Записки
Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова,
т. XXXIII, вып. 2, 1958 г.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕКОТОРЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ САМОРОДНОЙ СЕРЫ

А. К. Марков

В 1948 и 1949 гг. автор статьи был участником работ по поискам и разведке вулканических месторождений самородной серы на островах Большой Курильской гряды — Итурупе и Кунашири. Полученные при этом материалы явились основанием предлагаемой статьи. К сожалению, некоторые вопросы геологии изученных серных месторождений освещены в статье недостаточно, так как ряд материалов находится вне Ленинграда. Вместе с тем, нам удалось учесть некоторые новые представления японских геологов по затронутым вопросам. Некоторые из них были заимствованы из неопубликованных переводов Г. М. Власова. Автором также были использованы отчеты о работах на Курилах Р. Остроумова. Как одному, так и другому автор выражает свою признательность.

Острова Итуруп и Кунашири, на которых расположены изученные серные месторождения, являются самыми южными из входящих в группу островов Большой Курильской гряды [10, 8]. К юго-западу от Кунашири расположен о. Хоккайдо, самый северный из архипелага Японских островов. Северо-восточнее Итурупа находится большой остров Уруп и другие острова Большой Курильской гряды. Наконец, западнее Кунашири находится о. Шикотан — из группы островов Малой Курильской гряды.

В пределах названных островов насчитывается 27 крупных вулканических конусов — действующих, затухающих и потухших. Серные месторождения обнаружены на островах Кунашири — в склонах вулканов (рис. 1): Томари (*24*), Раусу-даке (*23*) и Тятя (*22*) и на Итурупе: Мойоро (*13*); в склонах вулканов: Берутарубе (*20*), Мотонопури (*14*), Сио Иван Грозный (*13*), Цararипу (*10*), Котамои-Яма (*9*), Тириппу (*7*), Мойоро-Медвежий (*3*). Практический интерес представляют месторождения на вулканах Томари, Раусу-даке, Котамои-Яма и Мойоро.

Разрез пород, слагающих вулканические сооружения островов, в первом приближении, строится следующим образом:

1) породы, основания[1]: обычно конгломераты и пески с пемзой, пемзы, туффиты, базальты;

2) породы ранней стадии современного вулканизма: сильно железистые агломераты, вулканические брекчии, туффиты, андезиты;

[1] В строении цоколя вулканических образований, судя по находкам гранитной гальки на о. Урупе [14], принимают участие гранитоиды.

3) породы главной фазы того же вулканизма: андезиты, липариты, порфириты, их туфобрекчии, пемзы [5, 7, 16];

4) породы постмагматической деятельности вулканов; сольфатарные выбросы, гейзериты, руды серных и сульфидно-серых месторождений;

5) породы перерывов вулканизма: террасовые отложения лагунно-

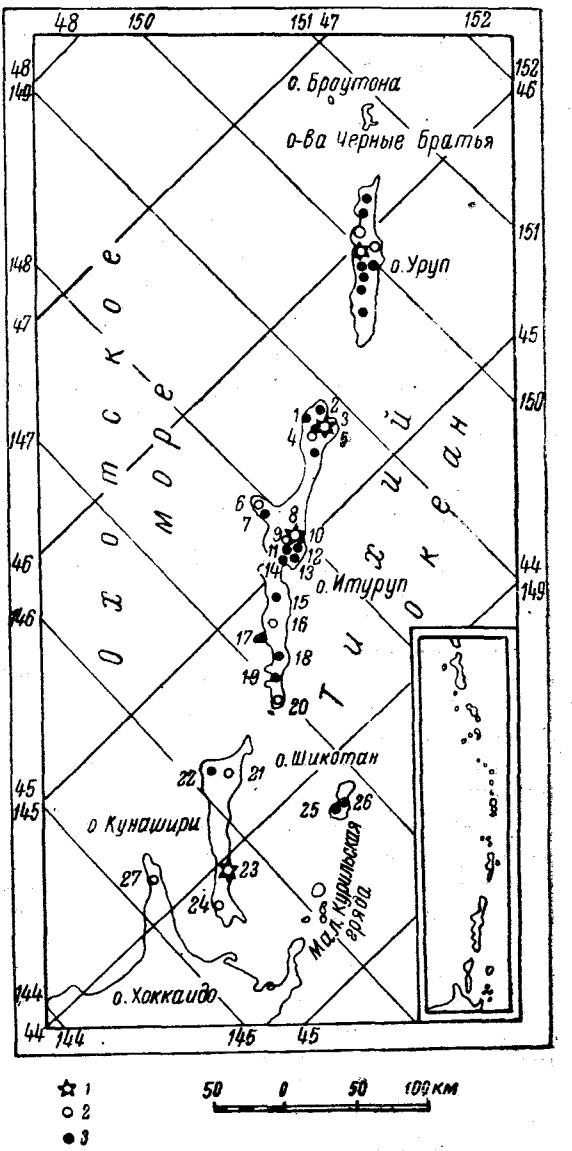


Рис. 1. Карта вулканов южной части островов Большой Курильской гряды (о-ва: Кунашири, Итуруп и др.). Вулканы:

1 — действующие; *2* — затухающие; *3* — потухшие

Современные названия вулканов по Влодавцу В. И. [2]	*Японские названия вулканов*
1. Камуй	Камуй
2. Демон	Роккибецу
3. Медвежий	Мойоро
4. Кудрявый	Сюбай
5. Меньшой брат	Яки
6. Чирип	Кита-Тириппу
7. Богдана Хмельницкого	Минами-Тириппу
8. Баранского	Иусу
9. Тебенькова	Котамои-яма
10. Цараринпу (Мачеха?)	—
11. Дракон	Гобоко
12. Ермак	—
13. Иван Грозный	Сио
14. Мотонопури	Мотонобори
15. Буревестник	Оннето
16. Стокап	Чиси-Хитокаппу
17. Атсонупури	Атоса
18. Кальдера Урбич	Рокка
19. Кальдера Львиная Пасть	Моикеси
20. Берутарубе	Берутарубе
21. Руруй	Руруи
22. Тятя	Гятя
23. Менделеева	Раусу-даке
24. Головина	Гомари
25. Ноторо	Ноторо
26. Томари	Гомари
27. Токату-даке	

озерного происхождения в виде песков, галечников, глин, а также торфы и почвы.

Самородная сера на Курильских островах вся имеет сольфатарное происхождение. По условиям происхождения она образует следующие виды месторождений: месторождения возгона, потоки самородной серы, сольфатарные серные месторождения в наносах, месторождения горячих сероводородных источников, озерные сульфуритно-сульфидные месторождения и месторождения сетчатых сульфидно-серных руд.

Первые четыре вида иногда объединяются как месторождения только самородной серы, остальные являются существенно сульфидными месторождениями самородной серы. Они условно называются также месторождениями сульфидной формации.

Условия образования вулканических месторождений серы, их размеры и строение руд различны. Условия образования месторождений находятся в прямой связи с геологической природой вулканов, к которым они приурочены. При этом главными генетическими факторами являются: 1) вещественный состав пород, слагающих вулканы; 2) характер и происхождение разломов, к которым приурочены вулканы [18], особенно более поздние разломы, секущие вулканические сооружения; 3) температура, газовый состав и расположение сольфатар; 4) положение относительно сольфатар и их очагов кратерных озер, заболоченных участков и характер минерализации их вод; 5) развитие покровов современных наносов и их положение относительно действующих сольфатар; 6) пути движения грунтовых и вадозовых вод; 7) геохимические процессы, происходящие в толщах вулканических пород в наносах и в верховодках на участках деятельности сольфатар близ поверхности, и процессы, протекающие на глубине.

Минеральный состав серных руд сравнительно прост: сера самородная; сульфиды (главным образом железа), окислы кремнезема, железа, меди, квасцы, кальцит, сульфаты; редко барит, хаккутолит и пр.; затем минералы вмещающих серу измененных вулканических пород: кварц, полевой шпат, гиперстен, авгит, эпидот, стекло, хлорит, цоизит, кальцит, магнетит.

В рудах наиболее полно представлены минералы самородной серы и сульфиды железа. Из парагенетических рудообразующих минералов важное значение имеют: каолинит, опал, алунит.

Сера в рудах присутствует в виде: крупнокристаллических агрегатов и крупных кристаллов ромбической модификации, порошковатых агрегатов микролитной серы, скоплений монолитной скрытокристаллической серы, коллоидальных масс сульфуритной серы.

Ромбическая сера образует в потоках псевдоморфозы по моноклинной сере.

Часто встречается сера, окрашенная в черный цвет сульфидом железа, в оранжевый — сульфидами мышьяка и сурьмы и в бурый — по-видимому, органическими примесями.

Сульфиды железа представлены: гидротроилитом [1], пиритом и марказитом. Гидротроилит известен в трех состояниях: черной коллоидальной основной массы озерных донных илов; черной коломорфной плотной основной массы сульфидно-серных руд озерного происхождения; такой же менее плотной массы, слагающей жилы, секущие первичные сульфидные руды.

Опал является главной составной частью подавляющего большинства серных руд и пород, затронутых сернокислотной переработкой. Он выполняет пустоты и образует пропласты и присыпки в рудах. Обычно он белый или окрашен в серый цвет примесью гидротроилита и в желтовато-розовый — лимонита. Встречается не менее двух его разновидностей: коломорфный, прозрачный опал — вероятный остаточный продукт первичной сернокислотной переработки пород и порошковатый окрашенный гель кремнезема, выпадающий из горячих вод вместе с травертином.

Каолинит наблюдается только в виде скоплений мелких чешуек, перемешанных с зернами опала и замещающих фенокристаллы алюмосиликатов в породах, слабо затронутых осветлением (при сернокислотной

переработке). По мере увеличения в такой породе количества опала каолинит пропадает или замещается алунитом.

Исследования японских геологов дают основание считать, что каолинит образует не менее двух генераций [12, 13].

Алунит, крупный, в алунитизированной породе замещает вкрапленники, цемент породы замещается мелким алунитом и опалом. В рудах алунит образует следующие разновидности: а) мелкозернистую, которая замещает основную массу пород, подвергающихся осернению главным образом, в первичных серных рудах; б) ксеноморфную, которая слагает секущие жилки во вторичных рудах.

Руды вулканических месторождений серы отличаются главным образом строением и в меньшей мере — минералогическим составом. Поэтому руды подразделены нами в основном по их структурным особенностям.

Наиболее распространены следующие разновидности серных руд:

I. Сыпучие руды: порошковато-зернистая микролитная (неслоистая, реже — слоистая); серные сыпучки [1].
II. Массивные руды: плотная сера (потоков) — мономинеральная и грязевая (однородная мелкозернистая) [2]; шлировая.
III. Обломочные руды: серная брекчия; конгломератная; туффитовая.
IV. Агломератные руды: крепкая массивно-агломератная; мягкая агломератная.
V. Скорлуповатые руды: натечно-бугристая; шаровая.
VI. Слоистые руды: слоисто-сульфуритная; оолитовая; серная дробь, чечевичная.
VII. Сульфидные руды: кавернозная; однородная сульфидно-серная; сетчатая сульфидно-серная.
VIII. Жильная бурая сера.

В рудах сульфидных над всеми составными частями преобладают сульфиды железа, в остальных рудах — сера или сера и вмещающая порода. Во многих рудах привнесенная сера находится на месте вынесенных частей замещаемой породы. Такие руды называются рудами замещения.

Наиболее богаты серой следующие руды: микролитная сера, плотная сера потоков, шлировая руда, натечно-бугристая, серная дробь, чечевичная руда, бурая сера.

Месторождения возгона известны в трех пунктах: в кальдере кратера вулкана Котамои-Яма, в кратере вулкана Иван Грозный (о. Итуруп) и на юго-западном склоне вулкана Раусу-даке (о. Кунашири); последнее месторождение носит название Раусу III. Аналогичное месторождение расположено в 100—120 *км* к юго-западу от Раусу-даке и приурочено к склонам вулкана Tokaty-dake (*27*), который находится на северном берегу о. Хоккайдо в Японии [17]. Такие же, но более мелкие месторождения известны и на других вулканах Японских островов [18].

Месторождение Раусу III представляет конус выбросов так называемой Большой сольфатары. Он сложен самородной серой в различных ее агрегатных состояниях и состоит из верхней — новой части, расположенной на нижней — старой. Верхняя часть конуса сложена рыхлой порошковатой микролитной серой, внизу переходящей в плотную мономинеральную серу (рис. 2). Старая часть конуса в юго-восточном сегменте включает прорывающий ее поток излившейся серы. Современная часть

[1] Среди них могут быть выделены: чистая — состоящая только из зерен серы, кварцевая, кварц-липаритовая и андезитовая, т. е. с примесью зерен указанных минералов и пород.

[2] По-видимому, бывает раскристаллизованной и перекристаллизованной.

конуса перекрывает этот поток. В литологическом отношении старая часть конуса сложена неоднократным чередованием грязевой серы с серной дробью и плотной мономинеральной серой, которые отслаиваются присыпками кремнеземного геля. Мощность каждого такого литологического прослойка колеблется от 2—3 до 10—15 *см*. Такая литологическая ритмичность повторяется в пределах старой части конуса 18 раз.

Диаметр основания конуса Большой сольфатары Раусу III 10—15 *м*, высота конуса 2—5 *м*, диаметр жерловины сольфатары 1—1,5 *м*.

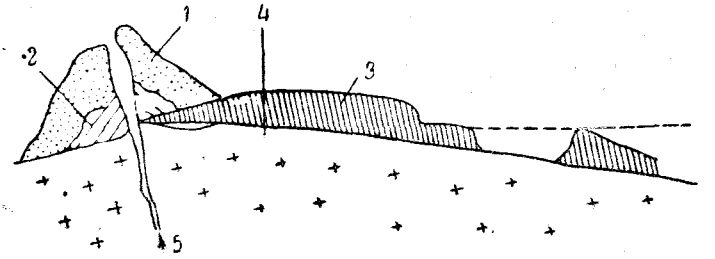


Рис. 2. Схема строения конуса выбросов Большой сольфатары Раусу III:

1 — современный конус выбросов сольфатары; *2* — древний конус выбросов сольфатары; *3* — поток (преимущественно грязевая сера); *4* — основание из вулканических пород; *5* — канал сольфатарных газов

Потоки. Залежь серы в виде потока из Большой сольфатары в районе Раусу III выработана японцами. Сейчас можно наблюдать лишь незначительные остатки потока, сохранившиеся в бортах распадка, по которому он изливался, и близ жерла Большой сольфатары, т. е. там, где японцы прекратили разработку (см. рис. 2, 3). Такая же залежь излив-

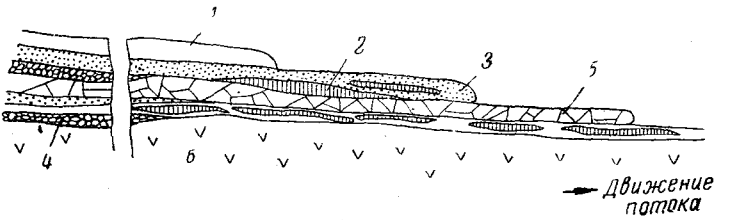


Рис. 3. Схема строения потока самородной серы из Большой сольфатары Раусу III:

1 — монолитная желтая сера; *2* — шлировая сера; *3* — серная грязь; *4* — серная дробь; *5* — серная брекчия; *6* — лавовое основание

шейся серы, но гораздо больших размеров известна в северных склонах вулкана Tokaty-dake [17].

Ширина потока в районе Раусу III достигала нескольких десятков метров, длина была не менее 500—700 *м* и мощность доходила в конце его дальней трети до 3—4 *м*. Поток сложен чередующимися излияниями: почти чистой монолитной (плавленной) серы и монолитной серной грязи с пятнами шлировой руды. Местами среди них наблюдаются прослойки серной брекчии, состоящей из осколков чистой и грязевой серы и каолинизированных осколков лав, цементированных такой же плавленной серой или серной грязью. Близ жерла сольфатары в строении потока участвует серная дробь. Несколько дальше от устья, среди окружающих серных брекчий, наблюдаются серные сыпучки.

Поток изливался в несколько приемов, о чем свидетельствует ука-

занная выше литологическая неоднородность и его форма. Каждое последующее излияние налагалось на предыдущее, сохраняя свои морфологические очертания и местами отслаиваясь по присыпкам кремнеземного геля. Это обусловило многоярусный, ступенчатый вид потока (рис. 3).

Сольфатарные месторождения в наносах — это наиболее продуктивные месторождения самородной серы на Курильских островах. Они распространены всюду, где происходит перекрытие наносами действующих сольфатарных очагов. Их геологическая природа изучена слабо, несмотря на то, что в подавляющем большинстве случаев на Курильских островах разрабатывались именно такие месторождения. Наиболее значитель-

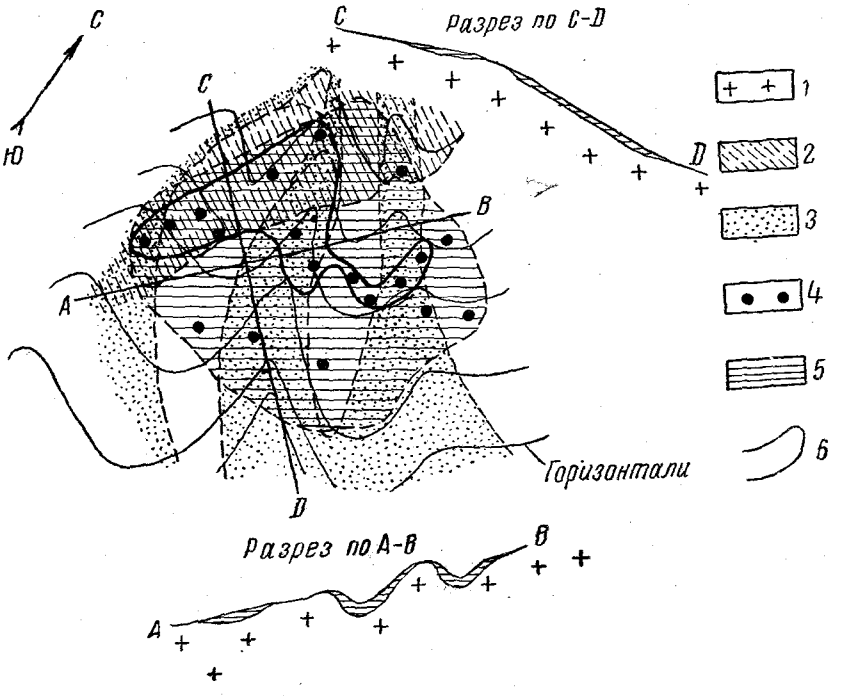


Рис. 4. Схема геологического строения серной залежи в наносах Раусу II:

1 — липариты; *2* — древние наносы; *3* — молодые (современные наносы); *4* — сольфатарные очаги; *5* — площадь серного месторождения; *6* — контур богатой серой части месторождения. Для упрощения чертежа на плане значки липарита сняты. Горизонтали проведены через 50 *м*

ными из них на о. Итурупе являются месторождения вулканов Котамои-Яма, Тириппу, Берутарубе, Медвежий и др., на о. Кунашири — месторождения Раусу I, II, III, находящиеся на вулкане Раусу-даке, и серные залежи вулкана Томари.

Оруденение на этих месторождениях представлено серными брекчиями, конгломератными и туффитовыми серными рудами. По периферии и в подошвах серных залежей встречаются агломератные и скорлуповатые руды; изредка, пятнами, обнаруживаются однородные сульфидные руды. Таким образом, образование таких серных месторождений нельзя рассматривать как осернение только одних наносов. В ряде случаев процесс рудообразования частично захватывает и коренные породы, т. е. носит комплексный характер с преобладанием оруденения в наносах.

Мощность оруденения в наносах достигает нескольких метров. Общая конфигурация месторождения определяется очертанием площадей с

наличием сольфатарных очагов в пределах развития перекрывающих их наносов и рельефом современной поверхности.

Примерное геологическое строение такого месторождения показано на рис. 4. Основным рудосозидающим элементом месторождения в наносах является так называемый фумарольный, точнее — сольфатарный бугор (рис. 5). Он образуется следующим образом. Выход сольфатары в склон баранкоса пересыпается наносом; затем нанос перерабатывается в серную брекчию. Для образования серы необходим кислород; поэтому внешняя часть наноса быстрее переходит в руду, что создает над устьем сольфатары плащ из руды, непроницаемый для дальнейшего выхода сольфатарных газов в атмосферу. Это заставляет газы искать новый вы-

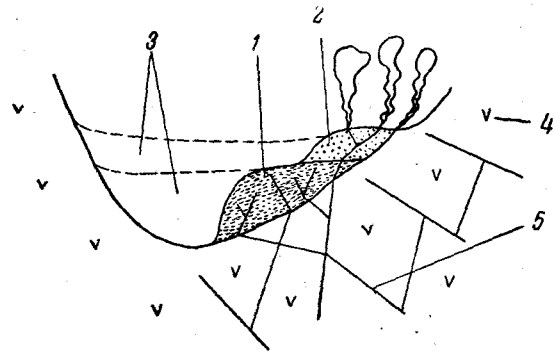


Рис. 5. Схема строения сольфатарного бугра (в разрезе):

1 — первый ярус серной брекчии; *2* — второй ярус серной брекчии; *3* — смытая часть наносов; *4* — коренные породы; *5* — сольфатарные каналы

ход. Почти всегда он обнаруживается в стороне и вверх по склону. Найденный выход вновь пересыпается наносами, которые опять перерабатываются в руду и т. д.

В результате создается ползущее по склону рудное тело. В дальнейшем размывом уничтожается неосерненная часть наносов, осернение же остается в виде бугра, который и носит название «сольфатарного».

С течением времени бугры, нарастая, пересекаются и спаиваются в общий рудный плащ над площадью развития выходов сольфатарных газов из коренных пород. Как показывают наблюдения, сольфатары на месторождениях представляют, за редкими исключениями, очень чувствительную взаимосвязанную систему. Так, часто бывает достаточно вскрыть 2—3 сольфатарных бугра, чтобы понизить интенсивность проявления соседних сольфатар. Последнее сразу регистрируется по понижению их газовых грифонов. Закрытие нескольких соседних сольфатар приводит к повышению интенсивности действия оставшихся. Этим обстоятельством, в частности, объясняется образование обогащенных серой участков месторождения, а также миграция оруденения с одних участков на другие, иногда разобщенные пустой породой. Эксперименты, подтверждающие эти явления, были проведены на месторождениях Раусу III.

Время образования серных месторождений в наносах очень недавнее, о чем можно судить по присутствию в серных брекчиях древесных растительных остатков и даже иногда пиломатериалов.

Месторождения горячих сероводородных источников представлены незначительными по размерам пластообразными сульфуритными залежами. Они имеют вытянутую форму, повторяя очертания аллювия рус-

ловых образований, отлагающих их источников. В ширину такая залежь обычно занимает все русло отвершка, по которому текут сероводородные воды источника. Мощность ее в первой трети, считая от устья источника, всегда наибольшая. По мере удаления от устья мощность залежи снижается до полного выклинивания. Среди залежей есть древние с источниками питания, прекратившими свое действие, и современные или молодые, развитие которых происходит за счет действующих сейчас источников питания.

Залежи этой группы месторождений встречаются во всех частях вулканических сооружений как островов Итурипа и Кунашири, так и других

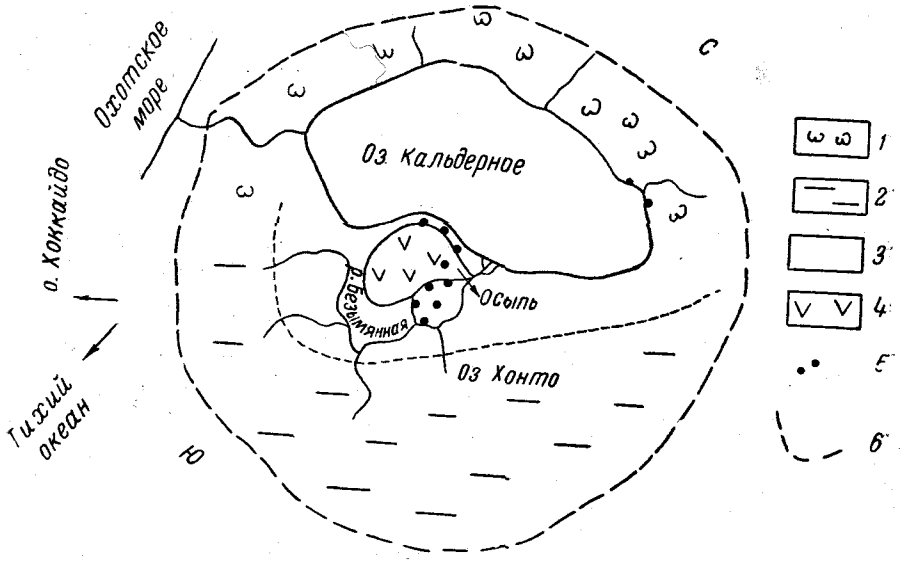


Рис. 6. Схема геологического строения района месторождения озера Хонто:

1 — леса; *2* — болота; 3 — терраса Кальдерного озера; *4* — лавы паразитирующего конуса; *5* — сольфатарные очаги; *6* — очертания кальдеры вулкана Томари

Курильских и Японских островов. Радиус их проявления, по отношению к центральной части вулкана, во много раз больший, чем для месторождений других групп. На таких месторождениях главным образом развиты бугристые, натечные и изредка агломератные руды. Залежей этой группы зарегистрировано очень много. Так, на одном только вулкане Раусу-даке их известно несколько десятков.

Озерные сульфуритно-сульфидные месторождения на островах Кунашири и Итурупе имеют ограниченное распространение. Среди известных назовем довольно крупное месторождение, находящееся на о. Кунашири, в кальдере вулкана Томари, у подножья его паразитирующего конуса, жерловая часть которого сложена некком липарита, а склоны — липаритовыми брекчиями, андезитами и туфолавами (рис. 6). Большая часть кальдеры занята обширным Кальдерным озером, его террасой и приозерными болотами. Паразитирующий конус возвышается на южном берегу Кальдерного озера — близ границы между террасой и болотами. Часть заболоченной местности в устье Безымянной речки, со стороны юго-восточных склонов конуса, отшнурована от Кальдерного озера осыпью, вследствие чего здесь образовалось небольшое озерко Хонто. Оно имеет сток в Кальдерное озеро и питается болотными водами Безымянной речки.

С юга и севера вдоль подошвы конуса расположены очаги многочисленных сольфатар. На юге они находятся на уровне уреза воды озера Хонто, на севере — в береговых склонах котловины Кальдерного озера, на всей нижней трети северного склона конуса. Дно озера Хонто сложено гидротроилитовыми илами, чередующимися с прослойками сульфурита, которые местами сменяются чечевичной серой. Все они отслаиваются кремнеземным гелем, иногда глиной.

По мере приближения к водосливу из озера Хонто в Кальдерное озеро мощность сульфидных илов, особенно руд чечевидной серы, возрастает. Часть донных отложений вдоль западного берега озера Хонто оказалась сейчас выведенной на поверхность и находится на 50—60 *м* выше уровня воды в озере. Донные отложения здесь залегают в виде

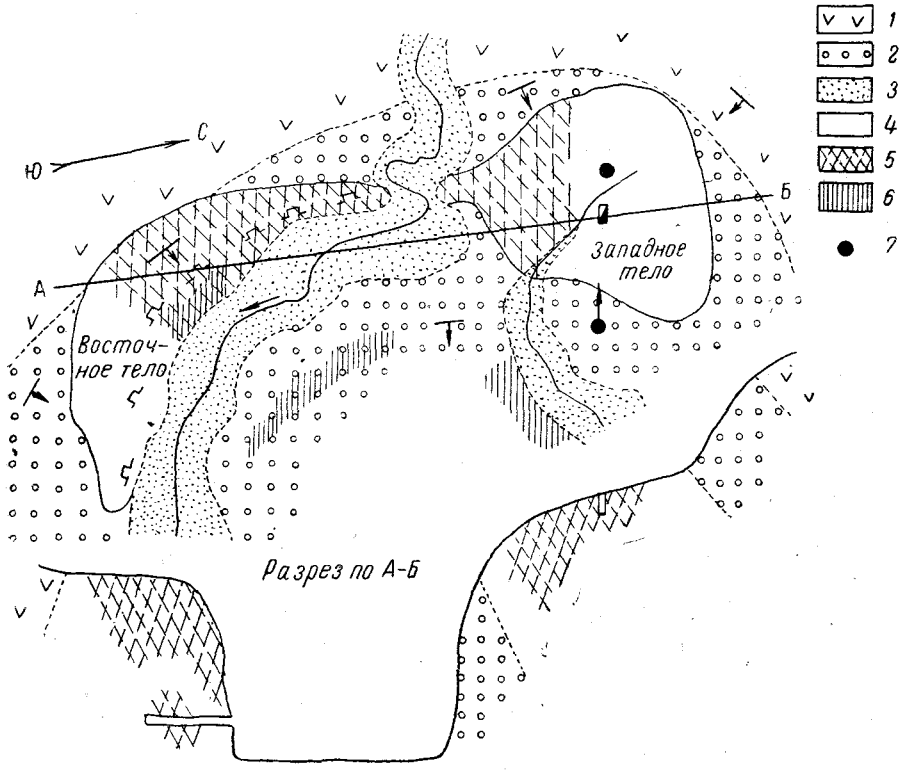


Рис. 7. Схема геологического строения месторождения сетчатых сульфидно-серных руд Раусу I:

1 — андезиты; *2* — лавобрекчии; *3* — наносы; *4* — однородные сульфидно-серные руды; *5* — сетчатые сульфидно-серные руды; *6* — оквасцевание; *7* — предполагаемое устье скважины. Разрез составлен схематичнее плана месторождения

пластов, падающих на юго-запад. Мощность донных сульфуритно-сульфидных илов в озере местами значительная. Площадь их развития составляет примерно половину площади озера.

Японцами месторождение эксплуатировалось путем вычерпывания донных илов и непосредственного выплавления из них серы.

Аналогичные месторождения широко распространены в Японии, где они объединяются в группу месторождений Horobets-Ogusy. Древние из них после образования первичных руд сильно дислоцированы, затем метаморфизированы и вторично минерализованы, благодаря чему приобрели облик, близкий к месторождениям сетчатых сульфидно-серных руд.

Однако их первичное осадочное происхождение подтверждается присутствием в рудах реликтовых слоистых структур. Вторичная минерализация выразилась в опализации, сульфидизации, алунитизации, осернении и первоначально произошла по трещинам усыхания, которые появились в донных илах вкрест слоистости. Затем эти вторично минерализованные илы, под влиянием боковых напряжений, вследствие смятия, были снова разбиты трещинами вдоль и по слоистости. По этим поздним трещинам в них отложились желтая сера и черный сульфид. На этом минерализация закончилась.

В течение этого процесса подавляющая часть первичного гидротроилита, или как его называют японские геологи, «черного сульфида» была раскристаллизована в пирит. В этих рудах в Японии иногда содержится заметное количество барита. Рудообразования, близкие к описанным, известны на Курильских островах в склонах вулканов Раусу-даке и Котамси-Яма.

Месторождения сетчатых сульфидно-серных руд по существу объединяют целую группу сильно метаморфизованных и минерализованных сульфидных залежей самородной серы.

Рудам этих месторождений, кроме самородной серы, свойственно очень высокое содержание сульфидов железа при наличии примесей сульфидов меди, никеля и пр. Среди руд наиболее развиты сетчатые. Самым крупным из них на Курильских островах является месторождение Раусу I (рис. 7). Оно подчинено ядру местного смятия толщи вулканических пород, которое имеет крутопадающие крылья. Толща представлена в основном андезитовыми сильно железистыми агломератными лавобрекчиями. Месторождение сложено преимущественно сетчатыми сульфидно-серными рудами.

Оно состоит из двух крупных рудных тел — Западного и Восточного, которые разобщены глубоким каньоном. Ниже дна каньона под наносами эти тела, вероятно, соединены перемычкой.

Судя по результатам буровых разведок, проведенных японскими геологами на Западном теле, глубина развития сульфидных руд на месторождении измеряется десятками метров.

При оконтуривании Восточного тела было видно, что, в нижней его части, руды по простиранию переходят в железистые брекчии, в верхних же горизонтах текстура плотных разностей руд похожа на слоистую. Шаровые руды отсутствуют.

Количество сетчатых руд как в Западном, так и в Восточном телах близ поверхности и по направлению от каньона к концам залежи уменьшается. Остальная рудная масса сложена кавернозными и плотными сульфидными рудами. К середине Восточного тела приурочены жилы бурой серы, простирающиеся в северо-восточном направлении с падением на Ю-В под углом 70—80°.

Аналогичные месторождения широко распространены и успешно разрабатываются в нескольких пунктах Японии.

Переходя к выводам, в первую очередь укажем, что при образовании руд большинства рассмотренных серных месторождений, особенно руд замещения, главную роль играли следующие процессы: каолинизация, силификация — отложение опала, осернение, алунитизация, сульфидизация — пропилитизация. Эти процессы не могли быть одновременными, так как геохимическая среда, благоприятная для каолинизации и пропилитизации, неблагоприятна для осернения, отложения опала и алунита.

Чередование процессов доказывается образованием сетчатых руд с троекратной взаимной сменой названных видов минерализации. К та-

кому же выводу приводит и рассмотрение образования донных озерных руд с многократной сменой послойного отложения гидротроилита, сульфурита и опала.

Вместе с тем некоторые процессы перекрывали друг друга, что доказывается, например, присутствием среди тех же озерных руд сульфидов железа в сульфурите и наоборот. Это зачастую не было простым наложением, так как парагенетическое сродство сульфида и серы доходит здесь до окрашивания всего вещества кристаллов серы в равномерный черный цвет сульфидом железа.

В других рудах, образовавшихся в результате таких процессов, имеет место и безусловное наложение минерализации. Так, например, алунит в рудах замещения и сульфиды железа в сетчатых рудах образуют более поздние — секущие — генерации.

Из указанных выше процессов первым был процесс каолинизации, когда происходили разрушение и вынос составных частей из материнских пород. При этом освобождались пространства, заполнявшиеся затем серой и другими рудообразующими минералами. Изложенное доказывается тем, что руды никогда не образуются в неосветленных породах, где остаются невынесенными металлы V группы (в нашем случае железо) и неразложенными — полевые шпаты с удалением щелочей и щелочных земель.

При первой стадии изменения вмещающих серу пород происходила именно их каолинизация, а не метасоматическая переработка, как склонны считать японские [16] и некоторые наши исследователи. Такое представление основано на наблюдающемся иногда полном параморфическом замещении алюмосиликатов опалом при отсутствии заметных количеств каолинита и других минералов его группы [12, 13] в некоторых рудах месторождений самородной серы в Японии и на Камчатке. Вероятно, эти обстоятельства вызваны тем, что освобождающийся во время каолинизации глинозем, при наличии в избытке свободной серной кислоты, весь связывается в алунит, количество которого в переработанной породе весьма велико. Черные сульфиды в рудах, подобно алуниту, так же не имеют признаков метасоматического образования.

Процесс осветления пород не мог протекать после осернения, так как сера привносилась сольфатарными газами, проявление которых имеет всегда локальный характер, сопровождается местным прогревом пород, циркуляций в них грунтовых вод, поступлением большого количества горячей ювенильной воды в виде пара и образованием серной кислоты в результате окисления присутствующего в их составе SO_2. Осветленные же породы развиты значительно шире, чем серные руды.

Действие горячей воды на полевошпатовые породы, в которых затем отлагалась сера, первоначально вызывало каолинизацию. Присутствие серной кислоты ускоряло каолинизацию, определяло алунитизацию, способствовало пропилитизации пород. Выпадение серы происходило главным образом за счет окисления сероводорода сольфатар. Для этого необходимо длительное и очень тесное совместное пребывание сероводорода с кислородом, которое хорошо осуществляется в приповерхностных частях пород, насыщенных воздухом, там, где они разбиты кливажем и наиболее каолинизированы.

Наблюдения подтверждают такую картину формирования серных руд. Известно, например, что наиболее эффективно эти руды образуются в наносах, состоящих из дресвы каолинизированной породы, перекрывающих выходы сольфатарных газов (серная брекчия).

Опализация пород носила двоякий характер. С одной стороны, это был процесс накопления остаточной кремнекислоты, получающейся в ре-

зультате разложения алюмосиликатов, с другой — процесс отложения кремнезема, привнесенного ювенильными водами. Последнее доказывается часто наблюдающимся почти полным замещением осветленных пород опалом.

Выпадение сернистого железа определяется взаимодействием сероводорода в водном растворе и сернокислого железа, получающегося при обработке вулканических пород серной кислотой. Отложение гидротроилита протекает по той же реакции, но при условии перенасыщения озерных вод сероводородом и резко сменяется выпадением сульфурита во время поступления в озеро большого количества верховодки. Образование черных железистых сульфидов поздних генераций, видимо, происходило при воздействии сероводорода и водяного пара непосредственно на сильно железистые вулканические брекчии, как это наблюдается сейчас на месторождении Раусу I.

Таким образом, процессы рудообразования начинались каолинизацией материнских пород, за которой следовало отложение других рудообразующих минералов. Эти процессы перекрывались и налагались друг на друга, не будучи строго последовательными и одновременными, что зависело от геохимической среды рудообразования. Разнотипность месторождений и разнообразие серных руд является следствием этого своеобразия процессов минерализации.

В качестве иллюстрации изложенного приведены вероятные схемы рудообразования для месторождений с рудами замещения в наносах (рис. 8, *а*), донно-озерными рудами (рис. 8, *б*) и сетчатыми сульфидно-серными рудами (рис. 8, *в*), и для сравнения аналогичная схема для японских месторождений руд замещения типа Jonago-Ogusy (рис. 8, *г*).

Как показывают схемы, состав и стадии минерализации на месторождениях о. Итурупа и о. Кунашири примерно такие же, как и на японских месторождениях. Японские геологи опускают в своей схеме рудообразования каолинизацию, считая ее второстепенным этапом и придавая большое значение, как указано выше, метасоматозу. Они опускают также и образование второстепенных минералов (барита и др.).

Отсутствие современной стадии минерализации на сульфидных месторождениях типа Jonago-Ogusy, объясняется тем, что эти месторождения погребены под лавовыми покровами и формирование их прекратилось.

В японской классификации выделяются следующие группы вулканических серных месторождений:

1) вулканогенно-осадочные метаморфизованные, пластообразные месторождения типа Horobest-Montsuo; 2) вулканические месторождения вкрапленных и массивных руд замещения типа Jonago-Ogusy [12]; 3) серные потоки типа JwO-San [17, 19]. Судя по описанию месторождений, на основании изучения которых составлена классификация [12, 13], следует отметить, что, кроме уже сказанного, она не предусматривает формирования серных месторождений в наносах и придает решающее значение в рудообразовании процессу сульфидизации. Первое обстоятельство не соответствует фактам, наблюдаемым на Курильских островах. Второе вызвано преобладанием сульфидного оруденения и, вероятно, является следствием своеобразия геологической обстановки вулканов Японии.

Выделенные нами указанные выше залежи 1, 2 и 3-й групп относятся к типу 2 классификации П. М. Татаринова [9] — месторождениям, связанным с вулканической деятельностью. Залежи нашей группы 4 выделены П. М. Татариновым в самостоятельный тип месторождений, связанных с отложениями минеральных источников. Залежи же групп 5 и 6

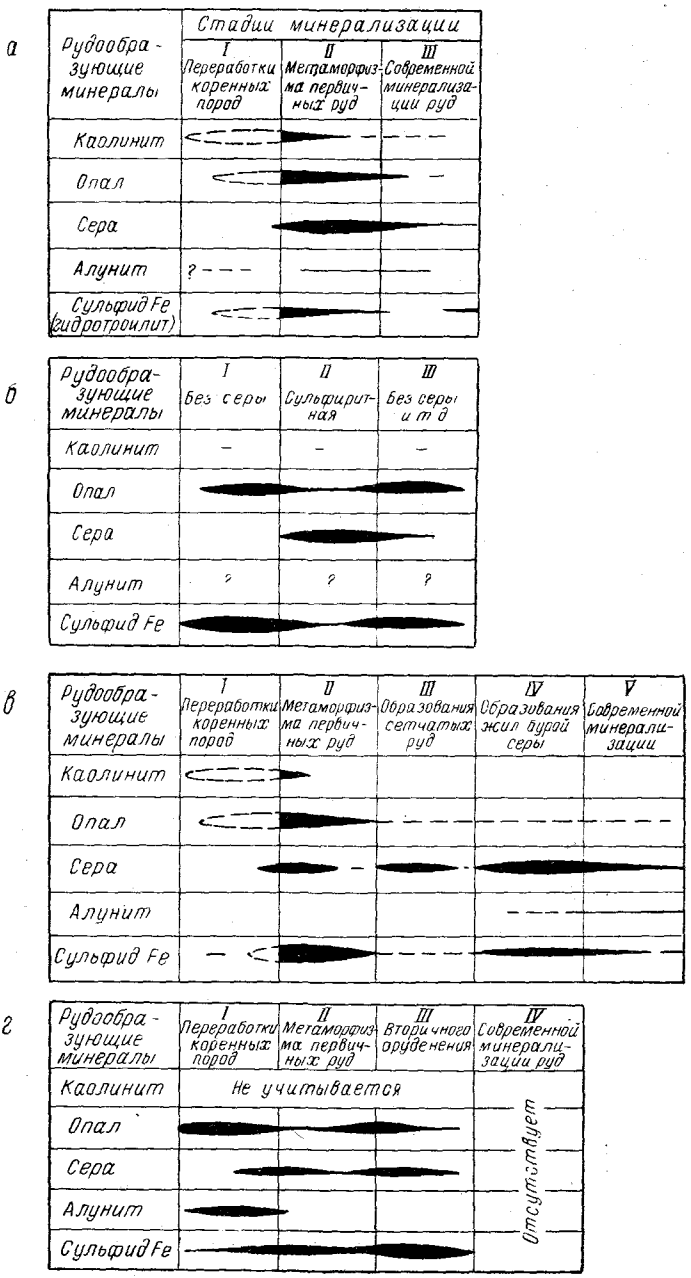


Рис. 8. Диаграмма относительного развития процессов рудообразования для некоторых месторождений самородной серы вулканического происхождения:

а — сольфатарные серные месторождения в наносах; *б* — озерные сульфидно-серные месторождения; *в* — месторождения сетчатых сульфидно-серных руд; *г* — месторождения замещения типа Jonago-Ogusy по T. Kato 1940 г. [12]. Стадия IV в этой схеме введена автором статьи

скорее следует отнести к первому — сульфидному типу месторождений классификации П. М. Татаринова.

На основании сказанного можно сделать следующие выводы.

Изучавшиеся месторождения представляют результат выпадения самородной серы, отчасти сульфидов железа, в условиях интенсивного окисления сольфатарных погонов при выходе их на дневную поверхность и соприкосновения с воздухом. Выпадение серы происходит и в настоящее время.

Большую роль в образовании этих серных месторождений играет первоначальное строение и вещественный состав пород, к которым они приурочены: количество железа в породах, особенности четвертичной и современной геологии и геоморфологии вулканов, режим грунтовых вод и пр.

Образование серных руд сопровождается гидротермальной и сернокислотной переработкой окружающих месторождения и вмещающих серу пород. При этом происходят: каолинизация, опализации, осернение, алунитизация, выпадение сульфидов железа (сульфидизация). Эти процессы перекрывают друг друга, иногда неоднократно чередуются, что отражается строением и многообразием серных руд.

В генетическом отношении Курильские серные месторождения, возможно, более многообразны, чем Японские, так как на Курилах, кроме трех типов месторождений, описанных среди японских залежей серы, широким развитием пользуются залежи в наносах, отсутствующие в японской классификации.

Время образования серных месторождений, судя по присутствию в рудах современных древесных остатков и даже пиломатериалов, очень недавнее.

Среди вопросов генезиса первостепенное значение имеет вопрос об условиях приповерхностей переработки сольфатарных погонов.

В заключение скажем несколько слов о поисках и разведке вулканических месторождений самородной серы.

Поиски таких месторождений производятся по приуроченности к разломам в пределах кальдер вулканов, находящихся в стадии сольфатарной деятельности; наличию полей проявления сольфатар; наличию сернокислотной переработки вулканических пород (осветления, посинения, размягчения, приобретения сыпучих свойств); отсутствию растительности на участках месторождений; по валунам серных руд в руслах баранкосных потоков и пр.

Поиски эффективны на площадях, где фумарольные поля неоднократно перекрываются наносами и, за исключением сульфидно-серных месторождений, малоблагонадежны под покровами лав, так как несульфидные серные руды неустойчивы механически и по отношению к температуре.

Поиски производятся в основном путем геологического маршрутного и площадного изучения и картирования. В последние годы, в целях обнаружения погребенных серных месторождений типа Jonago-Orusy, японские геологи применяют электроразведку [15], что основано на разной электрической проводимости осветленных и свежих пород.

Разведка большинства месторождений (кроме сульфидных) методически элементарна. Она производится мелкими выработками, так как серные руды обычно находятся непосредственно на поверхности. Разведка сводится к выявлению их мощности, оконтуриванию и опробованию на содержание серы. При этом прослеживание становится почти ненужными.

Разведка сульфидно-серных месторождений более сложна. Она тре-

бует применения буровых и тяжелых горно-разведочных выработок и, как показали работы последних лет в Японии, в ряде случаев проводится в комплексе с электроразведкой, при помощи которой слепые тела сульфидных руд оконтуриваются и прослеживаются.

Основные условия оценки месторождений по результатам разведочных работ аналогичны оценке осадочных месторождений серы.

Кроме добычи серы из естественно отложенных руд, возможно использование сольфатарных погонов путем их улавливания и извлечения из них элементарной серы, что ранее и делалось японскими предпринимателями.

По изложенной выше методике геологоразведочных работ нами был обнаружен и разведан ряд серных месторождений на островах Кунашири и Итурупе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В. И. История минералов земной коры. Т. 1, вып. II, 1927.
2. Владавец В. И. Вулканы Советского Союза. ГИГЛ, 1949.
3. Горшков Г. С. Названия вулканов на Курильских островах. Изв. Всесоюзн. Географич. об-ва, 1948, т. 80, вып. 2.
4. Заварицкий А. Н. Вулкан Авача на Камчатке и его состояние летом 1931 г. Труды ЦНИГРИ, 1935, вып. 35.
5. Заварицкий А. Н. Вулканическая зона Курильских островов. Вестн. АН СССР, 1946, № 1.
6. Корсунская Г. В. Геоморфология южных островов Курильского архипелага. Труды Всесоюзн. географич. съезда, т. II. ОНТИ, 1948.
7. Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Вулканическая группа Карадага в Крыму. Изд. АН СССР, 1933—1935.
8. Соловьев А. И. Курильские острова. Главсевморпуть, 1947.
9. Татаринов П. М. Курс нерудных месторождений. Ч. 1. Сера. Гос. горно-геол. издат. Нефтьиздат, 1934.
10. Bubnoff S. Greifswald. Sonderdruck aus die Naturwissenschaften, 1942, 30 Jahrg., H. 38/39.
11. Cotton C. L. Volcanoes as Landscaps forms. London, Melburn Perth. Sydney, 1949.
12. Kato T., Jamaguty T. Japan. Journ. of Geol. a. Georg. Tokyo. 1940, V—XIII, S—4.
13. Kato, T., Watanabe T. Japan. Journ. of Geol. a. Geogr. Tokyo, 1934, V—XI, S—4.
14. Nemoto T. Proceed. Fifth Pacif. Sc. Congr. Canada, 1933, V—III, S—A7.
15. Shiboto R. (Сибото). Электроразведка на серном руднике Нумадзири, префектура Фокусима. Реферативн. Журн. А. Н. СССР Инст. Научн. Информ. Геология, География. 1955, № 4, Реферат, 4775.
16. Susuky J. (prof) a. Sasa J. Proceed. Fifth. Pacif. Sc. Congr. Canada, 1933, V—III, S—A7.
17. Tanakadate H. Proceed. Third Pan. Pacif. Congr. Tokyo, 1926, V—I.
18. Tokuda S. Japan Journ. of Geol. a. Geogr. Tokyo, 1926—27, V—V, S 1—2.
19. Watanabe T. Japan. Journ. of Geol. a. Geogr. Tokyo 1940, V—XVIII, S. 3—4.