

## МЕТАЛЛОНОСНЫЕ ОСАДКИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РИФТА ВОСТОЧНО-ТИХООКЕАНСКОГО ПОДНЯТИЯ

Ю.Д. Марков, А.В. Можеровский, Н.Г. Ващенко.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток*

При подводном фотографировании и опробовании дна осевой части Восточно-Тихоокеанского поднятия на дне рифтовой долины, где прозрачность воды снижена выходами гидротерм, установлены рудные образования. Они тонкой пленкой покрывают обнажающиеся пиллоу-лавы и глыбовые развалы базальтов. Западнее и восточнее приосевой зоны металлоносные осадки распространены в виде сплошного чехла. Предполагается, что формирование осадков происходит в основном за счет поставки гидротермами растворенных компонентов в морскую воду с трансформацией их на геохимическом барьере и последующим осаждением в виде взвеси. Атомно-абсорбционным и рентгенорадиометрическим анализами в металлоносных осадках установлено содержание рудных компонентов. Возраст осадков определен как средний плейстоцен–голоцен. Пик гидротермальной деятельности приходится на начало голоцена, около 10 тыс. лет назад. На западном борту рифтовой долины обнаружено сооружение "курильщика".

**Ключевые слова:** металлоносные осадки, гидротермальная деятельность, «курильщики», кремнисто-железистый гель, смектиты, смешанослойные образования.

## ВВЕДЕНИЕ

Восточно-Тихоокеанское поднятие (ВТП) является полигоном, на котором в подводных условиях можно наблюдать образование сульфидных руд и активно действующие гидротермальные источники (черные и белые "курильщики"). Придонные воды этого района содержат повышенные количества рудных компонентов, а на самом дне формируются необычные осадки.

Участок рудного поля полиметаллических сульфидов (координаты: 12°41'–12°54' с.ш. и 103°49'–104°01' з.д.) находится в восточной части Тихого океана и приурочен к осевой зоне ВТП (рис. 1). Многочисленными исследователями (Франшето с соавторами [17], Хекиниана с соавторами [19] и др.) была открыта сама рудная зона, проведено многоканальное эхолотирование дна, составлена детальная батиметрическая карта, обнаружено 24 действующих гидротермальных источника с температурой флюидов от 20 до 350°C и 60 неактивных гидротермальных залежей. Проведенные работы позволили им оценить массу сульфидной залежи в 2 млн т. при мощности 9 м и среднем содержании железа 20–40%, меди – 1–3%, кобальта – 1%.

Значительный вклад в изучение северо-восточной части Тихого океана внесен и российскими исследователями [2, 7, 9, 13, 14].

Данная работа посвящена комплексному исследованию металлоносных осадков, опробованных во время экспедиции на НИС "Академик Александр Виноградов", организованной Тихоокеанским океанологическим институтом ДВО АН СССР в 1988–1989 гг. (рейс N 13, программы "ГЕОПОЛ", "Геотраверзы", "Литос", "Седимент"). Литологическое опробование на полигоне проводилось с целью выяснения условий их образования и влияния гидротермальной деятельности на седиментогенез в активной зоне рифта Восточно-Тихоокеанского поднятия в позднечетвертичное время. Проводился отбор проб трубкой ГСП-2, дночерпателем "Океан" и фотографировалась поверхность дна. Изучался вещественный состав и генезис неконсолидированных четвертичных отложений.

## МЕТОДИКА

При проведении литологических исследований материал поднимали на борт судна, извлекали из трубки и обрабатывали в судовых условиях [12]. По всем колонкам определялось содержание карбоната кальция сначала в мазках, а если его содержание превышало 3–5%, то газообъемным методом в карбонатометре [6]. Состав глинистой фракции (менее 0,002 мм) определялся дифрактометрическим методом (аналитик Н.В. Ряполова), содержание железа, мар-

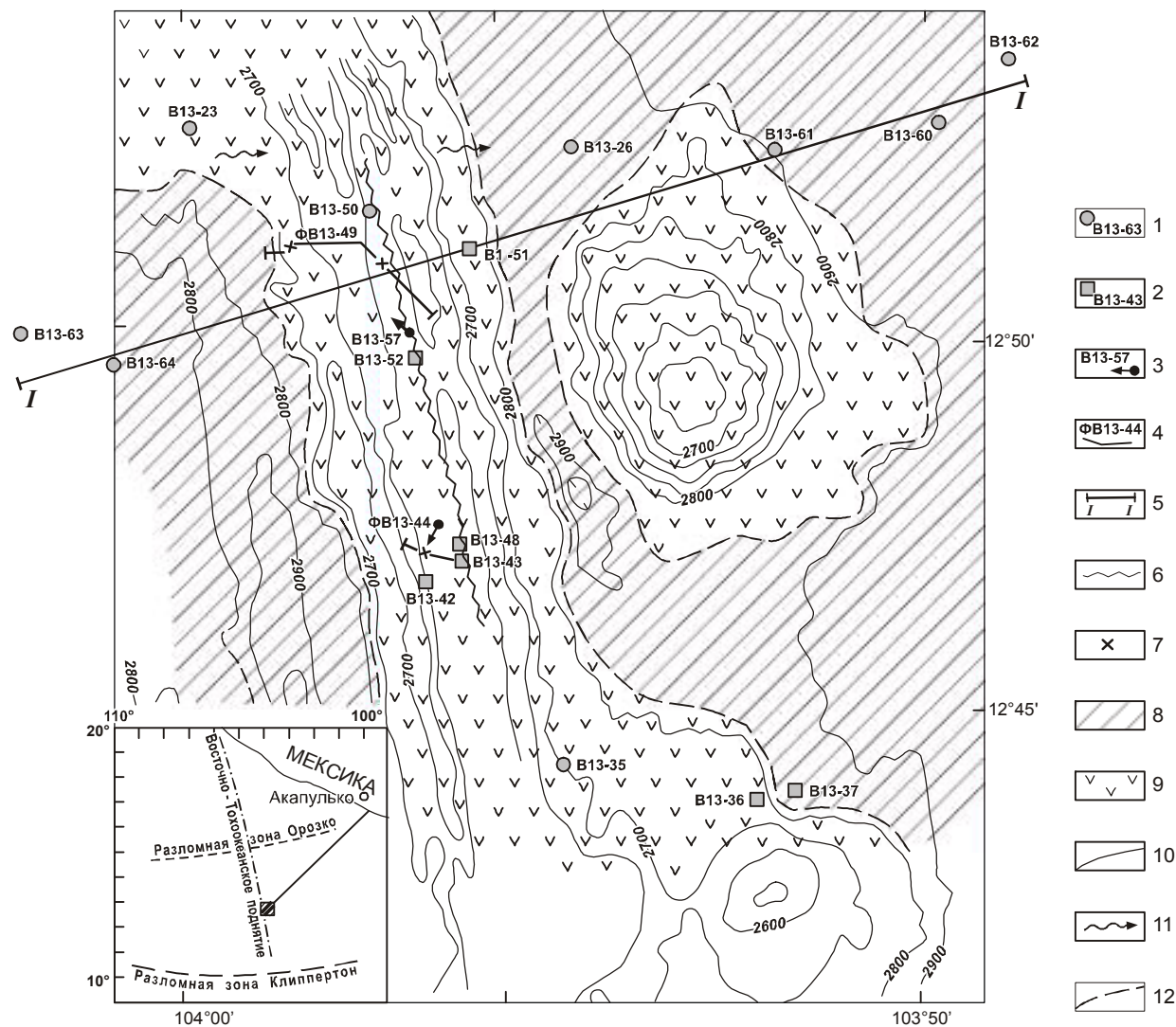


Рис. 1. Карта фактического материала со схемой распределения осадков на полигоне.

1–3 – места отбора и номера проб, взятых: 1 – трубкой ГСП-2, 2 – дночерпателем, 3 – драгой; 4 – линии и номера фотопрофилей; 5 – литологический профиль; 6–7 – проявления активной гидротермальной деятельности: 6 – зона, 7 – предполагаемые точки; 8–9 – участки распространения: 8 – сплошных металлоносных илов, 9 – коренных пород (базальтов), почти лишенные осадков; 10 – изобата (глубина в метрах); 11 – придонное течение; 12 – граница между сплошным чехлом осадков и участками, где их почти нет (обнажающимися базальтами). Врезка – схема местоположения полигона на Восточно-Тихоокеанском поднятии.

ганца, меди, никеля, кобальта, хрома и других компонентов – атомно-абсорбционным и рентгенорадиометрическим (аналитики А.И. Григорьев, Л.А. Авдеевнина, Г.А. Бахарева, Т.А. Иваненко, Г.С. Кубахова, А.С. Паршин). Минеральный состав осадков определялся с помощью петрографического микроскопа и иммерсионных жидкостей. При количественных определениях пересчет велся на 200 зерен обломочных минералов. Для определения размерности и состава осадков на предметных стеклах изготавливались препараты-мазки, закрепленные на канадском баль-

заме [8]. За основу выделения вещественно-генетических типов осадков и наименования их по гранулометрическому составу принята классификация, разработанная в Институте океанологии им. П.П. Ширшова [1, 10]. Подводное фотографирование велось с подводной фотоустановки ПФ-77 конструкции Н.Л. Зенкевича [4]. Съемка производилась под углом 55° к поверхности дна при длине тросика груза-разведчика, равной 1,5 м. При таких условиях кадр перекрывал около 6 м<sup>2</sup> эффективной площади.

### ПОДВОДНОЕ ФОТОГРАФИРОВАНИЕ

Выполнялось в осевой части ВТП по двум профилям через рифтовую долину – В13-44 на юге, где снижена гидротермальная активность, и В13-49 – на севере, где она усиливается (рис. 1).

Профиль В13-44 начинается на восточном борту осевой зоны. Здесь обнаружен лавовый поток, представленный нагромождением глыб базальтов, очевидно, в коренном залегании (рис. 2.1). Осевая зона рифта на фотографии прослеживается в виде прямой линии разлома, вдоль которого видны обнажения базальтов, вытянутые в "цепочку" (рис. 2.2), но их изображение смазано из-за мутности воды. Здесь же отмечены "запыленные" рудными компонентами (в виде почкообразных наростов) поверхности пород (рис. 2.3). Поднятые дночерпателем вулканические стекла (ст. В13-43) также покрыты бугристым сажистым налетом черного цвета толщиной 2 мм, а глыба базальта со следами изменений еще и ожелезнена (ст. В13-48). Между глыбами, не закрывая их полностью, дно долины покрывает тонкий слой металлоносных илов (рис. 2.4).

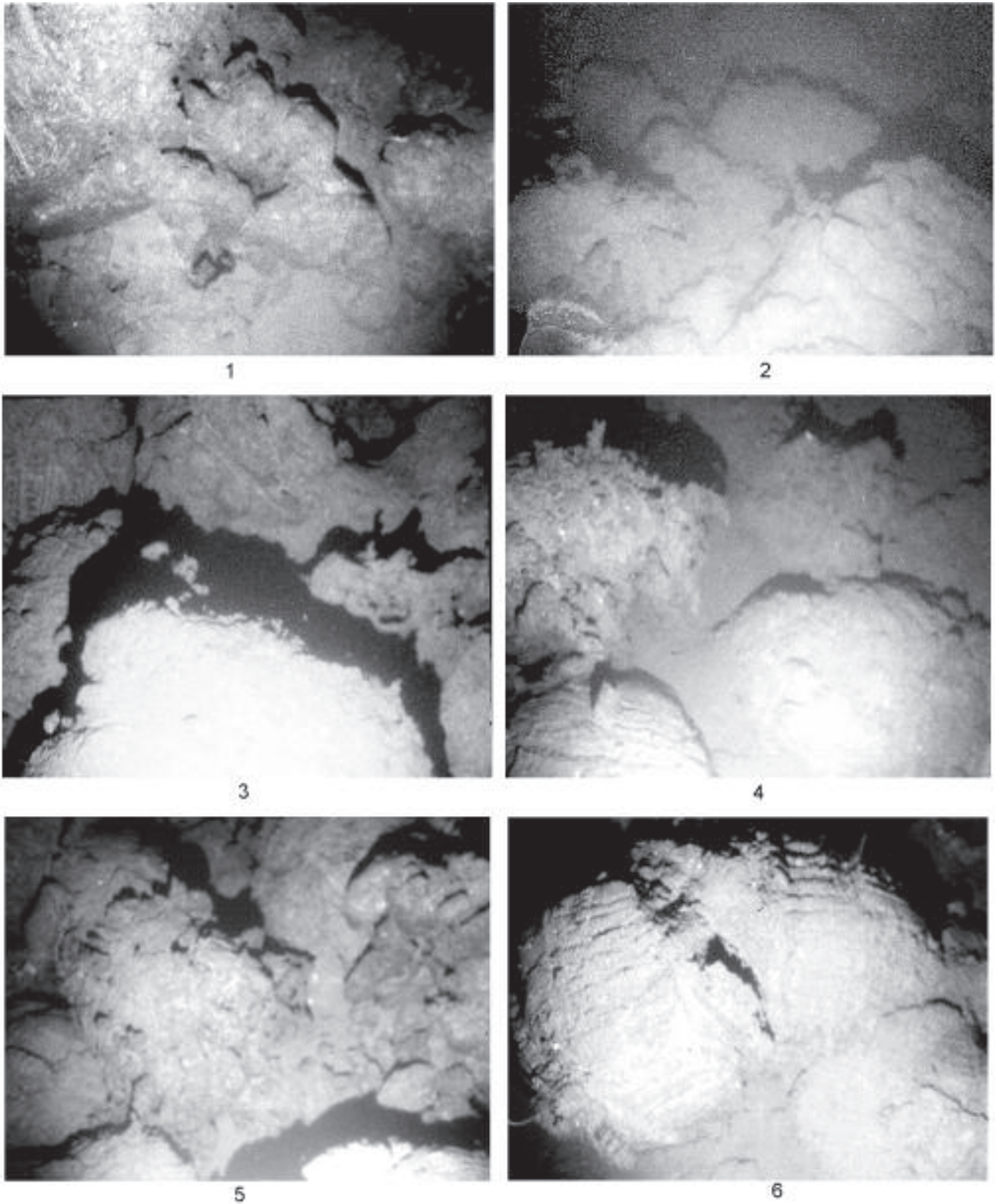
В 50 м западнее первого разлома встречен второй – в виде зияющей трещины в базальтовом покрове. Он приурочен, вероятно, к борту рифтовой долины. Далее в западном направлении, на слегка понижающейся поверхности отмечены нагромождения базальтов, представленные "канатными" и "подушечными" лавами (рис. 2.5 и 2.6), которые чередуются с плоскими участками, покрытыми тонким слоем металлоносных осадков (рис. 3.1). Примерно в миле к западу от активной зоны рифта, где борт осевой зоны образует тектоническую ступень (рис. 3.2), находится еще один участок с выходами термальных вод, образованием рудных "холмиков" и отложением рудных (?) компонентов на поверхности глыб базальтов (рис. 3.3). О повышенной температуре на этом участке свидетельствует необычная для этих глубин (2665 м) фауна (рис. 3.4). Характер поверхности долины не меняется (чередуются между собой скопления глыб базальтов, шаровых лав и пониженные участки, заполненные илом), и только в конце профиля покров базальтов образует отвесную стену (рис. 3.5 и 3.6), у подножия которой накапливается глыбовая осыпь.

Профиль В13-49 расположен в центральной части активной гидротермальной зоны ВТП. Он пересекает рифтовую долину (рис. 1). По данным эхолотного промера, восточный борт (глубина 2600–2695 м) постепенно понижается в западном направлении и через сравнительно крутой склон переходит в доли-

ну. Склон образован нагромождением "канатных" лав и пиллоу-лав с шаровой отдельностью, вероятно, в результате перемещения лавового потока (рис. 4.1). В месте сочленения склона с рифтовой долиной отмечена глыбовая осыпь (рис. 4.2) с резким перепадом глубин (от 2710 до 2720 м), которая переходит в плоское дно шириной около 200 м, покрытое мелкими рыхлыми холмиками (рис. 4.3). Прозрачность воды здесь резко падает из-за присутствия в ней значительного содержания рудной (?) взвеси.

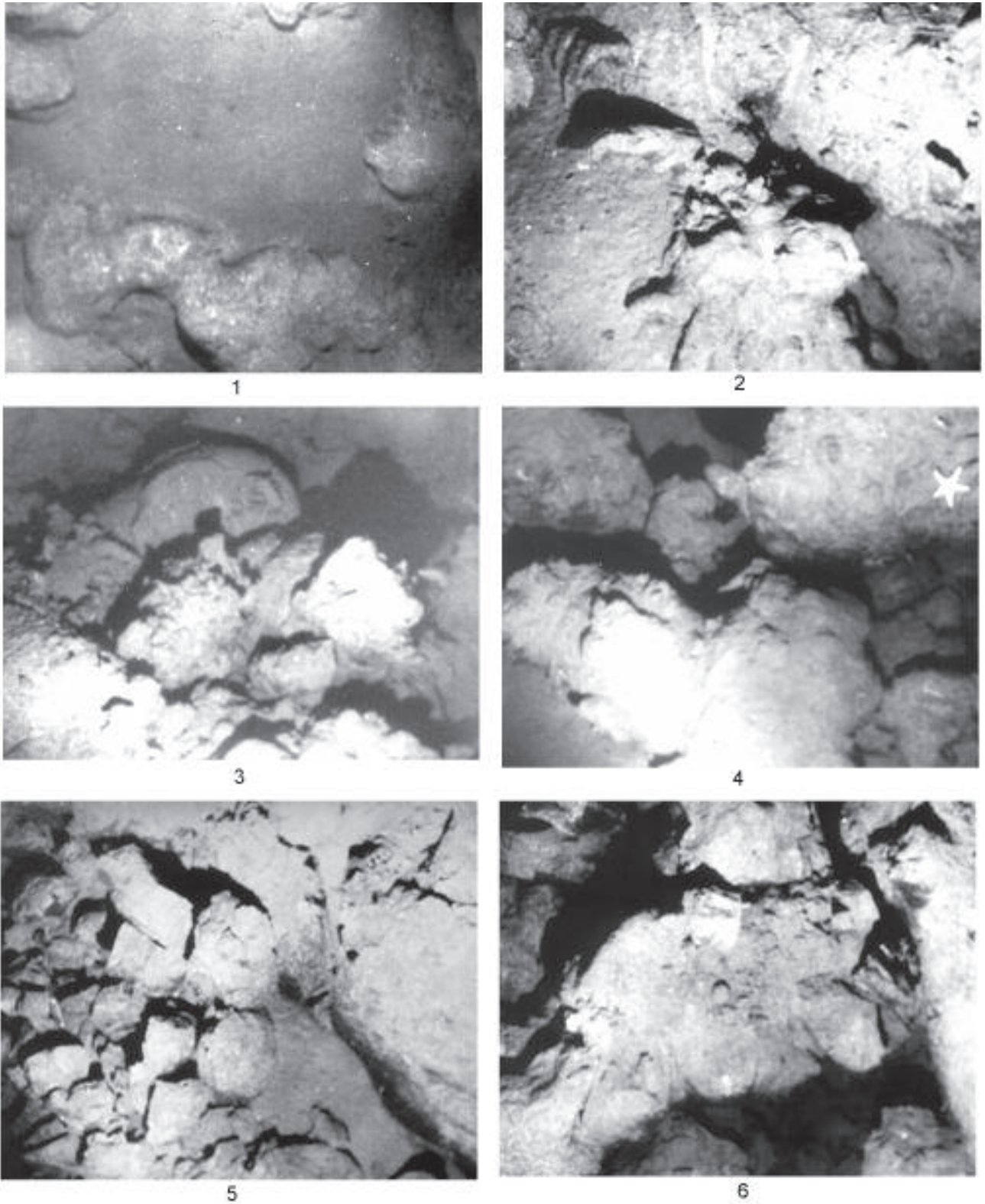
Западный борт осевой зоны по линии профиля ограничен резким уступом (вероятно, тектоническим). Превышение его над днищем долины около 30 м. Он постепенно понижается в западном направлении. Глыбы базальтов в этом месте имеют нечеткие очертания и покрыты ("присыпаны") налетом тонких частиц (рис. 4.4), вероятно отложениями "черных курильщиков". Особенно уменьшается прозрачность воды в средней части западного борта осевой зоны (примерно в 850–900 м на запад от рифтовой долины). Глыбы базальтов здесь как бы "утопают" в металлоносных осадках (рис. 4.5). Все свидетельствует о близости активных гидротерм, изливающихся в воду. Далее, приблизительно в 200 м, видно поднимающееся "облако" взвеси тонких частиц (на переднем плане, рис. 4.6) и просвечивающиеся контуры "курильщика" (?) (см. вверху фото, рис. 4.6). Следующие фотоснимки, вероятно, запечатлели сам "курильщик" (?) (рис. 5.1). Ажурное сооружение беловатого цвета не лежит, а возвышается над дном. На это указывает черный фон толщи воды, отсутствие на заднем плане каких-либо глыб базальтов и офиурия (см. в левом нижнем углу). Несмотря на кажущуюся громоздкость, оно вероятно, очень легкое, в противном случае каркас непременно бы разрушился. Высота объекта точно не установлена (около 4–6 м). По-видимому, "тело" "курильщика" сложено рудными компонентами и ангидритом (за счет сростков кристаллов и дендритовидных образований\*). Максимальная температура воды у дна, зафиксированная в этой части полигона, равна 8,92°C. Выше (20–25 м от дна) отмечается понижение средней температуры до 2,9°C [5]. Еще далее на запад по линии профиля мутность воды уменьшается и фотографии становятся четче. Неровная поверхность, покрытая глыбами базальтов (рис. 5.2), сменяется обрывом, за которым следует

\*Во время предыдущих исследований с подводного обитаемого аппарата было установлено, что обломок, оторванный с внешней стороны одного из "курильщиков", состоит из ангидрита и халькопирита [19].



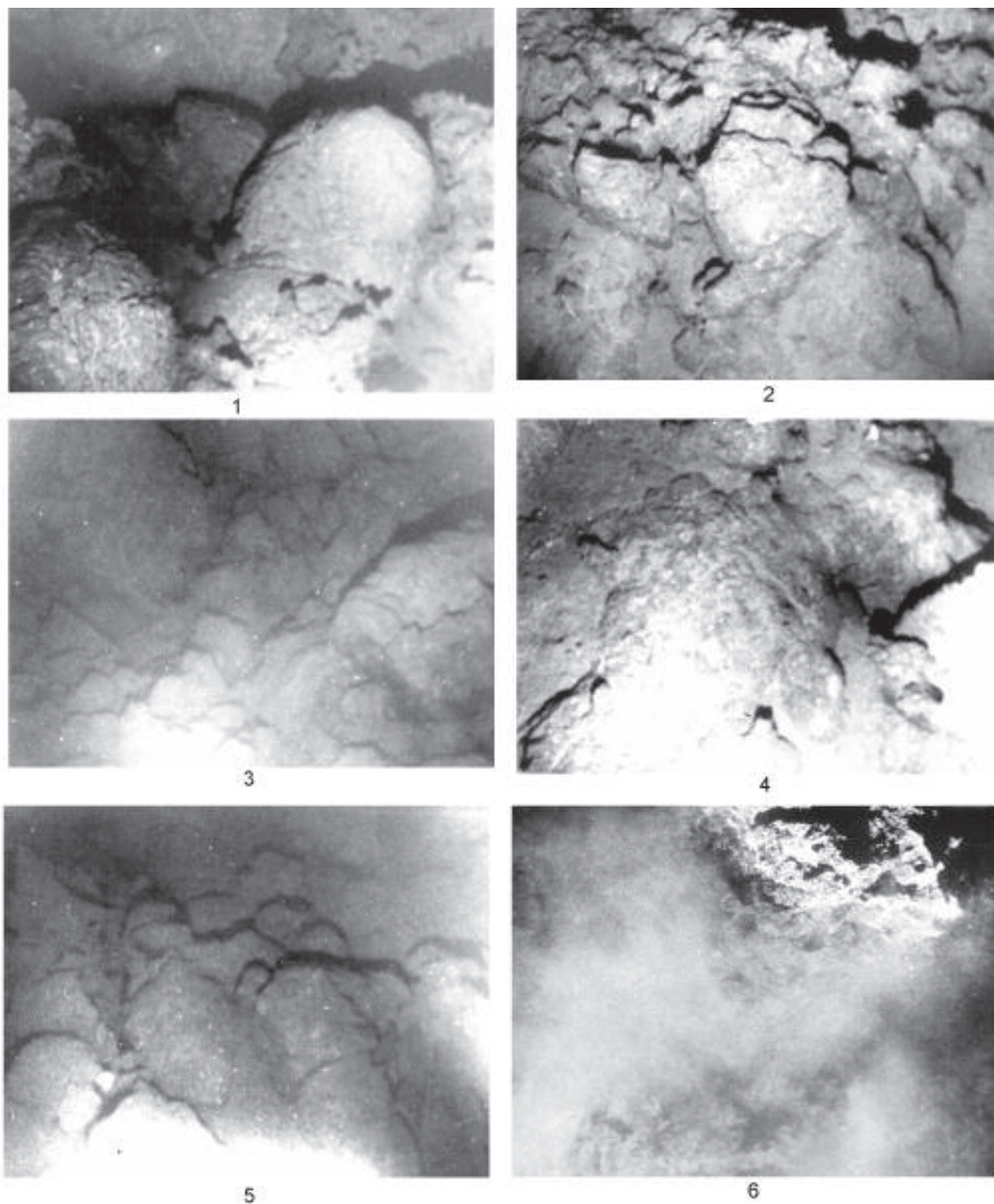
**Рис. 2.** Фотопрофиль В13-44 (начало).

1 – коренные выходы и нагромождение глыб базальтов на восточном борту осевой зоны рифта, 2 – выходы базальтов, вытянутые в "цепочку" вдоль линии разлома осевой зоны рифта и "запыленные" выделениями из гидротерм, 3 – бугристая поверхность базальтов, часто покрытая гидротермальными почкообразными выделениями, 4 – металлоносные илы в понижениях между глыбами базальтов в рифтовой долине, 5 и 6 – "канатные" и "подушечные" лавы базальтов на западном борту осевой зоны рифта,



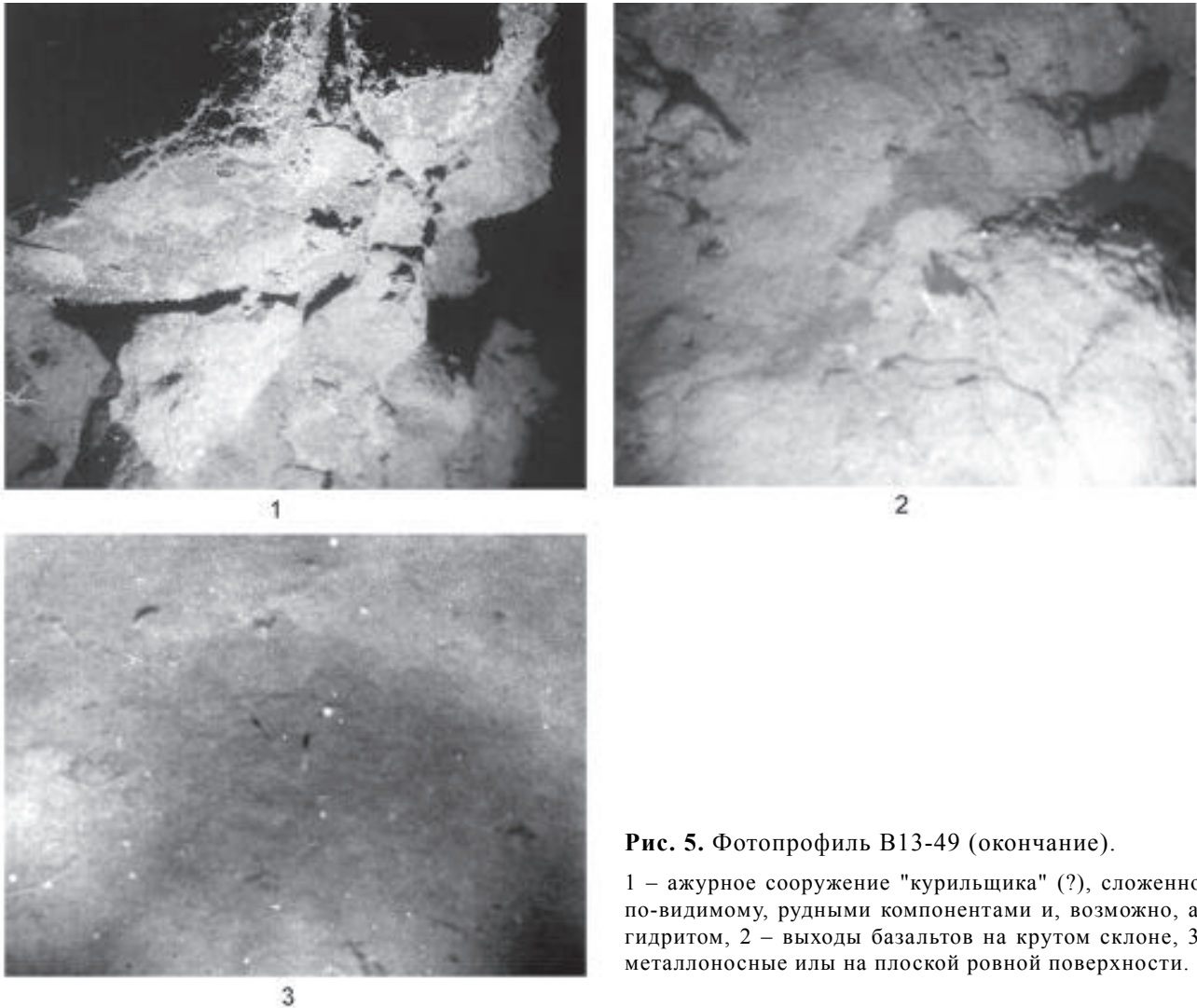
**Рис. 3.** Фотопрофиль В13-44 (окончание).

1 – участки, покрытые тонким слоем металлоносных илов на западном борту осевой зоны рифта, 2 – тектоническая ступень осевой зоны западного борта рифта, 3 – рудные "холмики" и отложения рудных компонентов на поверхности глыб базальтов в зоне гидротермальной деятельности, 4 – фауна на глубине 2665 м с повышенной температурой вод у дна (8,92°C), 5 и 6 – глыбовая осыпь базальтов в конце профиля у отвесной стены.



**Рис. 4.** Фотопрофиль В13-49 (начало).

1 – нагромождение пиллоу-лав с шаровой отдельностью на восточном борту осевой зоны рифта, 2 – глыбовая осыпь на крутом склоне, в месте сочленения борта осевой зоны с рифтовой долиной, 3 – "холмики" рудных образований в рифтовой долине (прозрачность воды снижена), 4 – глыбы базальтов, покрытые ("присыпанные") тонким налетом металлоносных осадков (западный борт осевой зоны рифта), 5 – глыбы базальтов "утопают" в металлоносных осадках, прозрачность воды уменьшается вблизи активных гидротерм, 6 – облако "дыма" (на переднем плане) и за ним сооружение "курильщика" (?) (вверху фото).



**Рис. 5.** Фотопрофиль В13-49 (окончание).

1 – ажурное сооружение "курильщика" (?), сложенное, по-видимому, рудными компонентами и, возможно, ангидритом, 2 – выходы базальтов на крутом склоне, 3 – металлоносные илы на плоской ровной поверхности.

плоская ровная поверхность, покрытая металлоносными илами (рис. 5. 3) мощностью более 4 м.

#### ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проводились в осевой зоне и на бортах рифтовой долины ВТП в районе предполагаемой активной гидротермальной деятельности. На полигоне опробование выполнено на 17 станций: на 8 – трубкой ГСП-2 по линии профиля I-I, пересекающего всю структуру; на 5 – дночерпателем "Океан" и 1 – драгой вдоль осевой зоны рифта, на 3 станциях – в других частях полигона (рис. 1).

Оба борта (зоны растяжения) осевой зоны ВТП в районе профиля I-I имеют блоковое строение. Рельеф сильно расчленен. При эхолотном промере поверхность дна выглядит неровной (на профиле – зубчатая), с резкими перепадами глубин. Она покрыта молодыми потоками подушечных пиллоу-лав, представляющими собой нагромождение глыб базальтов

с шаровой и столбчатой отдельностью, а на выположенных участках – илами. Осевая часть ВТП возвышается на 300 м над бортами и, в свою очередь, нарушена рифтовой долиной с крутыми склонами. Ширина долины по линии профиля – около 200 м, превышение бортов над днищем по линии эхолотного профиля – 56 м, а по линии фотопрофиля В13-49 – около 30 м. Днище долины покрыто мелкими "холмиками".

Изучение подводных фотографий по профилям и полученный материал в дночерпателях и трубках на полигоне свидетельствуют, что в приосевой зоне ВТП шириной около 6 км (рис. 1) илистые осадки почти отсутствуют и на поверхности повсеместно обнажаются коренные породы, представленные базальтами в виде нагромождений подушечных лав и глыбовых осыпей. В этой зоне, особенно вдоль полосы гидротермальной деятельности (рис. 1), поверхность базальтов и вулканических стекол, поднимаемых дночерпателем, трубкой и драгой (станции В13-

35, 42, 43, 57, 66\*), покрыта сажистым налетом толщиной 0,5–2 мм, который осаждается из морской воды, обогащенной гидротермальными растворами. Этот налет виден и на снимках, полученных при подводном фотографировании. Рентгенорадиометрический анализ налета (табл. 1) свидетельствует о повышенном содержании в нем Fe, Zn (ст. В13-57) Fe, Mn, Cu, Ni (ст. В13-66/1 и 66/2).

**Илистые металлоносные осадки.** Металлоносными принято называть океанические осадки, содержащие в сумме не менее 10 % железа и марганца [11]. Эта цифра примерно вдвое превышает их среднее содержание в обычных пелагических отложениях типа "красных глин" и является критерием для выявления значимого влияния гидротермального привноса рудного вещества на состав осадка. В нашем случае эта величина может быть ниже, но после пересчета химического состава осадка на бескарбонатный и бескремнистый материал может быть применен тот же 10 %-ный критерий [9].

В описываемой зоне ВТП по условиям накопления илистых металлоносных осадков выделяются две области. Первая – это осевая зона и рифтовая долина. Здесь осадки встречаются только в понижениях между глыбами базальтов и на плоских участках, лишенных крупных глыб. Они залегают здесь в виде тонкого слоя, не превышающего 10–20 см (ст. В13-50, 51), и представлены пелито-алевритовыми и алеврито-пелитовыми илами. Илы темно-бурые, жидкой и мягкой консистенции, окисленные, обогащены рудными компонентами (табл. 1), слабо известковистые ( $\text{CaCO}_3$  – 13–20%), с эдафогенными обломками основного вулканического стекла. В "мазках" состоят в основном из агрегатов и глобул гидроксидов железа ярко-оранжевого цвета, изотропных в скрещенных николях, представляющих собой нераскристаллизованный кремнисто-железистый гель. В качестве примесей присутствуют: эдафогенный материал (основное вулканическое стекло, редко – плагиоклазы, оливины, пироксены), биогенные остатки (обломки фораминифер, кокколиты, реже диатомеи и радиолярии) и в очень незначительных количествах (в виде следов и первых процентов) терригенный материал, представленный слюдой и кварцем. Осадки гидротермально-седиментационные с биогенным материалом (слабо известковистые).

Во второй области, западнее и восточнее приосевой зоны ВТП, осадки в виде сплошного чехла

залегают на поверхности дна с глубин, превышающих 2700 м (рис. 1). Здесь они изучены по профилю I-I на восточном борту на станциях В13-26, 60, 61, 62 и на западном борту – В13-63 и 64. В пределах полигона их мощность невелика – до 20 см – и только на ст. В13-26 она составляет 260 см. Осадки залегают в основном на базальтах рифтовой зоны и представлены пелито-алевритовыми и алеврито-пелитовыми темно-коричневыми окисленными металлоносными илами.

На восточном борту илы содержат повышенное количество рудных компонентов (табл. 1, ст. В13-26).

За пределами полигона по линии профиля на ст. В13-62 (рис. 1) также залегают окисленные металлоносные илы мощностью 0–30 см, но их консистенция увеличивается от средней до плотной. По-видимому, они более древнего возраста, чем жидкие илы, распространенные на полигоне. Ниже, под окисленными, залегают восстановленные зеленовато-серые илы. В окисленном слое (интервал 0–30 см), как и в вышеописанных металлоносных илах, кремнисто-железистый гель частично раскристаллизован. Восстановленные осадки (интервал 30–193 см) представлены алеврито-пелитовыми илами зеленовато-серого цвета. Они глинисто-известковистые, пятнисто-слоистые (за счет диагенетических преобразований), различной плотности (мягкие до средней плотности и очень плотных). Пелитовая часть осадка, составляющая около 70 % его состава, в плотных и средней плотности разностях представлена почти полностью раскристаллизованным гелем. Аморфная фаза здесь присутствует в незначительных количествах (около 3–10 %). В осадках мягкой консистенции аморфной и раскристаллизованной фаз примерно одинаковое количество.

На западном борту ВТП осадки, как на полигоне (ст. В13-64), так и за его пределами (ст. В13-63), представлены алеврито-пелитовыми и пелито-алевритовыми илами и подобны окисленным металлоносным осадкам восточного борта. Они также буровато-коричневые, гидротермально-седиментационные, с биогенным материалом, слабо известковистые ( $\text{CaCO}_3$  в них 14–29 %). В отличие от осадков восточного борта (ст. В13-26 и 37), содержание рудных компонентов в них несколько ниже (табл. 1), что, по-видимому, связано с неравномерным распределением взвеси, поставляемой гидротермами. Во всяком случае, в зоне активной гидротермальной деятельности (в рифтовой долине) оседает ее основная часть (табл. 1, ст. В13-57). Глыбы базальтов здесь покрыты тонким бурым налетом (оксиды и гидроксиды железа и

\*Станция В13-66 расположена южнее полигона в зоне пересечения ВТП трансформным разломом Техуантепек с координатами - 10°21' с.ш. и 103°44' з.д..



**Таблица 1. Результаты атомно-абсорбционного (оксиды, Cu, Zn, Ni) и рентгенорадиометрического (остальные элементы) анализов проб осадков Восточно-Тихоокеанского поднятия (оксиды в %, элементы в г/т).**

№ станции/ интервал в см	Осадок	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cu	Zn	Ni	Br	Sr	Y	Zr	Mo	Rb
V13-26 / 40–45	Ил пелито- алевритовый	0,21	13,74	2,97	1,84	15	0,56	230	189	43	280	860	70	330	<30	-
V13-26 / 140–150	"	0,22	13,41	2,95	1,85	16	0,49	230	237	62	290	860	70	310	50	-
V13-26 / 220–225	"	0,29	12,48	2,81	1,81	16	0,51	230	237	52	220	860	160	290	<30	-
V13-26 / 270–275	"	0,16	7,32	1,55	1,51	29	0,35	160	122	30	160	1090	120	300	<30	-
V13-37 / 0–6	Ил алевро-пелитовый	0,86	12,17	4,05	4,97	10	0,15	90	40	15	270	560	130	410	<30	-
V13-37 / 6–12	"	0,83	12,01	2	3,37	10	0,08	150	125	22	290	640	170	420	<30	-
V13-37 / 12–18	"	0,74	12,74	2,1	3,21	13		220	146	25	170	630	60	390	<30	-
V13-50	"	0,39	13,75	2,01	2,86	12	0,57	280	320	29	330	680	110	390	<30	2000
V13-51 / 0–7	Ил пелито- алевритовый	0,38	13,60	2,22	2,84	11	0,60	270	200	29	220	690	200	430	<30	600
V13-51 / 7–15	"	0,44	12,57	1,87	2,13	20	0,57	310	200	28	210	820	120	340	<30	<300
V13-57	Охра	0,37	44,08	1,78	1,26	3	3,37	210	3200	10	60	600	30	210	80	-
V13-62 / 8–12	Ил алевро-пелитовый	0,44	18,33	0,69	2,55	10	0,68	160	240	48	370	400	160	330	<30	800
V13-62 / 23–27	"	0,3	13,37	0,46	2,74	12,94	0,36	174	240	66	260	650	250	320	<30	600
V13-62 / 65–70	"	0,47	11,8	0,28	2,81	13	0,37	120	130	28	280	610	170	460	<30	<300
V13-62 / 96–100	"	0,39	9,06	0,17	3,09	16,74	0,25	216	158	57	380	690	130	450	<30	<300
V13-62 / 120–123	"	0,51	14	0,27	3,19	13	0,4	150	140	22	270	610	120	390	<30	700
V13-62 / 160–165	"	0,47	16,18	0,25	3,15	4,5	0,18	200	170	54	240	360	190	480	<30	500
V13-62 / 192–196**	"	0,41	17,82	0,74	2,93	3,76	0,45	211	350	132	380	350	230	360	<30	1000
V13-63 / 15–20	Ил пелито- алевритовый	0,5	11,14	1,74	3,54	13,94	0,33	270	174	92	270	630	240	380	<30	400
V13-63 / 48–60	"	0,47	10,99	1,76	3,01	16,13	0,33	291	184	89	310	670	200	420	<30	300
V13-63 / 94–100	"	0,43	9,01	1,34	3,04	13	0,46	250	140	50	320	690	170	410	<30	<300
V13-63 / 196–210	"	0,43	9,1	1,56	3,19	15,03	0,24	253	152	98	210	750	220	520	<30	<300
V13-63 / 260–270	"	0,37	8,19	1,36	3,34	12,8	0,25	220	135	90	240	770	240	360	<30	<300
V13-63 / 330–334	"	0,4	7,6	1,24	2,84	14	0,45	220	120	25	230	790	260	330	<30	500
V13-63 / 400–405	"	0,38	8,37	1,33	2,68	16	0,49	260	130	34	260	760	220	430	<30	<300
V13-64 / 0–10	Ил алевро-пелитовый	0,45	5,7	1,02	1,27	35	0,36	140	80	70	140	1130	50	280	<30	-
V13-66 / 1	Налет на базальте	0,70	24,35	22,06	1,88	3	0,97	640	60	3900	50	670	140	1200	110	-
V13-66 / 2	Охра на базальте	0,68	29,71	13,00	1,45	3	0,97	350	50	1000	80	780	200	1330	80	-

Примечание. \*Все Fe дано как Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; \*\* Повторный забор верхнего интервала колонки, соответствует интервалу 0–4 см



плагиоклаз, кварц, гидрослюда, филлипсит, клиноптилолит и хлорит. Кроме них, отмечаются биогенные остатки – карбонатные – 50–80%, кремнистые – 1–5 %, зубы и чешуя рыб – 1–5% [8].

Господство базальтовых компонентов и лимонита в обломочной составляющей, а железисто-глинистых агрегатов в аутигенной, обедненность дисперсными терригенными компонентами и отсутствие обломков местных осадочных пород – все это характерные минералогические особенности осадков ВТП, отражающие его высокую магматическую, тектоническую и гидротермальную активность.

В таблице 2 приведен количественный состав тяжелых минералов в осадках изученного полигона [8]. Несмотря на пространственную близость активной континентальной окраины (см. врезку на рис. 1), в осадках господствует ассоциация оливина с клинопироксеном, свидетельствующая об их поставке из верхних вулканических горизонтов океанической "коры", так как обычные индикаторы более глубоко залегающих породных комплексов – метаморфические минералы – здесь отсутствуют. Интенсивное проявление толеитового магматизма хорошо согласуется с идеей спрединга этого участка ВТП.

Возраст осадков ст. В13-63 (верхние 425 см на западном борту полигона) определен В.В. Шастиной как позднеплейстоцен-голоценовый на основании присутствия радиолярий *Pterocanium praetextum*, *Anthocyrtidium ophirensis*, *Peromelissa phalacra* [18], а М.Г. Бирюлиной по наличию известкового нанопланктона *Gephyrocapsa oceanica*, *Umbilicosphaera mirabilis*, *Rhabdosphaera clavigera*, *Helicosphaera carteri*, *Coccolithus* sp. – как средний плейстоцен-голоцен и составляет около 400 тыс. лет [8].

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Подводное фотографирование дна в осевой части рифта и отбор проб дночерпателем показали, что илистые металлоносные осадки здесь отсутствуют или почти отсутствуют. Они распространены в виде сплошного чехла западнее и восточнее приосевой зоны ВТП и залегают на поверхности дна с глубин, превышающих 2700 м.

Анализируя содержание биогенного карбонатного материала и изменения концентрации рудных компонентов по разрезу в фаунистически охарактеризованных металлоносных илах ст. В13-63 и 62,

**Таблица 2. Тяжелые обломочные минералы крупноалевритовой фракции осадков Восточно-Тихоокеанского поднятия (%).**

№ станции	Интервал, см	Осадок	O1	Idd	Cpx <sub>1</sub>	Cpx <sub>2</sub>	Orx	Hb	Amf	Bi	Ap	Sp
В13-26	0–90	Ил пелитоалевритовый	78,66	0,95	18,79	-	-	0,32	-	0,64	-	0,64
"-	90–150	"-	88,61	0,25	8,42	1,24	-	0,25	-	0,74	-	0,5
"-	150–230	"-	94,87	0,28	2,56	-	-	0,57	-	1,14	0,57	-
"-	230–280	"-	96,45	0,89	1,48	0,3	-	-	-	-	-	0,89
В13-50		Ил алевропелитовый	93,73	0,78	3,92	-	-	-	-	-	0,39	1,18
В13-51		Ил пелитоалевритовый	90,11	0,35	5,65	2,47	-	0,35	-	-	-	1,06
В13-61		"-	96,05	0,61	2,13	-	-	0,3	-	-	-	0,91
В13-62	0–30	Ил алевропелитовый	72,08	1,95	16,88	-	-	1,3	-	7,14	-	0,65
"-	30–110	"-	78,9	-	14,79	-	-	-	-	5,48	-	0,82
"-	110–90	"-	74,45	0,44	22,03	-	-	1,76	-	0,88	-	0,44
В13-63	0–110	Ил пелитоалевритовый	94,4	-	2,59	-	0,43	0,86	-	0,43	-	1,29
"-	110–223	"-	86,42	0,41	12,35	-	-	-	-	0,41	-	0,41
"-	223–330	"-	88,31	-	7,69	0,92	0,61	1,85	-	-	0,31	0,31
"-	330–345	"-	81,07	-	13,57	0,35	1,79	1,07	-	0,36	-	1,79
В13-64		"-	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-
В13-66		Ил алевропелитовый	45,63	1,19	49,6	0,4	-	-	0,4	-	-	2,78

*Примечание.* O1 – оливин бесцветный, Idd – иддингсит, Cpx<sub>1</sub> – клинопироксен бесцветный и буроватый, Cpx<sub>2</sub> – клинопироксен зеленый, Orx – ортопироксен, Hb – роговая обманка обыкновенная, Bi – биотит, Ap – апатит, Sp – черная шпинель, Amf – амфибол бледноокрашенный.

можно говорить о пиках гидротермальной активности (в геологическом прошлом) и периодах ее затухания в изучаемом районе ВТП. Установлено, что содержание  $\text{CaCO}_3$  в металлоносных осадках находится в обратной зависимости от интенсивности гидротермальной деятельности в рифтовой зоне и носит импульсный характер. Чем активнее действие гидротерм (выпадение геля и рудных компонентов), тем меньше в нем биогенного материала, и наоборот [22]. График изменения содержания  $\text{CaCO}_3$  в осадках на ст. В13-63 (рис. 7) свидетельствует, что усиление гидротермальной активности в пределах полигона началось около 37,6 тыс. лет назад (в позднем плейстоцене) и достигло высшей точки 10 тыс. лет назад (в голоцене), после чего интенсивность процессов несколько снизилась. О более раннем этапе гидротермальной активности можно говорить только предположительно: по-видимому, он имел место в начале плейстоцена. На ст. В13-62 (глубина 190 см) металлоносные илы по плотности резко отличаются от таковых ст. В13-63. Они очень плотные и не содержат карбонатного материала (график на рис. 7). Возраст их, вероятно, раннеплейстоценовый. В конце раннего плейстоцена, по-видимому, произошло некоторое снижение гидротермальной активности, и около 400 тыс. лет назад, уже в среднем плейстоцене, настал период относительного покоя, когда содержание  $\text{CaCO}_3$  в илах достигло 29 %, а затем снизилось до 20–23 %. Содержание рудных компонентов в осадках также несколько уменьшилось (табл. 1). В области пересечения ВТП и трансформного разлома Уилкс, расположенной южнее описываемого полигона, пик активности закончился в начале позднего плейстоцена, около 120 тыс. лет назад, а более поздний – около 85 тыс. лет. Современный пик гидротермии длится около 30 тыс. лет [22]. Все это говорит о том, что интенсивность гидротермальной активности в пределах спрединговой зоны ВТП не имела постоянной пространственной приуроченности, а смещалась с течением времени.

Особенностью химического состава осадков является высокое содержание в них железа (табл. 1 и 3). Она отмечена во всех изученных осадках и, очевидно, характерна для Восточно-Тихоокеанского поднятия в целом. При этом на всех станциях (кроме В13-62) значительные содержания железа сопровождаются повышенными содержаниями марганца. В осадках ст. В13-62 содержание железа, аномально высокое даже для данного региона, сопровождается аномально низким содержанием марганца. Что касается других изученных элементов, то их содержания мало отличаются от отмеченных в соседних регио-

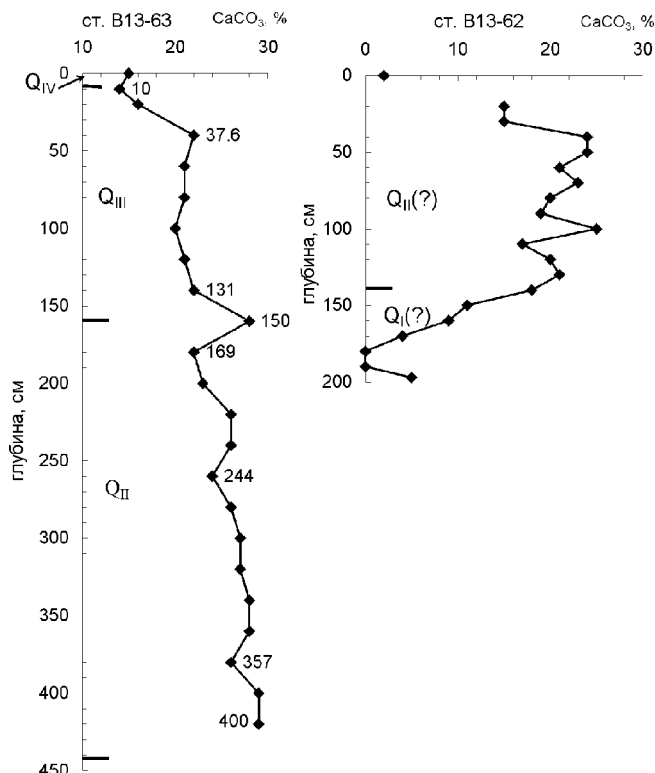


Рис. 7. Кривые изменения содержания  $\text{CaCO}_3$  в осадках станций В13-63 и 62 с глубиной в течение плейстоцена–голоцена.

По вертикали: слева – глубина осадков в сантиметрах, справа – возрастная шкала; по горизонтали – содержание  $\text{CaCO}_3$  в процентах. Цифры на кривой – возраст осадков в тысячах лет.

нах [8]. Сопоставляя осадки ВТП (по соотношению  $\text{TiO}_2\text{-MnO-Fe}_2\text{O}_3$  общ.) с осадками ближайших котловин океана, а также с базальтами и рудными налетами на них (табл. 3), можно отметить следующее:

- а) все изученные осадки ВТП отличаются аномально высокими отношениями марганца к железу к титану, что считается признаком значительного влияния на них гидротермальных источников;
- б) отношение железа к марганцу в осадках большинства станций полигона закономерно: во-первых, оно того же порядка, что и во всех других осадках океана, и резко отличается от "базальтового"; во-вторых, оно больше, чем в осадках Гватемальской котловины, находящейся непосредственно восточнее ВТП (ближе к континенту) и меньше, чем в зоне разлома Клариян (непосредственно западнее), а на ст. В13-62 это соотношение аномально высокое и приближается к "базальтовому";
- в) среди "чисто" рудных отложений (налеты на базальтах), так же как и среди осадков, выделяются две разновидности – железистая, более редкая (ст.

**Таблица 3. Сравнительная геохимическая характеристика отложений Восточно-Тихоокеанского поднятия и ближайших районов Тихого океана (по средним составам).**

Тип отложений и их местонахождение	Число проб	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3\text{общ.}}{\text{TiO}_2}$	$\frac{\text{MnO}}{\text{TiO}_2}$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3\text{общ.}}{\text{MnO}}$
Осадки ВТП (кроме ст. В13-62)	18	24,4	4,5	5,4
Осадки ВТП, ст. В13-62	7	33,6	1	35
Осадки Гватемальской котловины (ст. В13-71, В13-72)	8	13,2	3	4,3
Осадки восточного участка зоны Клария (ст. В13-73 - 80)	9	15,6	1,7	8,9
Базальты осевой зоны ВТП	11	7,2	0,1	63,5

В13-57, 62) и железо-марганцевая (остальные осадки, табл. 1).

Все эти особенности подтверждают известный вывод о значительной гидротермальной активности ВТП [15, 17, 21]. Она обусловлена, скорее всего, морской водой, циркулирующей в зоне спрединга и выщелачивающей рудное вещество из генерируемых здесь мафических пород (базальтов). В местах выхода на дно эти воды, очевидно, относительно восстановлены и отлагают в первую очередь железо. Осадки ст. В13-62 и рудные налеты на базальтах ст. В13-57 образовались, по-видимому, вблизи таких выходов. Затем гидротермы, смешиваясь с обычной морской водой, становятся более окисленными и отлагают железо и марганец одновременно и с меньшей интенсивностью. Здесь же, по-видимому, уже значительно охлажденные флюиды (максимальная температура у дна на полигоне составила 8,92°C, а у гидротермальных труб – 3,1–3,3°C [5]) отлагают и аморфный кремнезем, обогащенный железом (кремнисто-железистый гель). Он составляет большую часть донных гидротермальных осадков, которые непрерывно пополняются биогенными компонентами (в основном карбонатными и в меньшей мере кремнистыми), оседающими в виде "дождя" на дно. Такова, видимо, приблизительная схема образования гидротермальных металлоносных илов, разбавленных биогенным материалом. С течением времени окисленные металлоносные осадки, представленные в основном кремнисто-железистым гелем, при увеличении мощности, в восстановительной обстановке

уплотняются, кристаллизуются и переходят в высокожелезистые слоистые силикаты – железистые смектиты, а затем – в смешанослойные образования ряда смектит-гидролюда, возможно, до собственно железистых гидролюда.

## ВЫВОДЫ

1. Основным фактором в образовании жидких металлоносных илов в активной рифтовой зоне ВТП на полигоне является действие гидротерм. Поставляемые ими на поверхность дна растворенные элементы (железо, марганец и другие компоненты) при смешении с морской водой образуют взвесь и выпадают в осадок. Этот материал составляет основную часть (до 70 %) ила. Нормальное (фоновое) накопление биогенного материала (преимущественно карбонатного, в меньшей степени кремнистого) занимает в образовании осадков подчиненное место. Эдафогенный и терригенный материал поставляются в незначительных количествах.

2. Подводное фотографирование дна и графики изменения концентрации биогенного карбонатного материала в металлоносных осадках свидетельствуют о неравномерной активности "курильщиков" и гидротермальной деятельности (просачивании растворов по трещинам) в рифтовой зоне ВТП в течение плейстоцена–голоцена.

3. В восстановительной обстановке, в результате уплотнения жидких металлоносных илов и раскристаллизации содержащегося в них кремнисто-железистого геля формировались высокожелезистые слоистые силикаты – смектиты и смешанослойные образования типа гидролюда-смектит. Их генезис гидротермально-седиментационно-диагенетический.

4. Подтверждены концепция наращивания базальтового слоя и образование металлоносных осадков на Тихоокеанской плите по восточному и западному бортам ВТП в зоне спрединга, создающего билатеральную симметрию.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Безруков П.Л., Лисицин А.П. Классификация осадков современных морских водоемов // Тр. ИО АН СССР. 1960. Т. 32. С. 3–14.
2. Гурвич Е.Г. Металлоносные осадки Мирового океана. М.: Науч. мир, 1998. 340 с.
3. Дриц В.А., Сахаров Б.А. Рентгеноструктурный анализ смешанослойных минералов. М.: Наука, 1976. 256 с. (Тр. ГИН, Вып. 295.).
4. Зенкевич Н.Л. Атлас фотографий дна Тихого океана. М.: Наука, 1970. 134 с.
5. Калягин А.Н., Коварский Н.Я., Родзик И.Г., Кустов В.Н. Современное рудообразование на Восточно-Тихоокеанском поднятии // Тихоокеан. геология. 1993. № 2. С. 20–27.

6. Китаев И.В., Лихт Ф.Р. Определение общей карбонатности и органического углерода в породах газометрическим методом // Вопросы литологии и геохимии вулканогенно-осадочных образований юга Дальнего Востока. Владивосток, 1971. С. 238–244.
7. Лисицин А.П., Богданов Ю.А., Гурвич Е.Г. Гидротермальные образования рифтовых зон океана. М.: Наука, 1990. 256 с.
8. Марков Ю.Д., Ващенко Н.Г., Нечаев В.П., Ряполова Н.В. Седиментогенез в восточной и центральной частях Тихого океана. Ч. 1: Осадконакопление на подводных возвышенностях и на Восточно-Тихоокеанском поднятии. Препр. Владивосток: ТОИ ДВО АН СССР, 1989. 37 с.
9. Металлоносные осадки и их генезис / А.П. Лисицин, Ю.А. Богданов, И.О. Мурдмаа и др. // Геолого-геофизические исследования в юго-восточной части Тихого океана. М.: Наука, 1976. С. 289–379.
10. Мурдмаа И.О. Океанские фации // Океанология. Геология океана. Осадкообразование и магматизм океана. М.: Наука, 1979. С. 269–306.
11. Океанология. Геология океана. Осадкообразование и магматизм океана. М.: Наука, 1979. 275 с.
12. Структура осадков и фации Японского моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. 288 с.
13. Судариков С.М., Краснов С.Г., Крейтер И.И. Ореолы рассеяния гидротерм в водах океана // Гидротермальные сульфидные руды и металлоносные осадки океана. СПб.: Недра, 1992. С. 107–128.
14. Черкашев Г.А. Геохимия металлоносных осадков рудных районов океана // Гидротермальные сульфидные руды и металлоносные осадки океана. СПб.: Недра, 1992. С. 138–152.
15. Эдмонд Д.М., Фон Дамм К. Горячие источники на дне океана // В мире науки. М.: Мир, 1983. № 6. С. 46–60.
16. Bostrom H.A. Origin of pH variation and anorganic carbonates in pelagic sediments // Geol. foren Stockholm. 1972. V. 4. N 551. P. 94.
17. Francheteau J., Needham H.D., Choukroune P. et al. Massive sulphide ore deposits discovered by submersible deep-sea on the East Pacific Rise Project: 1979. Project Rita, 21° N // Nature. 1979. V. 277. P. 523–528.
18. Hays J.D. Stratigraphy and evolutionary trends of Radiolaria in North Pacific deep-sea sediments // Geological investigations of the North Pacific. Geol. Soc. Amer. Mem., 1970. 126 p.
19. Hekinian R., Francheteau J., Renard V. et al. Intense hydrothermal activity at the axis of the East Pacific Rise near 13°N: Submersible witnesses of the growth of sulfide chimney // Mar. Geophys. Res. 1983. V. 6, N 1. P. 1–14.
20. Shrodon J. X-ray powder diffraction identification of illitic materials // Clays and Clay Minerals. 1984. V. 32, N 5. P. 337–349.
21. Spiess F.N., MacDonald K. C., Atwater T. et al. East Pacific Rise: hot springs and geophysical experiments // Science. 1980. V. 207. N 4438. P. 1421–1432.
22. Varnavas S.P. Hydrothermal metallogenesis at the Wilkes Fracture Zone – East Pacific Rise intersection // Marine Geol. 1988. V. 79, N 1–2. P. 77–104.

Поступила в редакцию 28 апреля 2004 г.

Рекомендована к печати Г.Л. Кирилловой

*Yu.D. Markov, A.V. Mozherovsky, N.G. Vashchenkova*

### **Metalliferous sediments in the active rift zone of the East Pacific Rise (Pacific Ocean)**

Underwater photography and sampling of the rift valley bottom in the axial part of the East Pacific Rise, where the clearness of water is reduced at the expense of hydrothermal sources, has established ore formations. The sea bottom is covered by them as a jacket on both sides from the axial zone. However, the exposed pillow-lavas and clumpy blocks in the rift ledges are metalliferous sediments. It is supposed that sedimentation takes place mainly at the expense of the hydrothermal input of dissolved elements in seawater, their transformation on a geochemical barrier, and subsequent deposition as a suspension. The content of the ore components in the metalliferous sediments was established by the atomic-absorption and X-ray radiometer analysis. The age of the sediments is determined as Middle Pleistocene-Holocene. The maximum of hydrothermal activity is placed at the beginning of the Early Holocene, about 10 Ka. The construction of a “smoker” was detected on the western slope of the rift valley.