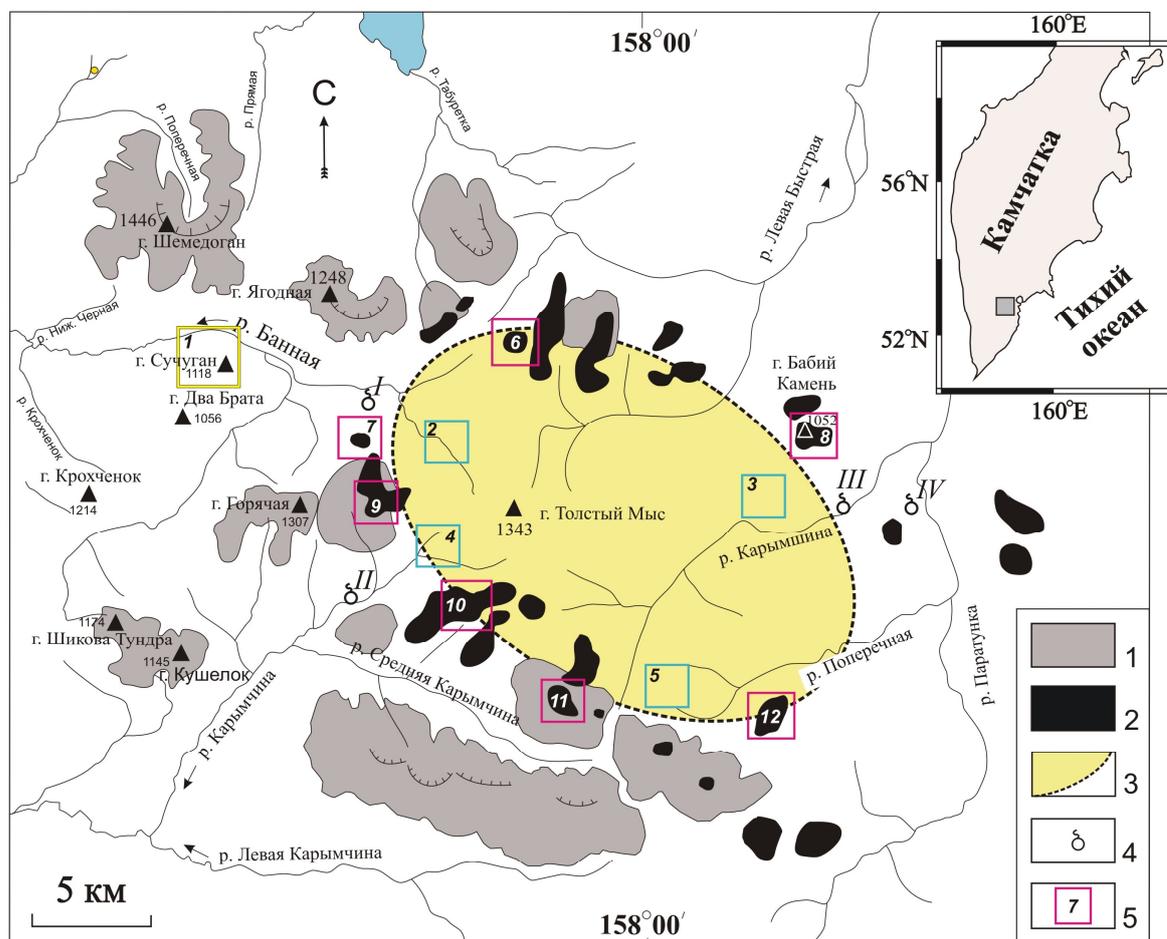


Рис. 1. Обобщенная схема расположения мест отбора образцов пород, используемых в работе. 1 – докальдерные вулканы (I комплекс), 2 – посткальдерные экструзии и лавовые потоки кислого состава (III комплекс), 3 – границы кальдеры и область распространения игнимбритов (II комплекс), 4 – термальные источники (I – Больше-Банная, II – Карымчинские, III – Карымшинские, IV – Верхне-Паратунские), 5 – районы, где отбирались пробы (1 – игнимбриты палеовулкана Сучуган, 2-5 – игнимбриты кальдеры Карымшина, 6-12 – риодацит-риолитовые экструзии посткальдерного этапа).

Посткальдерный этап (комплекс III) относится нами к нижнему и среднему неоплейстоцену (0.5–0.8 млн. лет). Были исследованы экструзии и потоки кислых (риодацит-риолитовых) лав, большая их часть расположена вдоль границ выделенной кальдеры. Определены размеры отдельных экструзивных тел, мощности лавовых потоков. В ходе полевых

исследований установлено, что с некоторыми экструзивными куполами связаны мощные лавовые потоки, которые залегают с пологим наклоном от центральной части структуры к ее краям [5]. Подсчитаны объемы кислых экструзий и их потоков, общий их объем составляет – 2.68 км³, площадь – 26.44 км². В ходе проведенных исследований на настоящий момент нами установлено, что формирование столь больших объемов кислой магмы – явление для Камчатки особое. Пока нигде в других местах на полуострове столь крупных объемов извергнутого пирокластического материала не обнаружено. Уникальными также являются объемы кислых экструзий и связанных с ними лавовых потоков, сформировавшихся на посткальдерном этапе – таких объемов кислых лав на Камчатке в других местах нет.

ГЕОХИМИЯ ПОРОД

Изучение петрохимии докальдерных, кальдерообразующих и посткальдерных пород кальдеры Карымшина показало, что их состав изменяется от андезитов до риолитов (SiO₂ от 62,3 до 77,7%). Для того, чтобы показать особенности игнимбритов кальдеры Карымшина, были построены диаграммы Харкера, вариационные диаграммы и спайдер-диаграммы концентрации редкоземельных элементов этих пород, проведено их сравнении с до- и посткальдерными породами исследуемого района.

Для вариационных диаграмм использовались валовые силикатные анализы (23 штуки), которые были сделаны в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН методом рентгенофлуоресцентной спектromетрии на приборе «S4 PIONEER» по методике Geo-Quant фирмы Bruker AXS, аналитики – Е.В. Карташева, И.Ф. Тимофеева. Анализы содержания редких элементов и элементов-примесей проводились в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН (зав. лаб. к.х.н. Я.В. Бычкова) методом ICP-MS (масс-спектрометрия с индуктивно-связной плазмой).

Рассмотрим диаграмму «сумма щелочей – кремнезем» (TAS) (рис. 2а). Игнимбриды палеовулкана Сучуган на диаграмме TAS располагаются на границе умереннощелочных и нормальнощелочных пород, большей частью попадающих в поле трахидацитов. Игнимбриды кальдеры Карымшина занимают поле от низкощелочных риодацитов и риолитов до нормальнощелочных риодацитов. Породы экструзий посткальдерного этапа относятся к риодацитам и риолитам нормальной щелочности. По содержанию K_2O (рис. 2б) игнимбриды палеовулкана Сучуган занимают поле высококалийных пород, в то время как игнимбриды кальдеры Карымшина – поле умереннокалийных пород. Породы экструзивных посткальдерных построек попадают как в поле высококалийных пород, так и в поле умереннокалийных. По критерию Мияширо (FeO^*/MgO) (рис. 2в) игнимбриды палеовулкана Сучуган попадают в область средне-Fe разности пород и располагаются на границе толеитовой и известково-щелочной серий пород. Игнимбриды кальдеры Карымшина попадают в область известково-щелочной серии пород. В тоже время риодацит-риолиты посткальдерных экструзий равномерно распределяются как в поле толеитовой серии пород, так и в известково-щелочной.

Анализ диаграмм концентрации петрогенных компонентов в зависимости от содержания SiO_2 (рис. 3) показывает, что составы исследуемых пород образуют отрицательные корреляции по TiO_2 , P_2O_5 , MgO , CaO , FeO^* при увеличении содержания SiO_2 в исследуемых породах. Концентрации представленных элементов колеблются в следующих диапазонах: TiO_2 – от 0,93 до 0,12%; P_2O_5 – от 0,271 до 0,02%; MgO – от 2,21 до 0,02%; CaO – от 3,79 до 0,57%; и наконец, с повышением содержания SiO_2 в породах сумма FeO и Fe_2O_3 уменьшается от 5,69 до 0,94%. Содержание Al_2O_3 в игнимбридах палеовулкана Сучуган с увеличением SiO_2 возрастает от 15,1 до 16,3%, далее в игнимбридах кальдеры Карымшина и экструзиях посткальдерного этапа происходит резкий спад содержания Al_2O_3 с 15 до 12,1%.

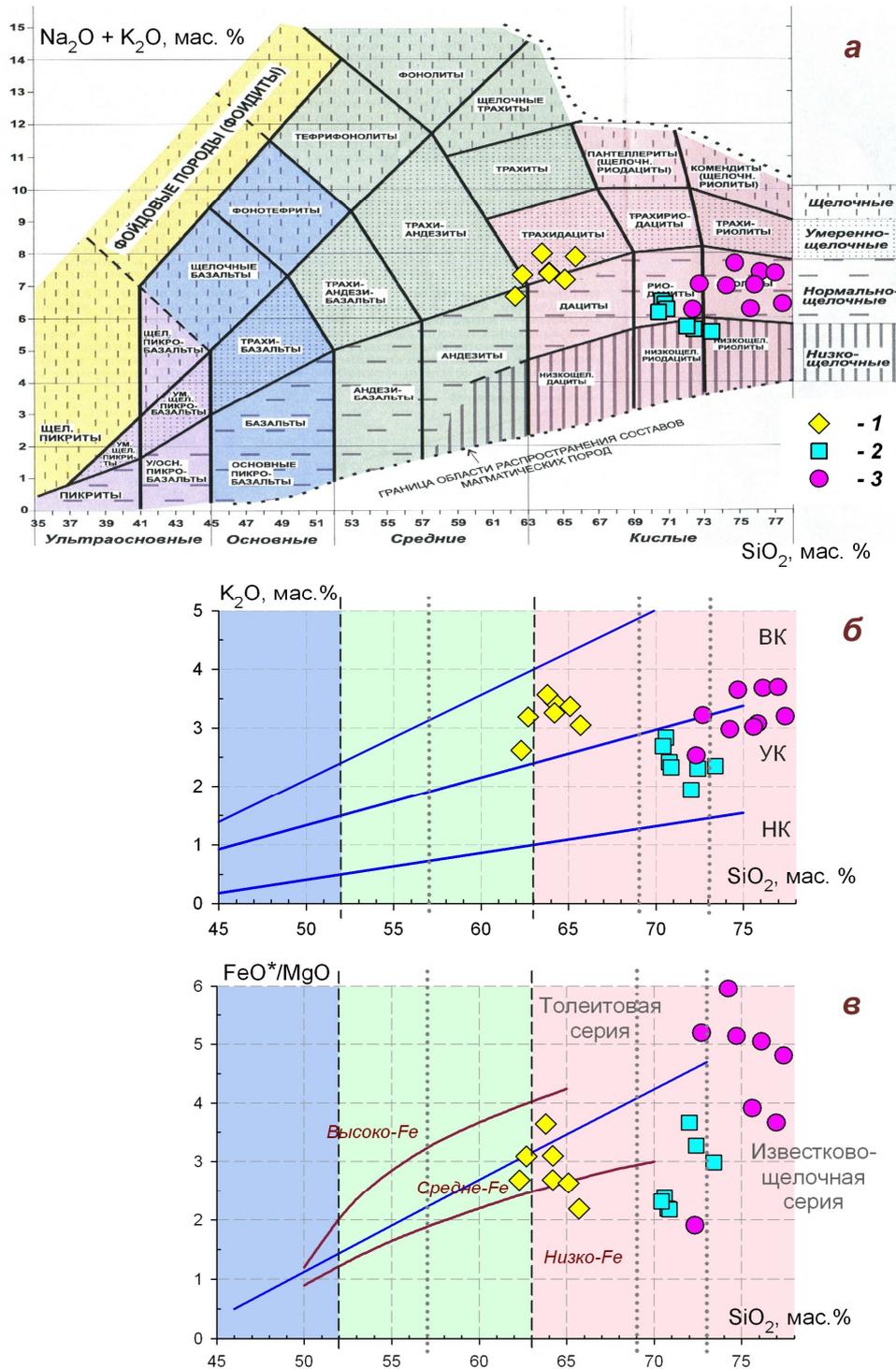


Рис. 2. Вариационные диаграммы для исследуемых пород района кальдеры Карымшина. (а) – сумма щелочей – кремнезем (TAS). Подложка взята из [4]; (б) – SiO_2 - K_2O , поля составов различных по калиевости пород приведены по [8], поля высоко, умеренно и низкокалиевых пород отмечены, соответственно, буквами ВК, УК и НК; (в) – критерий Мияширо ($\text{FeO}^*/\text{MgO} - \text{SiO}_2$), дискриминационная линия, разделяющая толеитовую и известковощелочную серии пород, проведена по [9]. $\text{FeO}^* = \text{FeO} + (\text{Fe}_2\text{O}_3 \times 0,9)$. Линии Высоко-Fe, Средне-Fe и Низко-Fe приведены по [6]. Пунктирные границы между типами пород в (б) и (в) приведены по [4]. Условные обозначения: 1 – игнимбриты палеовулкана Сучуган, 2 – игнимбриты кальдеры Карымшина, 3 – экструзии посткальдерного этапа вулканизма.

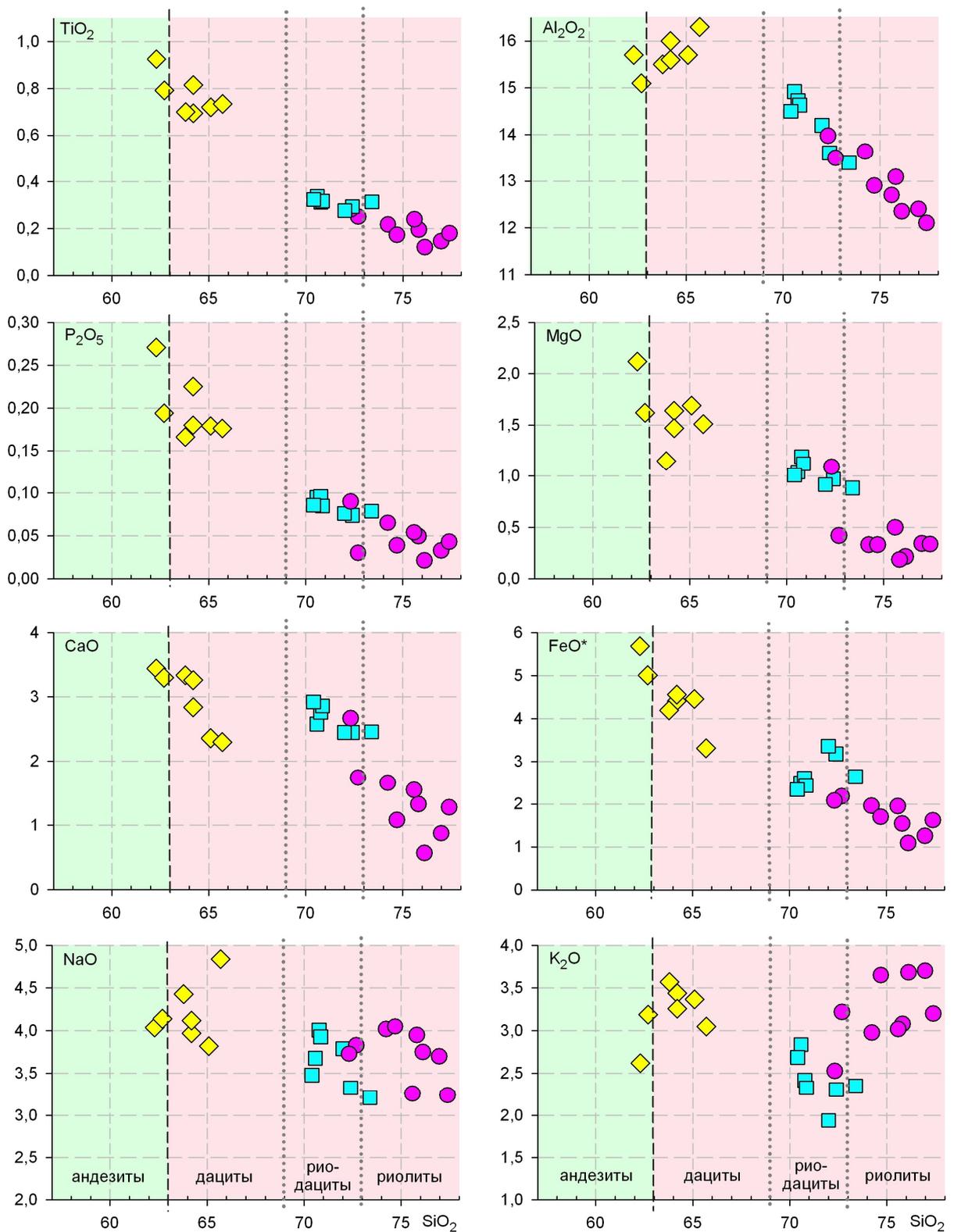


Рис. 3. Диаграммы концентраций петрогенных компонентов в зависимости от содержания SiO₂. Петрогенные окислы приведены в массовых %. Условные обозначения см. рис. 2. Пунктирные границы между типами пород приведены по [4]

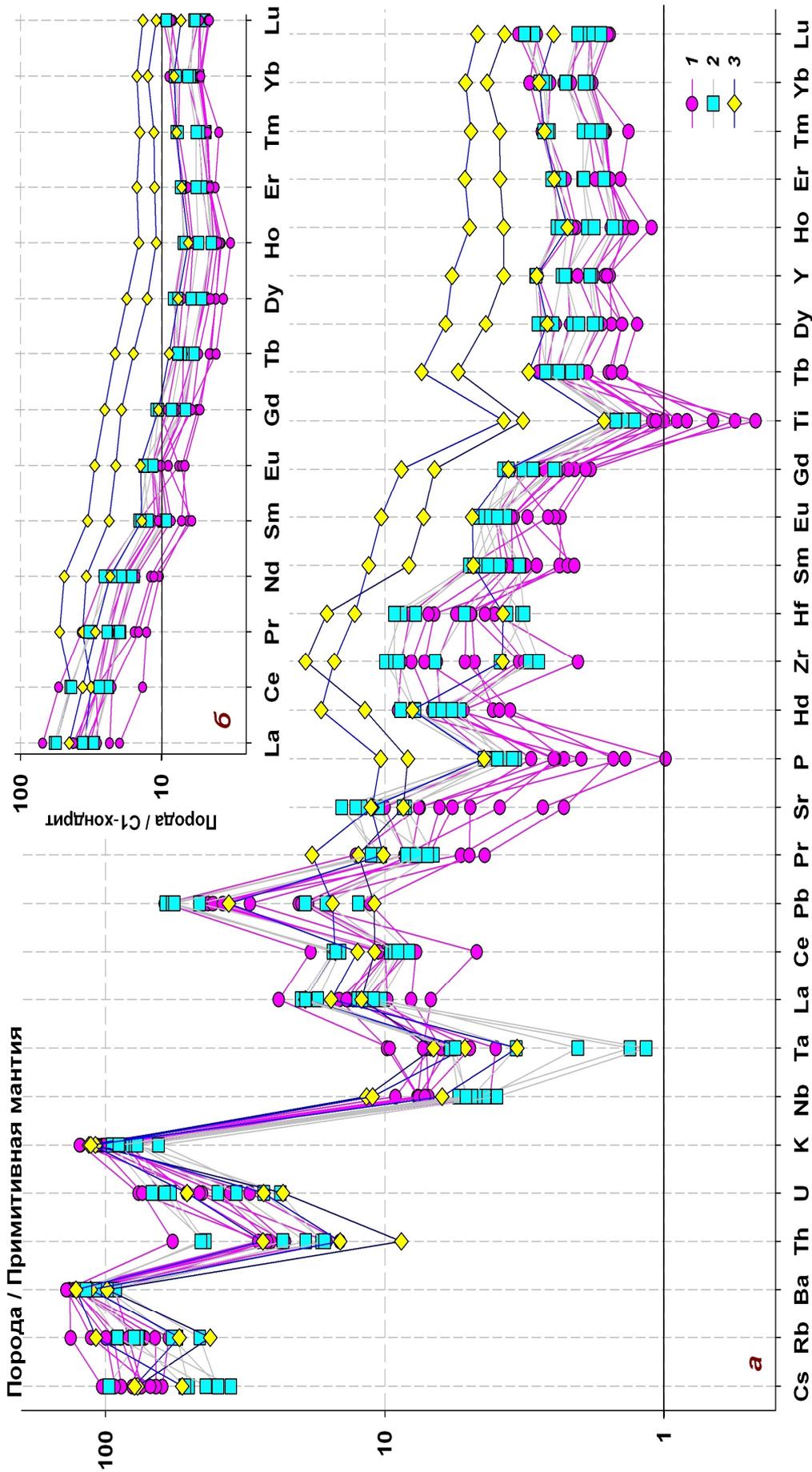


Рис. 4. Распределение редких и редкоземельных элементов в породах района кальдеры Карымшина: (а) – спектры редких элементов, нормированные к примитивной мантии; (б) – содержания РЗЭ, нормированные на С1-хондрит. Условные обозначения: 1 – кислые экстракции посткальдерного этапа, 2 – игнимбриты кальдеры Карымшина, 3 – игнимбриты палеовулкана Сучуган. Концентрации элементов в примитивной мантии и С1-хондрите по [10].

Концентрация Na_2O в игнимбритах кальдеры Карымшина и посткальдерных экструзиях не зависит от содержания SiO_2 и колеблется в пределах от 3,21 до 4,15%. Во всех группах рассматриваемых пород отмечается возрастание содержаний K_2O (по мере увеличения количества SiO_2) в породах рассматриваемых комплексов.

Кривые распределения гигромагматофильных элементов докальдерных, кальдерообразующих и посткальдерных пород, нормированных к примитивной мантии (рис. 4а), имеют сложную конфигурацию с выраженными Nb и Ta минимумами и отчетливыми максимумами в распределении флюидомобильных литофильных элементов (Ba, K и Pb). Это характерно для магм островодужных геодинамических обстановок, в процессе магмообразования которых принимали участие надсубдукционные флюиды. Низкое содержание P и Ti, возможно, связано с участием в процессах фракционирования акцессорных минералов и плагиоклаза.

На диаграмме концентраций редкоземельных элементов (рис. 4б) наблюдается отрицательный уровень наклона нормированной кривой, что говорит об обогащении легкими лантаноидами относительно тяжелых РЗЭ.

ВЫВОДЫ

1. Состав рассмотренных образцов игнимбритов кальдеры Карымшина изменяется в диапазоне от 70,4 до 73,4% SiO_2 , породы докальдерной постройки палеовулкана Сучуган относятся к андезидацитам (62,3–65,7% SiO_2), а состав пород посткальдерных экструзивных построек позволяет их относить к риодацит-риолитам (72,3–77,4 % SiO_2).

2. На вариационных диаграммах породы кальдерообразующего этапа относятся как к нормальнощелочным, так и к низкощелочным породам, умереннокалиевым. Породы экструзий посткальдерного этапа относятся к нормальнощелочным, умереннокалиевым, область пород относится к

известково-щелочной серии. Докальдерные породы палеовулкана Сучуган большей частью относятся к умеренно-щелочным и высоко-калиевым породам.

3. Анализ диаграмм Харкера показывает, что составы исследуемых пород образуют отрицательные корреляции оксидов Al, Ti, Mg, Ca, P и суммы Fe. Видна прямая зависимость концентраций этих элементов от увеличения SiO₂ и возраста пород.

4. Распределение редких и редкоземельных элементов в породах района кальдеры Карымшина отличаются выраженными Nb и Ta минимумами и отчетливыми максимумами в распределении флюидомобильных литофильных элементов (Ba, K и Pb). Это характерно для магм островодужных геодинамических обстановок, в процессе магмообразования которых принимали участие надсубдукционные флюиды.

Авторы выражают искреннюю благодарность к.г.-м.н. Леонову В.Л и к.г.-м.н. Гриб Е.Н. за помощь в написании работы. Работа выполнена в рамках проектов ДВО РАН № 12-III-A-08-171 (рук. В.Л. Леонов), №14-III-B-08-042 (рук. А.Н. Рогозин) и РФФИ № 14-05-31319 мол_а (рук. А.Н. Рогозин).

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонов В.Л., Биндеман И.Н., Рогозин А.Н. Новые данные о вулканизме, предварявшем суперизвержение и формирование кальдеры Карымшина (Южная Камчатка) // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 29–30 марта 2012, г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2012. С. 56–63.
2. Леонов В.Л., Рогозин А.Н. Карымшина – гигантская кальдера – супервулкан на Камчатке: границы, строение, объем пирокластики // Вулканология и сейсмология, 2007, № 5. С. 14–28.
3. Леонов В.Л., Рогозин А.Н. Эпизодичность кислого вулканизма на Южной Камчатке (по новым данным К-Аг и Аг-Аг датирования и результатам изучения разрезов) // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 30–31 марта 2009, г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010. С. 62–74.
4. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Издание третье, исправленное и дополненное. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.
5. Рогозин А.Н. Новые данные о кислых экструзиях Банно-Карымшинского района, Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2007, № 2(10). С. 156–164.
6. Arculus, R.J. Use and abuse of the terms Calcalkaline and Calcalkalic // J. Petrol., 2003, V. 44, № 5. P. 929–933.
7. Bindeman, I.N., Leonov, V.L., Izbekov, P.E. et al. Large-volume silicic volcanism in Kamchatka: Ar-Ar, U-Pb ages, isotopic, and geochemical characteristics of major pre-Holocene caldera-forming eruptions // J. Volcanol. Geotherm. Res., 2010, V. 189, № 1-2. P. 57–80.
8. Gill, J.B. Orogenic andesites and plate tectonics. xiv, 109 fig. V. 16, Minerals and Rocks, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1981. 390 p.
9. Miyashiro, A. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins // American J. of Science, 1974, V. 274, P. 321–355.
10. Sun, S., McDonoug, W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes // Magmatism in the Ocean Basins / Eds. Saunders, A.D., Norry, M.J., London, Geology Society, 1989, V. 42. P. 313–345.

**GEOCHEMICAL FEATURES OF KARYMSHINA CALDERA
IGNIMBRITES (SOUTH KAMCHATKA)*****S.A. Rylova^{1,2}, A.N. Rogozin²***¹ *Kamchatka State University named after Bering*² *Institute of Volcanology and Seismology FED RAS**Scientific adviser: Dr. Vladimir L. Leonov*

The observed ignimbrites of Karymshina caldera, Suchugan paleovolcano (precaldera stage of volcanism) and extrusion rocks scattered along the caldera edges (postcaldera stage of volcanism) are covered in this paper. The comparative analysis of these rocks has been done via variation diagram, Harker's diagram and spider diagram of rare and rare-earth series.

Key words: Geochemistry, Karymshina caldera, Kamchatka.

УДК 550.3

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СЪЁМКИ НА ТЕРМАЛЬНЫХ ПОЛЯХ ПРИРОДНОГО ПАРКА «НАЛЫЧЕВО» (КАМЧАТКА)

Рылова С. А.^{1,2}, Рылов Е. С.^{1,2}, Бреславская А. М.¹

¹*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

²*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

Научный руководитель: к.т.н. Рашидов В. А.

В докладе представлены результаты температурной съемки на термальных полях в природном парке «Налычево». Проведено сравнение термосъемки травертинового купола «Котел» за 2013 и 2014 годы, а так же впервые показаны результаты работ 2014 года на термальных выходах «лужа № 1, 2, 3, 4 и 5».

Ключевые слова: термальные поля, температурная съемка, природный парк, Налычево, Камчатка.

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с 2010 г., на территории Налычевского природного парка проходит молодежный научно-исследовательский лагерь «Геофизик». Под руководством научных сотрудников ИВиС ДВО РАН и преподавателей КамГУ студенты выполняют режимные наблюдения на термальных площадках «Котел», «Грифон Иванова», а также прилегающей территории. Основными задачами лагеря являются:

- получение студентами, выпускниками, и аспирантами профессиональных навыков в организации, технике и методике проведения полевых комплексных геофизических исследований на локальных геологических объектах и обработке полученных данных;
- усовершенствование методики комплексных геофизических исследований;
- изучение геологического строения, структурной позиции, эволюции Налычевской гидротермальной системы.

В июле 2014 года на территории природного парка Налычево проходил молодежный научно-исследовательский лагерь «Геофизик-14»

под руководством научного сотрудника лаборатории вулканизма и геодинамики КамГУ им. Витуса Беринга Е.С. Рылова. Целью проведенных в 2014 г. исследований являлось получение комплексных геофизических данных локальных термальных площадок Налычевской гидротермальной системы в пределах природного парка «Вулканы Камчатки».

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ РАЙОН РАБОТ

Термальная площадка «Грифон Иванова» находится в Юго-Восточной Камчатке в пределах центральной части природного парка Налычево, в долине р. Горячей, на расстоянии первых сотен метров от ее русла и является частью Налычевской гидротермальной системы (рис. 1, 2). Первые упоминания о Налычевских термальных источниках приведены в работах П.Т. Новограбленова [6] и Б.И. Пийпа [7, 8], которые опубликовали сведения о географическом положении, геологическом строении и химическом составе термальных источников. Б.И. Пийп в своих работах отметил высокое содержание мышьяка, брома, сурьмы и т.д. в водах и осадках термальных источников [7, 8].

В 1951 г. Налычевские источники были исследованы экспедицией Центрального института курортологии под руководством В.В. Иванова. Впервые отмечена их высокая бальнеологическая ценность [2]. Ю.П. Масуренков, Л.А. Комкова и Е.М. Филькова провели в 1966-1978 гг. комплексные геолого-геофизические исследования этой системы [3, 4], уделив особое внимание изучению геолого-структурного положения, гидрогеологических особенностей, химизму и физико-химическим условиям накопления современных отложений.

В 1959-1960 гг. Камчатское геологическое управление провело детальные геологоразведочные работы на Налычевском гидротермальном месторождении, сопровождавшиеся проходкой четырех буровых скважин [1, 5], опубликовала результаты изучения керна скважин и сделала

некоторые выводы о минералообразовании в недрах гидротермальной системы.

В 1959-1960 гг. для изучения гидрогеологических особенностей системы были пробурены 4 скважины (рис. 1).

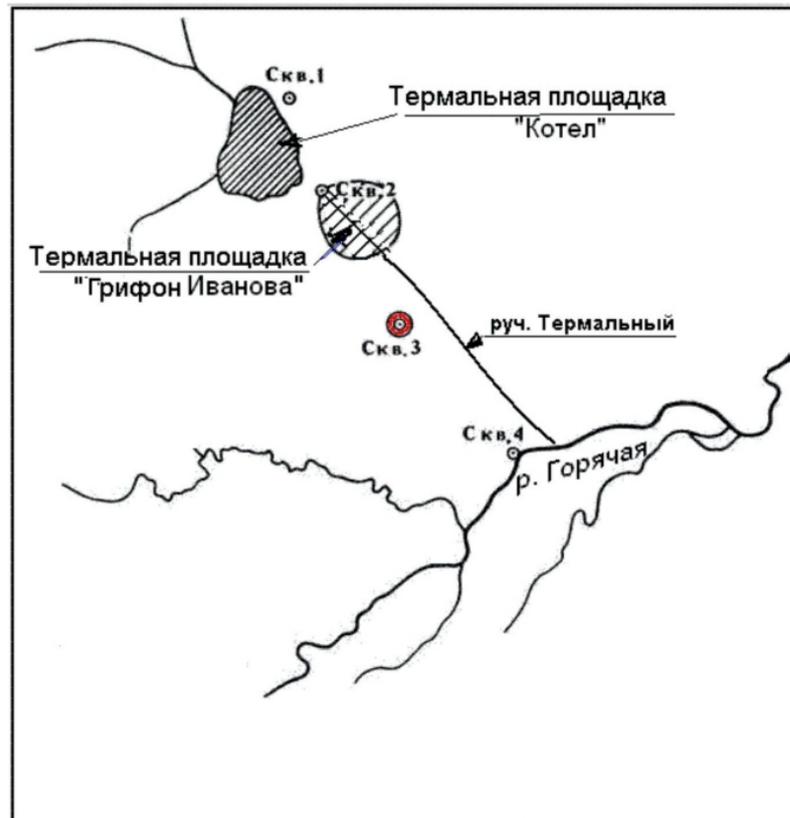


Рис. 1. Схема термальных площадок по [4].

Две из них находятся в непосредственной близости от термальной площадки «Котел». В результате этого техногенного воздействия режим термальных источников на термальной площадке «Котел» нарушился из-за начавшегося самоизлива из этих двух скважин. Попытки его прекратить не принесли результатов, так как запорных задвижек, как это требуется техническими условиями, установлено не было. Дебит источников стал резко сокращаться и вскоре они исчезли с поверхности травертинового купола. Остались только слабо парящие воронки диаметром 0,5-2 м. Обе скважины беспрепятственно фонтанировали – одна несколько лет, пока сама по себе не перестала изливаться, а на месте самой глубокой скважины образовалась декомпрессионная воронка. Эта воронка была названа

«Грифоном Иванова» в честь известного гидрогеолога В.В. Иванова [9] (рис. 1).

Благодаря системным наблюдениям, проводимым в рамках молодежного геофизического лагеря, появилась возможность более тщательно изучить геологию исследуемого района и воссоздать этапы его образования. Эта работа также позволит определить модель поведения динамично изменяющихся термальных площадок во времени.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Область разгрузки гидротерм занимает площадь более 2 км² (см. карту, рис. 2)[2] . Выходы источников сосредоточились у подножия горы Круглая (Большой котел), на левобережной пойме р. Горячей (Горячереченские). Термальная площадка «Котел» получила название по травертиновому куполу с воронкой на вершине, когда-то заполненной водой, бурлящей от сильных газовых струй. Отложения источников (гидроокислы железа, карбонаты кальция) образовали здесь огромный травертиновый щит с отлогим куполом в северной части. На поверхности находится только меньшая часть щита, около 50000 м², вся его южная часть – около 300000 м², перекрыта слоем почвы и вулканического пепла толщиной более метра. Мощность травертинов достигает 10 м, общий объем – 1,5-2 млн. м³.

Горячереченские источники. Ниже устья руч. Котельного левобережная надпойменная терраса подходит близко к реке, оставляя узкую, редко более 50 м полосу поймы. Здесь, на протяжении 1 км у подножия террасы и на поверхности поймы, находится множество горячих источников, которые концентрируются в 5 относительно обособленных групп (рис. 2).

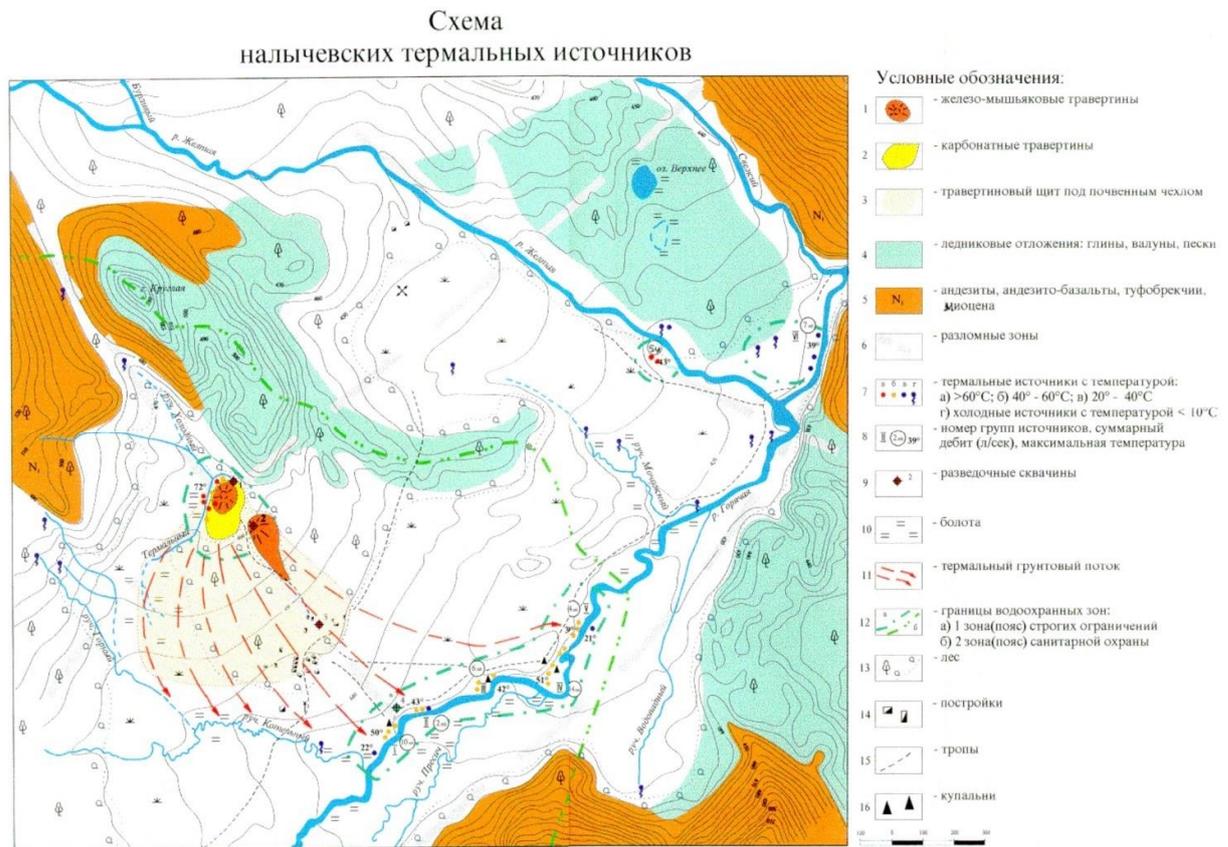


Рис. 2. Схема Налычевских термальных источников по [2].

Все они похожи друг на друга. Слабые источники образуют небольшие мелкие водоемы и короткие теплые ручьи, впадающие тут же в холодную речку. Вокруг них располагаются термальные болота или сухие галечниковые термальные площадки с угнетенной растительностью. Руслу ручейков зарастают зелеными термофильными водорослями, галька по берегам покрыта выцветами белых солей. По мнению Е. Вакина, эти источники являются разгрузкой приповерхностного грунтового потока термальных вод от восходящих источников в районе Большого Котла.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛЕВЫХ РАБОТ

Термометрическая съёмка проходила на травертиновой площадке «Котел» и на локальных выходах термальных вод Горячереченских источников, именуемых «лужа № 1, 2, 3, 4 и 5». Работы выполнялись с помощью контактного термометра ТК-5.03 с погружаемым зондом ЗПГ

1000 (диапазон измерений температуры $-20\dots+600^{\circ}\text{C}$, предел допускаемой основной относительной погрешности $\pm 1\%$).

Плотность травертина на площадке «Котел» была достаточно высокой, поэтому точки измерения не имели линейной или площадной привязки. Нарушать внешний слой травертинов и проделывать глубокие отверстия для работ запрещается правилами соблюдения природоохранного режима на территории природного парка. Привязка как на «Котле», так и на «лужах» выполнялась с помощью GPS-навигатора Garmin 60 Csxc точностью 3-4 м. Глубина погружения зонда составляла ~55-65 см.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СЪЁМКИ

Данные, полученные в результате работ термометрической съемки, были обработаны с помощью программы Surfer 10, методом крикинга (в процессе работы происходит анализ направлений изогипс и объединение отдельных точек вдоль выбранных аномальных зон)[10]. А также построены диаграммы температурных кривых на «лужах»

Термальная площадка «Котел».

На схеме, построенной по данным 2013 года, отображены 103 точки наблюдений (рис. 3). Выделяются две наиболее прогретые области с максимальной температурой 76°C западнее основного купола исследуемой термальной площадки. Минимальная температура на площади составила 20°C .

В ходе работ по термосъемке в 2014 году были сняты показания с 264 точек наблюдений, что позволило получить более детальное изображение всех термальных аномалий поля. По данным наблюдений получена схема распределения температур на термальной площадке «Котел» (рис. 4).

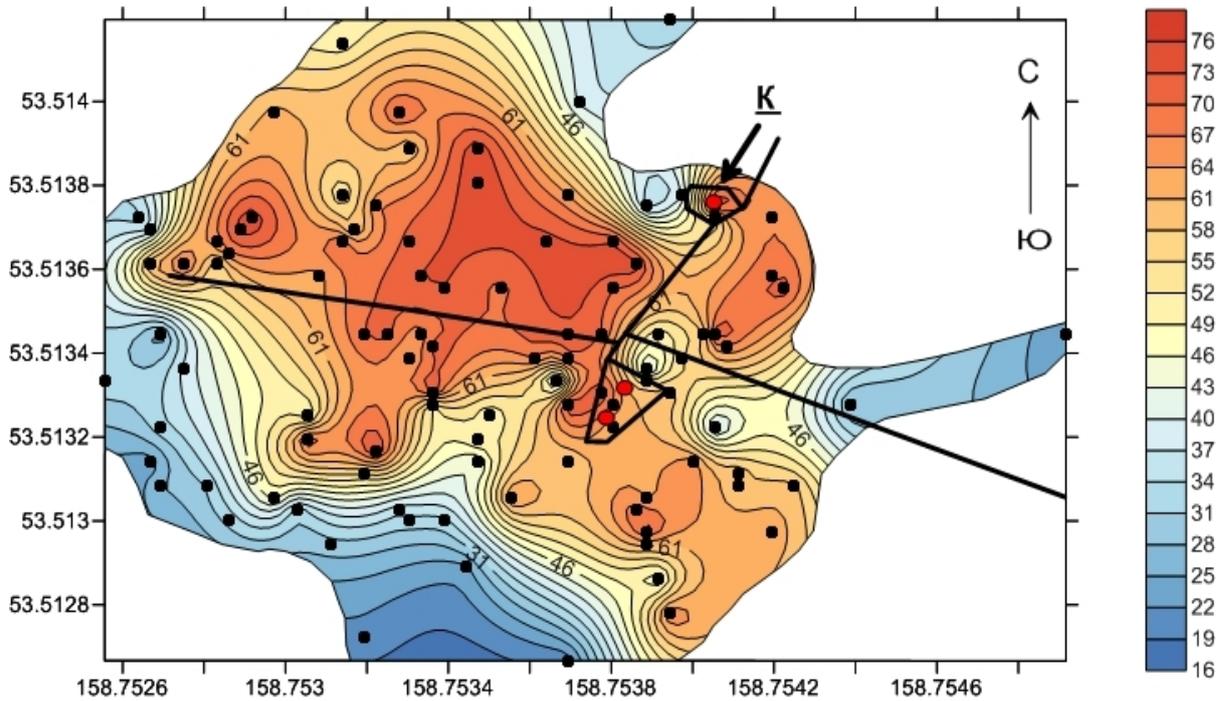


Рис. 3. Схема распределения температур на термальной площадке «Котел», 2013 год. Черными точками отмечены точки измерений, красными – выходы термальной воды на поверхность, черными линиями – настильные тропы, отснятые также с помощью GPS. К – купол «котла».

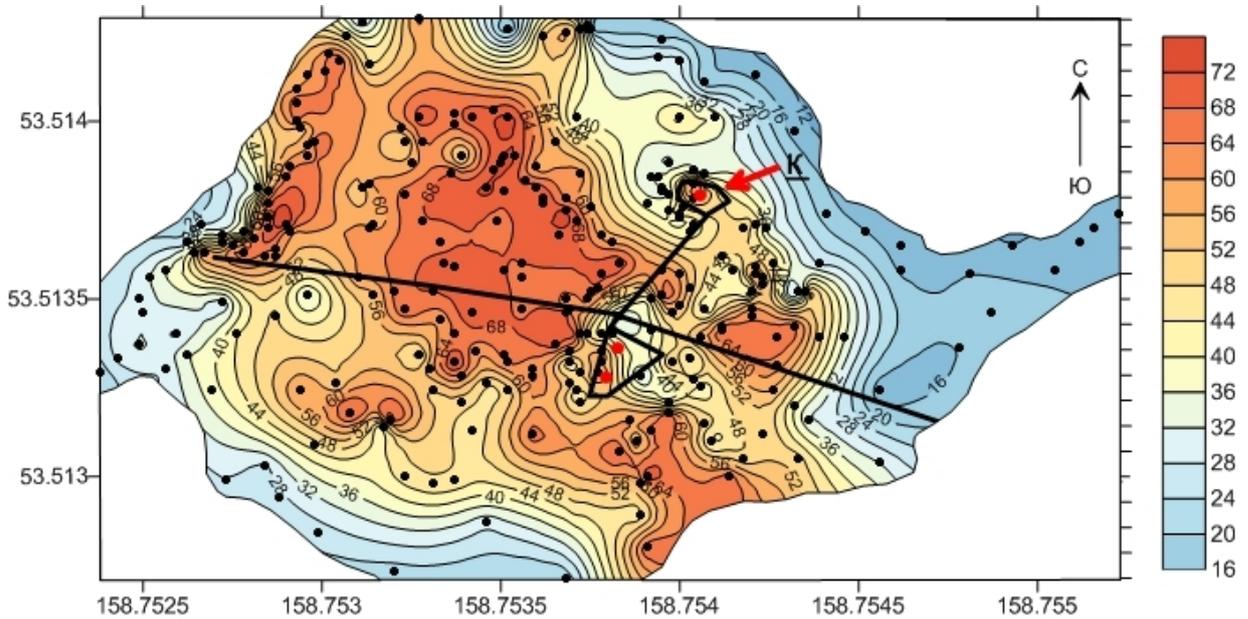


Рис. 4. Схема распределения температур на термальной площадке «Котел», 2014 год. Обозначения те же, что и на рис. 3.

На площадке выделяются две наиболее прогретые области с максимальной температурой выше 72°C , расположенные западнее основной купольной системы (они находятся в области, окруженной

настильными тропами). Две области, прогретые максимально до 72°C, находятся юго-восточнее.

При сравнении схем, полученных в течение двух лет работ, выделяются общие аномалии с близкими по значению температурами. Котел, который на схемах обозначен, как К, имеет небольшие температуры. Со времен бурения второй скважины, на месте которой появился грифон Иванова, самоизливание из «Котла» прекратилось, что сопровождается понижением температуры поля. Самая крупная аномалия, возможно, отображает область разгрузки термальных вод на глубине, а небольшие локальные аномалии – возможными подводными каналами от основного очага.

Термальные поля на Горячереченских источниках.

В ходе молодежного лагеря 2014 года были также проведены работы по температурной съемке на термальных полях на Горячереченских источниках (луза №1, 2, 3, 4 и 5).

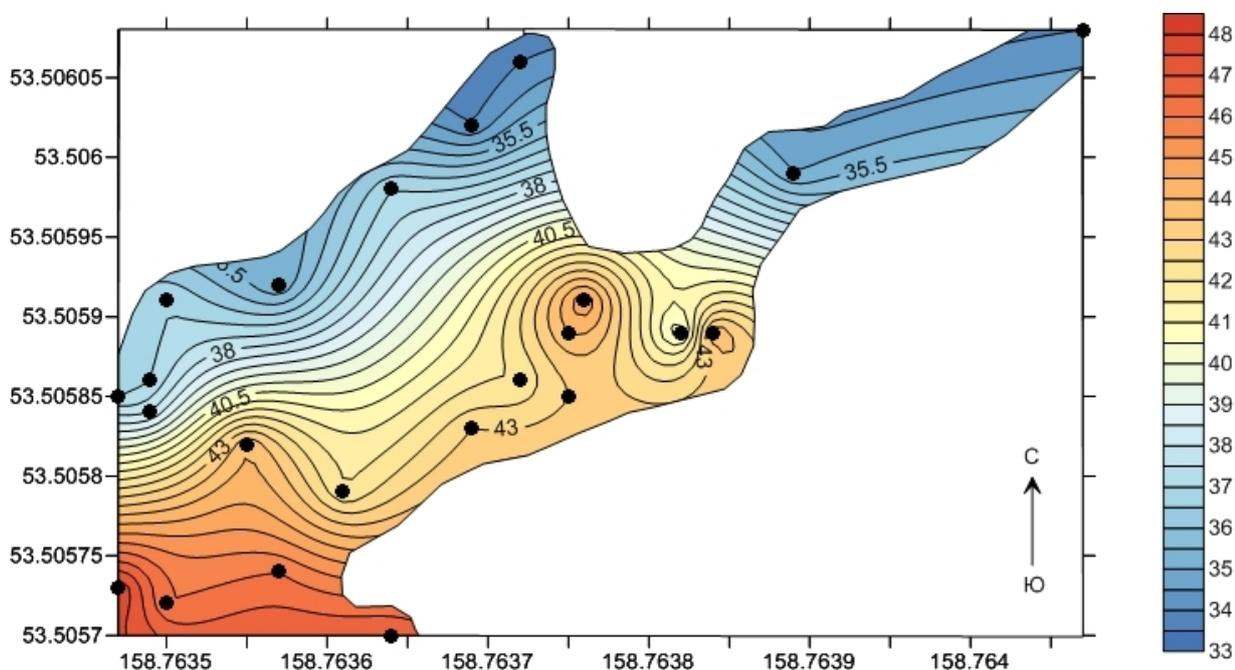


Рис. 5. Схема распределения температур на «лузе №1».

На термальной площадке, расположенной около лужи №1, выделяется наиболее прогретая область в юго-западной части (рис. 5). Максимальная температура поля - 48°C , минимальная – 34°C . Температура воды «лужи №1» - 38°C .

Термальная площадка № 2 имеет максимальную температуру 53°C , а минимальную – 27°C (рис. 6). Температура воды в «луже № 2» составляет 41°C .

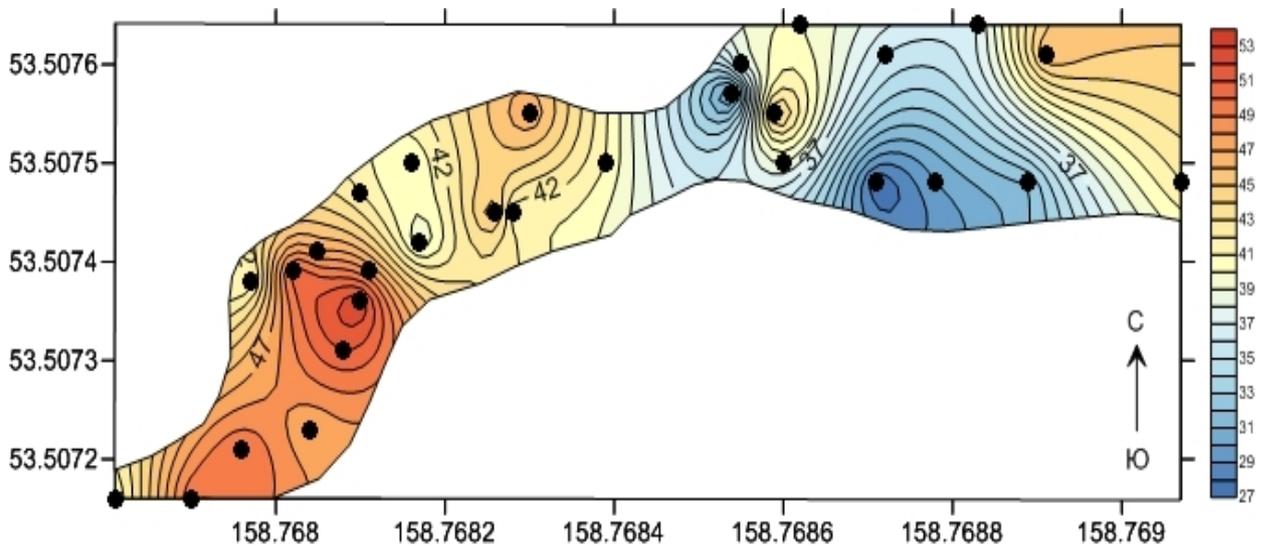


Рис. 6. Схема распределения температур на «луже № 2».

Термосъемка на термальных площадках «лужа 3, 4 и 5» проходила вдоль профиля с запада на восток, поэтому было решено представить данные в виде графика распределения температур. Длина профиля у лужи № 3 составила 62 метра, расстояния между точками отбора составили 3-3,5 м, а у луж № 4 и 5 – 45,5, с расстановкой точек на расстоянии 2,5-2,8 м.

На графике, построенном по данным с «лужи № 3» (рис. 7), в среднем, температура измеряемого профиля составляет 39°C . Пики кривой на 9 и 12 точках наблюдения непосредственно связаны с выходами термальной воды. Максимальная температура на профиле – 45°C , минимальная – 33°C .

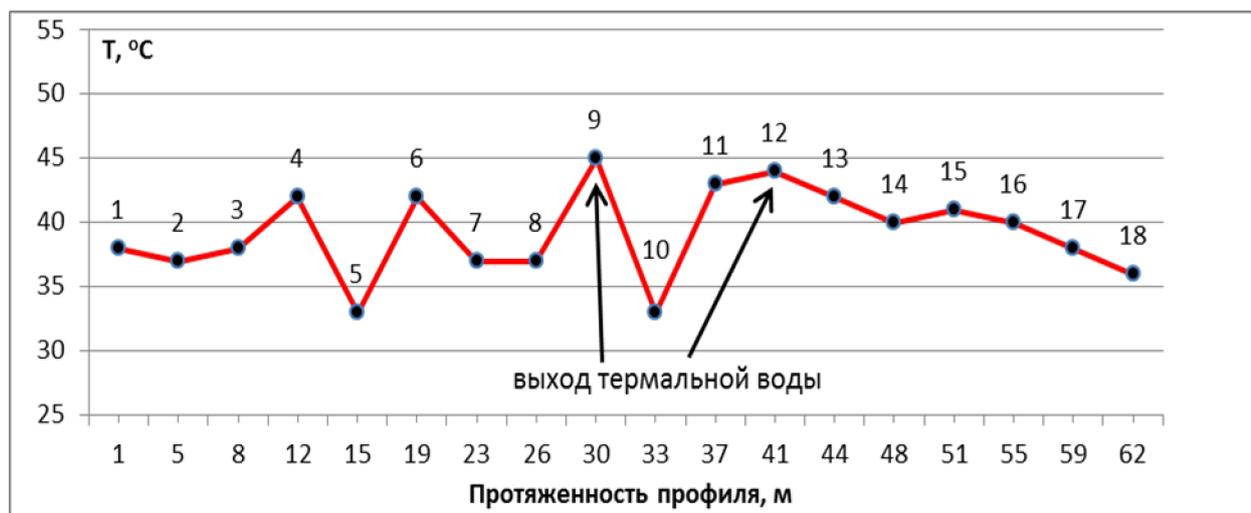


Рис. 7. График распределения температур на профиле у «лужи № 3». Цифрами обозначены точки наблюдения.

График распределения температур на профиле у «лужи № 4 и 5» изменяется в интервале 29 - 43°C (рис. 8). Среднее значение составляет 38°C. Максимальная температура на 5, 9, 11 и 16 точках наблюдения также связана с выходами термальной воды на поверхность.



Рис. 8. График распределения температур на профиле у «луж № 4 и 5».

ВЫВОДЫ

На термальном поле «Котел» максимальная температура составила 76°C, минимальная – 20°C. Полученная схема была сравнена со схемой, построенной по данным 2013 года. На них выделяются общие аномалии с близкими по значению температурами. Самая крупная аномалия, возможно, отображает область разгрузки термальных вод на глубине, а

небольшие локальные аномалии – возможными подводными каналами от основного очага.

Благодарности.

Авторы благодарят В.А. Рашидова и С.Б. Самойленко за консультации и помощь в написании статьи.

Работы выполнены в рамках научно-исследовательских лагерей «Геофизик -13» и «Геофизик-14» при финансовой поддержке Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга.

Литература

1. Вакин Е.А., Кирсанова Т.П., Кононов В.Н., Поляк Б.Г. Гидрогеология районов действующих вулканов Камчатки и вопросы геотермии. Петропавловск-Камчатский, 1961. Т. 2. 200 с. Фонды ИВиС ДВО РАН.
2. Вакин Е.А. Геологическое строение, вулканизм и гидротермы Налычевского природного парка // Информационная записка. Петропавловск-Камчатский. Дирекция Налычевского природного парка. 1998. 66 с.
3. Комкова Л.А., Масуренков Ю.П., Филькова Е.М. Осаждение железа и мышьяка термальными водами // Вулканизм и глубины земли. Материалы III Всесоюзного вулканологического совещания 28-31 мая 1969. М.: Изд-во Наука, 1971. С. 288-293.128
4. Масуренков Ю.П., Комкова Л.А. Геодинамика и рудопроявление в купольно-кольцевой структуре вулканического пояса. М.: Наука, 1978. 273 с.
5. Набоко С.И. Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 172 с.
6. Новограбленов П.Т. Налычевские и Краеведческие горячие ключи на Камчатке //Издательство русского географического общества, 1929. С. 285-297.
7. Пийп Б.И. Материалы по геологии и петрографии района рек Авачи, Рассошины, Гаванки и Налычевы на Камчатке. Труды Камчатской комплексной экспедиции 1936-1937 гг. Выпуск 2. Издательство Академии наук СССР, 1941. 119 с.
8. Пийп Б.И. Термальные ключи Камчатки. Издательство Академии наук СССР, 1937. 268с.
9. Семенов В.И. По вулканам и горячим источникам Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Дальневост. кн. изд-во, Камч. отд-ние, 1983. 79 с.
10. Статьи о Surfer, HTML, CSS и прочем <http://omd-geo.ru/surfer1.html>

RESULTS OF TEMPERATURE MEASUREMENT ON THERMAL
FIELDS OF NATURAL PARK "NALYCHEVO" (KAMCHATKA)

Rylova S.A., Rylov E.S., Breslavskaya A.M.

The report presents results of temperature measurement on thermal fields in natural park "Nalychevo". The temperature distribution of a travertine dome "Copper" is compared according to measurements done in 2013 and 2014. Also the results of works done in 2014 at the thermal springs "pool No. 1, 2, 3, 4 and 5" are shown.

Keywords: thermal fields, temperature field measurement, natural park, Nalychevo, Kamchatka.

УДК 553.078.2

ЗИМНИЕ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА
ПАУЖЕТСКОМ ГЕОТЕРМАЛЬНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ:
МЕТОДИКА, КРАТКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Нуждаев И.А., Феофилактов С.О.

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

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

В марте 2014 г. на площади Паужетской гидротермальной системы и одноименного геотермального месторождения проведена площадная магнитометрическая съемка. Наблюдения проводились по нерегулярной сети с использованием современных магнитометров на эффекте Оверхаузера GSM-19, что повысило точность съемки и производительность работ. Один прибор использовался в качестве магнитовариационной станции, с интервалом между измерениями 20 с, что позволило детально охарактеризовать суточные изменения магнитного поля. Вторым прибором выполнялись рядовые измерения. Для увеличения производительности работ оператор на лыжах буксировался за снегоходом со средней скоростью 5-10 км/ч. За восемь рабочих дней выполнено более 10 000 рядовых замеров магнитного поля на территории 11 км².

В результате построена площадная карта аномального магнитного поля ΔT_a для Паужетского геотермального месторождения. Выделены геологические структуры, которые могут быть перспективны для поиска термальных вод.

Ключевые слова: геотермальное месторождение; магнитная съёмка; карта; аномалия.

ВВЕДЕНИЕ

Паужетская гидротермальная система и одноименное геотермальное месторождение расположены в южной части полуострова Камчатка. В этом районе, начиная с 1950-60-х годов, проводились государственные геологические съемки, тематические геофизические, гидрогеологические и др. исследования. На основании этих работ было выделено Паужетское вододоминирующее геотермальное месторождение, в 1966-67 гг. введена в эксплуатацию первая в СССР и России опытно-промышленная Паужетская геотермальная станция, поставляющая до настоящего времени электрическую энергию в поселки на рыбокомбинаты Усть-Большерецкого района Камчатского края. В последние годы происходит рост потребления элек-

трической энергии в районе, требуемая мощность превышает мощность Паужетской ГеоЭС. При этом наблюдается снижение параметров (температуры, количество вырабатываемого сухого пара) эксплуатационных участков Паужетского месторождения. Последнее, помимо возможных технических причин, связано с недостаточной геологической изученностью месторождения. В частности, на наш взгляд требуется существенная корректировка геолого-гидрогеологической модели, сформулированной В.В. Аверьевым с коллегами [5], на которой до настоящего времени основана эксплуатация месторождения. Очевидна необходимость проведения дополнительных комплексных геолого-геофизических и гидрогеологических исследований, поисково-разведочных работ и бурения новых разведочных и эксплуатационных скважин на Паужетском геотермальном месторождении, что было отмечено в работе [8].

В последние годы на площади Паужетской гидротермальной системы проводятся тематические исследования Южнокамчатско-Курильской экспедицией ИВиС ДВО РАН: геологическое, геохимическое и гидрогеологическое опробование; изучение свойств гидротермальных глин и др. минеральных новообразований; слежение за изменением температурного и геохимического режимов термальных полей; изучение структуры термопроявлений геофизическими методами [7].

В связи со сложным рельефом и густой растительностью в изучаемом районе проведение детальной наземной площадной магнитной съёмки для Паужетского геотермального месторождения в летний полевой период не представляется возможным. Поэтому авторами магнитометрические исследования выполнены в зимний период при мощности снегового покрова до пяти метров, что значительно упростило передвижение на местности и повысило производительность работ. Следует отметить, что ранее магнитометрические исследования проводились – аэромагнитные в масштабе 1:50 000, захватывающие площадь Паужетской гидротермальной системы,

и наземные в масштабе 1:10 000 непосредственно на территории системы и месторождения (фондовые материалы). Но эти работы позволили выделить только крупные отрицательные магнитные аномалии, соответствующие основным геологическим структурам в районе гидротермальной системы – зонам региональных разломов, Паужетскому грабену и т.п. Все это определило актуальность постановки наших исследований.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ

Паужетское геотермальное месторождение расположено в кальдере диаметром 20-25 км среднечетвертичного возраста [3]. В строении месторождения принимают участие вулканогенно-осадочные, вулканические и интрузивные породы основного, среднего и кислого состава, от миоценового до плейстоценового возраста [8] (рис. 1). Наиболее изученная верхняя часть разреза сложена потоками лав андезидацитов и андезибазальтов, образованных на этапе формирования тектоно-магматического поднятия Камбального хребта, а также туфами и туффитами Верхнепаужетской подсветы и верхнечетвертичными отложениями Паужетского грабена. Разгрузка тепла на дневной поверхности происходит на нескольких термальных полях: Восточно-, Верхне-, Южно- и Нижне-Паужетском. Термальные поля приурочены к приподнятым тектоническим (тектоно-магматическим ?) блокам, по которым происходит подъем к дневной поверхности высокотемпературных (до 220 °С на глубине 600-800 м) гидротерм; в трещинно-брекчиевых зонах внутри блоков и на их границах происходит смешение термальных вод с инфильтрационными метеорными водами.

Вероятно, такие структуры в недрах Паужетского месторождения контролируют геотермальные процессы и, более того, с ними могут быть связаны источники тепла для Паужетской гидротермальной системы. Вопрос об источнике тепла для системы остается не решенным. Традиционно считается, что источник тепла для Паужетской гидротермальной сис-

темы может быть наведенным: находится в недрах Камбального хребта [5] или в структуре Кошелевского вулканического массива [2]. В связи с полученными в последние годы новыми данными эти концепции могут быть пересмотрены.

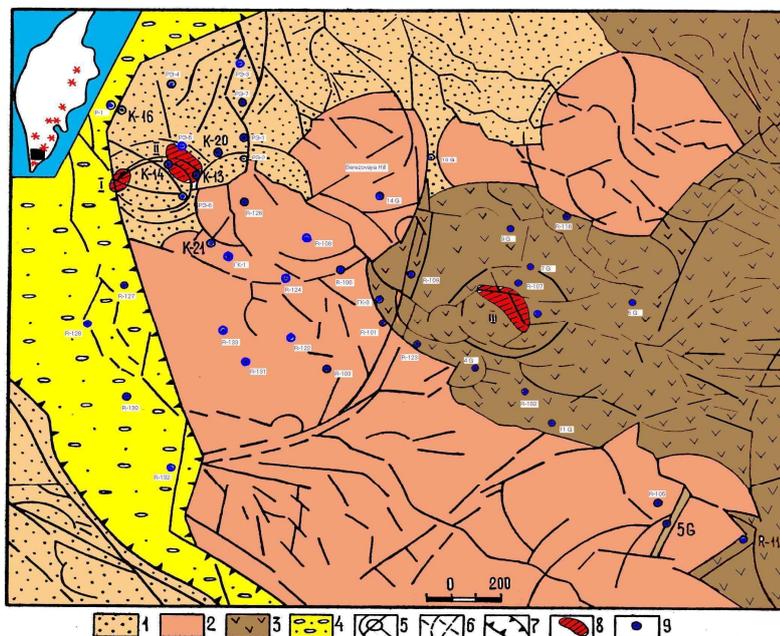


Рис. 1. Схема геологического строения Паужетского геотермального месторождения [8]. 1 – вулканогенно-осадочные породы Верхне-Паужетской подсвиты; 2 – лавы андезидацитов Камбального хребта; 3 – лавы андезибазальтов Камбального хребта; 4 – современный Паужетский грабен; 5, 6 – кольцевые и линейные тектонические нарушения; 5 – отдешифрированные в рельефе и подтвержденные геолого-геофизическими, геохимическими и другими материалами, 6 – предполагаемые; 7 – границы Паужетского грабена; 8 – термальные поля; I – Южное, II – Верхнее, III – Восточное; 9 – скважины колонкового бурения и их номера.

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА РАБОТ

Магнитометрическая съемка выполнялась двумя современными магнитометрами на эффекте Оверхаузера GEM GSM-19W v7.0. Эти приборы оснащены системой GPS, имеют встроенную память, высокое разрешение 0.01 нТл и абсолютную точность 0.2 нТл в широком температурном диапазоне от -40°C до $+55^{\circ}\text{C}$, быструю скорость регистрации данных [6]. Использование аппаратуры такого класса позволило повысить производительность работ, а также понизить трудозатраты. Один прибор использо-

вался для проведения рядовых измерений на площади, а другой в качестве магнитовариационной станции. Интервал между измерениями на магнитовариационной станции составлял 20 с, что позволило детально охарактеризовать суточные вариации магнитного поля. Значения магнитного поля варьировали от 49 608 до 52 325 нТл.

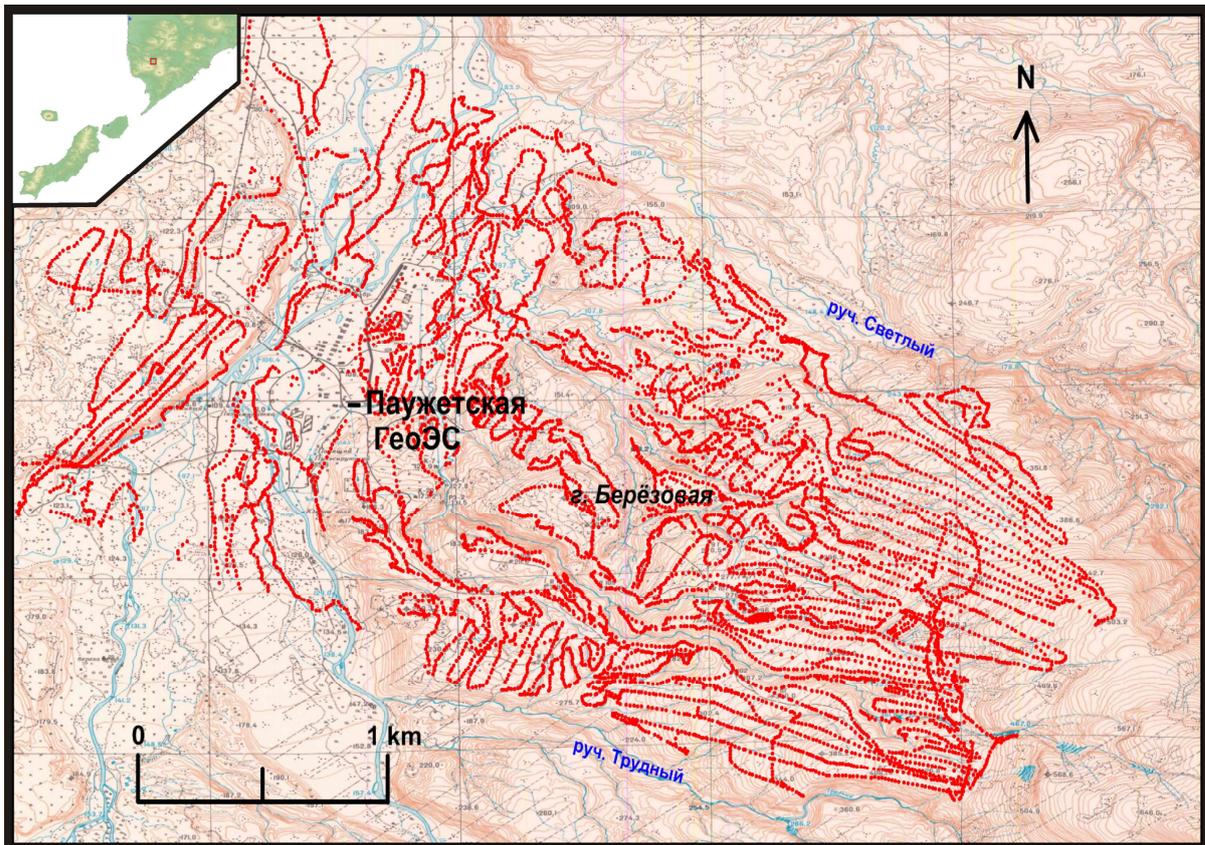


Рис. 2 Схема магнитометрических исследований на Паужетском геотермальном месторождении в марте 2014 г. Точками обозначены пикеты измерений.

Для увеличения скорости съёмки и как следствие площади измерений оператор с магнитометром буксировался за снегоходом на лыжах. Измерения выполнялась в ручном режиме, с временным интервалом 6 с, средняя скорость движения снегохода составила 5-10 км/ч. Высота магниточувствительного датчика составляла 2.2 м, что снизило влияние содержащегося металла в лыжах и ботинках до $\pm 2-3$ нТл. Буксировка осуществлялась капроновым канатом на расстоянии 10 м, тем самым, исключая влияние помех, создаваемых снегоходом. Перед проведением площадных работ был проведен азимутальный ход, погрешность измерений составила

± 1 нТл. Мощность снежного покрова составляла от 1 до 5 м и при построении карты аномального магнитного поля не учитывалась. За 8 рабочих дней проведена магнитометрическая съемка на площади 11 км^2 (рис. 2). Контрольные измерения выполнены в объеме 9 % от общего количества точек – 10784, среднеквадратическая погрешность съемки составила ± 18 нТл.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В итоге для Паужетского геотермального месторождения была построена площадная карта распределения аномального магнитного поля ΔT_a (рис. 3). На ней четко выделяются две крупные области отрицательного аномального магнитного поля ΔT_a .

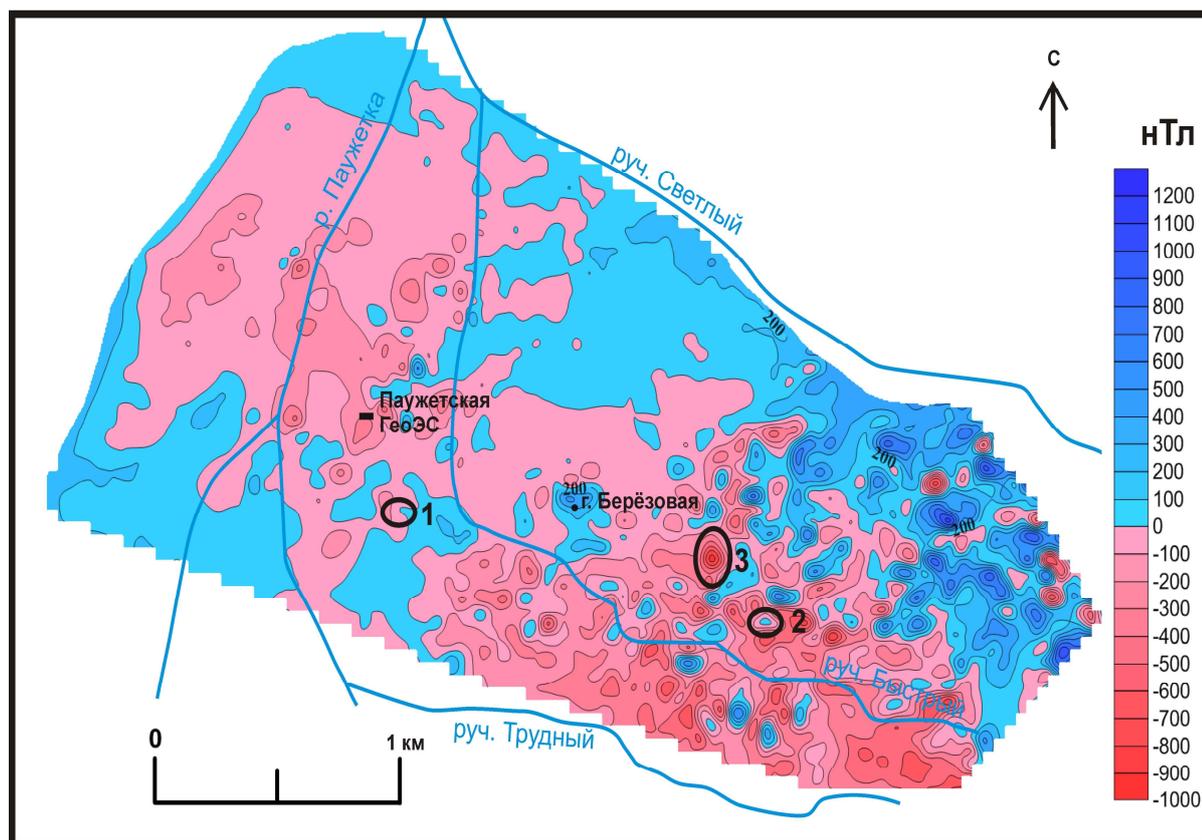


Рис. 3. Карта аномального магнитного поля ΔT_a для Паужетского геотермального месторождения. 1- район Верхне-Паужетского термального поля; 2 - район Восточно-Паужетского термального поля; 3 – выделенная отрицательная аномалия, предположительно интерпретируемая как область скрытой разгрузки гидротерм, прилегающая к магматическому телу среднего состава.

СЗ область включает в себя обширное поле налевой террасе р. Паужетка, а также все известные разгрузки гидротерм на дневной поверхности. К ним относятся Южно-Паужетское, Нижне-Паужетское и Верхне-Паужетское термальные поля. В целом, эта область относится к зоне латерального растека гидротермальных растворов Паужетской гидротермальной системы, чем, видимо, и объясняется слабо дифференцированное отрицательное магнитное поле. Расположение Верхне-Паужетского термального поля (участок 1 на рис. 3) в изометричной отрицательной аномалии, окруженной породами с высокой остаточной намагниченностью, косвенно подтверждает сделанный ранее вывод о наличии здесь приподнятого блока пород, контролирующего восходящий геотермальный поток и приповерхностную зону пара. На этом участке также проведена микромагнитная съемка в августе 2013 г. Тенденция аномального магнитного поля идентична представленной на рисунке 3.

ЮВ область отличается от СЗ области отрицательных значений ΔT_a наличием большого числа локальных отрицательных аномалий ΔT_a , к одной из которых приурочено Восточно-Паужетское термальное поле (участок 2 на рис. 3). Однако в центральной части поля выделяется положительная магнитная аномалия со значениями ΔT_a до +505 нТл. Этот результат подтверждает данные микромагнитной съемки, проведенной ранее в летний полевой период (август 2013 г.). Мы полагаем, что положительная магнитная аномалия в центре термального поля может свидетельствовать в пользу внедрения субвертикального интрузивного тела основного-среднего состава, кровля которого приближена к дневной поверхности и с которым собственно связано образование тектоно-магматического поднятия Восточно-Паужетского термального поля. Обширная область отрицательных значений ΔT_a вокруг этой положительной аномалии ΔT_a может указывать на наличие скрытой разгрузки гидротермальных растворов в геологической структуре размером в плане 700 x 800 м. Крупная относи-

тельно изометричная аномалия положительных значений ΔT_a выделяется в районе горы Березовая, которая ранее по косвенным данным описывалась как экструзия дацитового состава [1]. Наши данные подтверждают наличие здесь крупного, по-видимому, экструзивно-субвулканического тела, но имеющего основной или средний состав.

По результатам зимних магнитометрических исследований выделена крупная отрицательная магнитная аномалия (участок 3 на рис. 3). В последующий летний полевой сезон (август 2014 г.) её границы были локализованы, выделены два центра со значениями ΔT_a до -2000 нТл. Этот участок может быть перспективным для поиска перегретого пара или гидротерм. В целом, вся ЮВ область представляет повышенный интерес на предмет выделения здесь локальных геологических структур (тектонических или тектоно-магматических блоков), которые могут контролировать потоки геотермального теплоносителя.

ВЫВОДЫ

1. Отработана методика площадной магнитной съёмки с использованием снегохода.
2. Построена карта аномалий магнитного поля ΔT_a на площади 11 кв. км, включающей Паужетское геотермальное месторождение.
3. Выделена Юго-Восточная высокоградиентная область магнитного поля с локальными отрицательными аномалиями. Эти аномалии трассируют зоны, сложенные породами с низкой остаточной намагниченностью, и тектоно-магматические блоки, которые могут контролировать геотермальный теплоноситель.

Авторы признательны Сокоренко Александру Васильевичу за непосредственную помощь в проведении магнитной съёмки и предоставление фотоматериалов. Выражаем также искреннюю признательность Ю.Ю. Бу-

котову, Т.В. Шевченко, О.В. Толстых и О.Н. Семеновой за содействие в выполнении исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-05-31158мол_а) и Дальневосточного отделения РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов В.И. Геология геотермальных полей в современных вулканических областях. М.: Наука, 1978. 178 с.
2. Воронков В.А. К вопросу о схематизации гидрогеологических условий Паужетского геотермального месторождения // Вулканология и сейсмология. 1983. № 5. С. 39–51.
3. Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. 170 с.
4. Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съёмка, аэромагнитная съёмка, гидромагнитная съёмка). Л.: Недра, 1981. 263 с.
5. Паужетские горячие воды на Камчатке. М.: Наука, 1965. 208 с.
6. Руководство по эксплуатации GSM-19 v7.0 www.gemsys.ca 2007. 137 с.
7. 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.
8. Структура гидротермальной системы. М.: Наука, 1993. 240 с.

WINTER MAGNETOMETER SURVEY IN THE AREA OF PAUZHETSKY GEOTHERMAL DEPOSIT: METHODS AND SHORT RESULTS

Nuzhdayev I.A., Feofilaktov S.O.

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS

Kamchatsky State University names of Vaitys Bering

Scientific chief: Dr. Rychagov S.N.

The area magnetometer survey was conducted on the area of Pauzhetsky hydrothermal system and the geothermal deposit of the same name in March 2014. Observations were made on an irregular network with the use of modern magnetometers on the effect of Overhouse GSM – 19 that increase accuracy of survey and productivity of works. One device was used as the magnetovariation station, with 20 sec. intervals between measurements that allowed to describe the daily changes of magnetic-field in detail. The ordinary measurement was executed by the second device. To increase the productivity of works an operator on skis was towed after a snowmobile with the average speed of 5-10 km/h. More than 10 000 ordinary measurements of magnetic-field were executed on the area of 11 км² for eight working days.

As a result the area map of abnormal magnetic-field ΔT_a was made for Pauzhetsky geothermal deposit. Geological structures that can be perspective for the search of thermal waters are distinguished.

УДК 550.380

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА КГО «КАРЫМШИНА», КАМЧАТКА

Берсенёва Н.Ю.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, nata@emsd.ru

На комплексной геофизической обсерватории (КГО) «Карымшина», Камчатка, проводятся изменения трех компонент магнитного поля с использованием магнитометра-вариометра в частотном диапазоне УНЧ (0.003-40 Гц). С октября 2013 г. обеспечивается передача магнитных данных на приемный центр КФ ГС РАН в г. Петропавловске-Камчатском в режиме реального времени по каналам Internet. В работе приводится характеристика созданного программного обеспечения для автоматизации первичной обработки и накопления геомагнитных данных в режиме близком к реальному времени с оценкой их качества и пригодности для поиска сигналов подготовки сильных землетрясений.

Ключевые слова: индукционный магнитометр, геомагнитные наблюдения, система передачи данных, автоматизация, Python.

ВВЕДЕНИЕ

Камчатский филиал Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) проводит с 1999 г. геомагнитные наблюдения с использованием трехкомпонентного магнитометра-вариометра, установленного на комплексной геофизической обсерватории (КГО) «Карымшина» (52.827° с.ш., 158.132° в.д.) (рис. 1). Цель создания КГО «Карымшина» состояла в координированном мониторинге электромагнитных и сейсмических предвестников землетрясений [1].

В совместных работах сотрудников КФ ГС РАН и Института физики Земли РАН [2-6] рассматривались методы поиска электромагнитных предвестников землетрясений в диапазоне частот 0.003-40 Гц с использованием данных геомагнитных наблюдений на КГО «Карымшина». Отмечалось, что в этом частотном диапазоне постоянно присутствуют естественные ультранизкочастотные/крайне низкочастотные (УНЧ/КНЧ) пульсации электромагнитного поля, генерируемые над поверхностью Земли и превышающие по амплитуде ожидаемую интенсивность сигнала – пред-

вестника землетрясений. Для таких условий предполагалось производить идентификацию предвестников землетрясений в ограниченных частотно-временных окнах, близ частот Шумановского резонанса, основным источником которого является мировая грозовая активность. Предполагалось, что добавочные локальные источники ультранизкочастотных колебаний магнитного поля появляются в эпицентральной зоне на последней стадии подготовки землетрясения и непосредственно после его реализации. Это позволяет по ориентации эллипса поляризации одиночных высокоамплитудных магнитных импульсов определять направление на локальный источник.

По данным наблюдений был выявлен эффект понижения интенсивности поля в УНЧ диапазоне за 2-6 суток до сильных ($M=4.6-6.6$) одиночных землетрясений. Также было показано, что с использованием оригинальной методики анализа магнитных данных может существенно повышаться вероятность предсказания землетрясений с $M \geq 5.0$ в диапазоне глубин $H \leq 50$ км на эпицентральных расстояниях $R \leq 300$ км [2-6].

В настоящей работе приводится описание аппаратного комплекса и современной системы передачи данных с КГО «Карымшина» на приемный центр КФ ГС РАН в г. Петропавловске-Камчатском. Главное внимание уделяется созданным программным средствам и методам автоматизации работы оператора по приему и первичной обработке данных геомагнитных наблюдений с целью оценки их качества и пригодности для поиска сигналов подготовки землетрясений.

ОБОРУДОВАНИЕ

Магнитометр-вариометр включает в себя три идентичных по конструкции индукционных датчика поля. Принцип индукционного датчика основан на явлении электромагнитной индукции – возникновении ЭДС в измерительной катушке при изменении проходящего через ее контур маг-

нитного потока. Изменение потока в катушке может быть связано с вариациями величины или направления измеряемого поля во времени.



Рис. 1. Карта-схема расположения КГО «Карымшина»

Каждый датчик помещен в пластиковый, ударопрочный, влагозащищенный корпус и состоит из индукционной катушки с сердечником из аморфного сплава и предварительного усилителя. Использование усилителя позволяет значительно понизить уровень шумов на частотах ниже 10 Гц. Параметры всех трех датчиков идентичны с отклонением менее 3% в абсолютных величинах коэффициента преобразования и не более 2° по фазе.

Для подавления сейсмических, ветровых, акустических и др. видов помех датчики помещены в бетонный бокс, наполненный сухим песком. Датчики горизонтальных компонент H и D были ориентированы вдоль магнитного меридиана и трансверсально к нему. Датчик Z регистрирует вертикальную компоненту геомагнитного поля.

В качестве АЦП с 2011 г. используется регистратор GSR-24, который находится на удалении 100 м от места закладки датчиков в защитном сооружении и подключен к датчикам кабельной линией (рис. 2).



Рис. 2. Схема передачи данных геомагнитных наблюдений

Параметры регистрации магнитометрического тракта:

Тип датчиков индукционный;
 Количество каналов 3;
 Чувствительность на частоте 0.01 Гц > 20 нТ/МГц;
 Чувствительность на частотах более 10Гц 0.03 нТ/МГц;
 Диапазон регистрируемых частот 0.001-40 Гц;
 Динамический диапазон регистрируемых сигналов > 90 дБ.

Характеристики АЦП GSR-24

Тип: 24-разрядный сигма-дельта АЦП 3-х канальный;
 Динамический диапазон: 129 дБ RMS при 100 отсч/с;
 Частота опросов: 100 отсч/с на канал;
 Ширина частотного диапазона: 40% от частоты Найквиста;
 Разрешение (peak to peak noise): 21.6 бита на 100 отсч/с;
 Диапазон входных сигналов: ± 2.5 В или ± 10 В;
 Интерфейс внешнего времени: GPS;
 Рабочий температурный диапазон: от -20°C до $+70^{\circ}\text{C}$;
 Влажность: от 0 до 100% (без конденсации);
 Тип корпуса: алюминиевый герметичный;
 Размеры: $280 \times 180 \times 100 \times 100$ мм;
 Вес: 7.2 кг (включая аккумулятор).

СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ И СБОРА ДАННЫХ

16 октября 2013 г. сотрудниками отдела информационных технологий КФ ГС РАН была запущена новая система передачи геомагнитных данных на приемный центр в г. Петропавловске-Камчатском, обеспечи-

вающая их получение в режиме реального времени (рис. 2). Аналоговый сигнал от магнитометра по кабельной линии передается на АЦП, где оцифровывается с частотой 100 Гц. Далее через канал Wi-Fi данные передаются на стационар КГО «Карымшина», где они временно хранятся на кольцевом буфере обмена, и затем передаются по каналам Internet на приемный центр КФ ГС РАН. Данные передаются и хранятся на буфере обмена в формате MSEED.

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ОПЕРАТОРА

Одной из задач работы оператора, обеспечивающего первичную обработку и анализ данных геомагнитных наблюдений, является контроль их качества и пригодности для выделения сигналов подготовки землетрясений. При доступе к данным в режиме реального времени важное значение имеет автоматизация процесса получения и первичной обработки больших массивов данных в форме временных рядов в целях экономии рабочего времени и устранения возможных субъективных ошибок в работе оператора.

При разработке пакета программ по автоматизации приема и первичной обработки данных геомагнитных учитывались следующие требования:

- осуществление ежедневного приема и первичной обработки геомагнитных данных без участия оператора;
- обеспечение регулярного автоматического запуска программ первичной обработки данных;
- возможность удаленного контроля системы регистрации геомагнитных данных при наличии сети Internet.

В пакет программ, обеспечивающих автоматизацию работы оператора, входят созданные автором программы, написанные на свободно распространяемом интерпретируемом языке программирования Python 2.7 (*.py); сценарии командной строки Windows (*.bat), а также сторонние

консольные программы (*.exe). Каждая часть пакета программ решает определенный круг задач (рис. 3.).

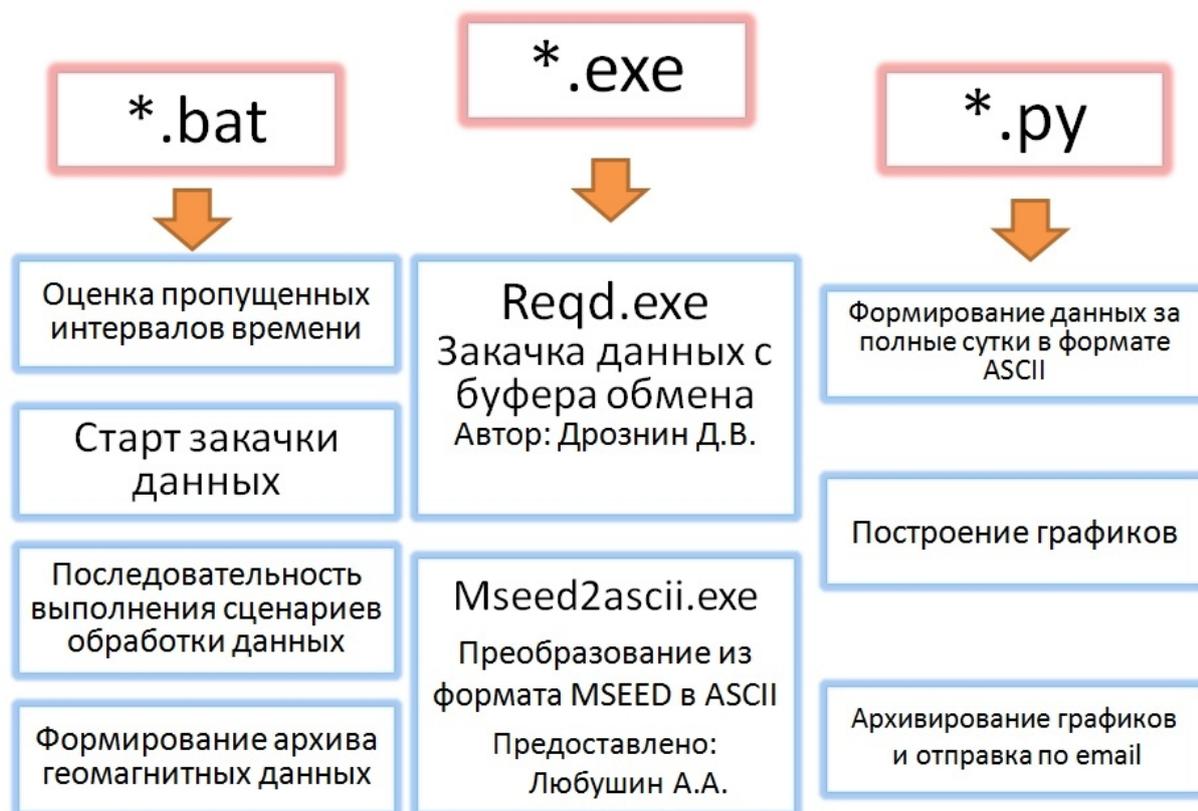


Рис. 3. Области применения пакета программ

Ежедневный запуск компьютера через BIOS осуществляется в 8 ч 40 мин по местному времени. После завершения первичной обработки геомагнитных данных компьютер выключается командой Windows shutdown.

Ежедневно организуется выполнение следующих действий:

1 - Оценивается интервал времени с пропуском данных. Закачиваются данные за целые сутки от последней загрузки до настоящего дня. Наличие связи с буфером обмена КГО «Карымшина» проверяется с помощью команды Windows ping. При отсутствии связи запускается цикл с пятиминутным ожиданием, который прекращается при установлении связи.

2 - Данные конвертируются из формата MSEED в формат ASCII.

Преимуществом данных в формате ASCII является то, что в таком формате они могут быть импортированы в большинство программ по обработке сигналов и массивов данных.

Файлы в формате MSEED, содержащие данные по трем каналам за сутки, хранятся в архиве без изменений. После преобразования данных в формат ASCII производится их дальнейшая обработка.

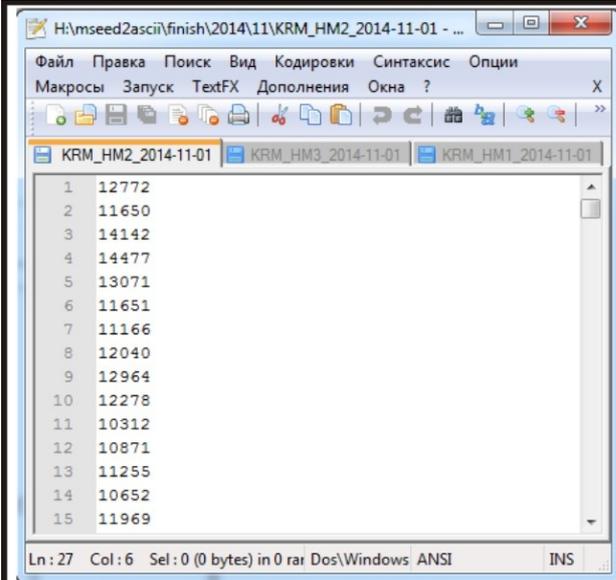
3 – Создание суточных файлов данных по каждому каналу.

Получаемые фрагменты данных с КГО «Карымшина» поступают с перекрытием и их длина превышает сутки. Для того чтобы суточный ASCII файл начинался с 00:00:00 UT и содержал 8640000 значений (100 отсч./с), лишние минуты удаляются.

4 – Заполнение пропусков в суточных файлах с помощью линейной интерполяции.

5 – Отправка полных суточных файлов данных в архив.

Краткое описание суточных файлов данных в формате ASCII, хранящихся в архиве, представлено на рис. 4.



ASCII-файл
<станция>_<канал>_<дата>.ascii

Один канал

Старт: 00:00:00 UT

Количество значений в каждом файле:
8640000

Средний объем одного файла: 53.8 Мб

Единицы измерения: отсчеты уровня

Рис. 4. Параметры ASCII-файла данных геомагнитных наблюдений

6 – Построение графиков геомагнитных данных.

Осуществляется построение волновых форм по трем каналам, их дисперсий, а также динамических спектров и среднесуточных спектров (рис. 5). С помощью таких графиков определяется состояние и работоспособность каналов, выделяются участки данных, на которые следует обратить особое внимание при дальнейшей обработке.

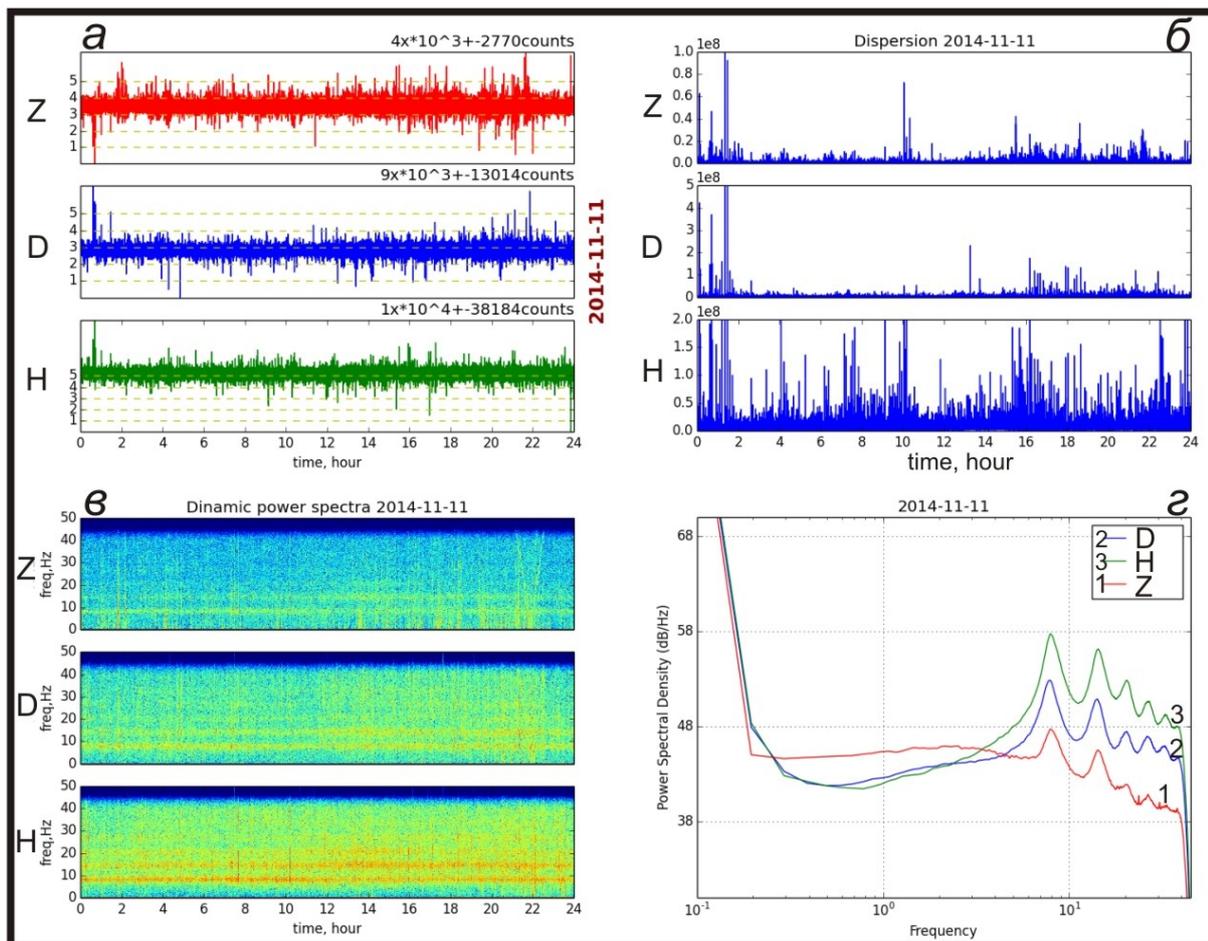


Рис. 5. Графики состояния геомагнитных данных по трем каналам за 11 ноября 2014 г. Волновые формы (а), дисперсия (б), динамические спектры (в), среднесуточные спектры (z).

7 – Архивирование графиков и отправление их по e-mail оператору и заинтересованным пользователям.

При наличии подключение к сети Internet с использованием электронной почты можно осуществлять просмотр и оценку состояния геомагнитных данных в режиме близком к реальному времени дистанционно, находясь не только на Камчатке, но и в др. городах России и мира.

8 – Просмотр и анализ суточных графиков и др. материалов оператором и построение сводной таблицы состояния геомагнитных данных (рис. 6).

В таблицах (рис. 6) представляются данные по работоспособности трех каналов магнитометра и заключения по пригодности данных наблюдений для дальнейшей обработки. В примечаниях к таблицам и в сносках

отображаются сведения, характеризующие особенности регистрации и записей.

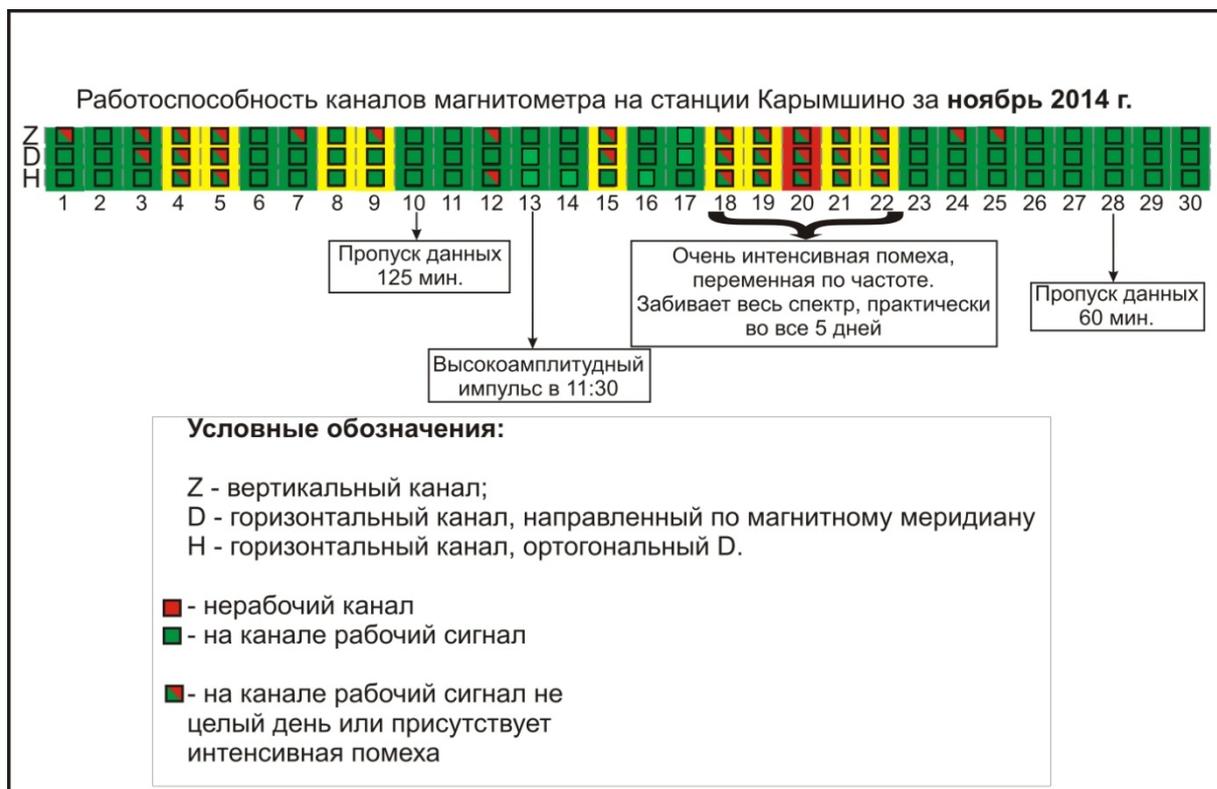


Рис. 6. Таблица состояния геомагнитных данных за ноябрь 2014 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием созданного пакета мини-программ обеспечивается ежедневный автоматический прием и первичная обработка данных геомагнитных наблюдений на КГО «Карымшина».

Созданная система автоматизации работы оператора использует возможности канала передачи данных с КГО «Карымшина» на приемный центр КФ ГС РАН в г. Петропавловске-Камчатском по Internet в режиме реального времени.

На следующих этапах работы планируется опробование ранее предложенных методик обработки данных геомагнитных наблюдений [2-6] в целях оперативной диагностики признаков подготовки землетрясений и оценки их сейсмопрогностической информативности.

Автор выражает благодарность научному руководителю д.г.-м.н. Копыловой Г.Н. за постановку работы, а также Сероветникову С.С. , Махмудову Е.Р. и Иванову В.В. за помощь в написании пакета программ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Берсенёва Н.Ю., Копылова Г.Н.** Электромагнитные наблюдения КФ ГС РАН в Камчатском сейсмоактивном регионе// Тезисы докладов IV международного симпозиума «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов», 23-29 июня 2014. Бишкек. 2014. С. 173-175.
2. **Haykawa M., Schekotov A.Y., Fedorov E.N., Hobara Y.** On the Ultra-Low-Frequency magnetic field depression for three huge oceanic earthquakes in Japan and in the Kurile Islands// Earth Science Reseach. 2013. Т.1. № 2. С. 33-40.
3. **Molchanov O., Schekotov A., Fedorov E. et all.** Preseismic ULF electromagnetic effect from observation at Kamchatka// Natural hazard and Earth system science. 2003. №3-4. С. 203-209.
4. **Schekotov A.Y., Molchanov O.A., Hattory K. et all.** Seismo-ionospheric depression of the ULF geomagnetic fluctuations at Kamchatka and Japan// Phys. Chem. EARTH . 2006. №31. С. 313-318.
5. **Shekotov A.Y., Molcanov O.A., Fedorov E.N. et all.** ULF/ELF magnetic field variations from atmosphere induced by seismicity// Radio Science. 2007. №42. С.1-13.
6. **Schekotov A.Y., Molchanov O.A., Chebrov V.N. et all.** About possibility to locate an EQ epicenter using parametrs of ELF/ULF preseismic emission// Natural hazard and Earth system science. 2008. №8. С. 1237-1242.

AUTOMATIZATION OF PREPROCESSING GEOMAGNETIC DATA AT KARYMSHINA OBSERVATORY, KAMCHATKA

Bersenyeva N.Y.

Kamchatka Branch of the Geophysical Survey RAS, nata@emsd.ru

Changes of three component of magnetic field are carried out with the magnetometer-variometer in the frequency range of ULF (0.003-40 Hz) at the complex geophysical observatory "Karymshina", Kamchatka. Since October, 2013 transfer of magnetic data to the KB GS RAS receiving center in Petropavlovsk-Kamchatsky has been provided with Internet channels in real time.

There are the characteristic of the created software for automatization of preprocessing and accumulation of geomagnetic data in the mode close to real time in the paper. It is for assessment of quality and suitability geomagnetic data for search of signals of preparation of strong earthquakes.

Keywords: induction magnetometer, geomagnetic observations, data transmission system, automatization, Python.

УДК 550.3

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ)

Глухова А.Н.¹, Павлова В.Ю.^{2,3}

¹*Дальневосточный федеральный университет*

²*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

³*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

Научный руководитель: к.г.-м.н., в.н.с. Делемень И.Ф.

Метод георадиолокации является одним из наиболее молодых и быстро развивающихся способов контроля состояния грунтов. Благодаря георадиолокации решаются разного рода инженерно-геологические задачи. В работе дана оценка важности использования метода георадиолокации с точки зрения строителя. Все эти результаты представлены на примере работ на объектах разного уровня социальной значимости в различных частях города Петропавловск-Камчатский.

Ключевые слова: метод георадиолокации, георадар, инженерно-геологические задачи, город Петропавловск-Камчатский.

ВВЕДЕНИЕ

Создание проекта и строительство без изучения и полного анализа геологических условий строительной площадки может привести к неравномерным осадкам зданий и сооружений, повреждениям и разрушениям инженерных сетей, к необратимым деформациям и их полному выходу из строя.

Оценка всех особенностей геологии территории, как основания инженерного сооружения, производится в ходе инженерно-геологических изысканий, от полноты и качества которых зависит достоверность оценки и прогноза взаимного влияния здания и его основания, позволяет выполнить наиболее экономичное проектирование и последующее строительство, обеспечить равномерную осадку здания без деформаций конструкций в течение всего эксплуатационного периода.

На основании полученных данных определяются наилучшие, наиболее оптимальные со всех точек зрения, тип и глубина заложения фунда-

мента с учетом всех вероятных факторов, влияющих на процесс строительства и эксплуатации инженерных конструкций.

В связи с этим в инженерно-геологические изыскания стали широко внедряться современные методы исследования, в том числе метод георадиолокации.

При инженерно-геологических изысканиях используются возможности георадара по сканированию грунта для строительства. Решаются следующие задачи:

- изучение геологических разрезов с определением мощностей слоев и типов пород;
- определение положения уровня грунтовых вод; выявление зон повышенной обводненности;
- выявления участков развития опасных геологических процессов (картирование оползневых структур);
- выявление месторасположения инженерных сетей, кабелей, трубопроводов и строительного мусора.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Передающая антенна георадара излучает электромагнитные импульсы, которые для получения высокой разрешающей способности имеют очень малую длительность (единицы и доли наносекунды) и достаточно широкий спектр излучения. Излученный передающей антенной в исследуемую среду электромагнитный импульс отражается от находящихся в ней предметов (как металлических, так и неметаллических), или любых неоднородностей, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость. Такими неоднородностями могут быть пустоты, границы раздела слоев различных пород, участки с различной влажностью и т.д. Отраженный сигнал принимается приемной антенной, преобразуется в цифровой вид и запоминается для дальнейшей обработки. При перемещении георадара по поверхности исследуемой среды на экран мони-

тора выводится совокупность сигналов (радарограмма³ или профиль), по которому можно определить местонахождение, глубину залегания и протяженность объектов (рис.1).

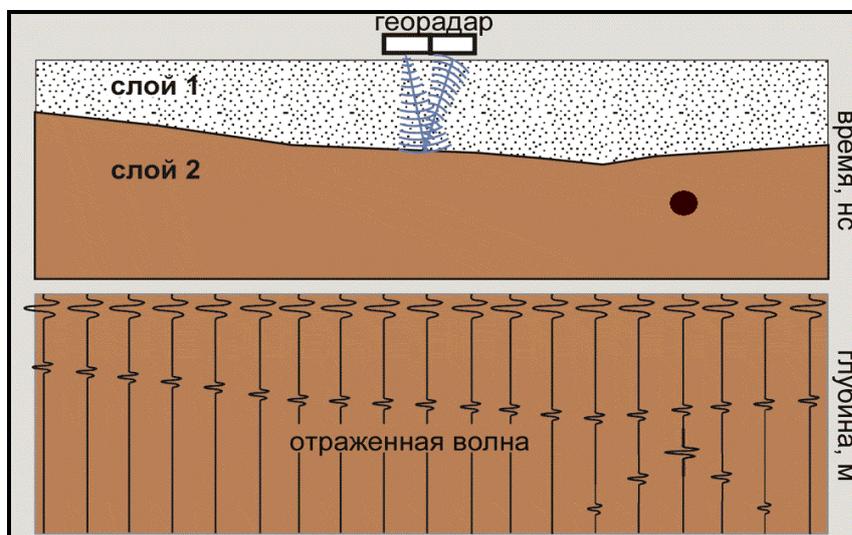


Рис. 1. Принцип метода георадиолокации [6].

Для исследований использовали георадар «ОКО-250» (НИИ Приборостроения им. В.В. Тихомирова). Состав георадара изображен на рис. 2, 3.



Рис. 2. Состав прибора георадар «ОКО-250».

³ Радарограмма - волновая картина, совокупность трасс вдоль профиля съемки, протяженные по глубине оси синфазности отраженного сигнала, белые (отрицательные полуволны) и черные (положительные полуволны).

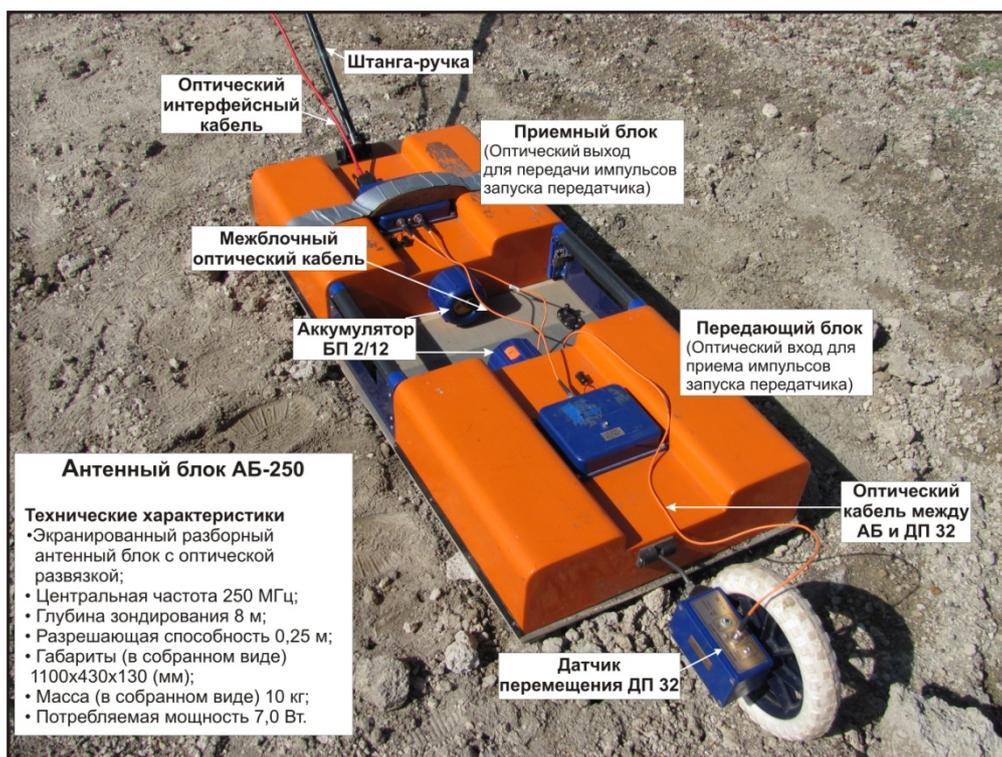


Рис. 3. Состав антенного блока АБ-250.

Во время проведения работ по георадиолокации применены следующие параметры: количество точек по глубине – 511; накопление – 20; шаг – 200 мм; количество точек по профилю – 2000; сдвиг – 8-9 м; развертка по глубине – 200 нс; скорость прохождения профиля – 1,2 км/ч.

На некоторых радарограммах была определена скорость электромагнитной волны ($V_{\text{ЭМВ}}$) по годографу отраженной электромагнитной волны и диэлектрическая проницаемость (ϵ), рассчитанная по формуле $(30/V_{\text{ЭМВ}})^2$ для протяженных осей синфазности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Возможности использования метода георадиолокации для решения инженерно-геологических задач изучены нами на примере города Петропавловск-Камчатский. В статье представлены результаты георадарных исследований на пяти объектах строительства и реконструкции зданий и сооружений (рис. 4).

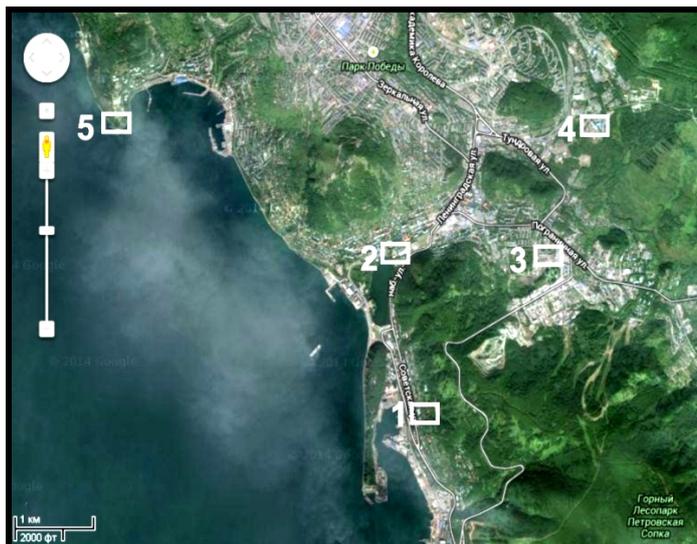


Рис. 4. Расположение объектов исследований на территории города Петропавловск-Камчатский. Условные обозначения: 1-КГБУ "Камчатский краевой объединенный музей", улица Ленинская, 20; 2 - стадион "Спартак"; 3 - район «Электрон»; 4 - территория предприятия; 5 - мыс Чавыча, площадка очистных сооружений. (космический снимок Image Landsat, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO www.eart.google).

Объект 1: КГБУ "Камчатский краевой объединенный музей", улица Ленинская, 20

Работы выполнены по заданию ООО НИЦ «Геоконсалтинг».

Задача: Уточнение инженерно-геологических условий для реконструкции здания, расположенного у подножия потенциально оползнеопасного склона.

На радарограммах, полученных при георадарном профилировании на трёх профилях общей протяженностью 122 м (рис.5) хорошо проявляется слоистая толща рыхлых отложений до глубин 2 – 3 м.

По полученным данным (рис. 6), на двух профилях 1 и 2, пройденных вдоль северо-восточной и северо-западной стен здания, рыхлые отложения не нарушены, слои залегают горизонтально. Предположительно эти отложения представлены насыпными грунтами, которые были отсыпаны здесь при планировке территории.

Ниже по склону (к западу от здания музея) в рельефе хорошо проявлена не глубокая (2-3 м) и не широкая (около 20 м) ложбина (рис. 6, профиль 3), она же видна над уступом, врезанном в склон при планировке

территории. Само же здание располагается на выровненной территории, сформированной за счет планировки и отсыпки этой ложбины.



Рис. 5. Схема расположения георадиолокационных профилей. Условные обозначения: 1-2 – профиль 1 (36 м); 3-4 – профиль 2 (29 м); 5-6 – профиль 3 (57 м). Космический снимок Image Landsat, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO www.earth.google.com).

Севернее и южнее участка располагаются другие ложбины, подобные описанной на территории музея. Северную ложбину пересекает георадарный профиль 3, и на нем видно, что мощность отложений, выполняющих её, невелика (5 - 6 м). Ложбины имеют, скорее всего, не аллювиальное, а пролювиальное происхождение, т.е. осадконакопление происходило при весеннем снеготаянии и осенних ливнях ⁴ (рис. 6).

С помощью георадарного профилирования на исследованной площадке оползневые тела в строении грунтового основания площадки не отмечены. Для обеспечения устойчивости склонов следует избегать подрезки склонов ниже площадки расположения здания музея (на участке трассы улица Ленина), а также нарушения условий дренажа грунтовых вод выше по склону (на участке улиц Партизанская и Чирикова)⁴.

⁴ Делемень И.Ф., Павлова В.Ю., Константинова Т.Г. Уточнение инженерно-геологических условий краеведческого музея в г. Петропавловске-Камчатском на ул. Ленинская, 20. Отчет. Петропавловск-Камчатский. 2012. 25 с. Архив ООО НИЦ «Гео-консалтинг».

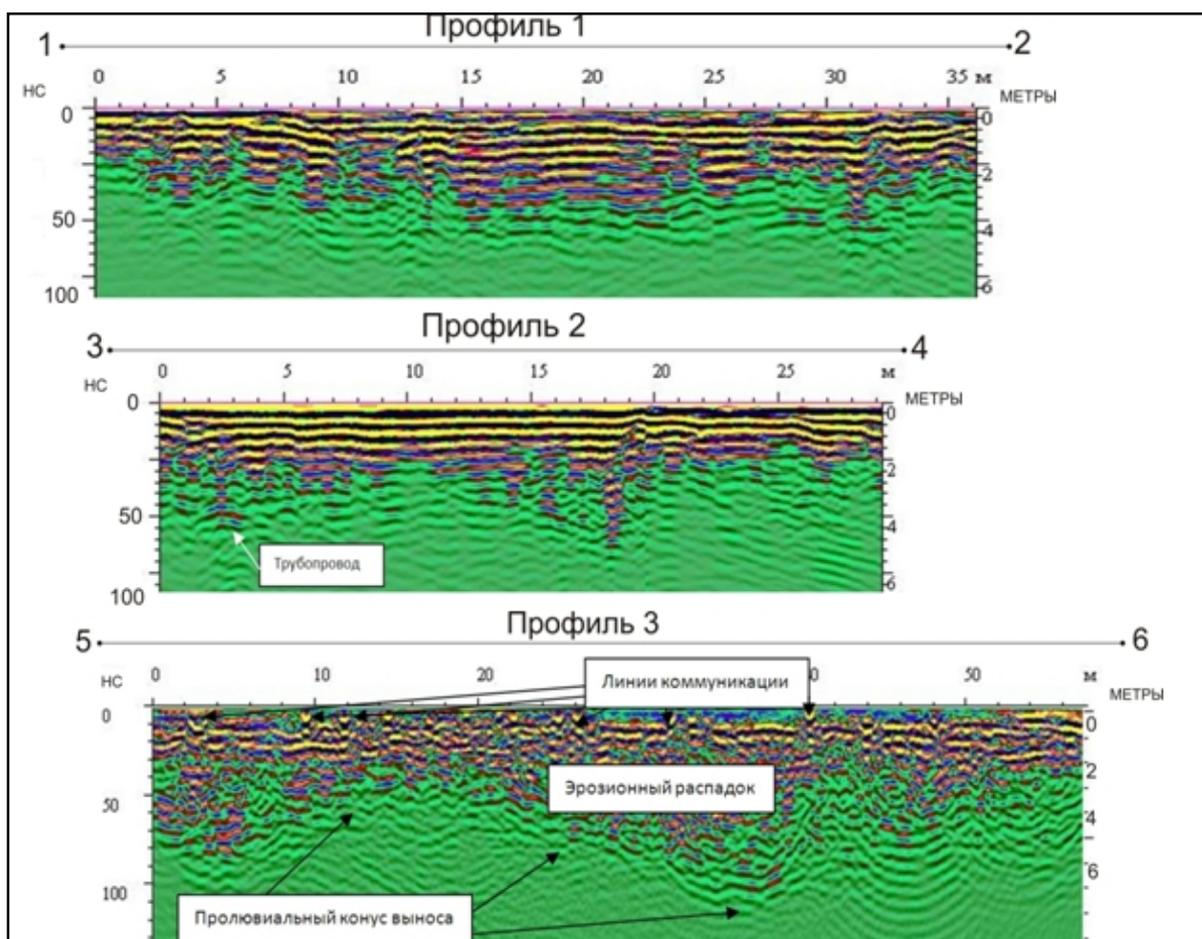


Рис. 6. Радарограммы по профилям на территории КГБУ "Камчатский краевой объединенный музей", улица Ленинская, 20.

На карте сейсмического микрорайонирования исследуемая площадка находится в подзоне 9 Б. В эту подзону вошли участки, сложенные супесчаными и щебенистыми грунтами, плотными и средней плотности, при уровне грунтовых вод ниже 3 м от поверхности. В этой же подзоне делювиальные, аллювиально-морские и элювиально-делювиальные отложения средней плотности, представленные крупнообломочными отложениями (при уровне грунтовых вод ниже 2 м) [1, 3, 4].

При соблюдении рекомендаций о соблюдении условий дренажа вышележащих склонов и сохранении нижележащих склонов (не подрезать их) общая устойчивость данного склона и устойчивость основания здания музея обеспечена.

Объект 2: Стадион «Спартак»

Работы выполнены по заданию ОАО «КамчатТИСИЗ».

Задача: строительство нового стадиона.



Рис. 7. Схема расположения георадиолокационных профилей. Условные обозначения: 1-2 – профиль 1 (52 м); 3-4 – профиль 2 (39 м); I – скважина С-5329/15; II – скважина С-5332/20. Космический снимок Image Landsat, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO www.earth.google.com.

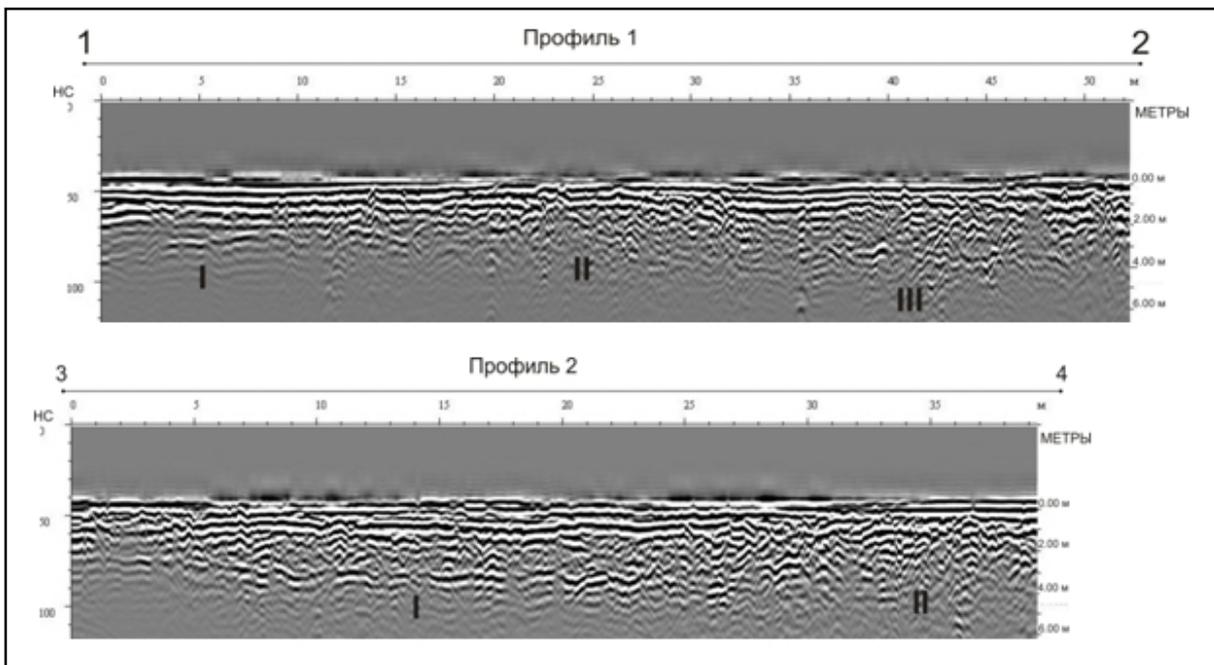


Рис. 8. Радарограммы по профилям на территории стадиона «Спартак». Выделение георадарных фаций (пояснение в тексте).

На двух профилях общей протяженностью 91 м (рис.7) можно выделить участки, на которых наблюдается смена георадарных фаций, которые выделены в соответствии с работами отечественных и зарубежных авторов [5, 7, 8], обусловленных изменением конфигурации осей синфазности отраженных волн, их интенсивностью и протяженностью, а также изменением $V_{\text{эмв}}$, степенью влажности отложений и неоднородным литологическим строением толщи.

Вертикальное расчленение разреза обусловлено особенностями волновой картины:

На профиле 1 можно выделить 3 участка, на которых наблюдается смена георадарных фаций (рис. 8):

I – субгоризонтальное наклонное расположение осей синфазности;

II – субгоризонтальное хаотическое расположение осей синфазности;

III – хаотическое расположение осей синфазности, наличие дифракций, обусловленных наличием строительного мусора, бетона, обрезков древесины (по данным скв. № 5329)⁵.

На профиле 2 можно выделить 2 участка, на которых наблюдается смена георадарных фаций (рис. 8):

I – субгоризонтальное хаотическое расположение осей синфазности;

II – хаотическое расположение осей синфазности, наличие дифракций, обусловленных наличием строительного мусора, песка древесного с обломками стекла (по данным скв. №5332).

Профиль 1 (рис. 9): Геологическая привязка к скважине №5329, дата проходки: 28.12.2012 г. 1 слой – насыпной щебенистый грунт. Скорость

⁵ Здесь и далее при геологической интерпретации радарограмм на площадке расположения данного объекта использованы предоставленные заказчиком описания геологических разрезов скважин, пробуренных ООО «КамчатТИСИЗ».

электромагнитной волны (ЭМВ) $V_{\text{ЭМВ}} = 10-15,17$ см/нс; $E = 3,92-9$ соответствует подошве слоя.

Двойное время прихода отраженной волны около 70 нс. Мощность слоя меняется от 2 до 3 м. Оси синфазности отраженных электромагнитных волн на временных разрезах расположены горизонтально, что свидетельствует о горизонтальном расположении границ в разрезе. 2 слой – ил черный текучий заторфованный. Скорость ЭМВ варьирует от 7,5 (похоже, водонасыщенный участок на расстоянии около 15 м от начала профиля) до 9,54. Характерны небольшие изменения значений диэлектрической проницаемости 9,86 до 16 (водонасыщенный участок на расстоянии около 15 м от начала профиля). Двойное время прихода отраженной волны до 88 нс. Мощность слоя меняется в пределах от 0,5 до 2,9 м. 3 слой – щебенистый грунт с песчаным заполнителем, насыщенный водой. К сожалению, на радарограмме не прослеживаются оси синфазности.

Профиль 2 (рис. 9): Геологическая привязка к скважине №5332, дата проходки: 28.12.2012 г. 1 слой – насыпной щебенистый грунт. Скорость электромагнитной волны (ЭМВ) $V_{\text{ЭМВ}} = 13,6-14,7$ см/нс; $E = 4,16-4,88$ соответствует подошве слоя. Двойное время прихода отраженной волны около 65 нс.

Мощность слоя меняется от 2 до 3 м. Оси синфазности отраженных электромагнитных волн на временных разрезах расположены горизонтально, что свидетельствует о горизонтальном расположении границ в разрезе. 2 слой – ил черный текучий заторфованный, с обломками стекла (намывной грунт). Мощность меняется от 0,5 до 2,5 м. На глубине порядка 3,5 м (по радарограмме, по скважине – 2,7 м) залегают грунтовые воды, которые выделяются четкой протяженной осью синфазности и $V_{\text{ЭМВ}} = 5$ см/нс; $E = 36$. 3 слой – щебенистый грунт с песчаным заполнителем, насыщенный водой.

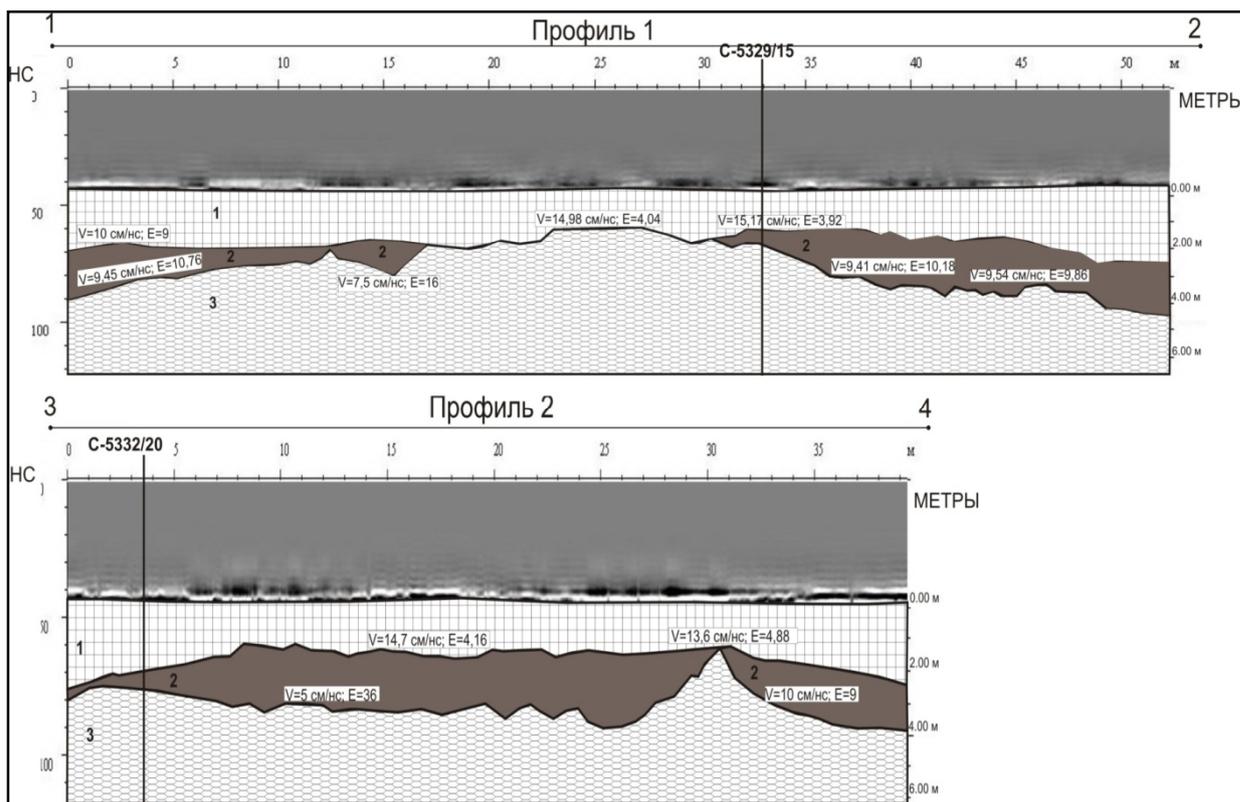


Рис. 9. Радарограммы по профилям на территории стадиона «Спартак». Геологическое описание (пояснение) в тексте.

Объект 3: район «Электрон».

Работы выполнены по заданию ООО НИЦ «Геоконсалтинг».

Задача: строительство жилого корпуса Камчатского государственного университета имени Витуса Беринга.



Рис. 10. Схема расположения георадиолокационных профилей. Условные обозначения: 1-2 – профиль 1 (76 м); 3-4 – профиль 2 (80 м).

На участке выполнено профилирование георадаром «ОКО-250» на двух профилях общей протяженностью 156 м (рис.10).

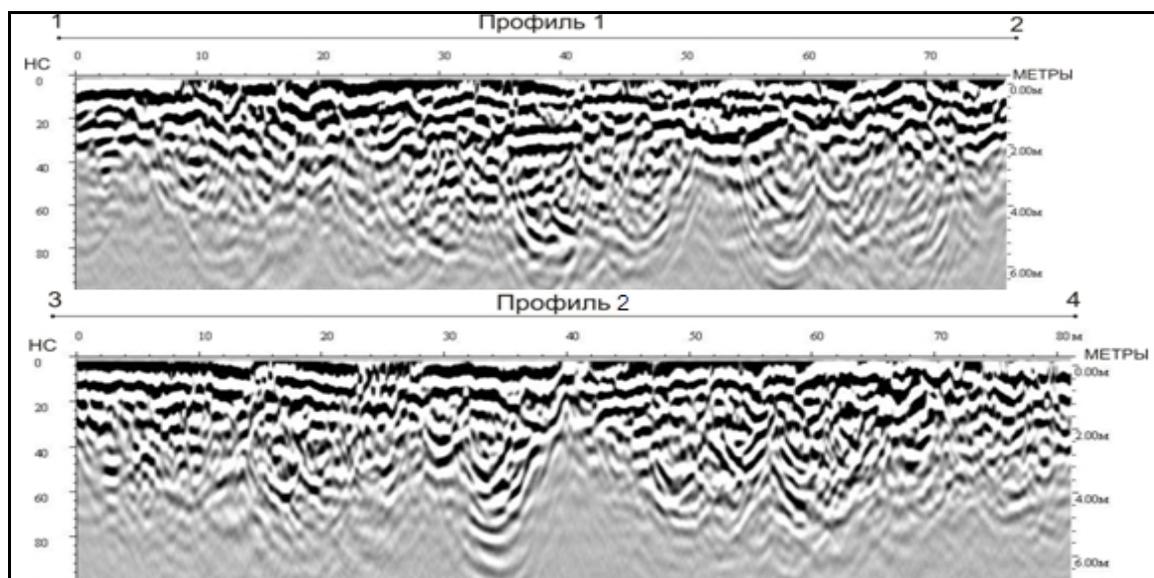


Рис. 11. Радарограммы по профилям на территории района «Электрон».

Волновая картина на радарограммах по двум профилям представлена волнами дифракции (рис. 11). Выявлен строительный мусор до глубины 2 м, что подтвердилось данными бурения. Данный слой непригоден для закладки фундамента здания, эти грунты подлежат удалению при заложении фундаментов.

Объект 4: территория предприятия, расположенного в микрорайоне Кирпичики⁶.

Работы выполнены по заданию ООО «Квантум».

Задача: выявление кабелей связи, отсутствующих на инженерной схеме.

Часто данные о местоположении линейных подземных коммуникаций отсутствуют либо закрыты, а хотя повреждения их приводит к штрафным санкциям при бурении скважин или при земляных работах. Поэтому определение их точного расположения становится важной задачей.

⁶ В связи с требованиями заказчика, название предприятия не разглашается.

Метод георадиолокации позволяет выявлять кабели связи, которые часто выделяются на радарограммах в виде аномальных участков – вертикальных зон так называемой “звучащей” записи, интенсивность которой практически не меняется с увеличением времени (рис. 12).

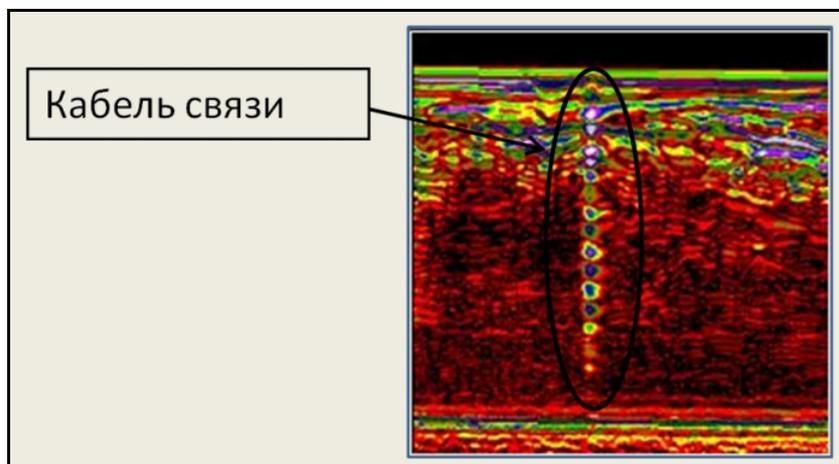


Рис. 12. Фрагмент георадиолокационного профиля над кабелем связи. Характерная “звучащая” запись. Наличие кабеля подтверждено вскрытием.

Объект 5: мыс Чавыча, площадка очистных сооружений.

Работы выполнены по заданию ООО НИЦ «Геоконсалтинг».

Задача: реконструкция в связи с увеличением расходов сточных вод и возросшими требованиями к качеству очищенной воды.

В 1998 г. было обращено внимание на наличие признаков оползневой опасности склонов на участке размещения очистных сооружений⁷. Поэтому при проведении инженерно-геологических изысканий в 2011-2012 годах под реконструкцию очистных сооружений, было принято решение изучить оползневую опасность территории с использованием комплекса геолого-геофизических методов. Было установлено наличие современных оползневых деформаций склона, и опасность их развития в будущем⁸. Уже

⁷ Делемень И.Ф. Заключение об оползневой опасности склонов на участке размещения очистных сооружений на мысе «Чавыча» / Институт вулканологии ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский. 1998. 20 с.

⁸ Делемень И.Ф., Константинова Т.Г., Акбашев Р.Р., Бубнов А.Б., Берсенёва Н.Ю., Лунгул О.М., Павлова В.Ю., Рылов Е.С. Уточнение сейсмических условий и оползневой опасности на объекте «Реконструкция канализационных очистных сооружений "Чавыча"». Петропавловск-Камчатский. 2012. 117 с. Архив ООО НИЦ «Геоконсалтинг».

в начале работ по реконструкции очистных сооружений с реализацией противооползневых мероприятий, 24 февраля 2013 года при проходке одной из траншей при обвале грунта, слагавшего борт траншеи, погиб рабочий.

С ноября 2011 г. по апрель 2012 года на мысе Чавыча ООО НИЦ «Геоконсалтинг» были выполнены сейсморазведочные работы по методу преломленных волн в комплексе с методом георадиолокации.

В результате проведения работ удалось обнаружить тела древних оползней и склон палеоручья. Подробно результаты данной работы были представлены на конференции и были опубликованы [2].

ВЫВОДЫ

- Показано, что в условиях г. Петропавловска-Камчатского метод георадиолокации позволяет проводить инженерно-геологические изыскания, не нарушая целостность поверхности; даёт возможность работы с самыми различными типами геологических; обеспечивает мобильность и высокую скорость проведения работ; требует минимального количества обслуживающего персонала; характеризуется обнаружением и картографированием неоднородностей в режиме «реального времени», а также возможностью точного определения глубины залегания картируемых границ.

- Метод георадиолокации эффективен в условиях тесной городской застройки с интенсивным движением транспорта и мощными электромагнитными помехами. Сканирование георадаром позволяет оценить различные аспекты пригодности грунтового основания для застройки. Важно отметить значимость георадара для выявления оползневых зон и месторасположения инженерных сетей. Георадиолокация позволяет также оценивать содержание влаги и эрозию грунтов.

- Выполненные георадарные исследования на пяти строительных объектах г. Петропавловска-Камчатского позволили уточнить строение грунтового основания (объект 1), распределение литологических типов грунтов в разрезе (объект 2), мощности техногенных грунтов (объект 3), выявить положение линейных коммуникаций (объект 4) и уточнить строение оползневых склонов (объект 5). Благодаря полученным данным, появляется возможность принять правильные решения при проектировании объектов строительства, в результате чего инженерные изыскания становятся менее затратными.

Работы выполнены по заказам ООО НИЦ «Геоконсалтинг», ОАО «КамчатТИСИЗ» и ООО «Квантум». Публикация результатов согласована с указанными организациями, а дополнительная обработка первичных данных выполнена в рамках Программы стратегического развития ФГБУ ВПО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга» на 2012 – 2016 г.

Благодарности: научному руководителю к.г.-м.н. И.Ф. Делемену, директору ООО «Камчатск-ЭнергоСпецРемонт» В.И. Чеховичу, генеральному директору ОАО «КамчатТИСИЗ» С.А. Гуськовой, генеральному директору ОАО «Квантум» Н.Ю. Абиеву и генеральному директору ООО НИЦ «Геоконсалтинг» И.В. Шатило за сотрудничество и полезные консультации.

Литература

1. Константинова Т.Г., Шарапов В.Г. О принципах построения карты сейсмического микрорайонирования территории г. Петропавловска-Камчатского. М.: «Наука». 1977. С.232-236.
2. Лунгул О.А., Павлова В.Ю. Уточнение сейсмических условий и оползневой опасности на площадке очистных сооружений (мыс Чавыча, п-ов Камчатка) // Материалы X региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле». 28-29 ноября 2012 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2012. С. 85-100.
3. Отчет по макросейсмическому обследованию последствий землетрясения 25 (24) ноября 1971 года на территории г. Петропавловска-Камчатского. Альбом I. Пояснительная записка. Г. Петропавловск-Камчатский. 1974 г.
4. Сводный отчет по сейсмическому микрорайонированию г. Петропавловска-Камчатского, Часть 1. Инструментальное сейсмическое микрорайонирование. Том 1. Текст и графические приложения. 1974 г.
5. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. М: МГУ, 2008. С. 42-52.
6. Техническое описание. Инструкция по эксплуатации. Око-2. Раменское: ООО «Логические Системы». 2007. 93 с.
7. Baker, P.L. Response of ground penetrating radar to bounding surfaces and lithofacies variations in sand barrier sequences. *Expl Geophys* 22, 1991, pp. 19-22;
8. Csaba Ekes, E.J. Hickin. Ground penetrating radar facies of the paraglacial Cheekye Fan, southwestern British Columbia, Canada / *Sedimentary Geology*. 143. 2001. pp.199-217. www.elsevier.com/locate/sedgeo).

APPLICATION OF GPR METHOD TO DECISION ENGINEERING-GEOLOGICAL TASKS (BY EXAMPLE OF PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY CITY)

Gluhova A.N.¹, Pavlova V.Yu.^{2,3}

¹*Dalnevostochny Federal University*

²*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS*

³*Kamchatka Vitus Bering State University*

GPR method is one of the youngest and fastest growing ways to monitor the status of the soil. GPR method solves different engineering-geological tasks. The paper assesses the importance of using GPR method from the viewpoint of the builder. All of these results are presented on the example of works on objects of different levels of social significance in different parts of Petropavlovsk-Kamchatsky city.

Keywords: GPR method, ground-penetrating radar, engineering-geological tasks, Petropavlovsk-Kamchatsky city.

УДК 550.34+551.21

СЕЙСМИЧЕСКОЕ ДРОЖАНИЕ ВУЛКАНА ГОРЕЛЫЙ (2007-2014 гг.)

Яблочкина К.А.

Камчатский филиал геофизической службы РАН

Научный руководитель: к.г.-м.н. Иванов В.В.

Особенности сейсмического дрожания вулкана Горелый в период его чисто газовой активизации с 2007 по 2014 гг. изучены по данным сети из четырех радиотелеметрических сейсмических станций с короткопериодной аппаратурой. Во время наивысшей активности во второй половине 2010 г. тепловая мощность газовых струй достигала 2000 МВт, что соответствует расходу ~600 кг/с водяного пара с температурой 800⁰С (около 50 тыс. т в сутки). Активизация сопровождалась вулканическим дрожанием (ВД) в течение 6.7 лет с мощностью сейсмического источника до 80 кВт. Отношение мощности ВД к тепловой мощности газовых струй оказалось очень низким (порядка тысячных долей процента), что было характерно и для предыдущих активизаций вулкана. Это на 1-2 порядка ниже, чем во время стромболианских извержений вулканов Ключевской или Алаид. То есть источник ВД Горелого имеет очень низкую эффективность и дрожание, вероятно, не связано с мощными гидродинамическими процессами при разрушении его андезибазальтовой магмы у поверхности земли, а порождается потоками вулканических газов при их продвижении к поверхности (барботажа газов сквозь воды озера в активном кратере, их турбулентность и т.п.). Дрожание выделялось на фоне микросейсм в диапазоне частот от 0.35 до 20 Гц, с максимумом спектральной плотности в полосе от 0.5 до 1 Гц. С ослаблением активности ВД трансформировалось в слабые поверхностные вулканические землетрясения.

Ключевые слова: вулканическое дрожание, вулкан Горелый, тепловая мощность, расход пара

ВВЕДЕНИЕ

Сейсмологический метод является дистанционным методом изучения вулканического процесса, мониторинга и прогноза вулканических извержений [26]. Сейсмическое дрожание на вулканах (в советской и российской литературе обычно называемое *вулканическим дрожанием, ВД*) представляет собой непрерывные колебания, близкие к гармоническим [20]. Они отличаются от импульсных сейсмических сигналов (вулканических землетрясений) значительно бóльшей длительностью, которая может составлять от нескольких минут до нескольких дней, недель и даже лет. Выделить вступления волн на записях ВД невозможно, что роднит его с

т.н. «эксплозивными вулканическими землетрясениями» (событиями IV типа по классификации П.И. Токарева) и «сериями низкочастотных вулканических землетрясений» [5, 20, 27]. Поэтому определять местоположение источников ВД методами классической сейсмологии не удастся; для этого необходимо развертывание больших сейсмических групп в ближней зоне [3, 25]. ВД связывают с процессами дегазации магм, что обычно происходит со взрывами, движением газов и др. явлениями; оно иногда наблюдается и на геотермальных системах. По характеру записей дрожание подразделяется на два основных типа: а) в котором периоды и амплитуды колебаний достаточно однородны («гармоническое») и б) с большим диапазоном изменения периодов и амплитуд («спазматическое» дрожание) [24]. Изучение источников ВД и слежение за его параметрами полезно для целей мониторинга и прогноза извержений вулканов [21, 26]. До сих пор природа источников ВД и связь его параметров с физическими параметрами извержений или магматических систем изучены недостаточно.

Сейсмологические наблюдения на вулкане Горелый ведутся с августа 1980 г. вначале с помощью одной, а с 2008 г. с помощью трех сеймостанций [14]. В предыдущие годы группой авторов [3] изучались спектральные особенности ВД, направление на его источник, характеристики сейсмического режима вулкана во время извержения. Сейсмический режим во время последней активизации вулкана Горелый (2007-2013 гг.) описывается в работах [1, 19]. Увеличение уровня ВД в июне 2010 г. авторы связывают с образованием новой фумаролы. Ими впервые отмечены эпизоды резкого кратковременного усиления ВД. Летом 2013 г. новосибирские исследователи из Института нефтегазовой геологии и геофизики установили на вулкане Горелый 21 сейсмическую станцию. В работах [15, 16] приведены первые результаты сейсмической томографии недр вулкана Горелый за период с августа 2013 г. по август 2014 г., согласно которым отношение скоростей продольных и поперечных волн для этого вулкана

оказалось неожиданно низким – всего 1.5. Такие низкие отношения скоростей характерны для мест с высокой фумарольной активностью. Последняя активизация вулкана Горелый имела место в 2007-2013 гг., происходила в его активном кратере в форме подводной разгрузки вулканических газов в виде грифонов в кратерном озере, а также мощной, в основном, парогазовой активности из образовавшегося в июне 2010 г. жерла.

Целью работы является первое предварительное изучение ВД вулкана Горелый и соотношение его с данными вулканической активности последней активизации с 2007 по 2014 гг. Задачами исследования были оценка эффективности сейсмического источника ВД, спектральный анализ микросейсм и ВД на станциях сети в районе вулкана, выявление характерных особенностей огибающей сигнала. Для этого оценивалась тепловая мощность струй вулкана во время его активизации.

СТРОЕНИЕ ВУЛКАНА И ХАРАКТЕР ЕГО АКТИВНОСТИ

В строении вулкана участвуют две постройки – древняя и современная. Древняя постройка имеет щитообразную форму. В центре ее расположена кальдера размером 13×12 км. Современная постройка представляет собой линейный вулканический хребет длиной 3 км, вытянутый в субширотном, западно-северо-западном направлении вдоль рифтовой зоны вулкана. Она состоит из трех главных, длительно действовавших конусов (Горелый-1-3) и более чем трех десятков конусов одноактных побочных прорывов. Современная активность имеет место в среднем конусе (Горелый-2) в одном из кратеров (рис. 1). Состав пород современной постройки базальтовый, андезибазальтовый [13, 18].

По данным [2], после окончания извержения в активном кратере вулкана обычно образуется кислое термальное озеро, уровень которого повышается со временем. При следующем извержении, озеро исчезает. При значительном увеличении темпа поступления в него горячих вулканических газов на поверхности озера возникают грифоны (подводные изверже-

ния). Термальное озеро в 2011-2013 гг. появлялось в результате таяния снежного покрова в кратере, но спустя короткое время вновь исчезало за счет испарения, связанного с высоким тепловым потоком, поступающим из зоны магматического питания [6-8, 17].



Рис. 1. Плановый аэрофотоснимок среднего конуса вулкана Горелый (Горелый-2). Левый кратер – провал – активный, на его дне расположено кислое термальное озеро. Диаметр активного кратера около 500 м, а глубина ~90 м. Пунктиром обозначено место нового жерла, образовавшегося в 2010 г. Фото А.Ю. Озерова. 16 августа 2003 г.

На РТСС установлены стандартные трехкомпонентные комплекты короткопериодной сейсмологической аппаратуры с собственным периодом сейсмометров $T_s=1.2$ с, а также высокочастотным вертикальным каналом ($T_s=0.2$ с), регистрируют скорость смещения почвы в диапазоне 0.8-20 Гц [4]. В Мутновско-Гореловском районе надежная регистрация осуществляется для землетрясений с энергетическими классами $K_s \geq 4.5$ [14].

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ

Сейсмический режим во время последней активизации вулкана Горелый изучался по данным четырех радиотелеметрических сейсмостанций (РТСС) GRL, MTV, ASA и RUS, расположенных на расстояниях 2.5, 13, 21 и 35 км от активного кратера вулкана, соответственно (рис. 2).

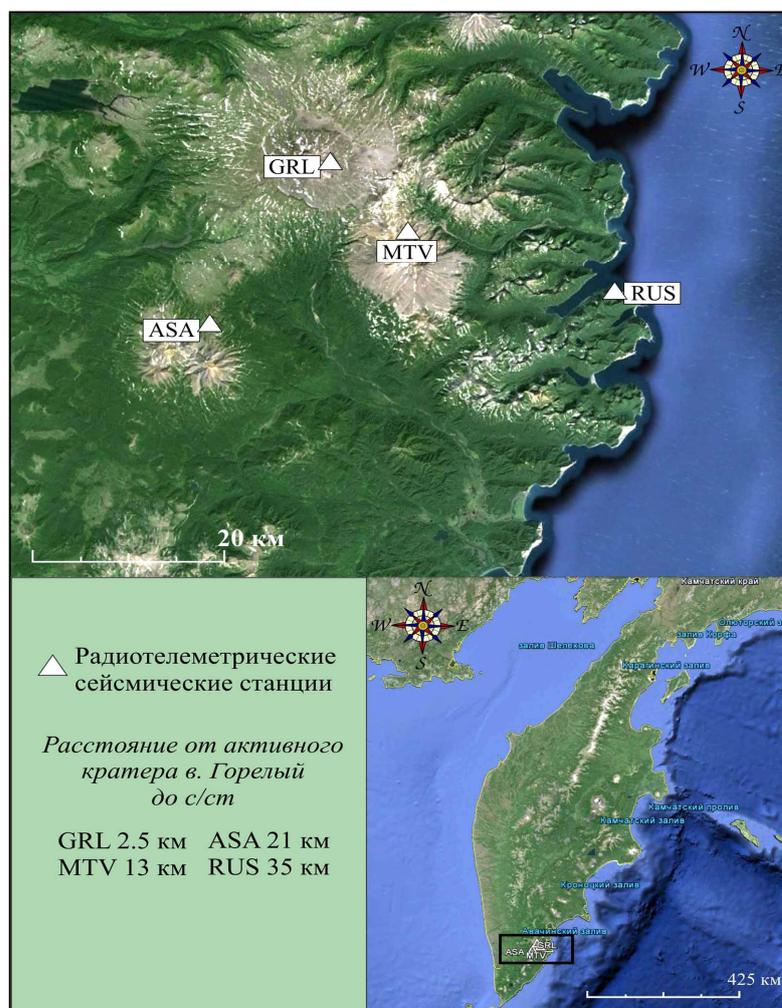


Рис. 2. Сеть радиотелеметрических сейсмостанций в районе влк. Горелый с ноября 2008 г.

В процессе работы использовались данные лаборатории исследования сейсмической и вулканической активности КФ ГС РАН (<http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm>, <http://ts.emsd.ru/all.php>). Анализ цифровых сейсмограмм производился в программе DIMAS [10].

Обнаружение ВД на фоне микросейсм. Поскольку ВД имеет большую длительность, в его записи всегда присутствуют, как микросейсмы океаниче-

ского происхождения, так и ветровые помехи. С целью выделения ВД на записях сейсмостанции GRL проводилось сравнение спектральной плотности мощности (СПМ) сейсмического сигнала на этой станции с СПМ на PTCC GRL, MTV, ASA и RUS в период отсутствия ВД. Сравнение показало, что СПМ на записях PTCC GRL, MTV, ASA в рабочем диапазоне частот (0.2-3 Гц) различаются незначительно ~ 4 дБ (рис. 3).

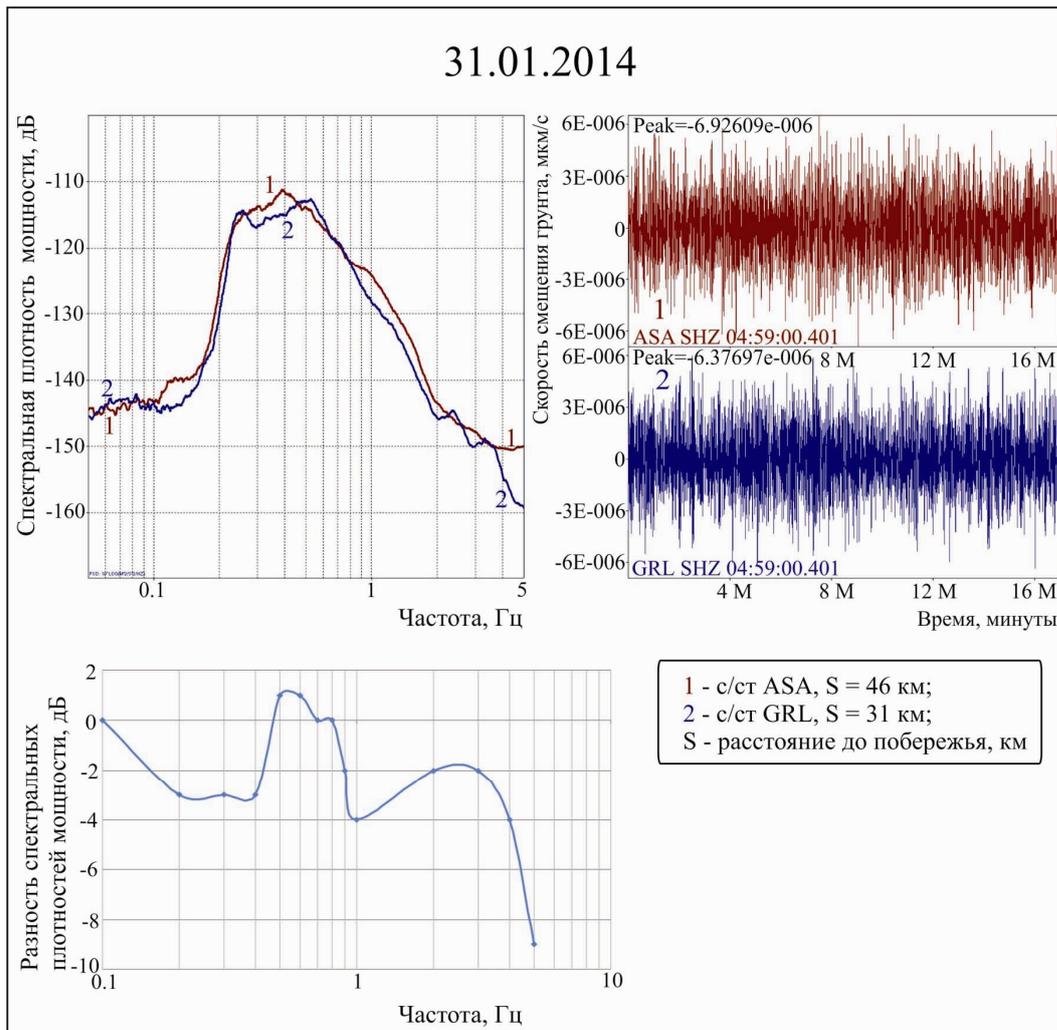


Рис. 3. Примеры записи микросейсмического шума на станциях GRL и ASA во время «микросейсмической бури», их спектральные плотности мощности и разность плотностей. 31.01.2014 (Вертикальные каналы).

Вероятно, это объясняется близкими условиями расположения сейсмостанций относительно береговой зоны, а также близкими их абсолютными высотами и сходными ветровыми режимами. Сейсмостанции MTV и ASA записывали не только микросейсмические сигналы, но и ВД от Горелого, при этом

амплитуда сигнала ВД там была в 4-6 раз ниже, чем на станции GRL. За неимением лучшего, в качестве оценки текущего уровня микросейсм на станции GRL использовать соответствующие величины для станций MTV и ASA. Это приводило к следующему простейшему критерию обнаружения сигнала ВД на фоне шумов: если уровень сигнала на сейсмостанции GRL значимо превосходил уровень сигналов на сейсмостанциях MTV и ASA, то полагалось, что на вулкане Горелый имело место ВД.

ДИНАМИКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ И ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ВУЛКАНА ГОРЕЛЫЙ В 2007-2014 ГГ.

На рисунке 4 приведена динамика сейсмической и вулканической активности вулкана Горелый за 2007-2014 гг. (рис. 4 а, б). На основании сопоставления сейсмической и вулканической активностей выделяются три фазы (рис. 4):

Первая фаза (апрель 2007 – июнь 2010 г.) охватывает период с момента обнаружения ВД в апреле 2007 г. и до появления жерла в середине июня 2010 г., во время которой над вулканом по наблюдениям из г. Петропавловск-Камчатский изредка были видны невысокие (до 0.5 км) паровые облака.

Вторая фаза (июнь 2010 – декабрь 2013 г.) наступила после образования нового жерла, сопровождавшегося резким повышением уровня ВД. По визуальным наблюдениям в этот период начали появляться термальные аномалии на спутниковых снимках, а вулканические облака стали подниматься до 2 км над вулканом. Фаза завершилась снижением активности по визуальным наблюдениям и прекращением дрожания.

Третья фаза с декабря 2013 г. по настоящее время (ноябрь 2014 г.) характеризуется отсутствием ВД. Дрожание трансформировалось в местные землетрясения IV типа и серии низкочастотных событий.

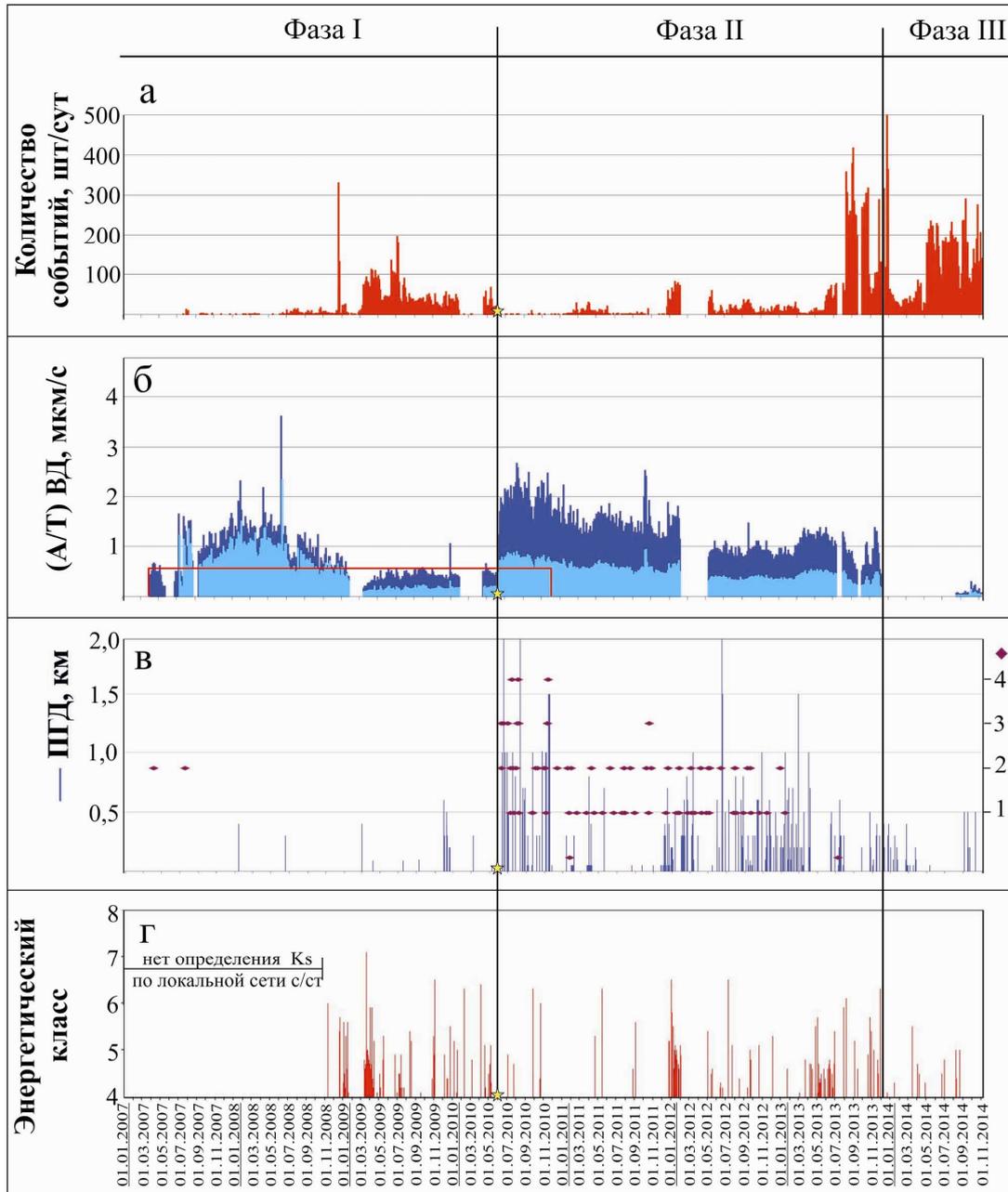


Рис. 4. Сейсмический режим и активность вулкана Горелый по визуальным и спутниковым данным в 2007-2014 гг.: а) ежесуточные количества местных вулканических событий I-IV типов; б) отношения амплитуды к периоду вулканического дрожания (ВД) по данным с/ст. GRL: светлым – средние, темным – максимальные за сутки; в) визуальные и спутниковые наблюдения: вертикальные линии – высоты парогозовых облаков, ромбы - термальные аномалии; г) энергетический класс местных землетрясений, определенных по сети станций; звездочка – момент образования нового жерла; квадратная скобка – период, когда наблюдались «ступени» ВД.

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДРОЖАНИЯ ВУЛКАНА ГОРЕЛЫЙ

Отметим некоторые характерные особенности дрожания.

1) Возникновение вулканического дрожания не было следствием слияния часто следующих событий IV типа. Оно впервые было выделено в апреле 2007 г. сразу как продолжительный непрерывный спазматический сигнал.

2) Эффективную полосу частот, занимаемую ВД по уровню 20 дБ можно оценить в 0.35-3.5 Гц. Максимум спектральной плотности мощности сигнала ВД располагается в диапазоне 0.6-0.9 Гц (рис. 5). Мощность сигнала ВД на станции GRL значимо превосходила таковую на станции ASA в диапазоне от 0.3 до 12 Гц (по уровню 10 дБ).

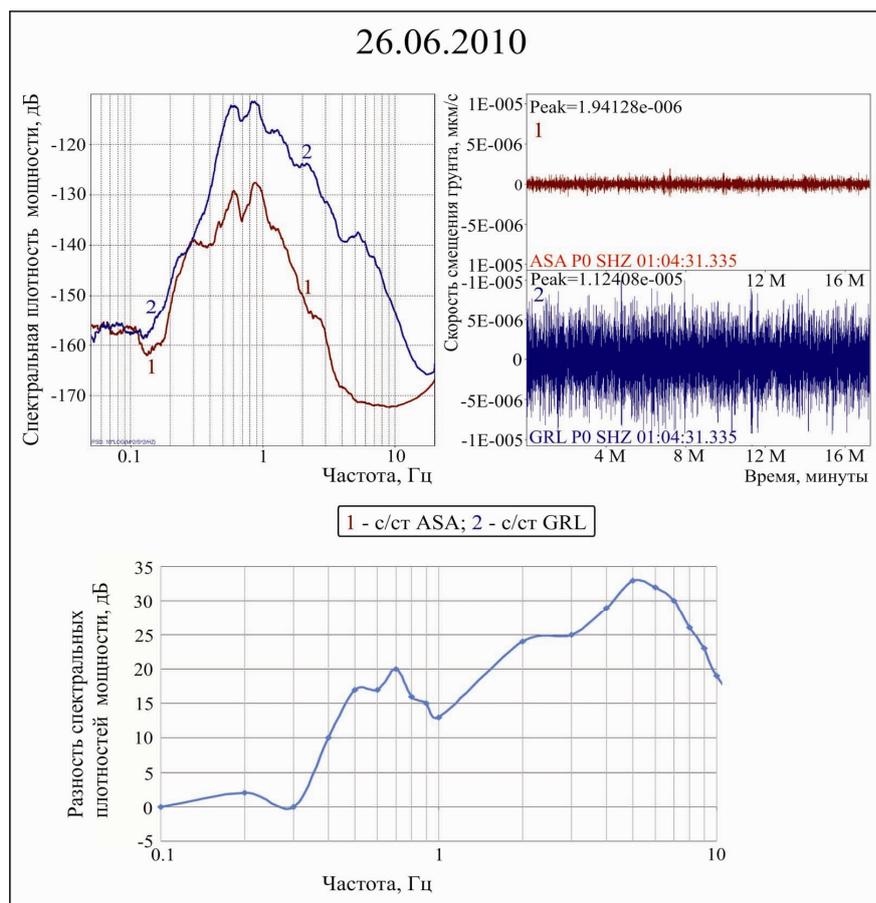


Рис. 5. Примеры сейсмограмм ВД на станциях GRL и ASA, их спектральные плотности мощности и разность плотностей. 26.06.2010 (Вертикальные каналы).

3) Часто увеличение уровня ВД происходило резкими «ступенями» длительностью от нескольких часов до первых суток, некоторые из них были многофазными. После завершения «ступени» происходило некоторое повышение уровня ВД (рис. 6). В 2007-2010 гг. можно было насчитать несколько десятков таких явно выраженных «ступеней».

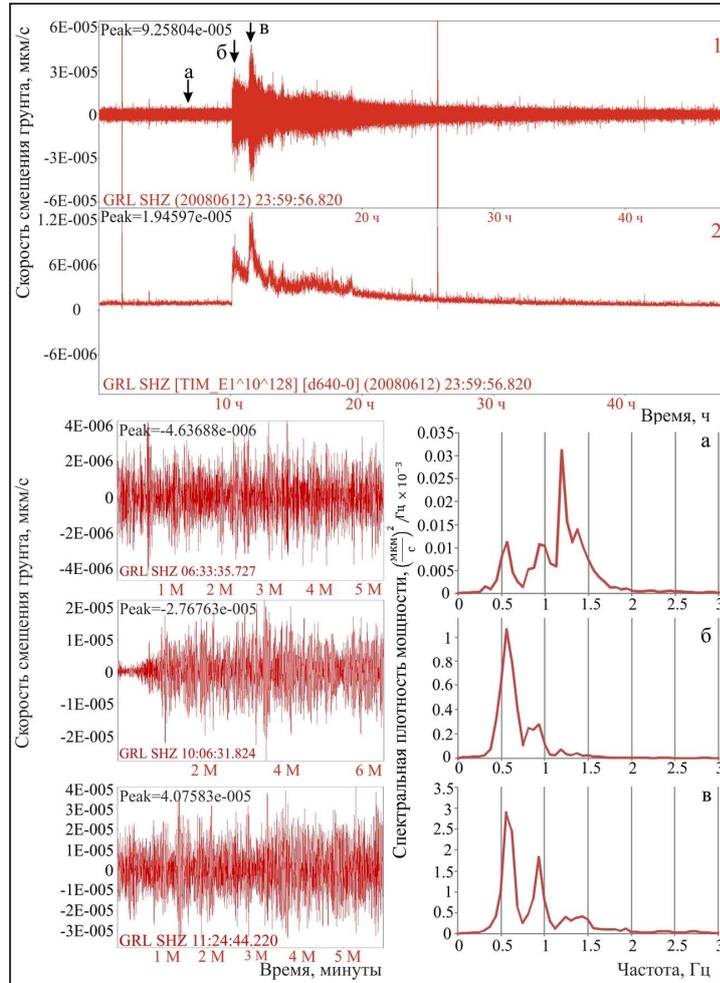


Рис. 6. Сейсмограмма вулканического дрожания (1) и его огибающая (2) 13-14 июня 2008 г. на с/ст. GRL, Вертикальный канал; а, б, в – участки ВД и их спектральные плотности мощности. Постоянная времени сглаживания 10 с.

4) С усилением уровня ВД оно становилось более регулярным, гармоническим.

5) С уменьшением вулканической активности в 2013 г. и ослаблением ВД оно становилось спазматическим: на фоне непрерывного сигнала появлялись регулярные всплески длительностью первые десятки секунд.

При дальнейшем уменьшении активности дрожание трансформировалось в серии низкочастотных землетрясений и затем в поток отдельных событий IV типа (рис. 7).

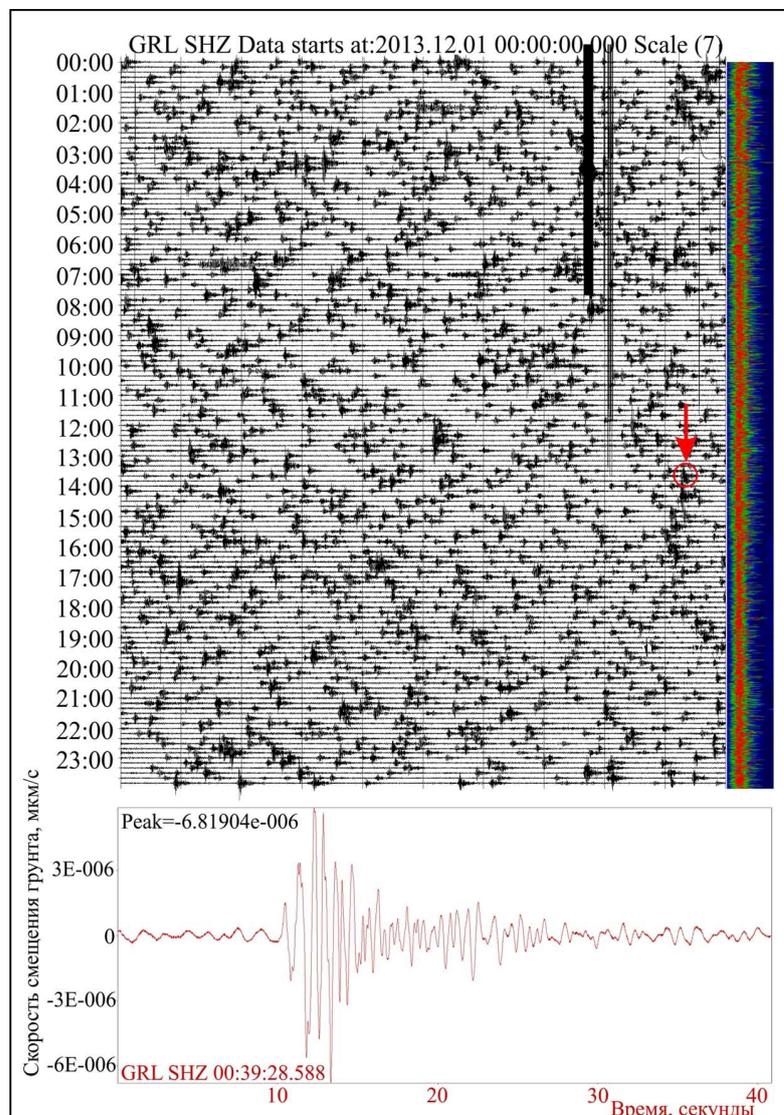


Рис. 7. Поток событий IV типа (сверху) и волновая форма события (снизу), отмеченного стрелочкой, на сжатой суточной сейсмограмме с/ст. GRL за 1 декабря 2013 г. Вертикальный канал. Время UTC.

ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТРУЙ, РАСХОД ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПАРА И МОЩНОСТЬ ДРОЖАНИЯ ВО ВРЕМЯ АКТИВИЗАЦИИ ВУЛКАНА ГОРЕЛЫЙ

Первые суждения о природе вулканического дрожания дают энергетические оценки, а именно доля сейсмической мощности дрожания от тепловой мощности вулканических струй [12]. Предполагается, что тепловая мощность струй дает оценку расхода вулканических продуктов

[23]. Для оценки тепловой мощности эруптивных струй вулкана Горелого нами использовалась формула по высотам их подъема, предложенная С.А. Федотовым [23]:

$$Q, \text{ МВт} = 136 (\Delta h_0)^2 u^{1,5},$$

где Δh_0 – высота подъема оси шлейфа над дном активного кратера вулкана Горелый в км, u – скорость ветра, соответствующего верху шлейфа в м/с.

Методика определения высот подъема вулканических облаков и скорости ветра по данным серийной съемки для вулкана Горелый описана в работе [11]. Серийная съемка велась с одной точки из г. Петропавловска-Камчатского, поэтому угол распространения шлейфа по отношению к направлению взгляда наблюдателя был неизвестен. В том случае, если он заметно отличался от перпендикулярного, то косинус угла между указанными направлениями брался равным 0.7. При расчетах расходов вулканических газов полагалось, что они в основном состоят из водяного пара при атмосферном давлении 0.1 МПа и температуре 800°C, который имеет теплосодержание, равное 3.3 МДж/кг [12]. Температуры взяты из работы [9]. Мощность вулканического дрожания $W_{др}$ оценивалась по номограмме Токарева [22]. С целью лучшей сопоставимости с данными по Ключевскому вулкану брались отношения амплитуд к периодам ВД на станции MTV, которая расположена примерно на том же расстоянии от источника ВД ($\Delta=13$ км), что и сейсмостанции «Подкова» и «Апахончич» в районе Ключевского, которые ранее использовались для оценок мощности ВД [12].

На рисунке 8 дан пример вулканического шлейфа над вулканом Горелый до образования нового жерла (рис. 8).

Сведения о тепловой мощности, темпах выноса вулканических газов и мощности вулканического дрожания для вулкана Горелый во время его активизации сведены в таблицу. Из таблицы следует, что вулкан Горелый

до образования нового жерла выносил порядка 180 МВт тепла, что соответствует расходу порядка 50 кг/с водного флюида (около 4 тыс. т в сутки).



Рис. 8. Шлейф над вулканом Горелый 12.01.2009. Постройка Горелого выглядит в виде невысокого пологого хребта. Вертикальный масштаб, равный 1430 м относится к вулкану Горелый и вычислен на основании расчета углового расстояния между вершинами вулканов Горелый и Вилучинский с учетом известного расстояния до вулкана Горелый. Полагается, что дно активного кратера располагалось примерно на 110 м ниже уровня характерной плоской кромки вулкана Горелый. Фото В.В. Иванова, сделаны из г. Петропавловск-Камчатский ($\Delta=75$ км).

С момента образования нового жерла (середина июня 2010 г.) активность увеличилась примерно на порядок и составила около 2000 МВт тепла, а расход составил ~ 600 кг/с (около 50 тыс. т в сутки). Во время спада активности нового жерла тепловая мощность снова снизилась до величин, характерных, как перед образованием этого жерла ~ 200 МВт при расходе 60 кг/с (около 5 тыс. т в сутки). Сейсмическая мощность дрожания достигала 80 кВт (таблица 1).

Из таблицы видно, что как до образования нового жерла, так и во время его работы отношение мощности ВД к тепловой мощности струи было очень мало и составляло порядка первых тысячных процента. Такие

же величины отношений были характерны и для предыдущих газовых извержений вулкана Горелый в 1980-1981 и 1985-1986 гг. [12].

Таблица 1. Тепловая мощность (Q), расход вулканического пара (Z), мощность вулканического дрожания ($W_{др}$) и отношение $W_{др}/Q$ во время активизации вулкана Горелый в 2009-2013 гг.

ДАТА	12.01.2009	22.06.2010	19.07.2013
Δh_0 , м	530	980	350
u , м/с	2.8	6	5.7
Q , МВт	180	2000	200
Z , кг/с	50	600	60
$W_{др}$, кВт	5	80	5
$W_{др}/Q$, %	0,003	0,004	0,003

Заметим, что эти величины на два порядка ниже, чем таковые во время стромболианских (стромболианско-вулканических) вершинных извержений вулкана Ключевской и на один порядок меньше, чем во время парагазовых фаз при извержениях этого вулкана [12].

ВЫВОДЫ

1. Активизация вулкана в 2007-2013 гг. на всем ее протяжении сопровождалась сейсмическим дрожанием, уровень которого качественно отражал интенсивность поступления вулканических газов.

2. На записях короткопериодной аппаратуры дрожание Горелого обнаруживалось на фоне микросейсм в частотной области от 0.2 до 20 Гц. Максимум спектра мощности располагался в диапазоне 0.5-1 Гц, а эффективная полоса частот – 0.35-3.5 Гц (по уровню 20 дБ).

3. Увеличение уровня ВД часто происходило в виде ступеней длительностью от первых часов до первых суток с резким началом и плавным спадом. Можно предположить, что это было связано с существованием объемных газовых ловушек, в которых происходило накопление и затем внезапное освобождение вулканических газов (устное сообщение Д.В. Мельникова).

4. Относительная доля сейсмической мощности ВД к тепловой мощности струй была очень низкой (порядка тысячных долей процента), что характерно и для предыдущих извержений этого вулкана [12]. Это позволяет полагать, что дрожание вулкана Горелый возбуждается малоэффективным акустическим источником. В качестве таких источников могут рассматриваться «барботаж» фумарольных газов через водную толщу кратерного озера, вибрации, связанные с турбулентностью потоков во время мощных газовых истечений из нового жерла и т.п.

5. Во время активизации вулкана Горелый в июне 2010 г. тепловая мощность его паровых шлейфов достигала $2 \cdot 10^3$ МВт, что соответствовало расходу 600 кг/с (около $5 \cdot 10^4$ тонн в сутки) пара. К июлю 2013 г. тепловая мощность струи газов из нового жерла снизилась до 200 МВт, а к концу 2013 г. до 40-50 МВт. За 3.5 года деятельности нового жерла количество выброшенного в атмосферу пара оценивается в $3 \cdot 10^7$ тонн. Если предположить, что тепло газовых эмиссий обусловлено охлаждением магмы в питающей системе вулкана (при теплосодержании 1.3 МДж/кг), то в недрах вулкана Горелый в этот период должно было охладиться $\sim 6 \cdot 10^7$ тонн магмы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность Д.В. Дрознину за предоставление программ обработки цифровых сейсмограмм, Д.В. Мельникову и О.Б. Селянгину за консультации и полезные обсуждения, А.А. Овсянникову за материалы из полевых дневников и А.В. Сокоренко за фотоматериалы. Особая благодарность научному руководителю В.В. Иванову за четкое руководство и поддержку данной работы, сотрудникам ЛИСВА КФ ГС РАН за каталоги землетрясений и таблицы оперативного сейсмического режима, и П.П. Фирстову за научное редактирование статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берсенева Н.Ю., Соболевская О.В. Сейсмичность вулкана Горелый, Камчатка, в 2007-2013 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Четвертая научно-техническая конференция, 30 сентября – 4 октября 2013 г. – Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН. 2013. С. 21-25.
2. Гавриленко Г.М., Мельников Д.В., Овсянников А.А. Современное состояние термального озера в активном кратере вулкана Горелый (Камчатка) // Материалы Всероссийской научной конференции «100-летие Камчатской экспедиции Русского географического общества 1908-1910 гг.», 21-28 сентября 2008 г. – Петропавловск-Камчатский. 2009. С. 86-95.
3. Гаврилов В.А., Гордеев Е.И., Иванов В.В. и др. Вулканическое дрожание и землетрясения вулкана Горелый в период извержения 1980-1981 гг. // Вулканология и сейсмология. №6. 1984. С. 3-17.
4. Гаврилов В.А., Чебров В.Н., Малкин А.П., Яцук В.В. Петропавловская радиотелеметрическая сеть сбора сейсмометрической информации: опыт эксплуатации и перспективы развития // Сейсмичность, сейсмический прогноз и сейсмостойкое строительство на Дальнем Востоке. 1981. С. 62-63.
5. Гарбузова В.Т., Соболевская О.В. Обновлённая классификация вулканических землетрясений Камчатки П.И.Токарева // Материалы второй региональной научно-технической конференции 11-17 октября 2009 г. «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». – Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН. 2010. С. 25-29.
6. Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В. и др. Активность вулканов Камчатки в 2011 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы региональной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога (к 50-летию ИВиС ДВО РАН), 29-30 марта 2012 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2012. С. 28-33.
7. Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В. и др. Активность вулканов Камчатки в 2013 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы региональной конференции, посвященной Дню вулканолога, 27-28 марта 2014 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2014. С. 38-45.
8. Гирина О.А., Маневич А.Г., Нурдаев А.А., Демянчук Ю.В. Активность действующих вулканов Камчатки в 2012 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы региональной конференции, посвященной Дню вулканолога, 28-29 марта 2013 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2013. С. 42-49.
9. Дроздин В.А., Дубровская И.К., Чирков С.А. Термограммы газового извержения вулкана Горелый 2010-2011 гг. // Вулканизм и связанные с ним процессы. Тезисы региональной конференции 29-30 марта 2012 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2012. С. 63.
10. Дроздин Д. В., Дроздина С. Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. – Петропавловск-Камчатский. 2008. С. 117-121.
11. Иванов В.В. Извержение вулкана Корякский (Камчатка) в конце 2008-начале 2009 г.: оценки выноса тепла и водного флюида, концептуальная модель подъема магмы и прогноз развития извержения // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога, 30-31 марта 2009 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2010. С. 24-38.

12. *Иванов В.В.* О сопоставлении тепловой мощности эруптивных струй и вулканического дрожания для извержений разных типов // Вулканология и сейсмология. №5. 1988. С. 53-63.
13. *Кирсанов И.Т., Мелекесцев И.В.* Вулкан Горелый // Действующие вулканы Камчатки: в 2-х т./Отв. ред. Федотов С.А., Масуренков Ю.П. М.: Наука. Т. 2. 1991. С. 294-313.
14. *Кугаенко Ю.А., Нуждина И.Н.* Сейсмичность вулкана Мутновский по данным станции "Мутновка": первые результаты, ноябрь 2008-февраль 2009 гг. // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 27-29 марта 2009 г. – Петропавловск-Камчатский. 2010. С.157-167.
15. *Кулаков И.Ю.* Вулкан надутый газом // Наука из первых рук. 2014б. №5(59). С. 11-13. ISSN: 1810-3960.
16. *Кулаков И.Ю.* Сейсмический пульс вулкана. Экспедиция на вулкан Горелый // Наука из первых рук. 2014а. №1(55). С. 85-101. ISSN: 1810-3960.
17. *Овсянников А.А., Чирков С.А.* Состояние вулкана Горелый в июне 2010 г. // Вестник КРАУНЦ. Наука о Земле. 2010. Вып. 15. № 1. С. 10.
18. *Селянгин О.Б., Пономарева В.В.* Строение и развитие Гореловского вулканического центра, Южная Камчатка // Вулканология и сейсмология. №2. 1999. С. 3-23.
19. *Соболевская О.В.* Сейсмичность вулкана Горелый в 1984–2009 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Второй региональной научно-технической конференции, 11-17 октября 2009 г. – Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН. 2010. С. 382-386.
20. *Токарев П.И.* Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука. 1981. 164 с.
21. *Токарев П.И.* Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы. М.: Наука. 1966. 118 с.
22. *Токарев П.И.* Определение энергии вулканических землетрясений // Вулканология и сейсмология. № 2. 1987. С. 64-79.
23. *Федотов С.А.* Оценка выноса тепла и пирокластики вулканическими извержениями и фумаролами по высоте их струй и облаков // Вулканология и сейсмология. №4. 1982. С. 3-28.
24. *Finch R.H.* Volcanic tremor (Part I) // Bull. Seismol. Soc. America. April 1949. V. 39. PP. 73-78.
25. *McNutt S. R.* Volcanic Tremor // Encyclopedia of Earth System Science. Academic Press, San Diego, California. 1992. PP. 417-425.
26. *McNutt S. R.* Seismic Monitoring // Encyclopedia of volcanoes. Academic Press. Ed. Sigurdsson H. 1999. PP. 1095-1119.
27. *Zobin V.M.* Introduction to volcanic seismology. Elsevier. Amsterdam. 2011. 474p. ISBN: 9780444563750.

SEISMIC TREMOR OF GORELY VOLCANO (2007-2014)

К.А. Yablochkina,*Kamchatkan Branch of Geophysical Survey of RAS;**Supervisor of studies V.V. Ivanov,*

The characteristics of the seismic tremor of Gorely volcano were studied during its gas activity from 2007 to 2014 by network of the four radiotelemetry seismic stations with short-period seismometer. During high activity in the second half of 2010 thermal power of the gas jets reached 2000 MW that corresponds to the consumption of water steam ~600 kg/s with a temperature 800°C. Activity of Gorely volcano was accompanied by volcanic tremor (VT) for 6.7 years with the seismic power to 80 kW. The relation of power of volcanic tremor to thermal power gas jets was very low (about thousandths of a percent) which was typical for previous activities of the volcano. This is 1-2 orders lower than during Strombolian eruptions of Kluchevskoy or Alaid volcanoes. That is the source of volcanic tremor has a low efficiency and it is probably is not related to the strong hydrodynamic processes in the destruction of its andesite-basalt magma near the earth's surface, and was generated by a flow of volcanic gases when they move to the surface (gas bubbling through the water into the lake in active crater, their turbulence, and the like). The tremor was marked out on the background of microseism allocated in the frequency range from 0.35 Hz to 20 Hz with a peak spectral density in the band from 0.5 Hz to 1 Hz. VT was transformed into the weak surface volcanic earthquakes with the weakening of activity.

Keywords: volcanic tremor, Gorely volcano, thermal power, steam consumption

УДК 550.34

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ В КАМЧАТСКОМ
ФИЛИАЛЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ РАН

Токарев А.В., Чемарёв А.С., Матвеевко Е.А., Чеброва А.Ю.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН

Научный руководитель: к.ф.-м.н. А.Ю. Чеброва

В Камчатском филиале Геофизической службы РАН с 2010 г. ведется разработка информационной системы сейсмологических данных (ИССД). Работа посвящена принципам функционирования и логического устройства разрабатываемой ИССД. Представлены краткие описания разработанных и введенных в эксплуатацию компонентов ИССД, по состоянию на текущий момент.

Ключевые слова: сейсмология, информационная система, база данных, каталог землетрясений, макросейсмический интернет-опросник

ВВЕДЕНИЕ

Система сбора, систематизации и доступа к сейсмологической информации в Камчатском филиале Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) [1], организованная в начале 90-х гг. прошлого столетия, не соответствует современным представлениям об эффективно функционирующей информационной системе. В 2010 г. в КФ ГС РАН началась разработка новой современной Информационной системы Сейсмологических данных (ИССД) [5].

Основной целью создания ИССД является объединение в интегрированное информационное пространство всей сейсмологической информации, в первую очередь получаемой при проведении наблюдений на базе стационарных и мобильных сейсмических сетей КФ ГС РАН (результаты наблюдений, обработки и анализа данных). Основными принципами организации хранения данных в создаваемой ИССД является обеспечение максимальной целостности, корректности и безошибочности информации предоставляемой пользователю, что достигается двумя способами: 1) путем разнообразных автоматических проверок уже поступивших в БД данных, и возможностью переработки некорректной информации,

2) путем максимальной автоматизации процесса пополнения БД на этапе ее поступления (сокращение влияния человеческого фактора).

Для этих целей создается комплекс автоматических и автоматизированных технических средств, обеспечивающих сбор, систематизацию и доступ к сейсмологическим данным, а также возможность управления ресурсами, находящимися в зоне ответственности того или иного подразделения КФ ГС РАН. Важнейшей составной частью ИССД является создание информационного Web-ресурса, предоставляющего удобный доступ к данным ИССД пользователей, не знакомых с внутренним устройством самой системы.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИССД

Общая концепция организации и структура БД ИССД была представлена в [5]. В данной работе описываются четыре основных этапа функционирования ИССД: 1) сбор, 2) систематизация, 3) управление данными, 4) доступ к данным. Предлагаемое описание носит обобщенный характер.

Общая схема структуры БД ИССД представлена на рис. 1. Схема иллюстрирует наличие в ИССД двух основных информационных сущностей – Событие и Инструмент. Событие – состоит из набора сейсмических проявлений. Инструмент – любой датчик, с помощью которого можно производить измерения (в данном случае сейсмологические). Вся сейсмологическая информация, содержащаяся в БД, привязывается к этим двум сущностям, или к одной из них. Далее под систематизацией данных будет пониматься привязка информации к одной из двух основных сущностей БД ИССД.

В зависимости от того в какой момент происходит систематизация информации, поступающей в БД ИССД, сейсмологические данные КФ ГС РАН делятся на три типа:



Рис. 1. Общая схема структуры БД

1) исходные сейсмологические данные (непрерывные сейсмологические записи, информация о сейсмических станциях, сообщения о макросейсмических проявлениях землетрясений и т.д.);

2) результаты обработки исходных сейсмологических данных (каталоги и бюллетени землетрясений, уровень сейсмического шума на сейсмостанциях и т.д.);

3) результаты анализа ранее обработанных сейсмологических данных (уровень надежной регистрации, активность A_{10} , тензоры сейсмического момента и т.д.).

Исходные сейсмологические данные сначала поступают на сервер и сохраняются в БД ИССД, затем специально написанные программы обрабатывают (систематизируют) полученную информацию. Сбор и систематизация *результатов обработки исходных сейсмологических данных* неразрывно связаны и происходят одновременно в БД ИССД. Собранные и систематизированные данные можно анализировать и проводить с их помощью исследования, *результаты* которых также могут быть сохранены в БД ИССД. Особенности процесса сбора и систематизации данных для ка-

ждого типа сейсмологической информации поясняются на примерах в таблице 1.

Таблица 1. Пояснение на примерах особенностей процесса сбора и систематизации сейсмологических данных (СД) в зависимости от их типа

Тип СД	Схема процесса	Пример СД	Описание процесса
Исходные СД	Сначала сбор, потом систематизация	Сообщения о макросейсмических проявлениях землетрясений	Сообщения о макросейсмических проявлениях землетрясений собираются автоматически через интерфейс http://www.emsd.ru/lsopool/poll.php . Данные систематизируются с помощью программы The Poll Viewer [2]. В результате для отдельных событий ИССД в БД добавляется информация о макросейсмических проявлениях.
Результаты обработки исходных СД	Сбор и систематизация одновременно	Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов	Обработчики землетрясений с помощью программы расчета гипоцентрии получают Решения ¹ . Решения поступают в БД ИССД и систематизируются ядром ИССД: формируются События ² с помощью алгоритма "TrueEvent", определяется принадлежность События к одной из зон сейсмичности и типу с помощью программы "Territoria". При этом алгоритм "TrueEvent" выявляет ошибки в данных окончательных решений и при их наличии информация не систематизируется, а перенаправляется в программу "Elman". Далее оператор, работая в программе "Elman", анализирует найденные ошибки и принимает решение о возможности их исправления или о необходимости пересчета Решения источником данных (обработчиком).
Результаты анализа ранее обработанных СД	Систематизация предшествует анализу данных	Расчет тензора сейсмического момента (ТСМ)	Программа "MT_Data" извлекает из БД ИССД необходимые для расчета ТСМ данные (основные параметры и волновую форму землетрясения, информацию по станциям. С помощью приложения "MT_Calc" специалист определяет ТСМ. Программа "MT_Save" сохраняет все данные работы "MT_Calc" в БД ИССД.

Примечание. ¹Решение – основные параметры землетрясения, полученные в результате работы программы расчета гипоцентрии. ²Сейсмическое событие (Событие) – тектоническое или вулканическое землетрясение, взрыв и т.п. Событие может иметь несколько Решений, одно из которых для заданного каталога является окончательным.

Доступ к данным ИССД определяется действующими соглашениями и по запросу. В системе реализованы четыре уровня доступа:

- администратор (полный доступ с определенных компьютеров локальной сети КФ ГС РАН);
- специалист (полный доступ на получение данных, возможность управления данными в рамках специализации; предоставляется по предварительной регистрации или для компьютеров локальной сети КФ ГС РАН);
- пользователь (доступ к ограниченному набору данных за весь период детальных сейсмологических наблюдений; предоставляется по предварительной регистрации);
- гость (возможность просмотра данных открытого доступа за ограниченный отрезок времени; предоставляется без регистрации).

Доступ к данным ИССД возможно осуществить одним из трех способов (в первых двух случаях возможен доступ и управление данными):

- средствами СУБД с помощью приложения “SQL Manager for PostgreSQL” (уровень доступа = администратор, специалист);
- с помощью обеспечивающих подсистем ИССД, которые представляют собой приложения для комплексной работы с информацией в определенном логическом сегменте данных: станции, макросейсмика и т.п. (уровень доступа = специалист);
- через web-ресурс, который обеспечивает доступ к определенному набору данных ИССД и позволяет просматривать информацию в табличном виде, визуализировать ее на карте и сохранять в заданном формате (уровень доступа = специалист, пользователь, гость с разной степенью ограничений).

ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ПОДСИСТЕМЫ ИССД

Разрабатываемая ИССД нацелена на обеспечение информационной поддержки и автоматизации процессов, связанных с управлением данных, в различных подразделениях КФ ГС РАН. В связи с этим структуру ИССД можно представить в виде совокупности обеспечивающих подсистем.

Обеспечивающая подсистема – набор отдельных программ и приложений (программ, рассчитанных на взаимодействие с пользователем), предназначенных для выполнения определенного направления деятельности КФ ГС РАН.

Разработка ИССД осуществляется поэтапно. Каждый этап включает в себя создание одной обеспечивающей подсистемы. К концу 2014 г. внедрены и успешно функционируют две подсистемы:

- 1) подсистема ИССД для контроля корректности данных и создания уникальных событий;
- 2) подсистема ИССД для сбора, хранения и обработки макросейсмических данных.

Набор программ и приложений, обеспечивающих функционирование этих подсистем представлены в табл. 2. Две другие подсистемы (подсистема ИССД для сбора и хранения информации о сейсмических станциях; подсистема ИССД для формирования и хранения волновых форм землетрясений) находятся на начальном этапе разработки.

Таблица 2. Набор программ и приложений, обеспечивающих все функции действующих к концу 2014 г. подсистем ИССД КФ ГС РАН

Функция	Подсистема ИССД для контроля корректности данных и создания уникальных событий	Подсистема ИССД для сбора, хранения и обработки макросейсмических данных
Сбор данных	DIMAS + Программа "Write Solution" для обработки SSD-файлов (Perl)	Анкета «Сообщение о землетрясении» http://www.emsd.ru/lsopool/poll.php (PHP)
Систематизация данных	Алгоритм "True Event" (СУБД PostgreSQL), программа "Territoria"* (Fortran)	Алгоритм "Automatic Intensity" (СУБД PostgreSQL)
Управление данными	Локальное приложение "Error Log Manager" (Delphi)	Локальное приложение "The Poll Viewer" (Delphi)
Доступ к данным	Информационный Web-ресурс (http://arc10)	

Примечание. * В отличие от других программ и приложений, представленных в таблице, программа "Territoria" написана сторонним разработчиком и внедрена в работу ИССД (автор программы А.В. Ландер)

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ИССД ПО СОСТОЯНИЮ НА КОНЕЦ 2014 г.

Результатами разработки ИССД являются структура базы данных, а также программы и приложения, обеспечивающие функционирование подсистем. Подробному описанию некоторых компонентов ИССД были посвящены отдельные работы [2–5]. Здесь представлены краткие описания основных разработанных программ.

База данных ИССД объединяет сейсмологическую информацию КФ ГС РАН в интегрированное информационное пространство. На текущий момент БД состоит из ≈ 100 таблиц и содержит информацию более чем по 230 000 событиям, количество которых постоянно растет. Структура БД схематично представлена на рис. 1.

Программа "Write Solution" обеспечивает автоматическое внесение результатов обработки землетрясений операторами в БД в режиме реального времени.

Алгоритм "True Event" – элемент ИССД, объединяющий поступающие в БД решения гипоцентров в группы по событиям и осуществляющий контроль корректности данных, полученных в результате обработки землетрясений, и контроль соответствия одному событию единственного окончательного решения. Работу алгоритма "True Event" можно представить в виде схемы (рис. 2).

Приложение "Elman" ("Error Log Manager") [4] – приложение для просмотра и обработки ошибок, выявленных алгоритмом "True Event", позволяет:

- осуществлять ручную привязку решений к событиям, если по каким-то причинам алгоритм "True Event" с этим не справился;
- вручную исправлять ошибки, не требующие пересмотра землетрясения;
- формировать список ошибок, для исправления которых требуется пересмотр землетрясения обработчиком.

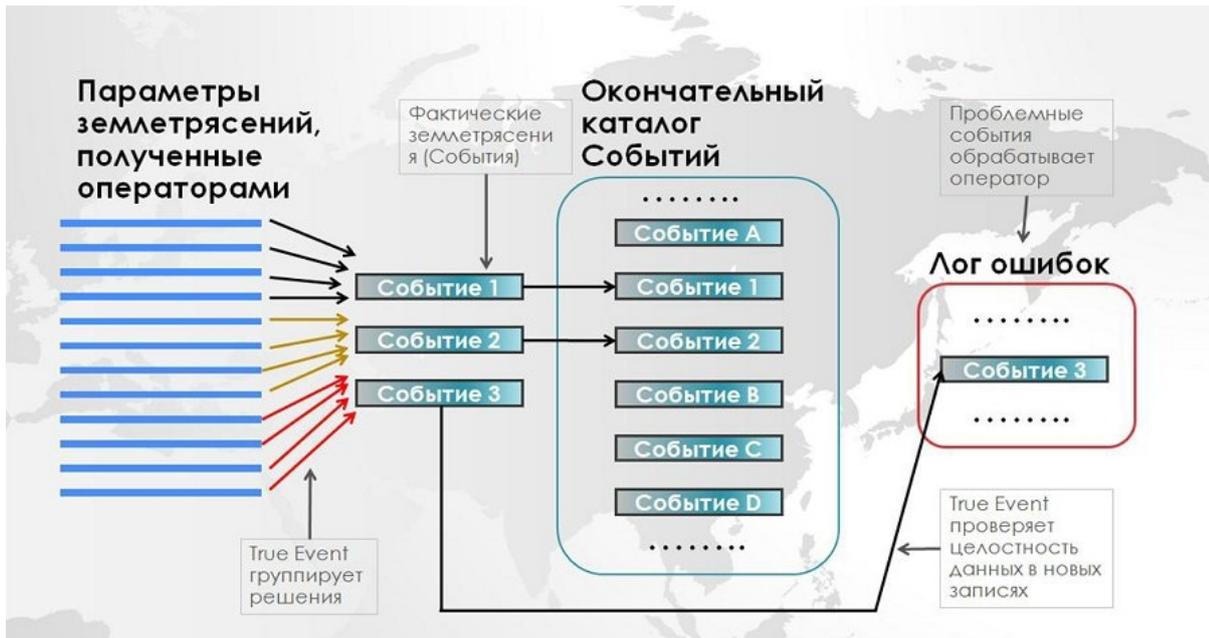


Рис. 2. Схема работы алгоритма "True Event"

Интерфейс программы "Elman" (рис. 3) позволяет пользователю видеть комплексную информацию по каждой конкретной ошибке и предоставляет удобный функционал для их исправления (подсказки, выделение цветом, вспомогательный каталог ISC, карты, и др.). Возможно исправление «вручную» разнообразных типов ошибок:

- ошибки формата данных (записи с недопустимыми значениями каких-либо полей); методологические (недопустимые эмуляции или фильтрации при определении вступлений фаз или взятия амплитуд);
- наличие не единственного окончательного Решения в Событии;
- ошибки, связанные с тем, что подсистема не смогла однозначно отнести Решение к тому или иному Событию.

Анкета «Сообщение о землетрясении» представляет собой web-страницу (рис. 4) для сбора макросейсмической информации. В настоящее время, вся информация о проявлениях землетрясений на Камчатке и прилегающих территориях поступает в БД с помощью этой web-страницы. Собранные таким образом данные однородны. Анкету может заполнить любой респондент через интернет на сайте КФ ГС РАН (<http://www.emsd.ru/lsoopool/poll.php>).

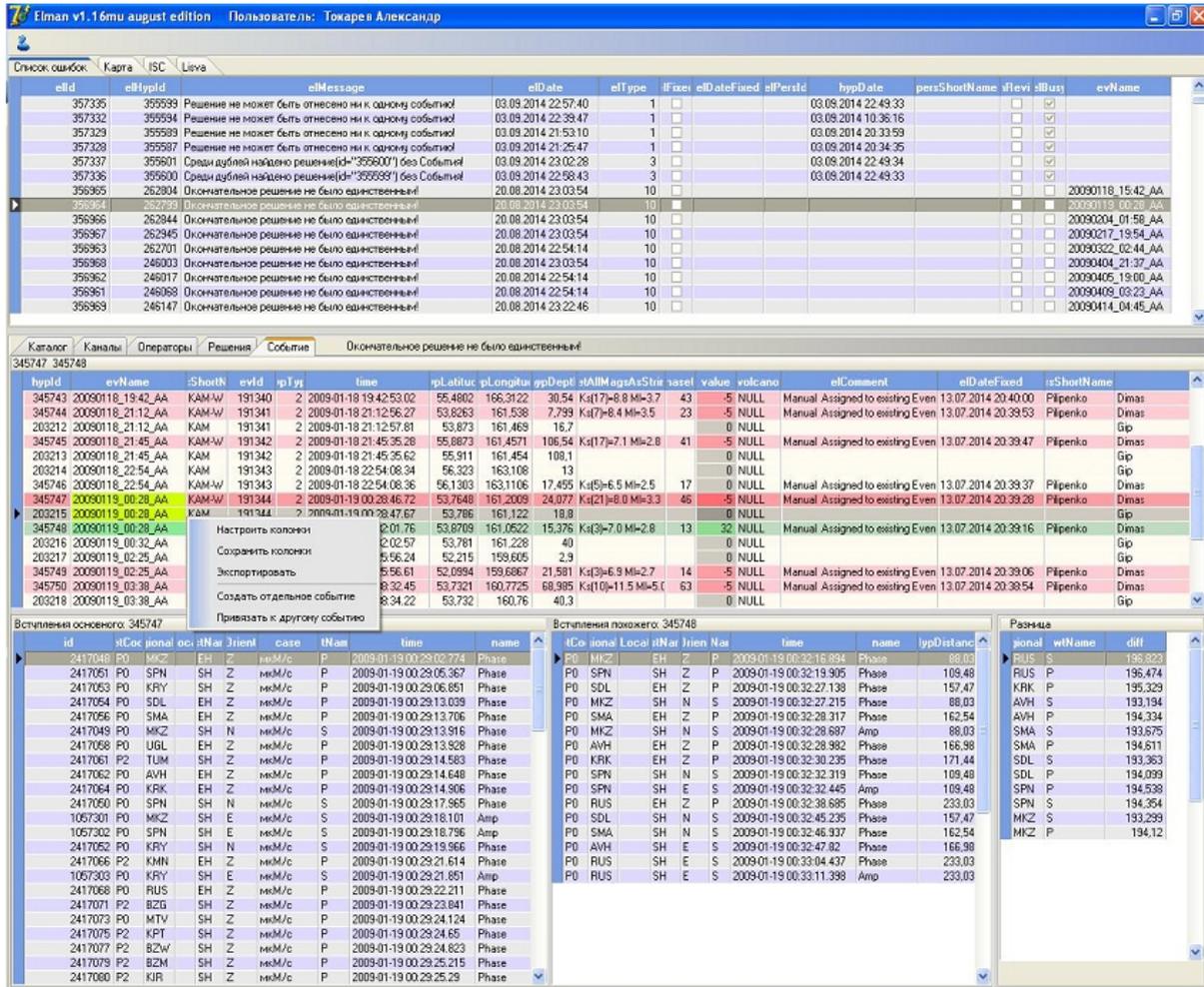


Рис. 3. Интерфейс программы "Elman"

Алгоритм "Automatic Intensity" – программа, осуществляющая автоматическую обработку данных заполненной анкеты «Сообщение о землетрясении». Результатом обработки является попадание данных в БД ИССД, а также автоматическая оценка макросейсмической интенсивности I_{AUTO} в пункте (подробнее см. [2, 3]). Автоматическая оценка интенсивности землетрясения производится с помощью алгоритма, заложенного в сейсмической шкале интенсивности землетрясений MMSK-92 (проект) [6].

Приложение "The Poll Viewer" – рабочее место специалиста по макросейсмике [2], позволяет:

- работать с полученными анкетами «Сообщение о землетрясении» (просматривать, редактировать, распечатывать, удалять ошибочные или одинаковые);

- работать с информацией о пунктах, для которых собираются макросейсмические данные (редактировать, создавать новые, просматривать расположение на карте);
- работать с данными макросейсмического каталога (связывать поступившие анкеты с событиями из Каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов, давать экспертную оценку интенсивности в пункте по всем полученным анкетам просматривать карты «пункт-балл» по данным макросейсмического каталога создавать выборки и т.д.).

Камчатский филиал Геофизической службы РАН

Сообщение о землетрясении

Если Вы заметили землетрясение, даже самое слабое, заполните, пожалуйста, наш опросник. Выберите замеченные Вами проявления и опишите свои ощущения, затем отправьте это сообщение.

Землетрясение произошло (по местному времени)
(Обязательно укажите дату и время)

Дата: 03 12 2014 Время: 00 : 00 Приблизительно
(день . месяц . год) (часы : минуты) Точно

Продолжительность землетрясения: Выберите подходящее

Я не ощущал(а) землетрясения

Во время землетрясения Вы находились
(Обязательно укажите и опишите место, где Вы находились)

Город, поселок: Выберите из списка
(Если Вы находились в каком-то другом месте, выберите "Другой" в конце списка)

Другой: _____
(Напишите точное место, где Вы находились, если выбрали "Другой".
Например: сот Кадрин, турбаза Фламинго, 45 км Елизаветского шоссе, река Быстрая у Яснового моста и т.п.
Если Вы знаете координаты (широту, долготу), укажите их.)

в помещении по адресу: _____ Если Вы находились в здании, выберите:
(Укажите улицу, дом) Тип здания: Выберите подходящее

на открытом воздухе Количество этажей: 05

в движущемся транспорте Выберите в каком На каком этаже Вы находились: _____

в стоящем транспорте Выберите в каком Функция здания: Выберите подходящее

Другое: _____
(Заполните, если у здания другая функция)

Воздействие землетрясения на людей:
(Выберите или отметьте соответствующее Вашим ощущениям)

Что Вы делали: Выберите подходящее

Как сильно Вы ощущали землетрясение: Выберите подходящее

Характер ощущавшихся колебаний: Выберите подходящее
(Если нет соответствия, выберите "Другое")

Другое: _____
(Заполните, если ощутили по-другому)

Рис. 4. Web-страница анкеты «Сообщение о землетрясении»

Приложение "The Poll Viewer" ускоряет и облегчает работу специалистов, занимающихся сбором макросейсмической информации, дает возможность просмотра всей имеющейся макросейсмической информации и быстрого реагирования на поступление сообщений об ощутимых землетрясениях от независимых респондентов в режиме «он-лайн» (см. рис. 5).

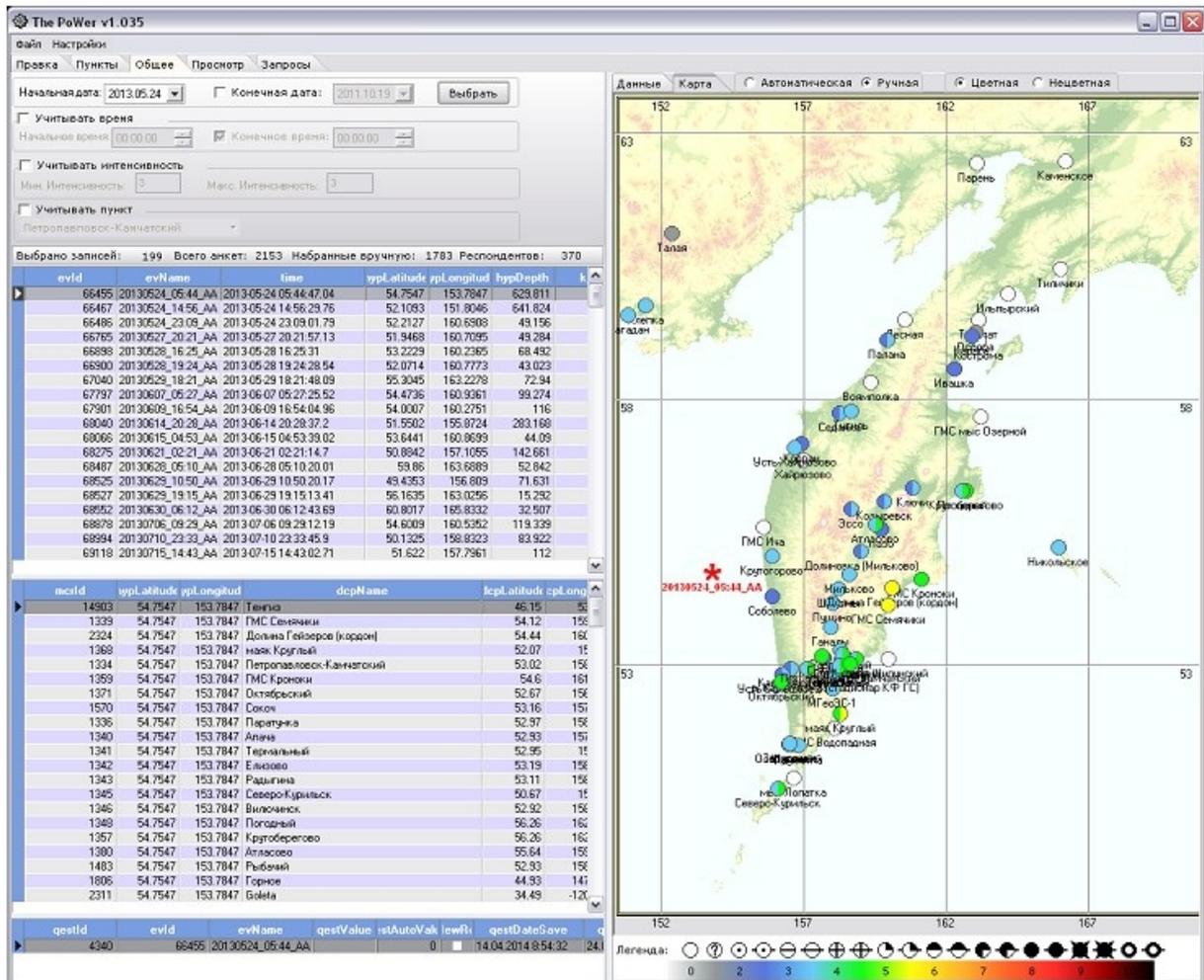


Рис. 5. Интерфейс программы "The Poll Viewer"

Информационный Web-ресурс (работает в тестовом режиме по локальной сети <http://arc10>) – обеспечивает доступ к содержащимся в ИССД данным. В настоящее время разработаны страницы доступа к нескольким каталогам:

- каталогу землетрясений Камчатки и Командорских островов;
- Каталог сильных землетрясений (по данным РИОЦ «Петропавловск» и РИОЦ «Южно-Сахалинск»);

- макросейсмическому каталогу землетрясений Камчатки и Командорских островов.

Поиск на страницах осуществляется по стандартным (временной отрезок, географическое положение, энергетические оценки землетрясений) и дополнительным (характерные для выбранного раздела) параметрам. Для всех каталогов обеспечен вывод информации на экран, а для каталога региональных землетрясений также в файл и на карту (рис. 6).

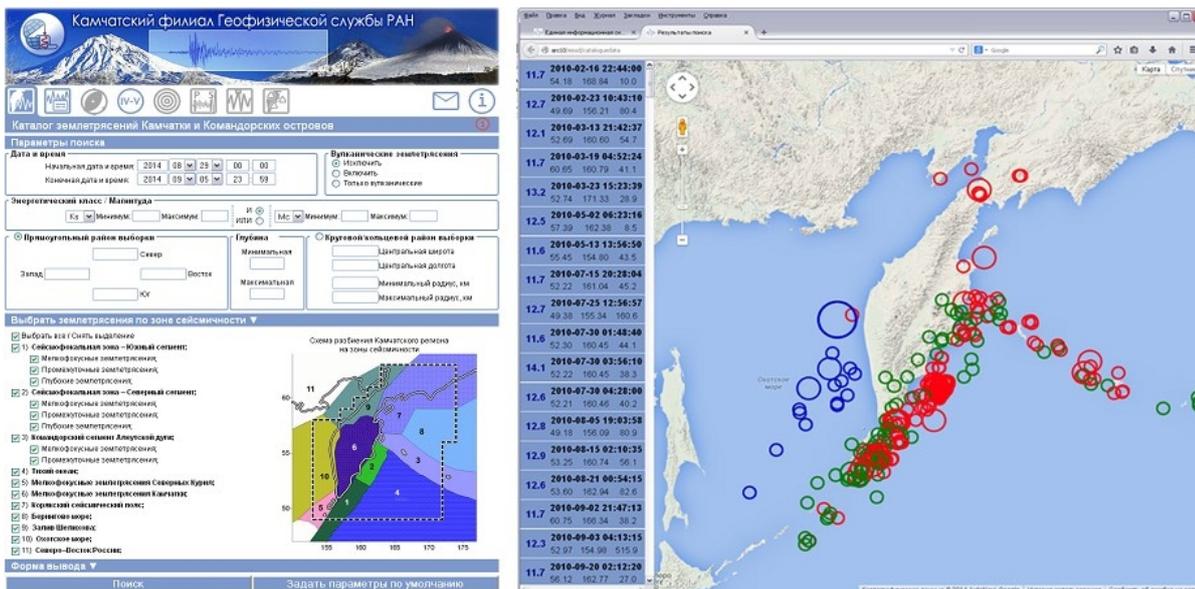


Рис. 6. Примеры страниц информационного Web-ресурса

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С 2010 г., момента начала разработки ИССД в КФ ГС РАН, прошло четыре года. За это время был завершён самый сложный этап – этап становления процесса разработки: разработана концепция ИССД, архитектура БД, установлены основные принципы функционирования и логического деления ИССД на обеспечивающие подсистемы.

Основными результатами разработки ИССД, которые уже успешно и эффективно функционируют в рамках службы КФ ГС РАН, являются подсистема ИССД для контроля корректности данных и создания уникальных событий; подсистема ИССД для сбора, хранения и обработки макросейсмических данных. Кроме того, в тестовом режиме запущен и проходит по-

следнюю корректировку Web-ресурс для доступа к данным ИССД. Планируется открыть доступ через интернет с сайта КФ ГС РАН к этому ресурсу с начала 2015 г.

До сих пор можно считать, что разработка ИССД находится на самом своем начальном этапе, поскольку впереди еще создание множества разнообразных функционирующих подсистем: «Сеть сейсмических станций», «Волновые формы землетрясений», «Сильнейшие землетрясения Камчатки», «Мониторинг работы сети сейсмических станций», «Интерактивная карта сейсмичности Камчатки» и много других.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Козырева Н.П., Левина В.И., Сергеев В.А., Сеньюков С.Л., Ящук В.В. Сбор, обработка и хранение сейсмологической информации // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. К 25-летию Камчатской опытно-методической сейсмологической партии ГС РАН. – Петропавловск-Камчатский, 2004 – С. 43–61.

2. Митюшкина С.В., Раевская А.А., Токарев А.В., Чеброва А.Ю., Чемарев А.С. Программа для автоматизированной обработки макросейсмической информации: возможности и результаты использования. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября – 5 октября 2013 г. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 347–351.

3. Митюшкина С.В., Токарев А.В., Раевская А.А., Чеброва А.Ю. Автоматическая обработка макросейсмической информации по камчатским землетрясениям на базе Интернет-опросника // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9–15 октября 2011 г. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 376–380.

4. Токарев А.В., Чемарёв А.С. Подсистема ЕИС для поиска и исправления ошибок в результатах обработки землетрясений // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября – 5 октября 2013 г. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 356–358.

5. Токарев А.В., Бахтиарова Г.М., Чеброва А.Ю., Митюшкина С.В. Современный взгляд на устаревшую систему хранения сейсмологических данных КФ ГС РАН // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9–15 октября 2011 г. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 401–405.

6. Шебалин Н.В., Аптикаев Ф.Ф. Развитие шкалы MSK // Проблемы макросейсмологии. Вычислительная сейсмология. – Вып.34. М.: ГЕОС, 2003. – С.210–253.

DEVELOPING SEISMOLOGICAL DATA INFORMATION SYSTEM IN
KAMCHATKA BRANCH OF GEOPHYSICAL SURVEY OF RAS

Tokarev A.V., Chemarev A. S., Matveenko E.A., Chebrova A.Yu.

Kamchatka branch of Geophysical Survey of RAS

Seismological data information system (SDIS) in Kamchatka branch of Geophysical Survey of RAS is being developed since 2010. The paper describes the operation principles and logical organization of developing SDIS. A brief description of the developed and operating SDIS components are presented. The report introduces researches with results of ISSD development at the moment.

Keywords: seismology, information system, database, earthquake catalog, macro-seismic online questionnaire.