

УДК 553.661.2

## СЕРНЫЕ РУДЫ – ОДИН ИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАМЧАТСКОГО КРАЯ

*Плутахина Е.Ю.<sup>1,2</sup>, Шишканова К.О.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

<sup>2</sup> *Камчатский Государственный Университет имени Витуса Беринга*

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

Серные руды - природные минеральные образования, содержащие самородную серу в таких концентрациях, при которых технически возможно и экономически целесообразно ее извлечение. Наиболее объективная оценка ресурсов сероносности Камчатского края представлена на примере рудного поля Малетойваям. В пределах этого объекта выделено два участка: Центральный с существенно серной минерализацией и Юбилейный, в метасоматитах которого, кроме серы, выявлены повышенные концентрации меди. Из рудных минералов в метасоматитах рудопроявления ранее были установлены пирит, марказит, реальгар и аурипигмент, а в метасоматитах с повышенным содержанием меди диагностирован халькозин.

*Ключевые слова: сера, Камчатка, Малетойваям, промышленность, сырьё.*

### ВВЕДЕНИЕ

Каждый элемент периодической системы Д.И. Менделеева имеет свою историю и свою «славу». Сера - один из немногих элементов, которыми уже несколько тысяч лет назад оперировали первые «химики». Косвенно или напрямую ее используют во всех областях жизнедеятельности человека. Большая часть окружающих материалов сделана при участии серы или продуктов ее переработки (бумага, стали, взрывчатые вещества, удобрения и т. д.). Основным потребителем - химическая промышленность. Примерно половина добываемой в мире серы идет на производство серной кислоты. Чтобы получить одну тонну  $H_2SO_4$ , нужно сжечь около 300 кг серы.

Существует два способа извлечения серы из серосодержащих пород: выплавкой самородной серы непосредственно в местах её залегания под

землём (метод Фраша), открытым способом (снимая экскаваторами верхние пласты рудосодержащей породы и отправляя их на переработку) или очисткой природного газа от сероводорода ( $H_2S$ ) и иных летучих серных соединений [2].

Кроме того, немаловажна роль этого макроэлемента в организме человека. Она занимает 0.25 % веса человеческого тела и это неременная составная часть клеток, тканей органов, нервной, костной и хрящевой ткани, а также волос, кожи и ногтей человека.

Самородная сера представляет собой минерал с основной формулой S. Но этот элемент имеет не только собственный минерал. Кларк серы равен 0.46%, что говорит о ее большом количестве в земной коре. Учитывая количество степеней окисления серы (от +6 до -2), сера образует соединения практически со всеми элементами таблицы Менделеева (исключения - Au, Pt и инертные газы.) [3].

В природе часто встречаются значительные залежи самородной серы обычно вблизи вулканов в виде поверхностных и близповерхностных месторождений, серных потоков, вулканических сублиматов и гидротерм. Нередко наблюдается выделение из-под земли газа сероводорода ( $H_2S$ ) или в растворенном виде - в серных водах.

Среди природных типов сырья в качестве источника получения элементной серы практический интерес представляют только серные руды. К ним относятся руды, содержащие самородную серу в количестве от 8 до 30 % и более.

На территории Камчатского края в настоящее время на учете находится 1896 месторождений, рудопроявлений, пунктов минерализации и ореолов рассеяния горючих, металлических и неметаллических полезных ископаемых [1]. Основной пик геологоразведки приходится на 60-70 гг. XX столетия. В эти годы было выделено множество месторождений, рудопроявлений и ореолов полезных ископаемых, в том числе серы.

Самым перспективным из сероносных объектов считается рудное поле Малетойваям. Большинство исследователей, изучавших ранее (Г.М. Власов, В.М. Еркин и другие) относят его к категории классических серных месторождений вулканического генезиса [2].

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РУДНОМ ПОЛЕ МАЛЕТОЙВАЯМ

Малетойваямское рудное поле с рудопроявлениями Юбилейное и Центральное располагается в юго-западной части Корякского нагорья.

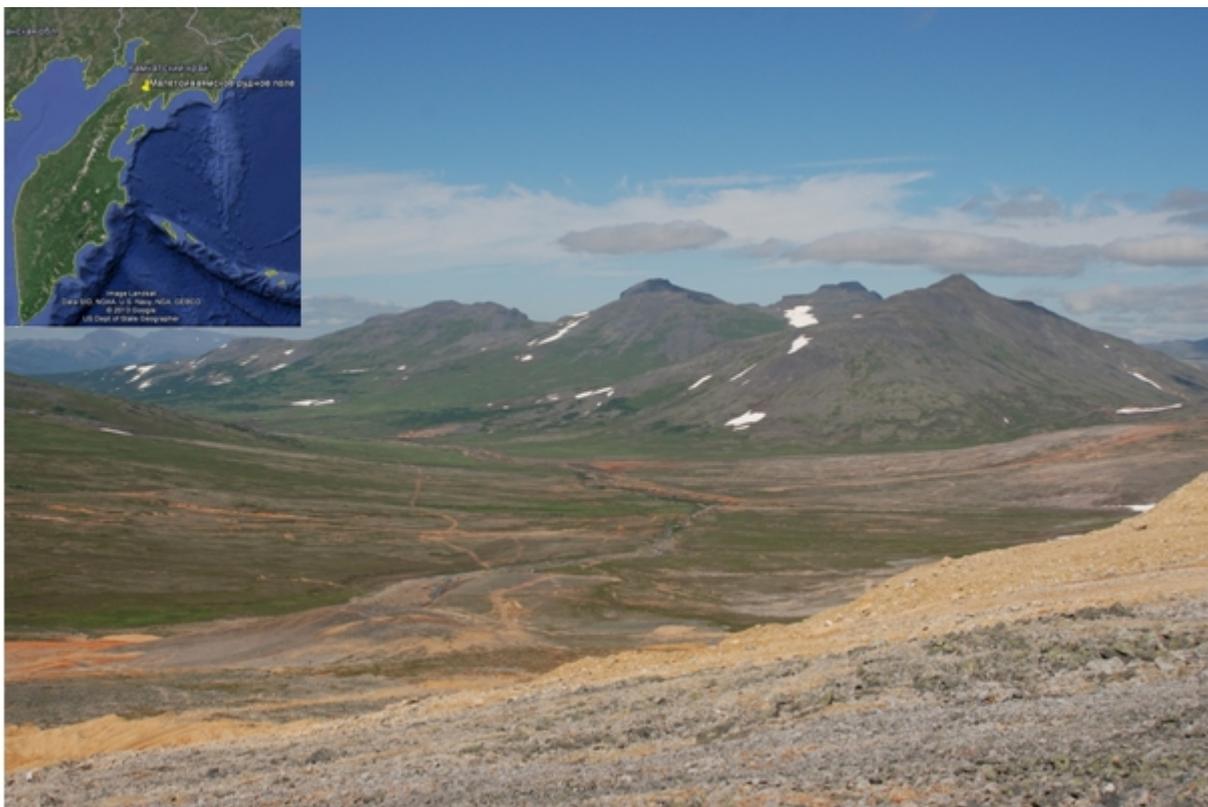
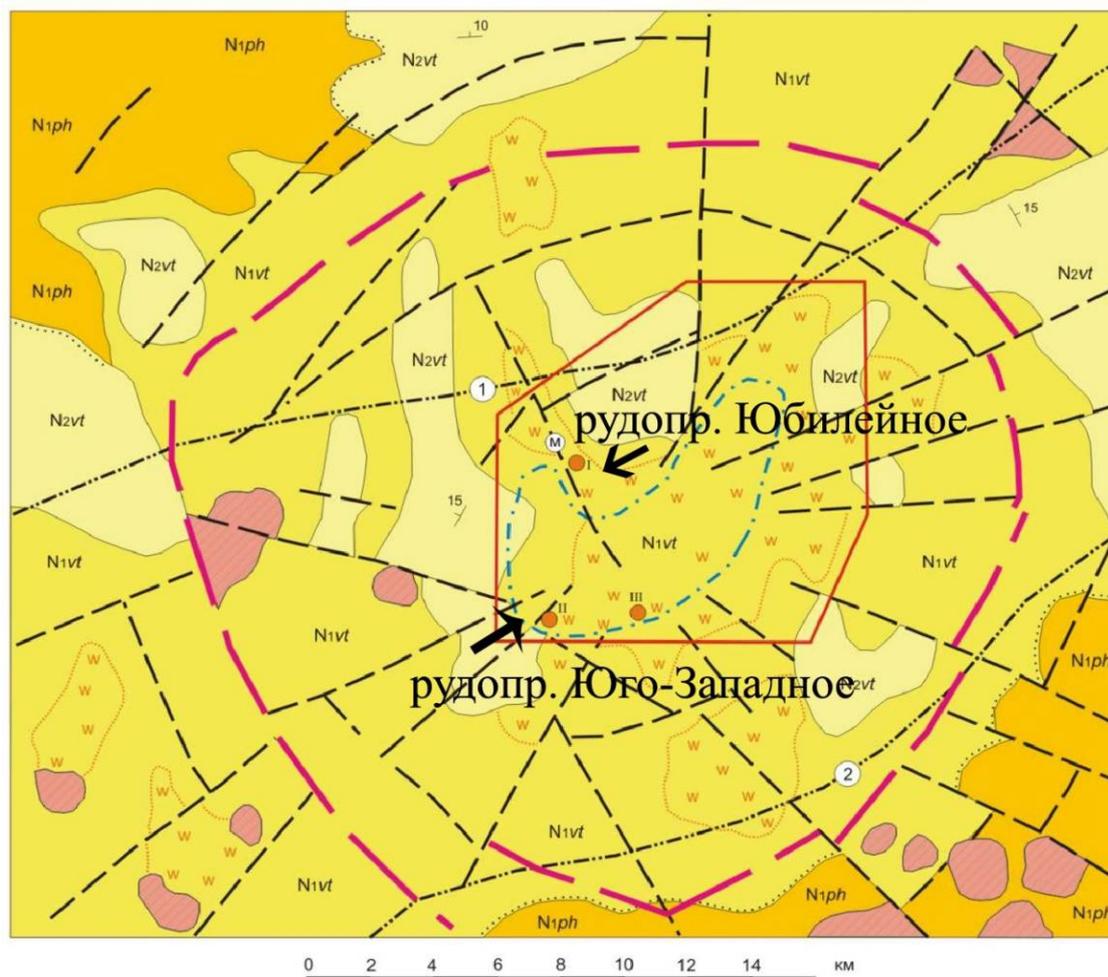


Рис. 1. Панорама рудного поля Малетойваям. Фото А.У. Ким, 2013 г.

В структурном отношении Малетойваямское рудное поле относится к центральной части Ветроваямской вулканической зоны, находящейся в северо-восточных отрогах Центрально-Камчатского вулканического пояса [9].

Геологическое строение рудного поля представлено породами позднего миоцен-плиоценового (эффузивно-пирокластические и лагунно-осадочные угленосные отложения нижеветроваямской толщи), плиоцен-

ранний плейстоценового (эффузивы верхневетроваямской толщи), поздний миоцен-плиоценового (диориты, диоритовые порфириты); плиоцен-ранний плейстоценового возраста (экструзивные купола андезитов, дацитов, липарито-дацитов); и рыхлыми четвертичными отложениями (рис. 2) [6, 8].



## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

	Верхняя подсвита (N2vt). Андезиты		Кольцевые и радиальные разрывы м-малотойваямский разлом
	Ветроваямская свита Нижняя подсвита (N1vt). Андезиты, туфы, туфопесчаники, туфоконгломераты		Глубинные разломы: 1 - Вывенско-Ватынский, 2 - Вывенский
	Пахачинская свита (N1ph). Песчаники, гравелиты, конгломераты		Предполагаемая граница кальдеры обрушения
	Субвулканические интрузии андезитов и андезидацитов, комагматичные вулканитам ветроваямской свиты		Граница контура аномалии силы тяжести, превышающей 40 мГл
	Гидротермальноизмененные породы (нерасчлененные)		Проявления золота: I - уч. Юбилейный II - уч. Юго-Западный III - уч. Гачинг
			Граница работ ООО "Золото Камчатки Эксплорейшн" в 2010-2011 гг

Рис. 2. Геолого-структурная схема Малотойваямской вулcano-тектонической структуры. [5].

В 70-е г.г. на этой территории были проведены значительные поисковые работы на наличие сероносности, выявлены участки, представляющие промышленную ценность. В пределах рудного поля выделено два объекта с существенно серной минерализацией - Центральный и Юбилейный (в метасоматитах которого, кроме серы, выявлены повышенные концентрации меди). Кроме самородной серы, здесь концентрируется сера сульфидная (главным образом, в пирите) и сульфатная (в алуните) [6].

Минеральный состав руд достаточно разнообразен и отличается наличием редких фаз. Главные минералы рудного поля представлены в таблице 1.

Табл. 1. Главные минералы рудного поля Малетойваям [4].

Рудные минералы	формула	Жильные минералы	формула
Пирит	$FeS_2$	Кварц	$SiO_2$
Марказит	$FeS$	Алунит	$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$
Галенит	$PbS$	Каолинит	$Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$
Люцит	$Cu_3AsS_4$	Барит	$Ba[SO_4]$
Фаматинит	$Cu_3SbS_4$	Целестин	$SrSO_4$
Энардит	$Cu_3AsS_4$	Самородная Сера	$S$
Рутил	$TiO_2$	Сфен	$CaTiSiO_5$
Халькопирит	$CuFeS_2$	Фтор-Хлорапатит	$Ca_5[(PO_4)_3](OH, F, Cl)$
Халькозин	$Cu_2S$	Полевые Шпаты	$(Ca, Na, K)[AlSi_2-3O_8]$
Борнит	$Cu_5FeS_4$		
Магнетит	$FeO \cdot Fe_2O_3$		
Станнин	$Cu_2FeSnS_4$		
Сфалерит	$ZnS$		
Гринокит	$CdS$		
Аргентит	$Ag_2S$		
Титаномагнетит	$Fe_3O_4$		
Галенит	$PbS$		
Лиллианит	$Pb_3Bi_2S_6$		
Козалит	$Pb_5Bi_2S_5$		
Золото	$Au$		

Юбилейное месторождение отличается наличием серной, медной и золоторудной минерализаций (около 40 минералов [6]). Запасы самородной серы на участке, при бортовом содержании 10%, оцениваются примерно в 4 000 тыс.т. Запасы сульфатной серы (в алуните) с бортовым содержанием 10% - 9 808 тыс. т.; сульфидной серы (главным образом в пирите) до 15-18% (в среднем 4-5%). Сульфидная и сульфатная сера представляют интерес только как попутные компоненты [1].

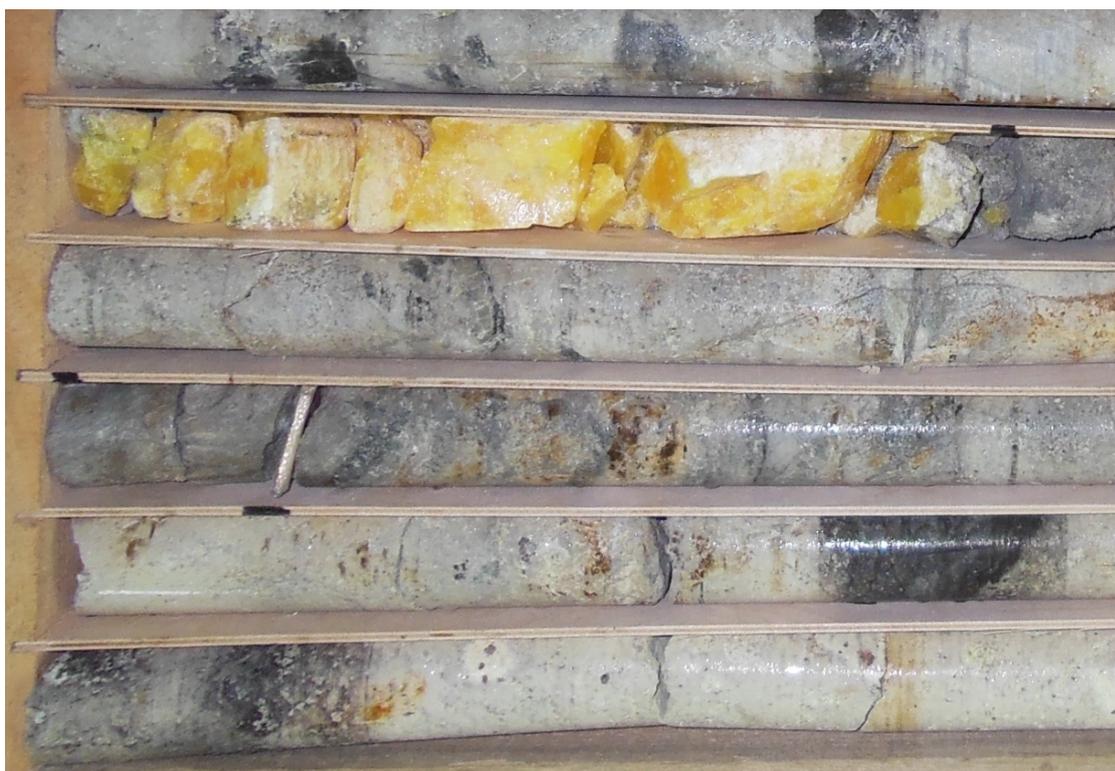


Рис. 3. «Серный участок» в кварцитовом керне месторождения Юбилейное.

На участке Центральный серно-алунитовые и серные кварциты чередуются с кварцево-каолинитовыми породами. Среднее содержание самородной серы в этих породах 10-20%, запасы, при бортовом содержании 10%, оцениваются более чем в 8000 тыс. т [6].

Из ассоциации пород и минералов можно сделать вывод о принадлежности Малетойвямского рудного поля к комплексу High Sulfidation.

Сейчас участки Юбилейный и Центральный являются одними из потенциально приоритетных для добычи золота. Они предполагают наличие золото-серебряных залежей, пригодных для открытой разработки [7].

Большая часть серосодержащих пород также пригодна для разработки открытыми способами.

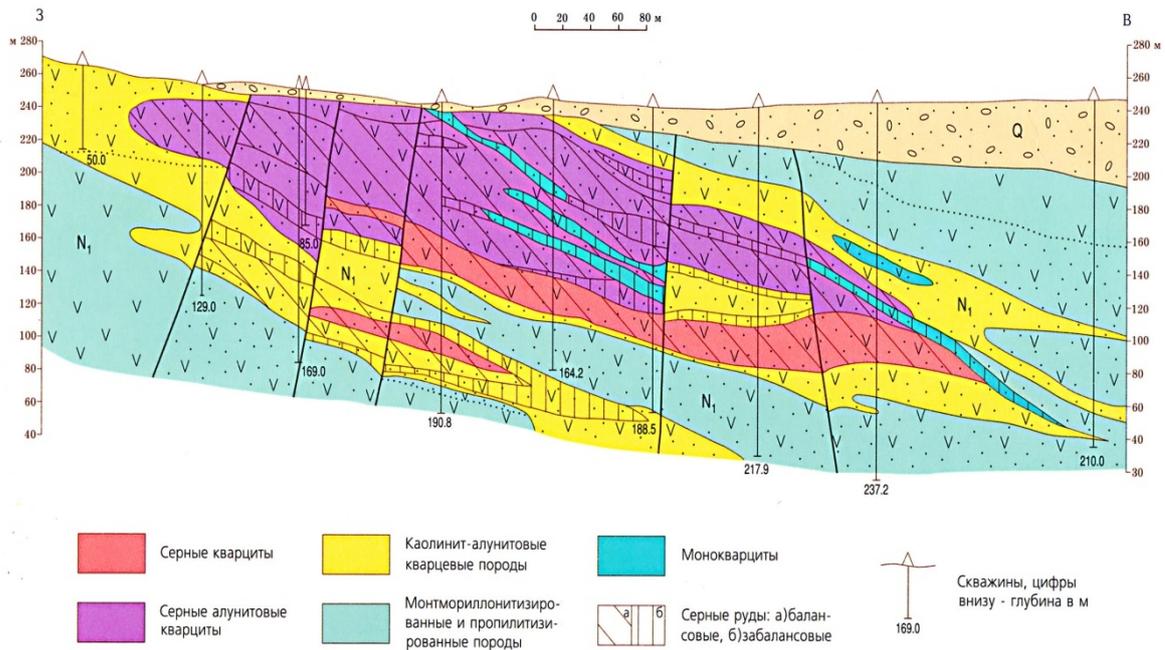


Рис. 4. Геологический разрез Центрального участка Малотойваямского месторождения серы (VII-10-5) [1].

## ЦЕЛИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основная цель работы – изучение типоморфных особенностей серы рудного поля Малотойваям для подготовки рекомендаций по комплексной разработке руд.

Для этого использованы следующие методы исследований: классические методы минералогии с использованием стереомикроскопа Discovery (Carl Zeiss), рентгенофазового анализа (АЦ ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский) и спектрометрии с индукционно связанной плазмой (АСИЦ ИПТМ РАН, г. Черноголовка).

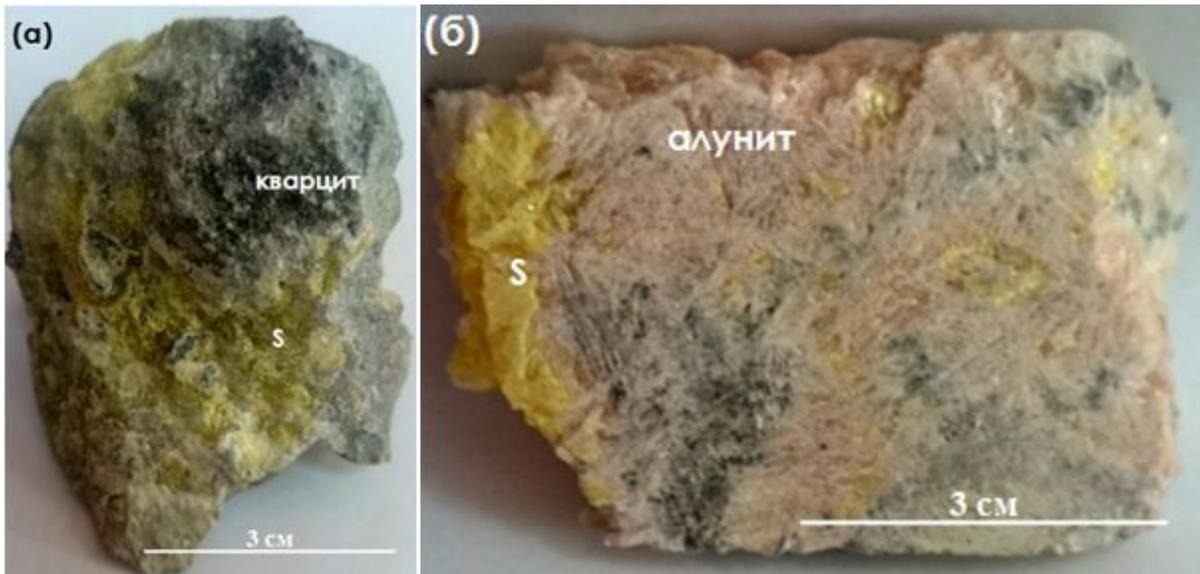


Рис. 5. Фото кернa 1976 г. (а) и 2011 г. (б). Месторождение Юбилейное.

Для исследования были взяты представительные образцы кернa месторождения Юбилейное 1976 и 2011 годов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сера Малетойваямского рудного поля характеризуется классической орторомбической кристаллической решеткой.

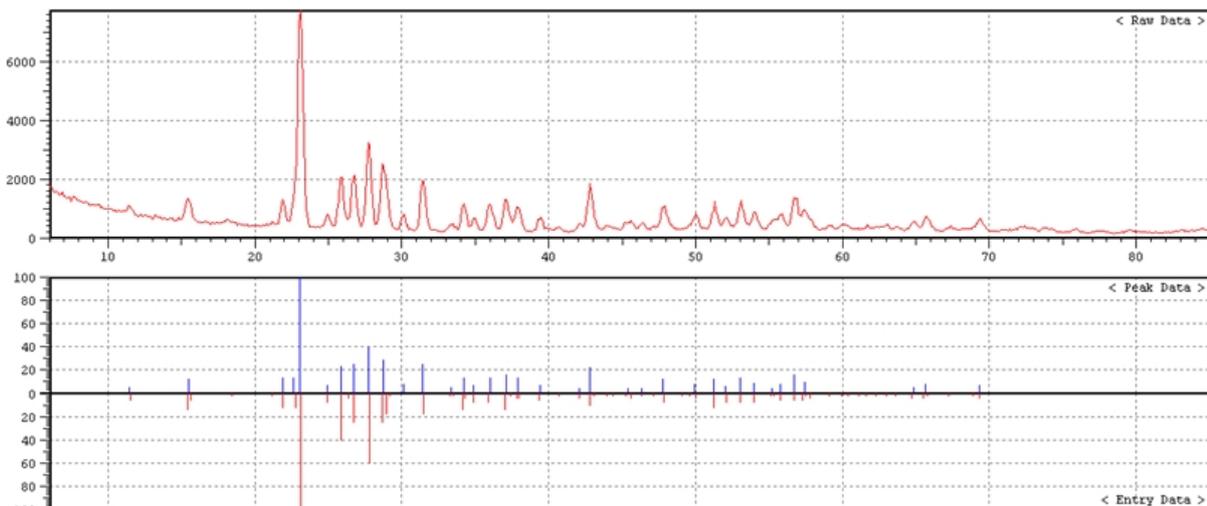


Рис. 6. Рентгенограммы образцов серы кернa 1976 г.

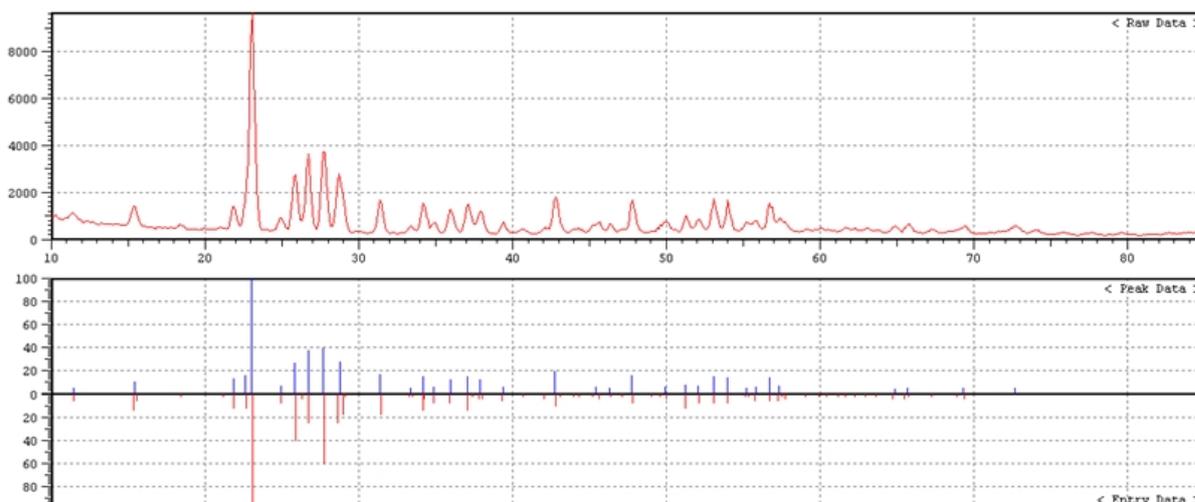


Рис. 7. Рентгенограммы образцов серы керна 2011 г.

Табл. 2. Результаты ИСП анализа серы керна 2011 года месторождения Юбилейное (в ppm).

№	Элемент		№	Элемент		№	Элемент	
1	Li	0,00	12	Sr	2,37	23	Nd	0,03
2	Na	120,05	13	Mo	0,03	24	Hf	0,01
3	K	106,10	14	Ag	0,01	25	W	0,01
4	Ti	0,79	15	Sn	0,11	26	Re	0,01
5	V	0,35	16	Sb	0,57	27	Hg	1,65
6	Cr	0,16	17	Te	56,02	28	Tl	0,01
7	Mn	0,03	18	Cs	0,00	29	Pb	6,55
8	Fe	5,89	19	Ba	30,18	30	Bi	0,03
9	Cu	0,18	20	La	0,04	31	Th	0,01
10	Zn	0,92	21	Ce	0,09			
11	Se	75,91	22	Pr	0,01			

Примечание: анализы выполнены в в АСИЦ ИПТМ РАН, г. Черноголовка; аналитик: В.К. Карандашев.

По результатам ИСП анализа в ней найдены 35 из 64 элементов, определяемых этим методом, их содержания представлены в таблице 2. Концентрации Se, Te и Sb указывают, скорее всего на их изоморфное вхождение в минерал. Концентрации Na, K и Ba могут говорить о таких минералах ассоциации серы как алуниит ( $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ), натроалуниит ( $\text{NaAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ) и Барит ( $\text{Ba}[\text{SO}_4]$ ).

Самородная сера рудного поля Малетойваям содержит большое количество примесей (примерно 400 ppm по результатам анализа ИСП керна 2011 года). Учитывая большую концентрацию серы в месторождениях, вопрос о комплексной разработке Малетойваямского рудного узла остаётся открытым.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предварительные исследования, проведённые в рамках данной работы, подтвердили наличие высоких концентраций примесей селена, теллура, сурьмы. Учитывая высокую токсичность этих элементов в сере и их пагубное воздействие на окружающую среду во время извлечения полезного компонента (золота, серебра) из руд, в качестве рекомендаций необходима разработка комплексного подхода и безотходных технологий освоения и разработки рудопроявлений с привлечением высокопрофессиональных специалистов из многих областей науки и практики (геология, геоэкология, технологии извлечения, аффинажа золота, защиты окружающей среды, инжиниринга, поставки оборудования и реагентов и т.п.).

### ВЫВОДЫ

1. Рудное поле Малетойваям отличается сложным геологическим строением. Оно сложено серно-алуниитовыми породами разной степени гидротермального изменения (комплекс High Sulfidation). В его структуре присутствуют золотосеребряные месторождения медной минерализацией, проявления ртути, селена, полиметаллов.

2. Сера рудного поля содержит высокие концентрации Se, Te, Sr, Hg.
3. Большая часть пород рудного поля имеет промышленные содержания серы. Общие запасы серы можно оценивать 20 000-25 000 тыс.т.

Авторы благодарны А.У. Ким - геолог, ОАО «Золото Камчатки Эксплорейшн») за предоставленные фотоматериалы; В.К. Карандашеву (АСИЦ ИПТМ РАН, г. Черноголовка), М.А. Назаровой (АЦ ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский) за выполнение аналитических работ, научному руководителю В.М. Округину за постановку задачи, каменный материал и постоянное внимание к работе.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Карта полезных ископаемых Камчатской области м-ба 1:500000. Краткая объяснительная записка. Каталог месторождений, проявлений, пунктов минерализации и ореолов рассеяния полезных ископаемых. Главные редакторы: Литвинов А.Ф., Патока М.Г., Марковский Б.А., Петропавловск-Камчатский. ВСЕГЕИ, 1999.
2. Вулканические серные месторождения и некоторые проблемы гидротермального рудообразования. Главный редактор Власов Г.М. М., 1971.
3. Глинка Н.Л. Общая химия М.: КНОРУС, 2011. 752 с.
4. Калинин К.Б., Андреева Е.Д., Яблокова Д.А. Текстуры и структуры рудопоявления Юбилейного (Малетойваямское рудное поле) // Материалы XI региональной молодёжной конференции "Природная среда Камчатки", 2012, с. 39-57.
5. Ляшенко Л.Л., Михайлова Г.Н. Отчет о результатах поисково-разведочных работ в пределах Малетойваямского сернорудного узла. (Энынгваямская ПРП, 1970-1971 гг.), 1972 (фондовая).
6. Ляшенко Л.Л. Отчет о результатах поисково-разведочных работ в пределах Малетойваямского сернорудного узла (Энынгваямская ПРП, 1970-1971 гг.), фонды ПГО «Камчатгеология», 1972.
7. Мелкомуков В.Н., Разумный А.В. (ЗАО «Корякгеолдобыча»), Литвинов А.Ф., Лопатин В.Б. (Управление «Камчатнедра»). Новые высокоперспективные золоторудные объекты Корякии // Горный вестник Камчатки. Выпуск № 4 (14). 2010.

8. Стефанов Ю.М., Широкий Б.И. Металлогения верхнего структурного этажа Камчатки. М.: Наука, 1980. С. 75-87.
9. Талдыкин С.И., Гончарик Н.Ф., Еникеева Г.Н., Розина Б.Б. Атлас структур и текстур руд. М.: Недра, 1954.

SULFUR ORE - A PROMISING RAW MATERIALS  
MINING INDUSTRY ON KAMCHATKA.

*Plutahina E.Yu., Shishkanova K.O.*

Sulfur ore - natural mineral formations containing brimstone in such concentrations that are technically and economically feasible its extraction. The most objective assessment of the Kamchatka Krai resources sulfur presented on the example of the ore field Maletoyvayam. Within this object allocated two areas: Central with substantially sulfuric mineralization and the Jubilee, which metasomatic except sulfur, revealed elevated levels of copper. Ore minerals in metasomatic ore previously installed pyrite, marcasite, realgar and orpiment, and metasomatic with high copper diagnosed chalcocite.

*Keywords: sulfur, Kamchatka, Maletoyvayam, industry, raw materials.*