

**РЕЗУЛЬТАТЫ БУРЕНИЯ КОБАЛЬТОНОСНЫХ МАРГАНЦЕВЫХ КОРОК НА
ГАЙОТАХ МАГЕЛЛАНОВЫХ ГОР (ТИХИЙ ОКЕАН)*****М.Е. Мельников**, *И.Н. Пономарева**, *Д.Д. Туголесов**, *В.Х. Рождественский*****

**Государственный научный центр Российской Федерации, Федеральное государственное унитарное геологическое предприятие “Южное научно-производственное объединение по морским геологоразведочным работам” (ГНЦ ФГУГП “ЮЖМОРГЕОЛОГИЯ”), г. Геленджик*

***Государственное научно-производственное предприятие “Севморгео”, г. Санкт-Петербург*

В статье приведены результаты исследований кобальтоносных марганцевых корок гайотов Федорова и Альба Магеллановых гор с помощью бурения неглубоких скважин погружным станком ГБУ-1.5/4000. Результаты представляют особую ценность, поскольку позволяют получать керны корок и подстилающего их субстрата *in situ* в строго координированной точке, чего не позволяет опробование драгами. Приведены разрезы по буровым профилям. Показано, что средняя мощность корок в пределах субгоризонтальных и пологих поверхностей существенно выше средней мощности корок на относительно крутых склонах. Изменчивость мощности корок в целом определяется изменчивостью состава их разреза. Уменьшение параметра отмечается при выпадении из разреза тех или иных слоев. Увеличение мощностей корок при сохранении состава их разреза, как правило, обусловлено аномальным увеличением мощностей нижних слоев I-1 и/или I-2. В целом же изменчивость этого параметра в пределах слоя невелика.

Приведены примеры возможных палеореконструкций условий рудообразования по полученным разрезам. Рассмотрены случаи сокращения мощностей корок при перекрытии их нелитифицированными карбонатными осадками, а также показано широкое развитие горизонтов погребенных конкреций в регионе.

Сделан вывод о широких возможностях бурения неглубоких скважин для дальнейшего изучения железорудного коркового оруденения подводных возвышенностей.

Ключевые слова: кобальтоносные марганцевые корки, бурение, керн, скважина, гайоты, Магеллановы горы.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что в различных условиях локализации образуются железорудные корки с различными характеристиками. Обычно этот факт обсуждается касательно вариаций химического состава, строения поверхностей, текстур и структур. В то же время, имеются указания на обстоятельства, весьма важные для геолого-экономической оценки месторождений этого типа. При исследовании корок гайотов Ита-Майтаи и ИОАН (ныне официально утвержденное название – гайот Федорова) с подводного аппарата “ПайсисЯ” было установлено, что корки высокой мощности (до 20 см) формируются на привершинных субгоризонтальных поверхностях, в то время как на крутых склонах мощность корок невелика [3].

В практическую плоскость вопрос был переведен относительно недавно. Рядом исследователей предложено выделять корки на пологих поверхностях и корки на склонах как аналоги геолого-промышленных типов руд, отличающихся параметрами оруденения – установлено, что корки на пологих поверхностях в сравнении с корками склонов характеризуются не только большей мощностью, но и несколько повышенными концентрациями полезных компонентов [9, 14, 17]. К пологим или субгоризонтальным поверхностям в первую очередь относятся участки вершинных плато, свободные от осадков. На большинстве гайотов Магеллановых гор, поднятий Маркус-Уэйк и Уэйк-Неккер перед бровкой склона на вершинном плато отмечается полоса шириной от первых сотен метров до первых километ-

ров, в пределах которой на поверхности обнажены коренные породы. На некоторых гайотах свободной от осадков может быть почти вся вершинная поверхность. К пологим относятся и поверхности широких ступеней на склонах, седловин, гребневых участков отрогов. Соотношение объемов оруденения пологих поверхностей и склонов на различных гайотах может быть различным. На гайоте Альба Магеллановых гор склоновое оруденение занимает до 80 % перспективных площадей, в то время как на гайоте Южном поднятия Маркус-Уэйк – менее 50 %.

Исследование корок на субгоризонтальных поверхностях затруднялось отсутствием инструмента, гарантированно получающего пробу на полную мощность корки с заглублиением в субстрат – драга нередко не в состоянии оторвать образец с ровной плоской поверхности. Одним из способов, позволяющих решить эту проблему, является бурение скважин, но сообщений о подобном опыте имеется немного. В ряде случаев железомарганцевые корки были опробованы на подводных горах при глубоководном бурении по программам DSDP и ODP. В 144-ом рейсе бурового судна “Joides Resolution” в шести скважинах корки были вскрыты как в толще осадков, так и на поверхности дна [12]. Попытки решить задачу опробования корок бурением неглубоких скважин погружной буровой установкой предпринимались и АО “Дальморгеология” [8]. Однако проходка одиночных скважин, не всегда на полную мощность корок, не позволила существенно расширить представления о строении рудных залежей пологих поверхностей. Описываемые в статье результаты фактически являются первым случаем в практике морских геолого-разведочных работ, когда бурение явилось одним из основных методов опробования, способным решать ряд конкретных задач. Предварительные результаты докладывались нами на конференции “Minerals of the Ocean” в апреле 2002 г. в Санкт-Петербурге [15]. В статье Э.Л. Школьника с соавторами рассмотрены проблемы фосфатизации коренных пород и корок по полученным кернам, а также вопросы развития железомарганцевого оруденения в подстилающих корки субстратах [11].

Уже после проведенных нами исследований сходные работы были проведены японскими геологами в мае – июне 2002 г. на гайотах поднятия Маршалловых островов [16]. На трех гайотах с помощью установки BMS произведено бурение на шестнадцати станциях. Получены весьма интересные результаты, однако при этом решались задачи, в определенной мере отличные от поставленных нами.

МЕТОДИКА РАБОТ

Описываемые работы проведены ГНЦ ФГУГП “Южморгеология” с борта НИС «Геленджик» с июля 2001 по январь 2002 года. Целью работ являлось изучение железомарганцевого оруденения и геологического строения гайотов Федорова и Альба Магеллановых гор (рис. 1) на выбранных детальными полигонах. В комплекс работ входили батиметрическая съемка многолучевым эхолотом EM12 Simrad масштабов 1 : 200 000 для гайотов в целом и 1 : 50 000 на участках детализации, фототелевизионное профилирование и геологическое опробование скальными драгами и бурением неглубоких скважин. Батиметрическая съемка позволила получить детальные карты рельефа дна, являющиеся основой для проведения работ, фототелевизионная позволила изучить распределение рудных образований и неконсолидированных осадков на поверхности гайотов, а также выбрать участки для драгирования и заложения скважин. Драгирование производилось цилиндрическими и коробчатыми скальными драгами. Бурение выполнено глубоководной погружной буровой установкой ГБУ-0.7/4000, разработанной в ГНПП “Севморгео”. Установка позволяет производить колонковое бурение диаметром до 112 мм на глубинах до 4000 м и получать керн по породам до X категории по буримости, максимальной длиной до 1 м. Всего на двух гайотах пройдено 50 скважин, которыми получен керн на полную мощность железомарганцевых корок с заглублиением в породы субстрата. Расположение скважин приведено на рис. 2 и 3.

Полученный материал драг и керны скважин подробно документировались, отбирались образцы

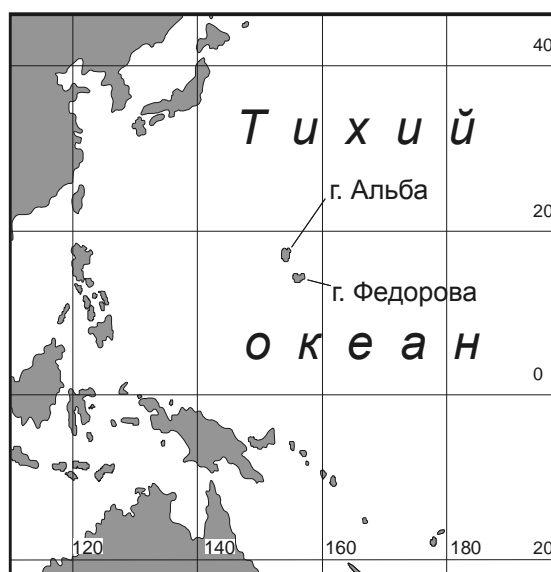


Рис. 1. Обзорная схема района работ.

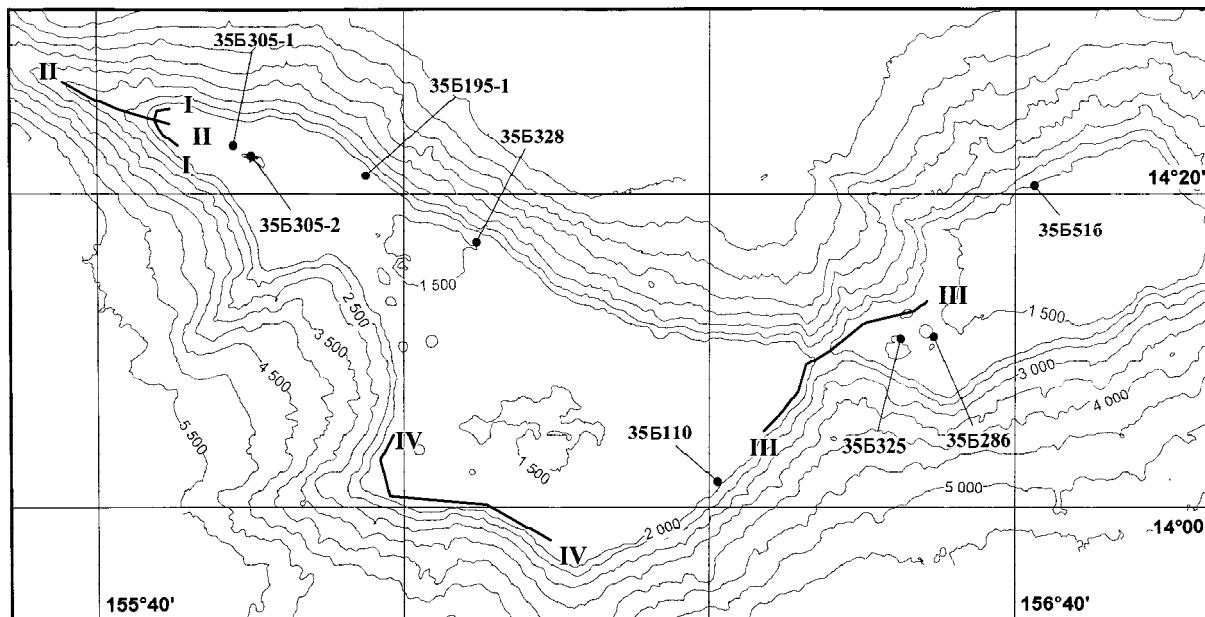


Рис. 2. Схема расположения буровых скважин на гайоте Федорова.

Жирные линии – расположение буровых профилей, римские цифры – номера профилей. Черные кружки – скважины, не использованные при построении профилей, и их номера.

на проведение различных видов аналитических исследований. Возраст осадочных пород установлен биостратиграфическими исследованиями различных групп фоссилий – фораминифер (аналитики С.П. Плетнев (ТОИ ДВО РАН) и И.А. Басов (ИЛ РАН)), кокколитофорид (И.А. Пуляева (Сев.-Кав. филиал АУ)), кораллов (Т.Н. Пунина (ДВГИ ДВО РАН)), двустворчатых и брюхоногих моллюсков (В.Д. Худик (ДВГИ ДВО РАН)). Исследования химического состава корок выполнены в химико-аналитической лаборатории НИПИокеангеофизика под руководством П.И. Курилова и в лабораториях АСИЦ ВИМС под руководством С.В. Кордюкова.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ

Гайот Федорова. Гайот Федорова* изучен предшествующими работами весьма подробно. Рельеф, геологическое строение, особенности железомарганцевого и фосфатного оруденения изучены рядом экспедиций АН СССР и МИНГЕО СССР [3, 5]. При проведении исследований удалось стратифицировать разрез железомарганцевых корок. Показано, что на этом гайоте и в целом на гайотах Магеллановых гор

полный разрез корок представлен четырьмя слоями: I-1 (поздний палеоцен–ранний эоцен), I-2 (средний–поздний эоцен), II (миоцен) и III (плиоцен–квартер) [5]. Два нижних слоя фосфатизированы, содержания полезных компонентов в них понижены. В двух верхних, напротив, максимальны концентрации Mn, Co и Ni, а фосфатов и карбонатов – минимальны. В отдельных образцах присутствует древний реликтовый слой, при позднейших исследованиях подразделенный на два – R_a (кампан–маастрихт) и R_b (поздний палеоцен ?). В образцах с реликтовым слоем мощность корки может достигать 18–24 см, но в среднем по отдельным залежам не превышает 6–8 см. Корки на пологих поверхностях занимают около 40 % рудных площадей и их средняя мощность на 2–3 см выше, чем в склоновых залежах [5].

На гайоте Федорова пробурено 44 скважины, в которых получено 35 кернов, охарактеризовавших корки на полную мощность с заглублением в субстрат. Бурение проведено на глубинах океана от 1430 до 2900 м. Длина кондиционных кернов составила от 11 до 60 см, истинная мощность корок – от 6.5 до 16.5 см. Субстратами в 24 случаях служили различ-

* В научной литературе гайот известен как гайот ИОАН. Требования международной комиссии по присвоению названий формам подводного рельефа не допускают использования аббревиатур. Поэтому при подаче заявки на официальное присвоение наименования гайоту название ИОАН было заменено сотрудниками ИО РАН на упомянутое, в честь академика К.Н. Федорова [1].

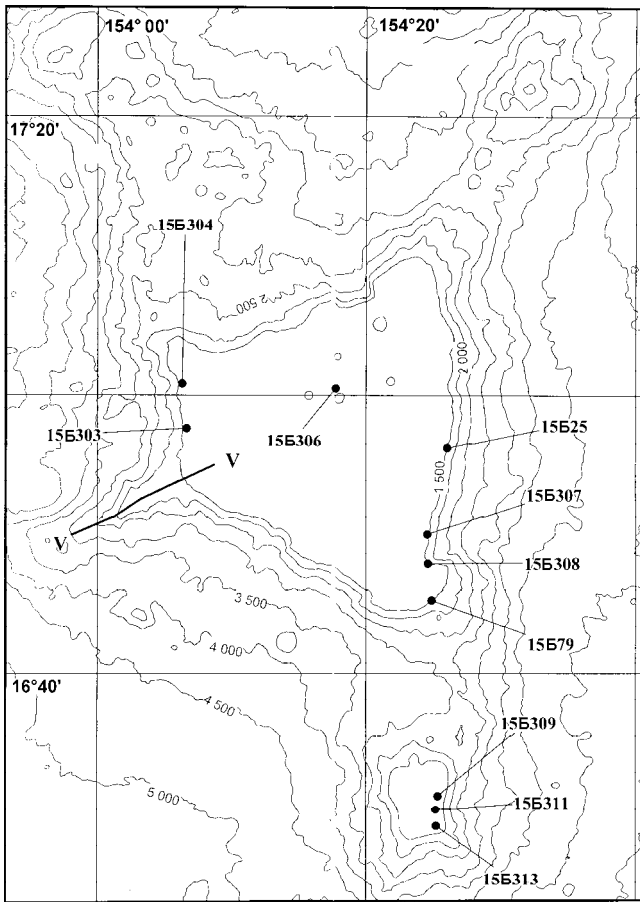


Рис. 3. Схема расположения буровых скважин на гайоте Альба.

Условные обозначения см. рис. 1.

ные известняки – рифогенные и кокколит-фораминиферовые, в 5 – эдафогенные брекчии, в 4 – туфы и туффиты, в 1 – базальт. Еще в одном случае субстратом служил тонкий (трехсантиметровый) прослой эдафогенной брекчии, залегавший на измененном базальте (рис. 4). КERN наибольшей длины получен в скважине 35B327 (профиль III-III) в восточной части западной постройки гайота. Мощность корки составила 12.5 см, субстрат представлен легко буримыми мелоподобными кокколит-фораминиферовыми известняками и ракушками рифовой фации. Возраст последних определен как позднемеловой.

На северо-западном отроге западной постройки пройдены буровые профили в пределах вершинного плато (I-I) и по оси отрога (II-II) (рис. 2). На плато вдоль бровки (профиль I-I) пробурено 8 скважин, 5 из которых достигли субстрата (рис. 5), повсеместно представленного рифогенными известняками, возраст которых в северной части плато – позднепалеоценовый (скв. 35B314), а в южной – апт-сантонский (скв. 35B179). Мощность корок по профилю изменяется от 7.3 до 14.0 см при среднем значении 11.2 см. Строение разреза выдержанное – повсеместно присутствуют слои I-2, II и III. В одной из скважин присутствует слой I-1, но она не достигла субстрата. В другой увеличение мощности рудного слоя (до 17 см) происходит за счет лежащего в основании разреза горизонта погребенных конкреций среднеэоценового возраста. Сокращение разреза до 7.3 см отмечено при выпадении из разреза слоя II (скв. 35B315). Изменчивость мощностей слоев в отдельных скважи-

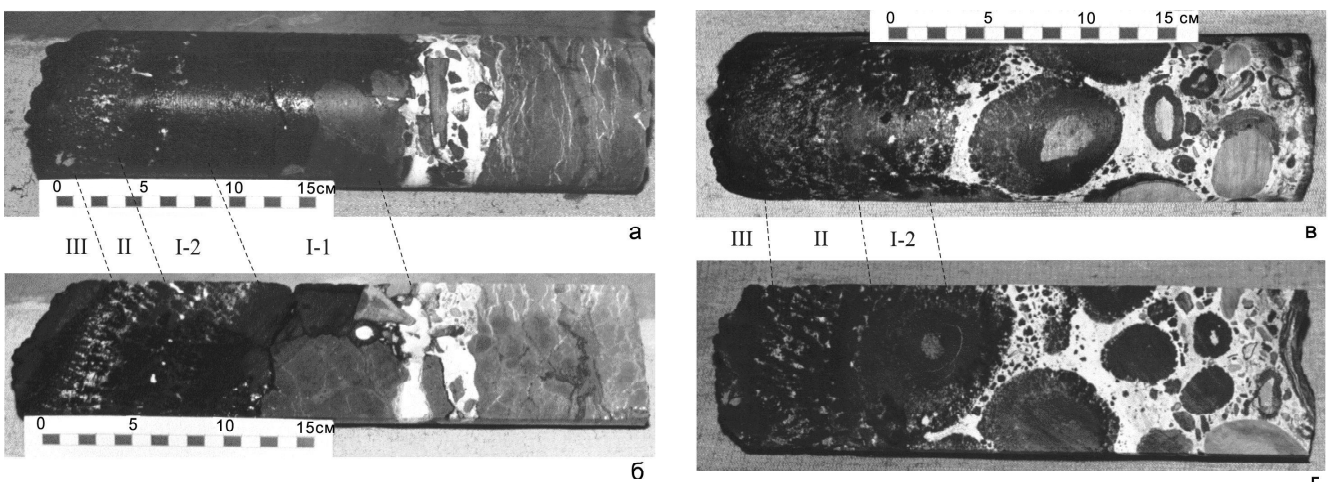


Рис. 4. Примеры кернов пробуренных скважин.

а, б – керн скважины 35B244-1 (профиль III-III), в, г – керн скважины 35B178-2(профили I-I, II-II); а, в – общие виды керна, б, г – продольные срезы по оси бурения. Пунктирными линиями показаны сопоставления слоев I-1, I-2, II и III.

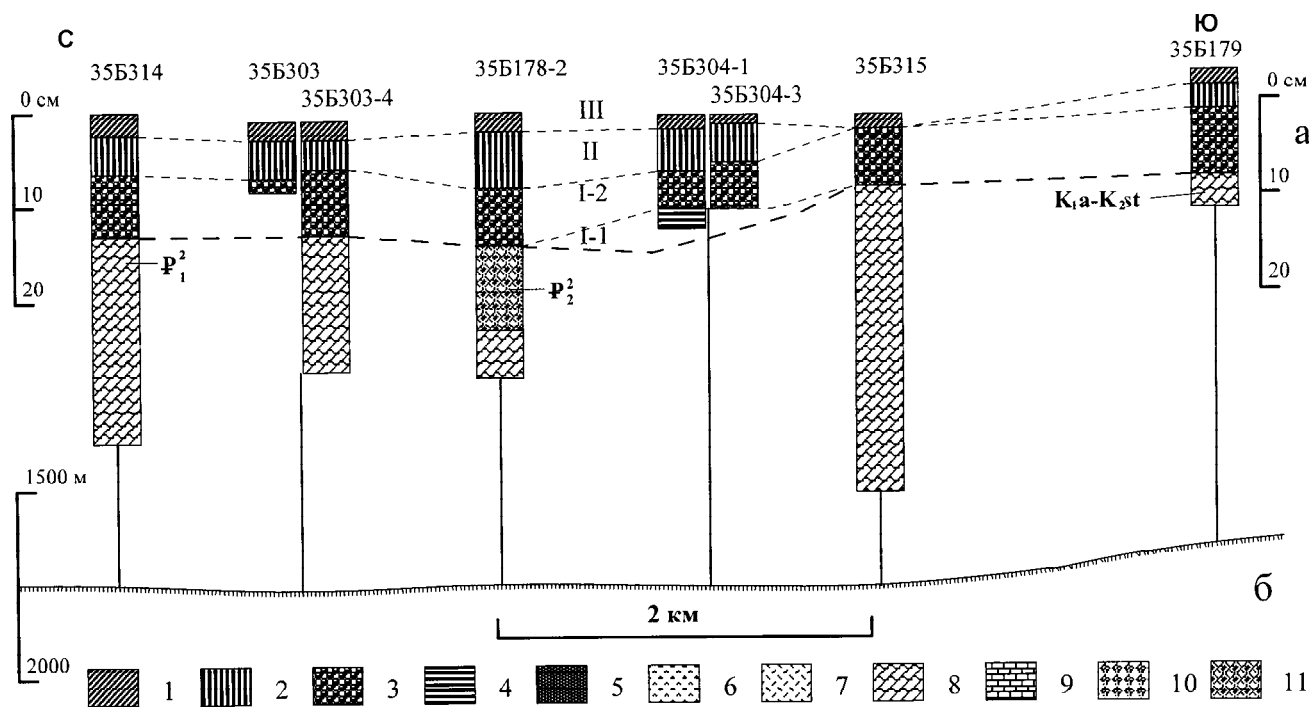


Рис. 5. Буровой разрез по линии I – I вдоль западной бровки плато западной постройки гайота Федорова.

а – колонки по скважинам (номера с буквой Б) и драгам (номера с буквой Д), б – рельеф дна. 1–5 – слои железомарганцевых корок: 1 – слой III, 2 – слой II, 3 – слой I-2, 4 – слой I-1, 5 – без разделения по слоям; 6–10 – субстраты: 6 – базальты, 7 – туфы и туффиты, 8 – рифогенные известняки, 9 – планктоногенные известняки, 10 – эдафогенные брекчии; 11 – горизонты погребенных конкреций. Показан установленный возраст по данным биостратиграфического датирования.

нах заключена в пределах 2 см: слой I-2 – 5–7, слой II – 3–4.5, слой III – 1.5–3 см.

По оси отрога пробурено 7 скважин (рис. 6). По этому же профилю выполнен ряд драгирований, позволяющих дополнить полученную информацию. Рельеф вдоль профиля имеет ступенчатый характер. Скважины заложены в интервале глубин 1700–2900 м. В верхней части гребня отрога субстратом корок служат рифогенные известняки, в средней и нижней частях поверхность дна сложена базальтами и вулканогенно-обломочными породами, а также планктоногенными известняками. Известняки в верхней и нижней частях имеют сходный возраст, только в верхней части формировались рифогенные отложения, а в нижней – более глубоководные кокколлит-фораминиферовые. Наличие туфов и туффитов позднепалеоценового–раннеэоценового возраста, покрывающих среднюю часть отрога, свидетельствует об имевшей место вулканической активности в этот период. В это же время формировались горизонты конкреций, являющихся в настоящее время на некоторых участках основанием разреза корок (скв. 35B178-2 и 35B306).

От бровки до глубин 2400 м мощность корок колеблется в пределах 12–14 см, в их разрезе присутствуют все четыре слоя. В скважине 35B178-2 базальный слой I-1 присутствует только в горизонте погребенных конкреций. Выше, на плато, выклинивается слой I-1, а мощность корок сокращается до 10.5 см. Вниз по склону, в районе отметки 2500 м, слой I-1 также выпадает из разреза, а мощность корок сокращается до 8–9 см. Такая ситуация сохраняется до глубины 2900 м. В то же время, на склонах отрога глубже 2700 м происходит выклинивание и слоя I-2, с сокращением общей мощности корок до 4 см (35Д330-1). В керне скважины 35B308 в центральной части разреза слоя I-1 отмечен 3-х сантиметровый позднепалеоценовый–раннеэоценовый прослой кокколлит-фораминиферового известняка. Мощность верхних слоев на протяжении всего профиля меняется весьма незначительно.

Наиболее интересная информация получена в седловине гайота (рис. 2, профиль III–III). Здесь в общей сложности пробурено 22 скважины, из которых на профиле использованы 19. Привлечены данные по ранее пробуренным скважинам 35B09, 35B83, 35B97

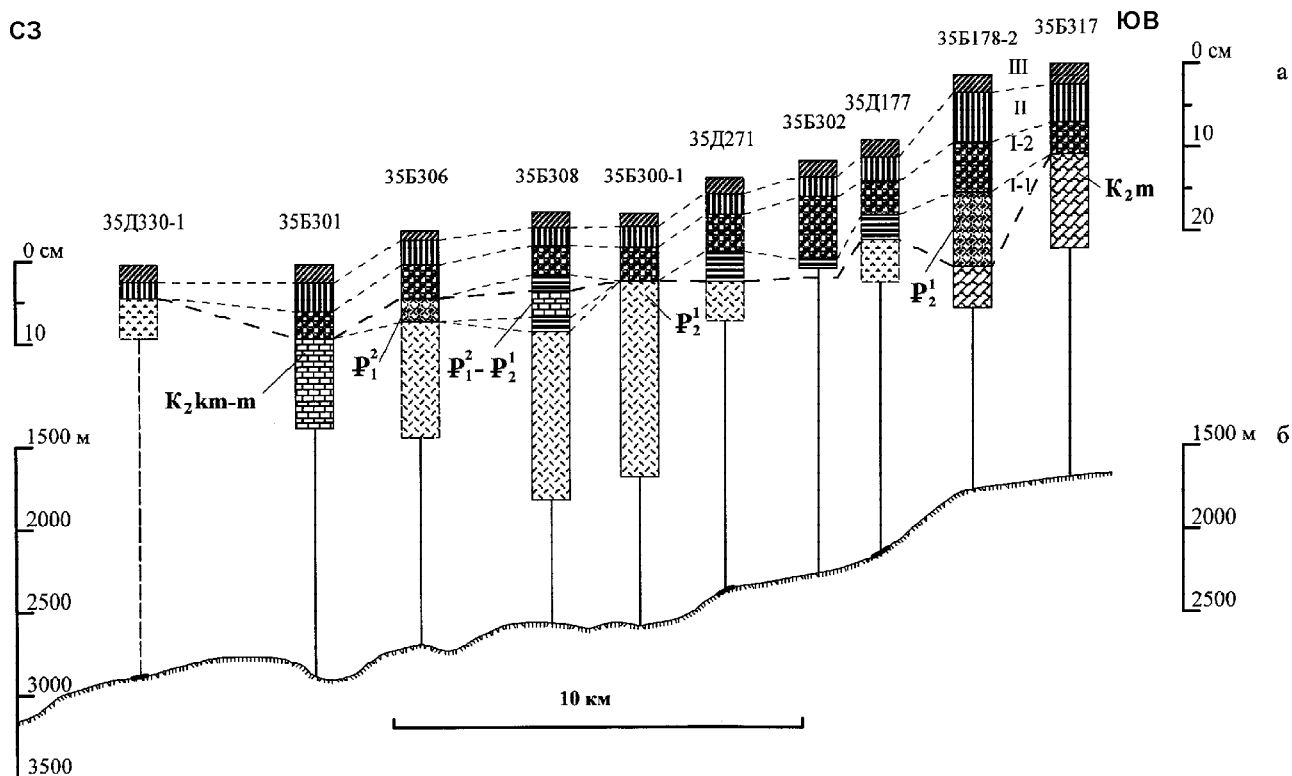


Рис. 6. Буровой разрез по линии II – II вдоль гребня северо-западного отрога гайота Федорова.

Условные обозначения см. рис. 5.

и 35Б98 [8], однако не все они описаны достаточно подробно. Субстрата достигли 15 скважин (рис. 7). Буровой профиль по ломаной линии охарактеризовал саму седловину, опускающиеся к ней склоны и участки вершинных поверхностей западной и восточной построек. На западном плато скважины заложены на глубинах не мельче 1800 м, в седловине – до 2020 м и на восточной вершине – до 1460 м. Субстратом служат преимущественно рифогенные известняки и брекчии в основном сантон-маастрихтского возраста. На вулканическом куполе в восточной части профиля вскрыты среднеэоценовые туфы и туффиты (скв. 35Б83 и 35Б324), в седловине – базальты (скв. 35Б244-1), на западной постройке – кокколитофораминиферовые известняки (скв. 35Б327) неустановленного возраста. Наибольшей мощностью характеризуются корки, залегающие в седловине и на нижней ступени склона между седловиной и восточной вершиной на глубинах 1800–1850 м. В седловине мощность составляет 14–15 см, на ступени – от 10 до 16 см (в среднем – 13.5 см). В разрезе присутствуют все четыре слоя, но их мощность заметно варьи-

рует. Максимальное ее значение для слоя I-1 отмечено в центрах площадок седловины и ступени – 5.3 см, к краям оно уменьшается до 2.0 – 3.5 см. Такой же характер имеют вариации мощности слоя I-2: в центральной части его мощность – 5–5.5 см, в седловине – даже до 7 см, по краям ступени – 2.0–3.0 см. В верхних слоях иначе: мощность слоя II в центре седловины и на бровке ступени – 2.5–3.0 см, к западу и востоку она увеличивается до 4.0 см. Слой III закономерно изменяется по мощности от 1.0 до 2.5 см.

В корках на следующей ступени, в интервале глубин 1700–1750 м, из разреза выпадает слой I-1 и мощность сокращается до 7 см (скв. 35Б252). На самой восточной вершине значение параметра вновь увеличивается, причем при наличии в разрезе слоя I-1 оно составляет 13–14 см, при его отсутствии – 10–12 см. На вершине вулканического холма получен керн корок мощностью 9.5 см (скв. 35Б83), а на его склоне – 14.5 см (скв. 35Б324).

На ступени между западной постройкой и седловиной на глубине 1875 м скважиной пройдена плита корок мощностью 13 см, около 60 см осадка под

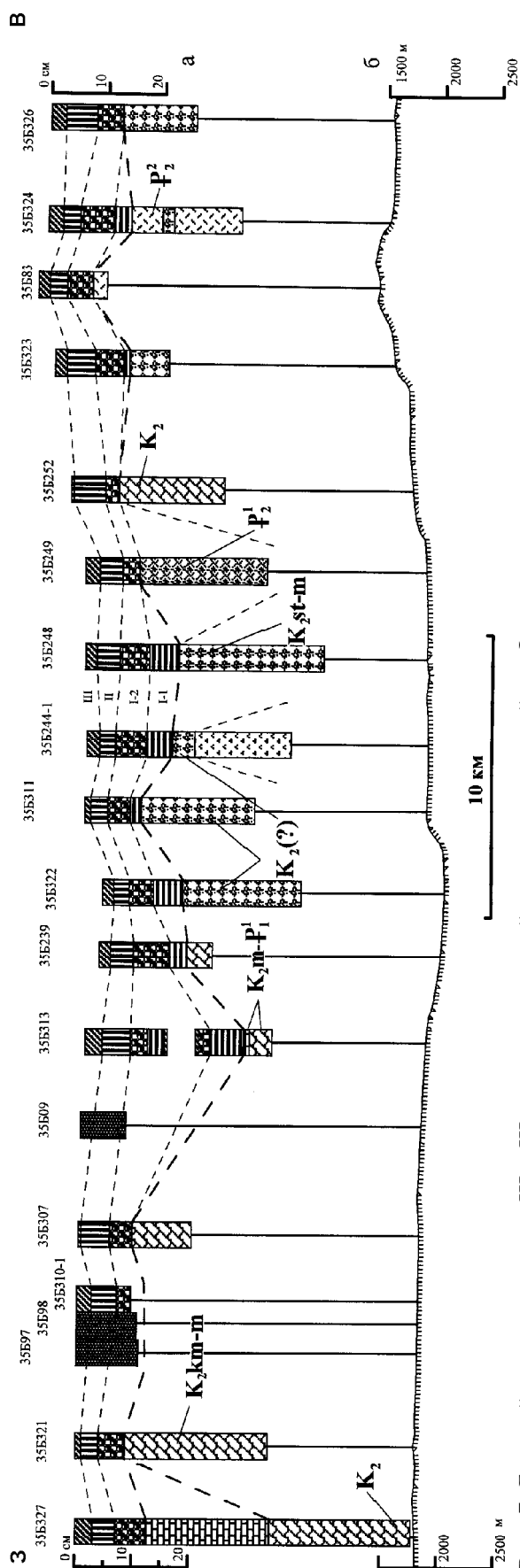


Рис. 7. Буровой разрез по линии III – III вдоль продольной оси седловины гайтога Федорова. Условные обозначения см. рис. 5.

ней и корка мощностью 8 см на рифогенном известняке (скв. 35B313). В плите представлен полный разрез и реликты субстрата – планктоногенного фосфатизированного известняка. В погребенной корке в разрезе присутствуют только два нижних слоя (мощность слоя I-1 аномально велика – 6.0 см). Сходная ситуация имеет место на периферии седловины. Скважина 312-1 оказалась заложеной на тонкой плите, построенной слоем III. Под ней пройдено около 1.0 м карбонатного осадка и произведено заглубление в субстрат, рифогенный известняк, рудные корки или налеты на котором отсутствовали.

На западном плато в разрезе отсутствует слой I-1, а мощность корок варьирует от 9 до 12 см. Субстрат представлен рифогенными и планктоногенными известняками.

В целом, следует отметить, что слой I-1 присутствует только в корках седловины и восточной постройки. Слой I-2 достигает максимальных мощностей в центральной части профиля, на остальных участках его мощность составляет 2.5–4.0 см. Наиболее высокие мощности слоя II отмечены в вершинных частях западной и восточной построек – 4–5.5 см. В седловине она падает до 2.5–3.5 см. Мощность слоя III изменяется вдоль профиля закономерно от 0.5 до 3.0 см.

Еще один профиль (IV–IV) пройден в южной части западного вершинного плато перед бровкой склона в интервале глубин от 1700 до 1880 м (рис. 2, 8). Здесь пробурено 5 скважин, достигших субстрата. Два вулканических купола, расположенных на профиле, имеют высоту 75 и 200 м. К западу от куполов субстрат представлен рифогенными, предположительно апт-туронскими известняками. К востоку отмечены сантон-маастрихтские (?) кокколит-фораминиферовые известняки и эдафогенные брекчии. Мощность корок изменяется от 8 до 14 см. Полный разрез отмечен только в крайних западной и восточной скважинах; мощность в них наиболее велика, соответственно – 10 и 14 см. В скв. 35B164 вновь в разрезе слоя I-1 отмечен прослой кокколит-фораминиферовых известняков позднепалеоценового возраста. В центральной части профиля из разреза корок выпадает слой I-1, а мощность корок падает до 8–9.7 см. В двух скважинах отмечены погребенные горизонты конкреций. В скважине 35B163 возраст горизонта определен как позднепалеоценовый.

Проведенные работы выявили и определенные методические проблемы. Был предусмотрен отбор валовых проб корок из керна. Однако в процессе бурения обнаружено неравномерное разрушение керна

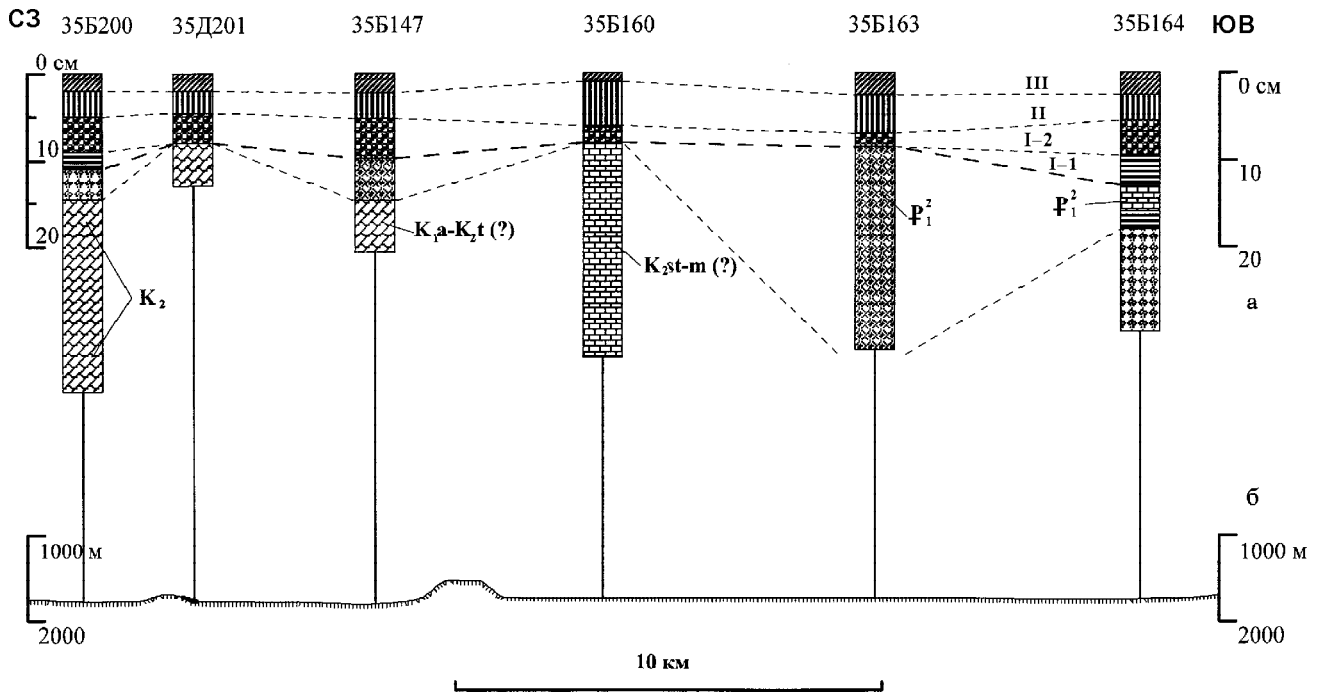


Рис. 8. Буровой разрез по линии IV – IV вдоль южной бровки плато западной постройки гайота Федорова. Условные обозначения см. рис. 5.

по разрезу – верхние наименее прочные и богатые полезными компонентами слои истирались о колонковую трубу существенно больше, чем нижние фосфатизированные и, по сути, керн корок имел форму неправильного усеченного конуса. Это при анализе химического состава приводило к искажениям его в сравнении с составом проб, полученных драгами: практически повсеместно отмечены пониженные концентрации марганца, никеля и кобальта и повышенные – фосфора, кальция и других петрогенных компонентов. По этой причине в статье мы не приводим полученные результаты. Однако, чтобы охарактеризовать разрез корок и состав упоминаемых слоев, в таблице приведены средние содержания компонентов по результатам опробования драгами.

В целом приводимые данные подтверждают выявленные ранее закономерности [2, 4]. Два верхних и два нижних слоя сходны по составу между собой и существенно различаются попарно. Для нижней пары характерны пониженные концентрации рудообразующих металлов, пониженная железистость и высокие концентрации фосфатов. Слой I-1 обладает более высокими содержаниями Mn и Co, слой I-2 – Ni, Cu и P_2O_5 . Верхняя пара слоев, напротив, проявляет наиболее высокие концентрации полезных компонентов и наименьшие – фосфатов. Для слоя II в этой

паре характерны повышенные концентрации Cu, Ti и P_2O_5 , для венчающего разрез слоя III – Mn, Co, Ni, наиболее высокая железистость.

Впервые получены данные по поведению в разрезе широкого спектра химических элементов. Для Na_2O , K_2O , MgO , Al_2O_3 просматривается общая закономерность – минимальные концентрации отмечаются в слое I-1. Вверх по разрезу они последовательно нарастают и достигают максимума в слое II, после чего их концентрации вновь снижаются в кровле разреза, в слое III. Так же распределены по разрезу Li, Rb, Cs, Ni, Cu. Последовательно нарастают от слоя I-1 к слою III концентрации Sr, Zr, W. Еще одна закономерность – ряд элементов (Pb, Mo, V) проявляют максимум содержаний в подошве разреза, в слое I-1, затем в слое I-2 концентрации падают до минимума и далее последовательно нарастают к слою III. Другие элементы – Zn, Te, Ba – максимально концентрируются в нижнем слое, а их дальнейшее распределение по разрезу закономерно. Содержание As, Sb, Nb и Tl существенно выше в двух верхних слоях в сравнении с нижними.

Большинство редкоземельных элементов, особенно подгруппы церия, максимальные концентрации имеют в подошве разреза, в слое I-1. Для Pr, Nd, Gd проявлена тенденция, когда после максимальной

Таблица. Содержание химических элементов в слоях корок гайтогов Федорова и Альба.

Компо- ненты	Статистические характеристики											
	I-1			I-2			II			III		
	Среднее, %, г/г	Вариация,%	Коли- чество анали- зов	Среднее, %, г/г	Вариация,%	Коли- чество анали- зов	Среднее, %, г/г	Вариация,%	Коли- чество анали- зов	Среднее, %, г/г	Вариация,%	Коли- чество анали- зов
Mn	22.02	15	14	18.02	13	24	21.62	14	21	23.67	11	21
Fe	12.26	21	14	11.04	22	23	15.51	19	20	17.19	8	21
Co	0.44	22	14	0.34	28	24	0.50	23	21	0.65	17	21
Ni	0.44	19	14	0.48	25	24	0.49	21	21	0.52	21	21
Cu	0.096	29	14	0.133	24	24	0.153	32	21	0.132	70	21
Pb	0.206	11	7	0.110	24	13	0.127	31	12	0.187	62	11
Sr	0.173	8	7	0.149	7	13	0.133	9	12	0.129	12	11
Ba	0.250	11	7	0.162	35	13	0.173	14	12	0.154	21	11
Na ₂ O	1.60	16	7	1.87	17	13	2.11	22	12	1.85	14	11
K ₂ O	0.49	23	7	0.55	34	13	0.89	23	12	0.70	15	11
MgO	1.30	12	7	1.40	14	13	1.82	10	12	1.69	9	11
CaO	16.19	24	7	18.72	33	13	7.00	72	12	3.77	14	11
Al ₂ O ₃	0.69	29	7	1.09	63	13	2.25	41	12	1.78	42	11
TiO ₂	0.92	19	7	0.69	63	13	1.47	38	12	1.63	23	11
P ₂ O ₅	7.00	42	12	8.78	40	18	2.56	77	19	1.85	90	19
Zn	691	26	7	601	18	13	672	18	12	601	29	11
Mo	540	28	7	402	19	13	427	20	12	474	23	11
Zr	251	31	7	378	59	13	651	71	12	705	49	11
Nb	16	21	7	19	49	13	40	50	12	41	22	11
As	171	42	7	174	28	13	211	26	12	213	37	11
Sb	28	16	7	26	16	13	39	29	12	37	19	11
W	36	43	7	51	23	13	71	30	12	94	42	11
U	13	24	7	10	28	13	11	18	12	15	66	11
Th	13	14	7	5	86	13	9	42	12	17	60	11
Li	2	30	7	3	55	13	6	52	12	3	101	10
Rb	5	22	6	7	64	13	16	54	12	10	44	10
Cs	0.2	-	4	0.4	95	13	1.1	52	12	0.5	49	10

Примечание. Содержание компонентов от Mn до P₂O₅ приведены в процентах, от Zn до Lu – в граммах на тонну. Содержания Mn, Fe, Co, Ni, Cu определены в лабораториях НИИОксангеофизики атомно-абсорбционным методом под руководством П.И. Курилова, P₂O₅ – там же фотометрическим методом; содержание остальных элементов определены в лабораториях АСИЦ ВИМС под руководством С.В. Кордюкова методами ICP-MS и ICP-AES.

Продолжение таблицы.

Компоненты	Статистические характеристики											
	I-1			I-2			II			III		
	Среднее, г/г	Вариация, %	Количество анализов	Среднее, г/г	Вариация, %	Количество анализов	Среднее, г/г	Вариация, %	Количество анализов	Среднее, г/г	Вариация, %	Количество анализов
V	557	8	7	407	16	13	448	13	12	483	6	11
Te	80	21	7	62	20	13	74	16	12	69	56	11
Tl	139	14	7	132	13	13	150	29	12	165	41	11
Y	353	16	7	361	28	13	248	20	13	178	15	11
La	400	11	7	285	22	13	279	11	13	295	18	11
Ce	1754	22	7	909	26	13	932	22	13	898	28	11
Pr	64	16	7	48	21	13	54	11	13	62	18	11
Nd	249	19	7	192	26	13	212	13	13	240	18	11
Sm	47	23	7	39	24	13	45	14	13	52	15	11
Eu	11	17	7	10	20	13	10	12	13	13	17	11
Gd	70	14	7	56	22	13	59	16	13	66	19	11
Tb	9	23	7	8	27	13	8	17	13	9	19	11
Du	59	24	7	48	29	13	50	19	13	59	25	11
Ho	13	28	7	11	31	13	11	21	13	13	31	11
Er	42	28	7	36	31	13	34	22	13	37	34	11
Tm	6	23	7	5	26	13	5	20	13	5	32	11
Yb	41	26	7	34	30	13	32	24	13	37	43	11
Lu	7	29	7	6	34	13	5	26	13	6	44	11

концентрации в подошве содержания падают и вновь нарастают к кровле. Сходна ситуация и для Sm, но значения концентраций в верхнем слое превышают концентрации в подошве. В нижнем слое максимальны содержания тяжелых редких земель – Er, Yb, а также, что особенно важно, La и Ce. Концентрации Ce в слое I-1 почти вдвое превышают значения в других слоях, при этом вариации значений не превышают 25 %. Содержания La в нижнем слое на 30–40 % превышают содержания в других точках разреза, при вариабельности еще ниже, чем у Ce. Единственный элемент, характеризующийся иными особенностями распределения по разрезу – Y. Но он и не относится к редким землям, однако по традиции рассматривается вместе с ними. В двух нижних слоях концентрации Y выше, чем в двух верхних, так же, как и у компонентов карбонатно-фосфатной составляющей.

Гайот Альба также ранее упоминался под другими названиями – Дальморгео [2, 7, 10] или Влиндер [13]. Гайот изучался преимущественно организациями геологической службы Советского Союза, позже России [2, 6, 10]. Здесь проведены геофизические работы, включавшие гидромагнитометрию и сейсмоакустическое профилирование, профилирование придонными гидролокаторами бокового обзора и дальнего действия, выполнено фототелевизионное профилирование и геологическое опробование скальными драгами.

В период работ, которым посвящена предложенная статья, на гайоте пробурено 18 скважин, 15 из которых достигли субстрата при сохранении керна в удовлетворительном состоянии. Скважины заложены на глубинах от 1170 до 2244 м. Получены керны длиной от 11.0 до 81.5 см, истинная мощность корок изменялась от 1.3 до 12.0 см. Субстратом корок в 6 случаях служили планктоногенные и рифогенные известняки, в 4 – базальты, в 3 – туфы и туффиты, в 2 – эдафогенные брекчии. Керна максимальной длины получен скважиной 15Б306, пробуренной на склоне одного из вулканических конусов на вершинном плато гайота. Конусы описаны в наших предшествующих работах и характеризуют позднейшую – среднемиоценовую – стадию вулкано-тектонических активизаций [2, 6]. Скважиной вскрыта железомарганцевая корка мощностью 1.3 см и 80.2 см разреза подстилающих пород, представленных переслаивающимися туфами и туффитами от алевроитовой до псефитовой размерности. Возраст отложений на основании анализа комплексов планктонных и бентосных фораминифер, а так-

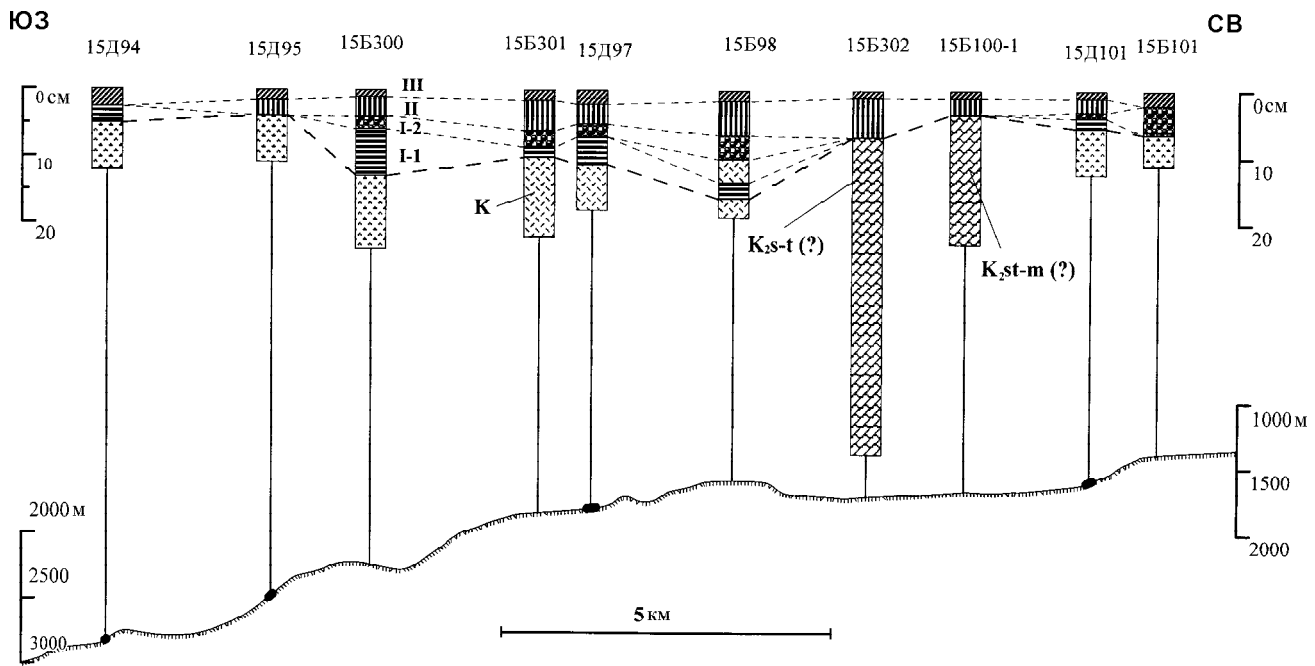


Рис. 9. Буровой разрез по линии V – V вдоль гребня юго-западного отрога гайота Альба.

Условные обозначения см. рис. 5.

же нанопланктона, содержащегося в цементе туф-фитов, определен как позднемиоценовый.

Расположение скважин позволяет построить только один разрез по оси юго-западного отрога. Другие пробурены с целью определения мощности корок на субгоризонтальных поверхностях периферии вершинных плато основного гайота и гайота-сателлита (рис. 3).

По профилю пробурено 6 скважин и выполнен ряд драгирований, позволяющих дополнить представления о геологическом строении отрога и разрезе корок (рис. 9). Профиль отрога – ступенчатый, с рядом вулканических куполов, расположенных на поверхности отрога. Верхняя и нижняя части отрога сложены раннемеловыми базальтоидами, в средней части преобладают вулканокластические породы. На верхней ступени, на глубинах 1650–1750 м, бурением вскрыты позднемеловые рифогенные известняки. Изменчивость мощности корок по профилю весьма велика, что обусловлено непостоянством состава разреза. Полный разрез установлен только в средней части профиля в интервале глубин 1825–2225 м. Здесь мощности корок составляют от 10 до 11 см (скв. 15Б300, 15Б301, др. 15Д97). Скважиной 15Б98 на вершине вулканического купола также вскрыт полный разрез, однако слои I-1 и I-2 разделены прослоем туффита. Общая мощность корок со-

ставляет 15.2 см, однако промышленно значимыми являются только верхние 10.2 см. Выше по гребню отрога на рифогенных известняках разрез сложен только двумя верхними слоями, а мощность корок составляет 3.5–7 см. На вершинном плато вскрыт разрез корок, состоящий из слоев I-2 и III, мощностью 6.5 см (скв. 15Б101). В драге с тем же номером в разрезе присутствуют все слои, однако толщина каждого из них сокращена, и общая средняя мощность составляет лишь 5.5 см. В нижней части отрога драгами отобраны корки с различными вариантами двухслойных разрезов; изменения мощности от 3.5 до 5.0 см.

В распределении элементов по разрезу корок в целом просматриваются те же закономерности, что и в корках гайота Федорова. Интересен состав корок, вскрытых скважиной 15Б306, представленный только верхним слоем III. Содержания Mn в них достигают 23.76, а Co – 0.82 %, в то время как содержания Cu и P_2O_5 – минимальны.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Приведенные данные позволяют сделать ряд весьма важных выводов, а также дают пищу для обсуждения ряда вопросов, связанных с кобальтоносным железомарганцевым оруденением подводных поднятий.

1. Средняя мощность корок на пологих поверхностях подводных гор, если они свободны от неконсолидированных осадков, существенно превышает мощности корок на склонах. На гайоте Федорова показатель составляет 11.2 см по 33 скважинам, достигшим субстрата, в то время как средняя мощность корок на склонах – порядка 7 см. На гайоте Альба аналогичные цифры составляют, соответственно, 8.4 см и 5.5 см. Подобная ситуация подтверждается прямыми наблюдениями с обитаемых подводных аппаратов [3].

2. Изменчивость мощности корок в основном зависит от изменчивости состава разреза. При сохранении одних и тех же слоев вариации общей мощности незначительны, за исключением редких случаев они составляют не более 20 %. Большие вариации отмечаются при резком увеличении общей мощности за счет аномально высокой мощности одного из слоев, как правило, нижней части разреза. Резкое сокращение мощности корок наблюдается при выпадении из разреза какого-либо из слоев. Чаще отсутствуют слои I-1 или/и I-2, однако отмечено и выпадение слоя II при сохранении нижних. В зависимости от геологической ситуации, изменчивость параметра на конкретном участке может быть относительно высокой или относительно низкой. В пределах северо-западного отрога гайота Федорова (рис. 6) большие мощности корок при полном составе их разреза и незначительной изменчивости прослеживаются в центральной части бурового профиля на расстоянии более 10 км. Уменьшение мощности происходит глубже 2500 м и мельче 1700 м, в зонах, периодически перекрываваемых неконсолидированными осадками, с выпадением из разреза слоя I-1. Иная картина на юго-западном отроге гайота Альба (рис. 9): мощность корок, при сохранении состава разреза, остается стабильной на участках профиля протяженностью не более 2–2.5 км. Изменчивость состава разреза и оценочного параметра весьма высока. Ответственной за такую ситуацию, очевидно, является сложная история геологического развития района отрога и гайота в целом, сопровождавшаяся многочисленными вулканотектоническими активизациями [6, 13], нашедшая отражение в широком развитии вулканических построек, крутых обрывистых склонах, угловатости очертаний.

В то же время, локальная изменчивость корок может быть весьма значительной. По данным японских исследователей, буровая установка которых позволяет получать до четырех кернов за один буровой цикл, на расстоянии нескольких метров изменение

мощности корок может быть всего на один сантиметр, а может превышать десять сантиметров [16]. Здесь также главным фактором является изменчивость состава разреза, а она, в свою очередь, помимо общих закономерностей, подчиняется факторам локальных условий. Например, нами неоднократно наблюдалось локальное увеличение мощности корок за счет выполнения нижними слоями неровностей поверхностей коренных пород, являющихся их субстратом.

3. Внимательное изучение разрезов корок по буровым профилям дает возможность получить информацию об истории железомарганцевого рудогенеза на исследуемых участках, а в определенных случаях и о фациальных условиях рудообразования. Анализ разреза III – III в седловине гайота Федорова (рис. 7), позволяет обоснованно предположить, что в конце палеоцена–эоцене (слои I-1, I-2) в седловине гайота существовали наиболее благоприятные условия рудоотложения, в то время как на ступенях и вершинных поверхностях оно было затруднено (на западной вершине слой I-1 просто отсутствует). Такая ситуация могла быть обусловлена существованием в пределах седловины активной гидродинамической обстановки и относительно мелким положением вершин и верхних ступеней, где нестабильная литодинамическая обстановка периодически могла препятствовать рудоотложению. В миоцене (слой II) благоприятные условия смещаются выше по склону к вершинам обеих построек, что может быть связано с погружением гайота. С плиоцена (слой III) условия относительно стабильны. Вероятно, в плиоцен-четвертичное время они изменялись несущественно и были близки к современным. Возможна и другая интерпретация полученных данных – например, можно связывать современное распределение мощностей не с первичными условиями рудообразования, а с процессами перераспределения вещества и деструкцией уже сформированных слоев. Такие процессы, безусловно, имели место в истории марганцевого рудогенеза на гайоте, но в данной ситуации особенности изученного разреза лучше описываются первой версией.

4. Получены данные, проливающие свет на вопрос о наличии корок под слоем рыхлых осадков в случаях присутствия близких выходов коренных пород. Эта проблема долгое время вызывает интерес у исследователей и имеет большое значение при оценке ресурсов корок. Устья ряда пробуренных скважин либо были заложены непосредственно на осадке, либо оказывались на корочных плитах, лежащих на

осадке. После проходки нелитифицированного осадка буровой инструмент достигал коренных пород и заглублялся в них. Помимо упомянутых выше скважин 35Б313 и 35Б312-1, такие ситуации отмечены и в других скважинах. Весьма интересный разрез был вскрыт скважиной 35Б328, заложенной в пределах небольшого уступа на вершинном плато западной постройки гайота Федорова в поле конкреций. Пройдя под современными конкрециями около 50 см рыхлых осадков, скважина вскрыла корку мощностью 6.5 см, в разрезе которой представлены слои II и III, горизонт погребенных конкреций, корку, представленную слоем I-2 мощностью 4 см, еще один горизонт погребенных конкреций и, в забое, субстрат, представленный кокколлит-фораминиферовым известняком позднепалеоценового–раннеэоценового возраста. Вероятно, здесь имела место частая смена фациальных обстановок, попеременно способствующая реализации железомарганцевого рудогенного процесса в виде конкреций или корок.

Анализ упомянутых случаев показывает, что при мощности покрова осадков 0.5–1.0 м корок на коренных породах может не быть, более того, породы могут быть свободны даже от налета рудного материала. В ряде случаев железомарганцевые корки под осадком присутствуют, но мощность их разреза несколько уменьшена. Уменьшение мощности корок с сокращением состава разреза наблюдалось уже при толщине слоя перекрывающих осадков в 15–20 см. В целом, наши результаты показывают, что вопрос не может быть решен однозначно и необходим инструмент изучения изменчивости мощностей корок под слоем осадков, например, на основе высокочастотных акустических методов.

5. Интересно присутствие в ряде скважин горизонтов погребенных конкреций, сцементированных кокколлит-фораминиферовой карбонатной массой, подстилающих основание разреза корок (рис. 4). Подобные горизонты зафиксированы в восьми скважинах на гайоте Федорова и трех – на гайоте Альба. Согласно биостратиграфическим исследованиям, можно выделить горизонты близких геологических возрастов – позднепалеоценового и ранне-среднеэоценового. Наиболее подробное внимание этому вопросу было уделено в уже опубликованной статье Э.Л. Школьника с соавторами [11]. При любой трактовке происхождения этих горизонтов, полученный материал показал широкое распространение этих образований. Кроме того, совершенно очевидно, что подобные горизонты образовывались в некой вполне определенной фациальной обстановке, что позволяет су-

щественно дополнить представления об истории рудогенеза в районе.

6. Очевидно, что одним из главных результатов проведенных работ является само освоение бурения неглубоких скважин погружной установкой не как опытно-методического, а как рабочего метода геологических исследований. Проведенные работы, помимо перечисленных научных результатов, позволили накопить опыт в выполнении технологических операций, обеспечивающих успешное бурение, указали пути возможного усовершенствования его техники и технологии.

Авторы выражают благодарности всем буровикам, геологам, гидрографам, обеспечивавшим проведение работ, всем исследователям, принимавшим участие в анализе полученных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газетир географических названий форм подводного рельефа, показанных (или тех, которые могут быть показаны) на ГЕБКО и на международных гидрографических мелкомасштабных сериях карт (1 : 2 250 000 и мельче). Монако, Междунар. гидрографическое бюро, 1992.
2. Гайоты Западной Пацифики и их рудоносность / Волохин Ю.Г., Мельников М.Е., Школьник Э.Л. и др. М.: Наука, 1995. 368 с.
3. Железомарганцевые корки и конкреции подводных гор Тихого океана / Богданов Ю.А., Сорохтин О.Г., Зоненшайн Л.Б. и др. М.: Наука, 1990. 229 с.
4. Мельников М.Е., Пуляева И.А. Железомарганцевые корки поднятия Маркус-Уэйк и Магеллановых гор Тихого океана: строение, состав, возраст // Тихоокеан. геология. 1994. № 4. С. 13–27.
5. Мельников М.Е., Школьник Э.Л., Пуляева И.А., Попова Т.В. Результаты детального изучения оксидной железомарганцевой и фосфатной минерализации на гайоте ИОАН (Западная Пацифика) // Тихоокеан. геология. 1995. № 5. С. 4–20.
6. Мельников М.Е., Подшувейт В.Б., Пуляева И.А., Невретдинов Эр.Б. Среднемиоценовые вулканические постройки на гайоте Дальморгеология (Магеллановы горы, Тихий океан) // Тихоокеан. геология. 2000. Т.19, № 5. С. 38–46.
7. Михайлик Е.В., Хершберг Л.Б., Чудаев О.В. О механизме формирования кобальтомарганцевых корок на гайотах Магеллановых гор Тихого океана // Вестник ДВО РАН. 2003. № 6. С. 87–93.
8. Хершберг Л.Б., Задорнов М.М., Юринец М.М. и др. Результаты сравнения глубоководного бурения морского дна с данными драгирования в Западной Пацифике // Тихоокеан. геология. 1999. Т.18, № 1. С. 115–117.
9. Хулапова Т.М., Седышева Т.Е. Особенности строения залежей кобальтоносных марганцевых корок и их геолого-промышленное районирование // Геология твердых полезных ископаемых Мирового океана. Геленджик: НИПИокеангеофизика. 2003. С. 101–114.

10. Школьник Э.Л., Хершберг Л.Б., Задорнов М.М., Чудачев О.В. О фосфоритах гайота Дальморгео Магеллановых гор Тихого океана // Тихоокеан. геология. 2000. № 2. С. 101–108.
11. Школьник Э.Л., Жегалло Е.А., Пономарева И.Н. и др. Результаты изучения субстрата кобальто-марганцевых корок по керну скважин на гайотах ИОАН и Дальморгеология (Магеллановы горы, Тихий океан) // Тихоокеан. геология. 2004. № 1. С. 76–96.
12. Bogdanov Y.A., Bogdanova O.Y., Dubinin A.V. et al. Composition of ferromanganese crusts and nodules at Northwestern Pacific guyots and geologic and paleoceanographic considerations // Proc. ODP, Sci. Results, 144: College Station, 1995. TX. P. 745–768.
13. Koppers A.A.P., Staudigel H., Wijlbrans J.R., Pringle M.S. The Magellan seamount trail: implication for Cretaceous hotspot volcanism and absolute Pacific plate motion // Earth and Planet. Sci. Let. 1998. V. 163. P. 53–68.
14. Lenoble J.-P. A comparison of possible economic returns from mining deep-sea polymetallic nodules, polymetallic massive sulfides and cobalt-rich ferromanganese crusts // Workshop on mineral resources of the international seabed area. Kingston. 2000. 22 p.
15. Melnikov M.Eu., Tugolesov D.D., Gubenkov V.V., Rozhdestvensky V. Ch. Preliminary results on drilling of Co-rich manganese crusts (the IOAN guyot, the Pacific ocean – case study) // Minerals of the Ocean. Conf. abstr. Saint-Petersburg: VNIIOceangeologia. 2002. P. 24–27.
16. Usui A., Matsumoto K., Sekimoto M., Okamoto N.. Geological study of cobalt-rich ferromanganese crusts using a camera-monitored drill machine in the Marshall Islands area // The Proc. of Fifth ISOPE Ocean Mining Symposium, Tsukuba, Japan. 2003. P.12–15.
17. Yubko V.M., Kazmin Y.B., Glumov A.I., Melnikov M.Ye. The regional and local variability of spatial distribution of cobalt-rich ferromanganese crust accumulation of the World ocean. // Workshop on mineral resources of the international seabed area. Kingston. 2000. 11 p.

Поступила в редакцию 20 января 2005 г.

Рекомендована к печати О.В. Авченко

M.Ye.Melnikov, I.N.Ponomareva, D.D. Tugolesov, V.Kh.Rozhdestvensky

Drilling results of ferromanganese cobalt-rich crusts on the guyots of the Magellan Seamounts (the Pacific Ocean)

The results of ferromanganese Co-rich crusts investigation are presented in the paper based on shallow boreholes drilled with the help of the submersible unit GBU-1.5/4000 on the guyots Fedorov and Alba (Magellan Seamounts, NW Pacific).

The results are of special value due to the unique possibility to study a drill core of crusts and underlying rocks *in situ* with a strictly coordinated point, which is not really available in the course of dredging. Sections along drilling profiles are given. It is shown that the average thickness within subhorizontal and gently sloping surfaces is significantly higher than that on the relatively steep slopes. The variability of crust thickness is determined by the variability of their section composition. The reduction of crust thickness is the result of omission of certain layers in the section. An increase in crust thickness is usually determined by an anomalous increase in the thickness of the lower layers I-1 and/or I-2. Generally, the variability of thickness within specific layer is not large.

Possible paleoreconstructions of ore forming conditions based on the obtained sections are demonstrated. Cases of crust thickness reduction caused by overlapping by fresh carbonate sediments are considered, as well as a wide development of buried nodule horizons in the area.

A conclusion was made on the wide applications of shallow holes drilling for the purposes of ferromanganese crust ores investigation on the seamount slopes.

Key words: Co-rich manganese crust, drilling, core, hole, guyots, Magellan seamounts