

УДК 551.21+551.24

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-6-109-120

НОВАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ВУЛКАНОВ НАТИБ И МАРИВЕЛЕС ЛУСОНСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ (ФИЛИППИНЫ)

Михаил Юльевич Никитин¹, Татьяна Юрьевна Тверитинова^{2✉},
Игорь Владимирович Галушкин³

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; nikgeo@rambler.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия; tvertat@yandex.ru ✉

³ АО «Институт Оргэнергострой», Москва, Россия; ig_geo@mail.ru

Аннотация. Проведены геологические исследования вулканов Натиб и Маривелес Лусонской островной дуги, входящей в Филиппинский подвижный пояс. Получены новые данные о стратиграфии вулканических и вулканогенно-осадочных плиоцен-четвертичных отложений и на основе геологического картирования и дешифрирования составлены детальные геологические карты вулканов, значительно отличающиеся от имеющихся на начало исследований. Рассмотрена история формирования вулканов, динамика вулканизма на протяжении плейстоцена–голоцена, геодинамические особенности положения вулканической зоны.

Ключевые слова: стратовулкан, ассоциация вулканическая, вулканическая дуга, Филиппины

Для цитирования: Никитин М.Ю., Тверитинова Т.Ю., Галушкин И.В. Новая геологическая карта вулканов Натиб и Маривелес Лусонской островной дуги (Филиппины) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 6. С. 109–120.

NEW GEOLOGICAL MAP OF THE NATIB AND MARIVELES VOLCANOES IN THE LUZON ISLAND ARC (PHILIPPINES)

Mikhail Yu. Nikitin¹, Tatyana Yu. Tveritinova^{2✉}, Igor V. Galushkin³

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; nikgeo@rambler.ru

² Lomonosov Moscow State University; Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia; tvertat@yandex.ru ✉

³ JSC "Institute Orgenergostroy", Moscow, Russia; ig_geo@mail.ru

Abstract. Geological studies of the Antibes and Marivelles volcanoes of the Luzon island arc, part of the Philippine Mobile Belt, have been carried out. New data on the stratigraphy of volcanic and volcanogenic-sedimentary Pliocene-Quaternary deposits have been obtained, and detailed geological maps of volcanoes have been compiled based on geological mapping and decoding, which differ significantly from those available at the beginning of the research. The history of volcano formation, the dynamics of volcanism during the Pleistocene–Holocene, and the geodynamic features of the volcanic zone are considered.

Keywords: stratovolcano, volcanic association, volcanic arc, Philippines

For citation: Nikitin M.Yu., Tveritinova T.Yu., Galushkin I.V. New geological map of the Natib and Mariveles volcanoes of the Luzon island arc (Philippines). *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 6: 109–120. (In Russ.).

Введение. В юго-западной части острова Лусон на полуострове Батаан в 1987–1989 гг. США была построена атомная электростанция (Батаан АЭС), но не введена в эксплуатацию по политическим причинам. В 2022 г. правительство Филиппин обратилось с просьбой к России провести обследование станции, оценить инженерно-геологические условия территории и определить возможности эксплуатации АЭС. В связи с этим возникла необходимость детального геологического картирования района 30-км зоны Батаанской АЭС, включающей в себя вулканы Натиб и Маривелес, что и было сделано.

Натиб и Маривелес — стратовулканы Лусонской вулканической дуги, входящей в Филиппинский подвижный пояс (ФПП), современную сейсмически и вулканически активную зону деформации между

Филиппинской и Евразийской плитами [Aurelio, et al., 2013; Casulla, et al., 2022; Mitchell, et al., 1986; Rangin, 1991; Yumul, et al., 2008a, 2008b].

К началу выполнения наших работ в 2022 г. подробные геологические карты на район вулканов Натиб и Маривелес отсутствовали, имелись лишь мелкомасштабные схемы. Нами было проведено полевое геологическое картирование с использованием геоморфологических методов и анализа материалов ДДЗ. В результате были получены новые данные о строении и стратиграфии вулканических и вулканогенно-осадочных плиоцен-четвертичных отложений района и составлена детальная геолого-геоморфологическая карта полуострова Батаан. Полученные нами новые данные имеют важное геологическое значение. Они позволяют рассмотреть историю

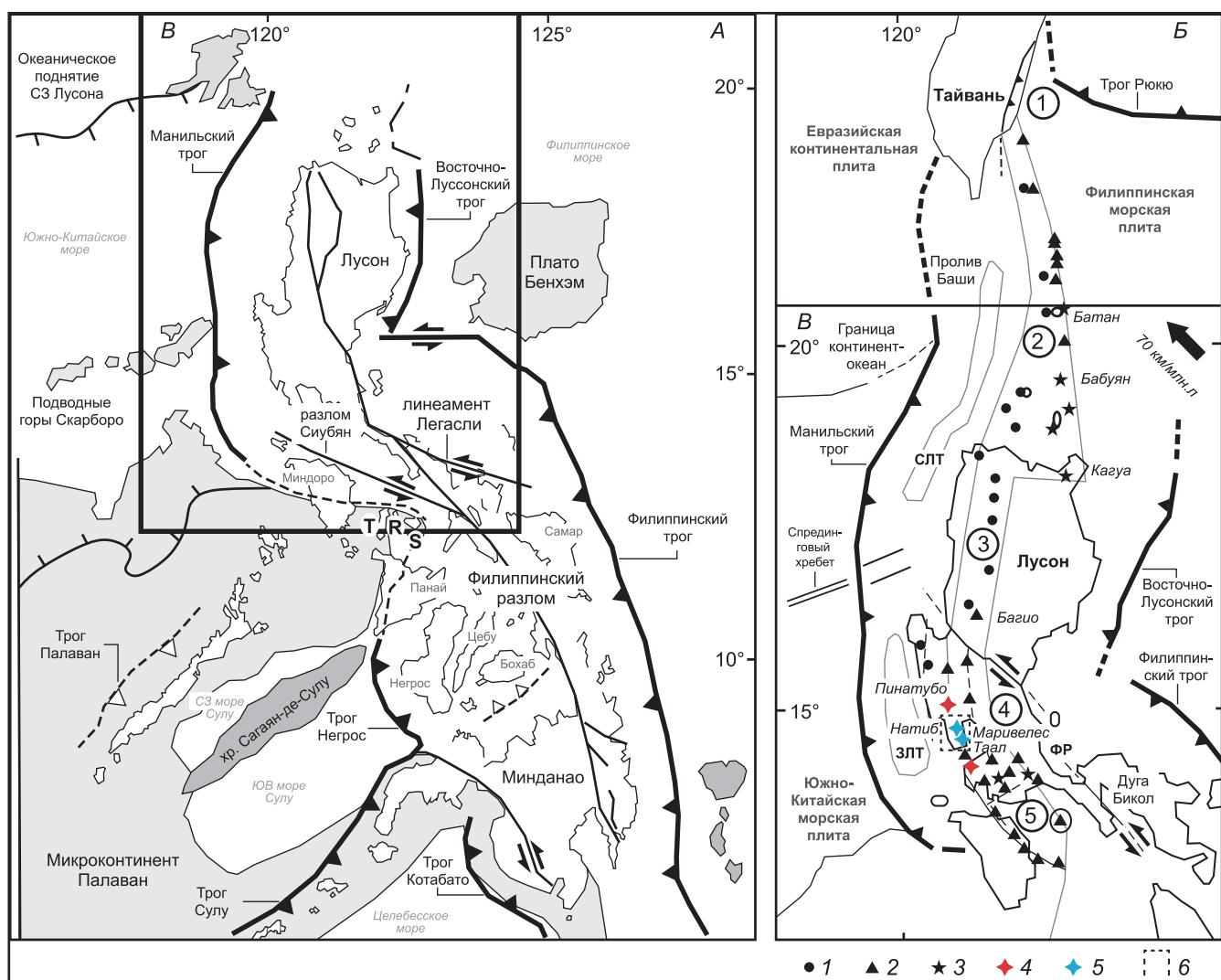


Рис. 1. А — схема Филиппинского подвижного пояса по [Yumul, et al., 2008a]. Б — тектоническая схема Тайвань-Лусонской дуги по [Yang, et al., 1996, с дополнениями]. Условные обозначения: 1—5 — вулканы: 1 — потухшие миоценовые, 2 — четвертичные потенциально активные, 3 — действующие, 4—5 — рассматриваемые в статье: 4 — действующие (Пинатубо и Таал), 5 — потенциально активные (Натиб и Маривелес), 6 — площадь детальной геолого-геоморфологической карты. Прямоугольниками В на схемах А и Б обозначена одна площадь. Вулканические сегменты (цифры в кружках): Тайваньский (1), Баши (2), Северный Лусон (3), Батан (4), Миндоро (5) [Defant, et al., 1989]. Глубоководные трогои (аббревиатуры): СЛТ — Северо-Лусонский, ЗЛТ — Западно-Лусонский. ФР — Филиппинский разлом

формирования вулканов Натиб и Маривелес и динамику вулканизма Лусонской вулканической дуги на протяжении плейстоцена–голоцена. Оценка потенциальной опасности ввода АЭС в эксплуатацию в связи с особенностями геологического строения региона не входит в задачи публикации.

Геодинамика региона. Филиппинский подвижный пояс — современная сейсмически и вулканически активная зона деформации между Филиппинской и Евразийской литосферными плитами, формирующаяся между двумя крупными субдукционными системами, каждая из которых состоит из нескольких зон субдукции [Aurelio, et al., 2013; Casulla, et al., 2022; Mitchell, et al., 1986; Rangin, 1991; Yumul, et al., 2008a, 2008b]. Система восточных зон субдукции включает Филиппинский и Восточно-Лусонский трогои. К западу от архипелага расположены Манильская зона суб-

дукции и продолжающие ее к югу трогои Негрос, Сулу, Котабаты. В Манильской зоне субдукции при поддвиге Евразийской плиты под Филиппинский пояс сформировалась Лусонская вулканическая дуга протяженностью 1200 км — наиболее выступающий к западу участок ФПП [Defant, et al., 1989; Fan, et al., 2015; Yang, et al., 1996] (рис. 1). Островодужная система пересекается Филиппинским левым сдвигом, вдоль которой происходит косая конвергенция Филиппинской морской и Евразийской плит [Aurelio, et al., 2013; Casulla, et al., 2022; Yoshida, et al., 2016]. Восточным флангом ФПП являются Филиппинская и Восточно-Лусонская зоны субдукции. На западе пояс ограничен Манильской зоной субдукции [Rangin, 1991; Yumul, et al., 2008a].

В Манильскую зону субдукции косо погружается плита Южно-Китайского моря со спрединговым хребтом (цепь подводных гор Скарборо) [Defant,

et al., 1989; Pautot и Rangin, 1989; Yumul, et al., 2008a, 2008b]. Зона перед вулканической дугой выражена Западно- и Северо-Лусонскими прогибами, разделенными на продолжении субдуктирующегося спредингового хребта подводным поднятием [Defant, et al., 1989; Pautot и Rangin, 1989].

Лусонская дуга образовалась в результате начавшейся в раннем миоцене субдукции Южно-Китайского моря под Филиппинский пояс вдоль Манильского желоба [Yumul, et al., 2008a, 2008b]. Она состоит из 1200-километровой цепи стратовулканов и вулканических неков, протягивающейся от восточного Тайваня до Миндоро. В дуге можно выделить три сегмента: северный, центральный и южный (см. рис. 1). В северном и южном сегментах сосредоточены современные активные вулканы, в среднем присутствуют активные в миоцене, но в настоящее время потухшие вулканы [Yang, et al., 1996].

Среди вулканов Лусонской вулканической дуги в базе данных «Вулканы мира» присутствуют девять голоценовых вулканов: Кагуа, Камигин де Бабуянес, Дидикас, Бабуян Кларо (северный сегмент) и Пинатубо, Ирайя, Банахав, вулканическое поле Сан-Пабло и Таал (южный сегмент) (Программа глобального вулканизма «Вулканы мира» (версия 5.3.2, 30 сентября 2025 г.) распространяется Смитсоновским институтом, составлено Венцке Э. [Программа..., 2025]. Шесть вулканов являются действующими, три из них были активны после 1960 г.

В наши интересы входит сегмент Лусонской дуги, связанный с субдукцией в Западно-Лусонском желобе. В юго-западной части о-ва Лусон вдоль хребта Замбалес располагается линейная цепочка кайнозойских вулканов, основанием которых служат докайнозойские метаморфические комплексы [Defant, et al., 1989; Geological..., 1987; Nguyen, et al., 2023; Smith, 1913]. В этой цепочке с северо-запада на юго-восток расположены вулканы: Пинатубо, Натиб, Маривелес, Коррехидор (кальдера), Таал (вулкан в кальдере). Таал располагается в самой юго-западной части о-ва Лусон на пересечении цепи вулканов хр. Замбалес, а также цепи, протягивающейся в восток-юго-восточном направлении в южной части острова вдоль разломов, оперяющих Филиппинский левый сдвиг. Таал является крайним северо-западным вулканом этой цепочки, действующие же вулканы Сан Кристоаль и Банахав расположены юго-восточнее. Таким образом, в западной части Лусонской дуги действующими вулканами являются только вулканы Пинатубо и Таал. Между ними расположены вулканические постройки Натиб и Маривелес, а также кальдера Коррехидор, которые рассматриваются как потенциально активные.

Стратовулкан Пинатубо состоит из древней андезитовой постройки (1,1 млн л.), перекрытой более молодыми андезито-дацитовыми лавами и связанными с ними туфами и лахарами [Stimac, et al., 2004] со ссылками на [Defant, et al., 1989; Delfin, et al., 1996; Newhall, et al., 1996]. Извержение Пинатубо в июне

1991 г. стало вторым по масштабам наземным извержением в XX веке. Последнее извержение Пинатубо произошло в 2021 г. [Глобальная..., 2024].

Стратовулкан Таал образует остров в кальдерном оз. Таал. Вулканическая постройка состоит из главного и побочных конусов. Диаметр главного конуса 5 км, на его вершине кратер диаметром 2 км [Апродов, 1982]. Конус действующего вулкана расположен в северо-западной части озера на острове, сложенном более древними андезитами и их пирокластами в виде слившихся стратовулканов, туфовых колец и шлаковых конусов. Вулкан очень активен, отличается взрывными извержениями. Извержения вулкана регистрируются с 1572 г. Известно об извержении около 3580 г. до н.э. Сильнейшее извержение пелейского типа произошло 30 января 1911 г. Из вершинного кратера и кратеров на склонах горы вулкан выбрасывал массы белого раскаленного пепла и перегретого пара (тучи пепла были видны с расстояния 400 км). Затем извержение вулкана было в 1965 г. Последние события связаны с извержениями последнего десятилетия. В частности, в период с 12.04.2024 по 06.01.2025 произошло 52 извержения, из них 4 были фреатомагматическими [Глобальная..., 2024].

Кальдера Коррехидор по данным Филиппинского института вулканологии и сейсмологии (PHIVOLCS) является потенциально активной. Преобладающим типом горных пород является дацит. Последнее извержение Коррехидора произошло около 1 млн л. назад.

Исходные материалы и условия проведения полевых работ. При составлении геолого-геоморфологической карты 30-км зоны Батаанской АЭС (далее АЭС) были использованы обзорная мелкомасштабная карта региона (рис. 2), а также материалы из фондов Батаанской АЭС масштаба 1:100 000 [Defant, et al., 1989; Geological..., 1987], включающие схематические геологические (рис. 3) и геоморфологическую карты п-ова Батаан (листы Натиб и Маривелес), карты относительного возраста рельефа, вулканических центров и мест отбора проб на датирование, конкретных обнажений в 5-км зоне объекта. схема геологической истории п-ова Лусон. На обзорной геологической карте Филиппинского архипелага масштаба 1:1 000 000 [MGB (Mines and Geosciences Bureau)] (рис. 2) на п-ове Батаан присутствует три геологических элемента: отложения голоцена; формации склонов вулканов и прикальдерные зоны в интервале плиоцен—квартер. Карта имеет вспомогательный характер и не может быть полноценно использована для изучения геологического строения п-ова.

На геологической карте центральной части о-ва Лусон (рис. 3) вулканические образования также показаны схематически.

Методы исследований. Полевые работы по обследованию 30-км зоны АЭС п-ова Батаан с вулканами Натиб и Маривелес, были затруднены прак-

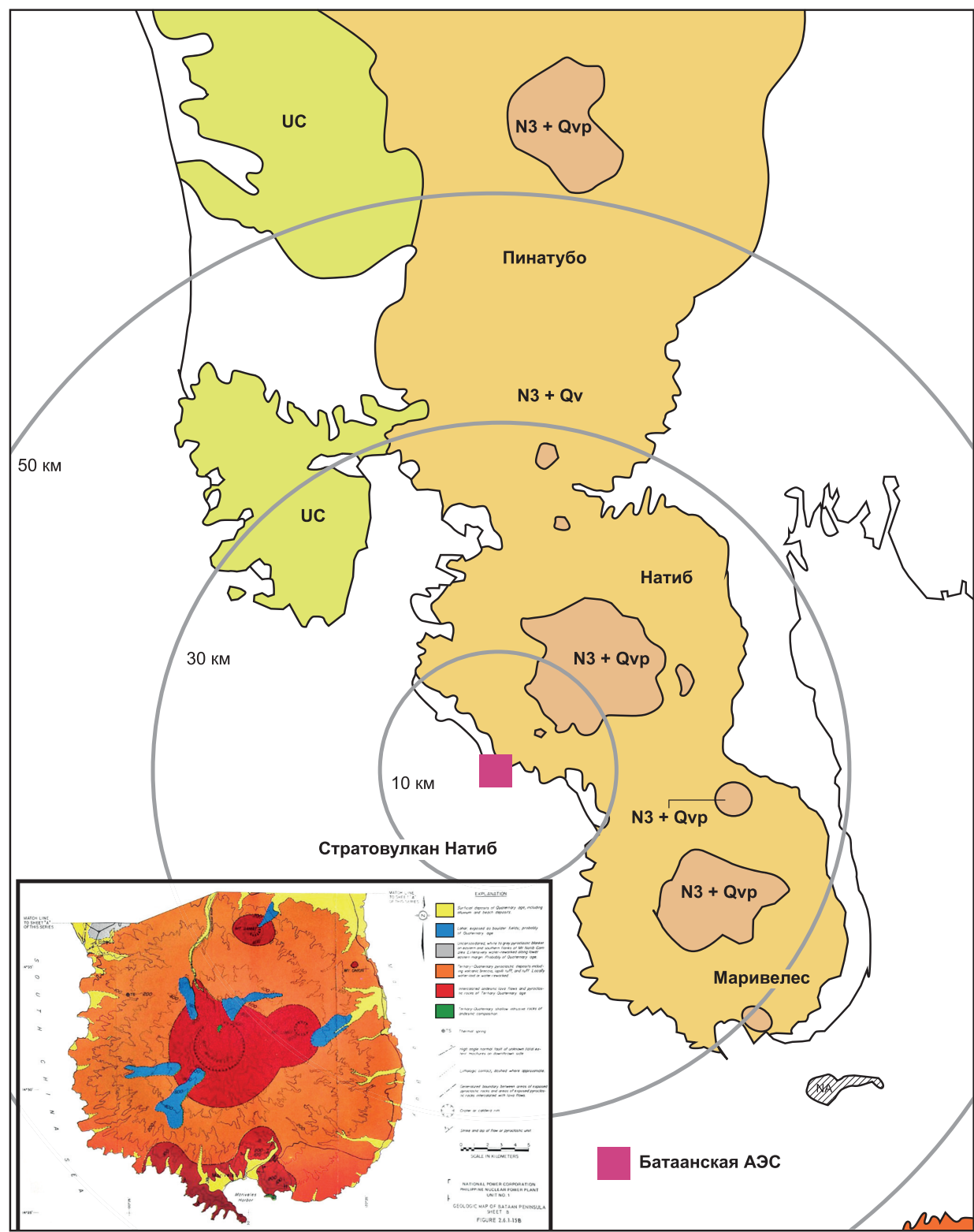


Рис. 2. Фрагмент геологической карты Филиппин, полуостров Батаан. Масштаб 1 : 1 000 000, Mines and Geosciences Bureau (MGB)

тически полным отсутствием обнаженности территории, за исключением абразионных прибрежных зон западного побережья полуострова, частично врезанных русел речных водотоков, выполненных грубовалунным русловым аллювием, а также редких обнаженных участков верховых откосов шоссе, проходящего по периметру основания вулканов. Практически все поверхности пирокластических

покровов вулканитов и склоны эрозионных врез повсеместно перекрыты мощной (более 10–20 м) красноцветной корой выветривания. По этим причинам помимо реального геологического картирования с маршрутами по всем дорогам в районе вулканических построек ведущим методом картирования территории был геоморфологический, позволивший детализировать морфологические особенности и от-

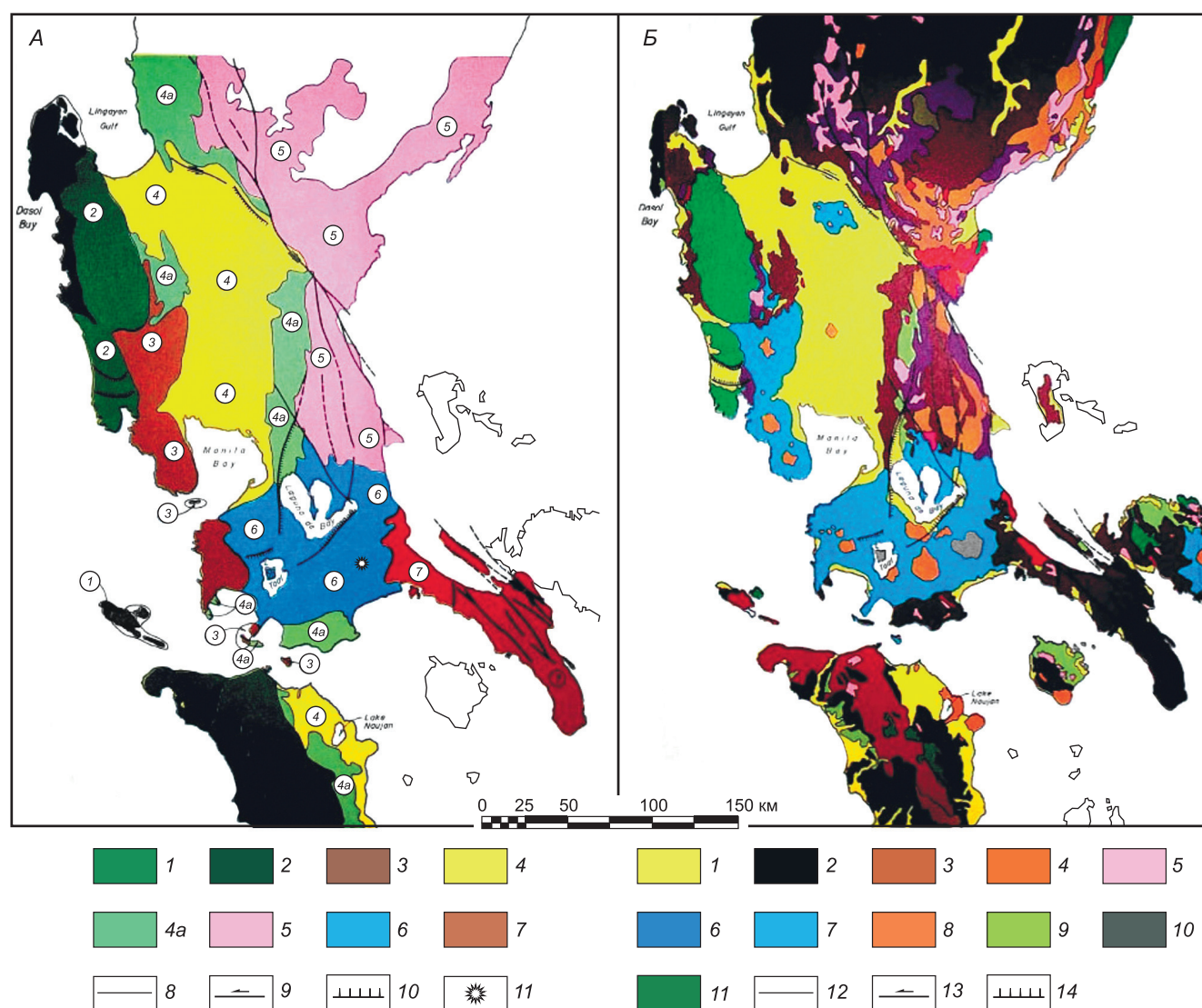


Рис. 3. Карта геологических провинций (А) и геологическая карта (Б) центральной части острова Лусон (фрагменты геологической карты Филиппин [Department of Natural Resources, Bureau of Mines, 1963]). Провинции (карта А): 1 — Западная окраинная; 2 — Западная вулканическая интрузивно-метаморфическая; 3 — Центральная вулканическая; 4—4а — Центральной равнины: Восточная вулканическая — равнины Миндоро; 4а — равнины Миндоро — границная; 5 — Восточная интрузивно-метаморфическая; 6 — Таал-Банахавская вулканическая; 7 — Южно-Лусонская разломная зона. 8 — границы: провинций; 9—10 — разрывы: сдвиги (9) и сбросы (10); 11 — активные вулканы. Геологическая карта (Б): 1—2 — осадочные породы: голоцен (1), неоген-квартер (2); 3—4 — метасадочные породы: юра-мел и мел-палеоген (?) (3); комплекс доюрского основания (4); 5 — третичные интрузивные тела; 6—10 — экструзивные породы: четвертичные активные вулканические конусы (6), плиоцен-четвертичные вулканические отложения (7), плиоцен-четвертичные неактивные вулканические конусы (8); третичные экструзивные магматические и вулканические породы (9); мел-палеоценовые и мел-нижнетретичные лавовые потоки (некоторые метаморфизованные подводные потоки) (10); 11 — мел-палеогеновые базит-ультрабазитовые породы. 12 — геологические границы; 13—14 — разрывные нарушения: сбросы (13) и сдвиги (14)

части последовательность формирования склонов стратовулканов Натиб и Маривелес.

Картирование осуществлялось на топооснове масштаба 1 : 50 000 с сечением горизонталей 20 м по цифровой модели рельефа AW3D30 DSM Ver.1.1. Цифровая модель рельефа прошла предварительную обработку; также было выполнено покрытие из мозаики разновременных космических снимков сверхвысокого разрешения из открытой библиотеки Google Earth. Дешифрирование дистанционных материалов и анализ результатов проводился одним из авторов статьи.

В маршрутах фиксировались соотношения вулканических толщ, особенности их строения. Результаты дешифрирования по возможности заверялись полевыми маршрутами. В районе предполагаемого активного разлома нами были также проведены подводные исследования с использованием акваланга по поиску сейсмогенных уступов на продолжении линеаментов и зон трещиноватости на суше.

Полученные результаты. В результате проведенных исследований была составлена геолого-геоморфологическая карта района вулканов Натиб и Маривелес (рис. 4).

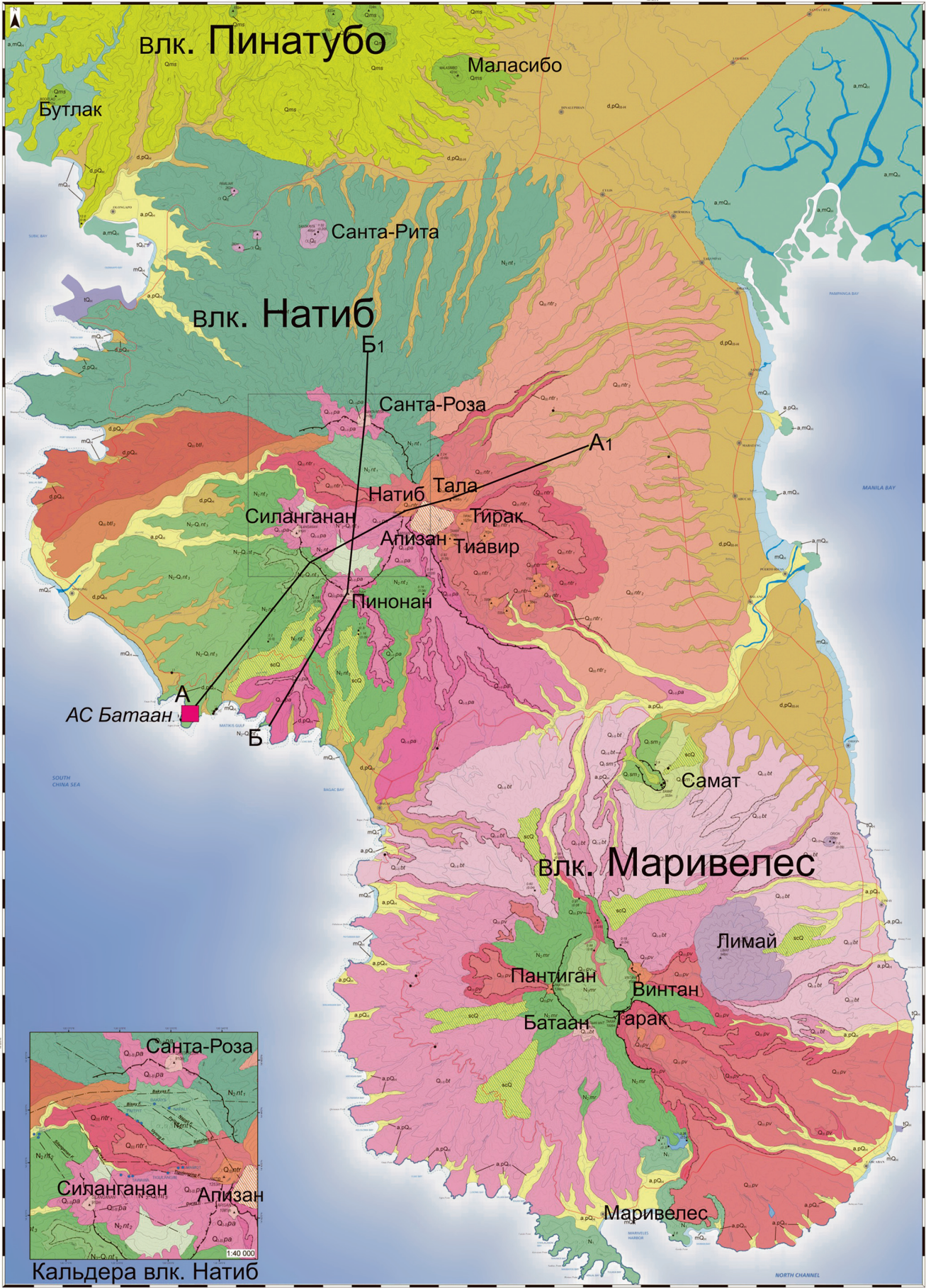
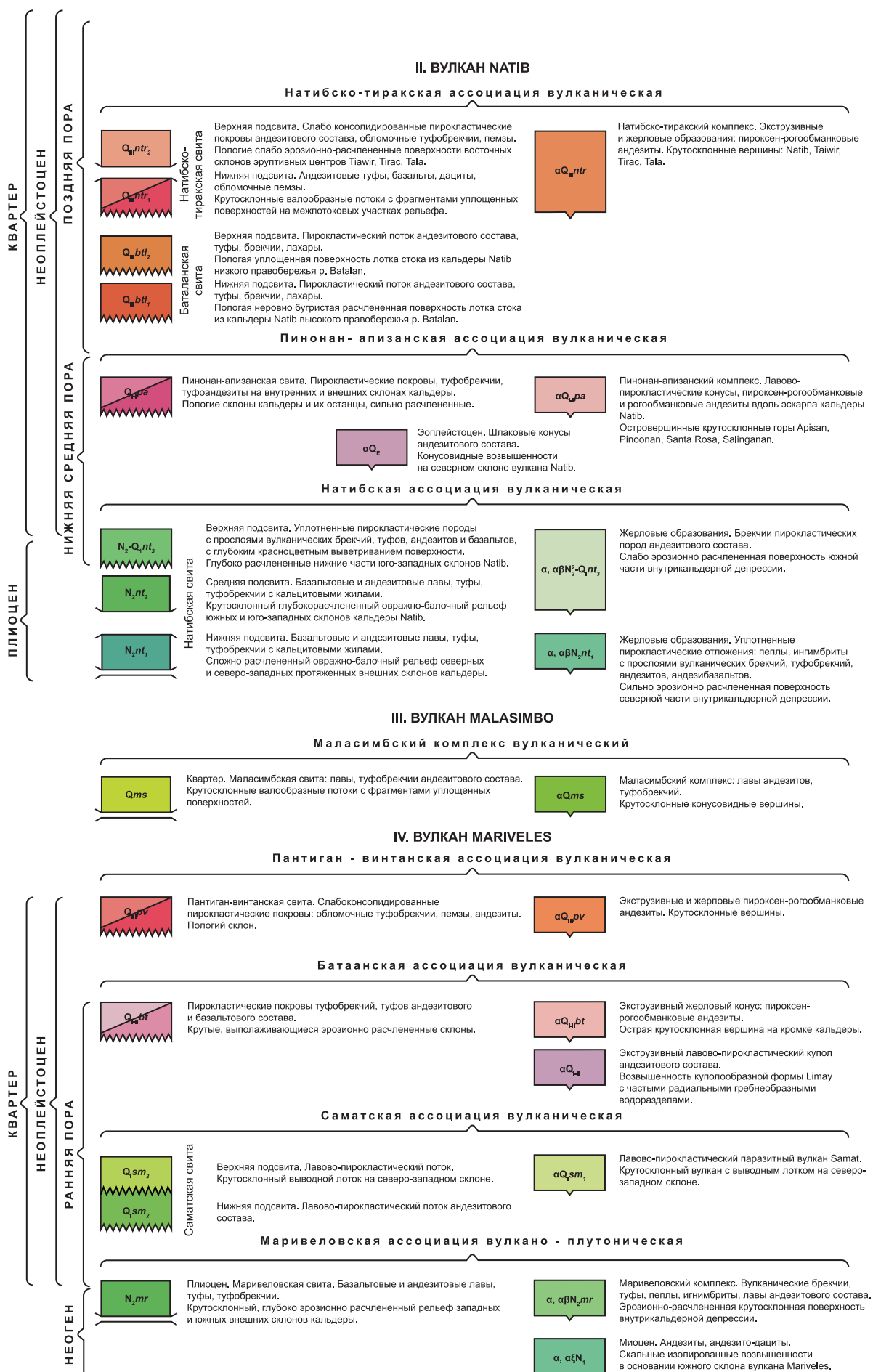


Рис. 4. Геолого-геоморфологическая карта района и легенда к ней. Карта составлена в масштабе 1:100 000. На карте сплошными черными линиями показано положение разрезов, изображенных на рис. 5



Геоморфологическое картирование с учетом результатов дешифрирования КС и визуальных наблюдений показало, что вулканы Натиб и Маривелес являются стратовулканами с несколькими хорошо выраженными в рельефе кальдерами. Каждый из вулканов сопровождается паразитическими конусами и экструзивными куполами. В разрезах преобладают лавы, туфобрекчии, туфы андезитового ряда, развиты лахары. Пирокластические покровы имеют сложное строение и индивидуализированную морфологию рельефа. Прикальдерные части склонов глубоко расчленены эрозией и в гребневой части кальдер имеют более свежие вулканические формы рельефа. Все это указывает на длительное геологическое развитие вулканических построек, что подтверждается данными об абсолютном возрасте пород.

Основой стратиграфии вулканитов Натиба и Маривелеса послужили данные по строению и возрасту вулканитов кальдеры Натиб, составляющих по К–Ar методу 2,24–0,68 млн лет [Defant, et al., 1989; Geological..., 1987], что соответствует палеоплейстоцену (гелазий) — эоплейстоцену и началу раннего неоплейстоцена российской геохронологической шкалы четвертичной системы. Последнее проявление вулканизма отмечается в среднем — позднем неоплейстоцене — голоцене. С начала позднего неоплейстоцена происходит заключительное формирование эрозионного рельефа склонов вулкана. Внутри кальдеры и по ее внешнему периметру сосредоточены базальтовые и андезитовые лавы плиоцена, а также андезитовые, андезибазальтовые лавы и туфы среднего — низов верхнего неоплейстоцена.

Стратовулкан Натиб позднелигоцен-плейстоценового возраста расположен к югу от действующего стратовулкана Пинатубо. Диаметр основания вулкана 30 км, высота 1253 м. Объем вулканической постройки 345 км^3 при площади основания 700 км^2 [Defant, et al., 1989; Geological..., 1987]. Характерной структурной особенностью вулкана является вытянутая в меридиональном направлении двойная кальдера с многочисленными термальными источниками вдоль разрывных нарушений. Диаметр более древней северной кальдеры около 5 км, наложенной южной — 4 км. Древние вулканы представлены лавами и пирокластическими породами, развитыми в пределах кальдеры. Вдоль края кальдеры расположены четыре более молодых паразитических конуса: Санта-Роза, Силанганан, Пинонан и Аписан. В составе вулканитов преобладают пироксен-роговообманковые и роговообманковые андезиты. Наиболее молодые вулканические постройки развиты в восточной части стратовулкана. Они слагают нескольких небольших андезитовых куполов: Натиб, Тиавир, Тирак и Тала.

Разрез вулканической постройки начинается натибская вулканическая ассоциация, включающая натибскую свиту, разделенную на три подсвиты, и соответствующие им нерасчлененные жерловые

образования. Нижняя подсвита (N_2nt_1) сложена базальтовыми и андезитовыми лавами, переслаиваемыми с туфами и туфобрекчиями, слагающими северный сложно-расчлененный пологий склон вулкана. Подсвите соответствуют эффузивно-жерловые андезитовые и андезибазальтовые пирокластиты северной части внутрикальдерной депрессии. Возраст образований — нижний — средний плиоцен. Средняя подсвита (N_2nt_2) слагает южную, более молодую кальдеру и ее южный и западный склоны. Восточные склоны вулкана перекрыты более молодыми генерациями вулканитов. Верхняя подсвита (N_2-Qnt_3) выделена в средней и нижней части юго-западного склона вулкана. Нижняя и средняя подсвиты разделены перерывом, имеют резургентный характер. Накопления представляют собой переслаивание пирокластических потоков, состоящих из горизонтов тефры, линз пемзы, туфобрекчий андезитового состава, расслоенных потоками лахар.

Образования натибской вулканической ассоциации сменяет пинонан-аписанская вулканическая ассоциация, включающая пинонан-аписанскую свиту ($Q_{I-IIIpa}$) и соответствующие жерловые образования. Свита слагает пологие покровы и останцы пирокластических потоков, спускающихся от ряда островершинных крутосклонных паразитических конусов (Пинонан, Аписан, Санта-Роза, Салинганан) в гребневой части кальдеры Натиб, сложенных андезитами пинонан-аписанского жерлового комплекса.

На образованиях пинонан-аписанской вулканической ассоциации залегает баталанская свита ($Q_{IIIbtl_{1-2}}$), включающая две подсвиты. Нижняя подсвита сложена выходящими из кальдеры пирокластическими накоплениями западного склона вулкана, прислоненными к нижней подсвите натибской свиты плиоцена. Верхняя подсвита, сложенная пирокластикой и отложениями лахар, располагается в пределах низкого правобережья р. Баталан, где она по эрозионной поверхности прислоняется к нижней подсвите.

На юго-восточном склоне вулкан Натиб расположена крупная кальдера и паразитические лавово-пирокластические центры с комплексом разновозрастных потоков, выделенных как натибско-тиракская вулканическая ассоциация (Q_{IIIntr}). Породы этой вулканической ассоциации соответствуют финальному циклу вулканизма вулкана Натиб и относятся к позднему неоплейстоцену. Условно выделены нижняя и верхняя подсвиты и экструзивные и жерловые образования андезитового ряда. Нижняя подсвита развита к западу от г. Натиб и к востоку от нее на склонах вулкана в виде крутосклонных валлообразных потоков андезитовых туфов, базальтов, обломочных пемз. Пирокластические потоки образуют два паразитических вулканических комплекса, ограниченных кальдерными уступами. Верхняя подсвита представлена слабо-консолированными пирокластическими покровами андезитового состава, обломочными туфобрекчиями, пемзами, базальтами, дацитами, сла-

Таблица 1

Возрастная последовательность вулканических комплексов стратовулкана Натиб

Стадии вулканизма	Возраст	Вулканические ассоциации	Этапы формирования стратовулкана
III	Поздний неоплейстоцен	Натибско-тиракская	Восточная кальдерная стадия (4 экструзивных центра), покровы лав, туфов, пирокластики
		Баталанская	Лавово-пирокластические потоки на западном склоне вулкана
II	Ранний–средний неоплейстоцен	Пинонан-апизанская	Лавово-пирокластические конусы (4 центра) и лавово-пирокластические потоки
I	Плиоцен–ранний неоплейстоцен	Натибская 3	Финальная кальдерная стадия — пирокластические потоки
		Натибская 2	Южная кальдерная стадия — пирокластические потоки
	Плиоцен	Натибская 1	Северная кальдерная стадия — пирокластические потоки

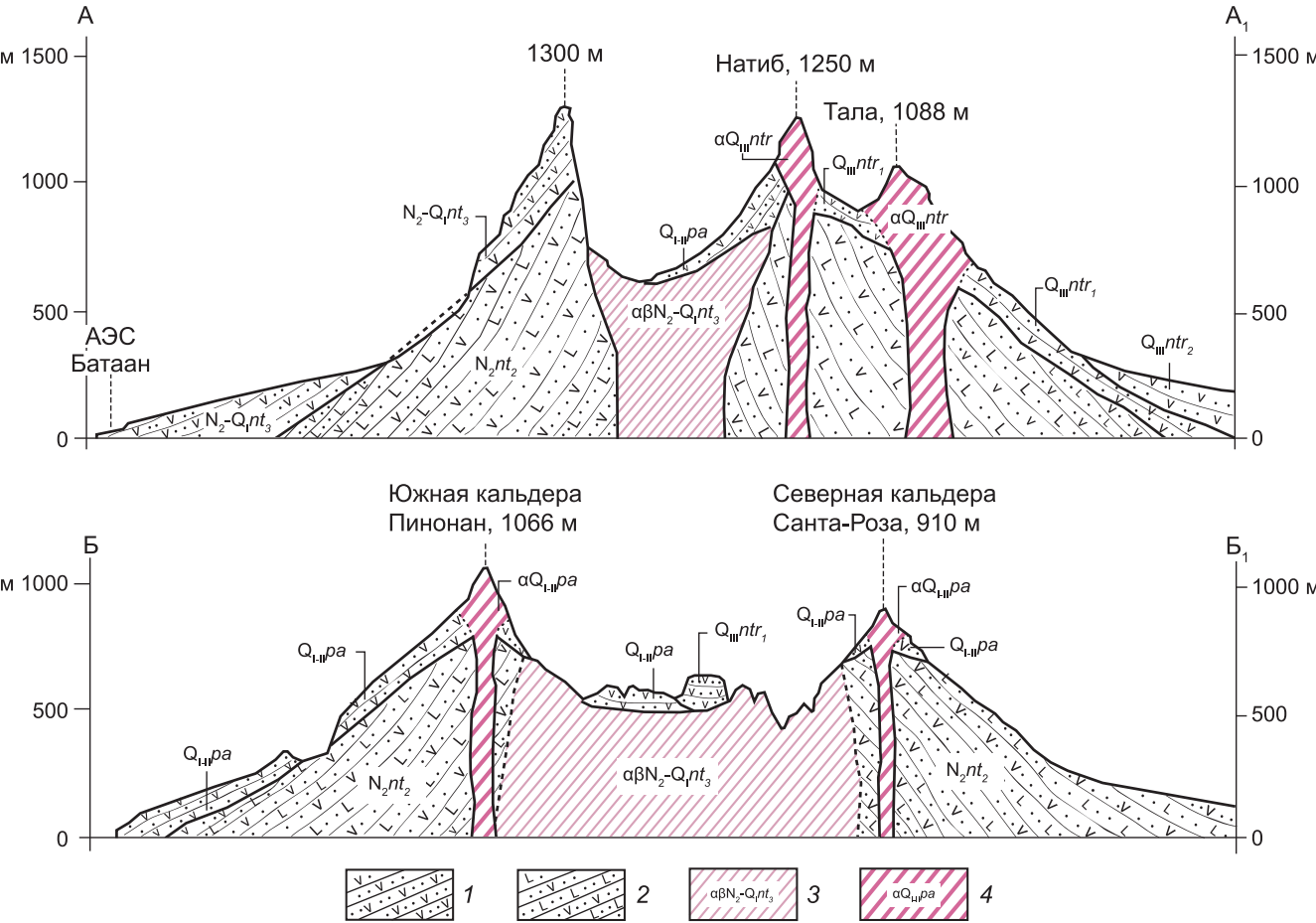


Рис. 5. Схематические разрезы стратовулкана Натиб. Положение разрезов показано на рис. 4. Условные обозначения: 1–2 — лавы и туфы состава: 1 — андезитового, 2 — андезибазальтового; 3–4 — жерловые образования: андезибазальты натибского комплекса; 4 — андезиты пинонан-апизанского комплекса. Свиты и подсвиты: средняя (N_2nt_2) и верхняя (N_2-Qnt_3) подсвиты натибской свиты; пинонан-апизанская свита ($Q_{I-III}pa$); нижняя подсвита натибско-тиракской свиты ($Q_{III} ntr$)

гающими пологие и слабо расчлененные поверхности восточных склонов кальдеры. В восточной гребневой части кальдеры Натиб и на нижерасположенном внешнем и внутреннем ее склоне присутствует несколько центров экструзивных и жерловых образований натибско-тиракского комплекса андезитов, образующих крутосклонные вершины г. Натиб, а также горы Тиавир, Тирак и Тала.

Учитывая геоморфологические данные, отсутствие свежих вулканических форм рельефа,

относящихся к голоцену и моложе, проявлений современной вулканической активности вулкан не имеет. Возрастная последовательность формирования вулканических комплексов стратовулкана Натиб приведена в табл. 1, в соответствии с которой выделяется две кальдерных стадии (Северная и Южная) и несколько стадий формирования лавово-пирокластических потоков и конусов.

Принципиальное строение вулкана Натиб показано на схематическом разрезе (рис. 5).

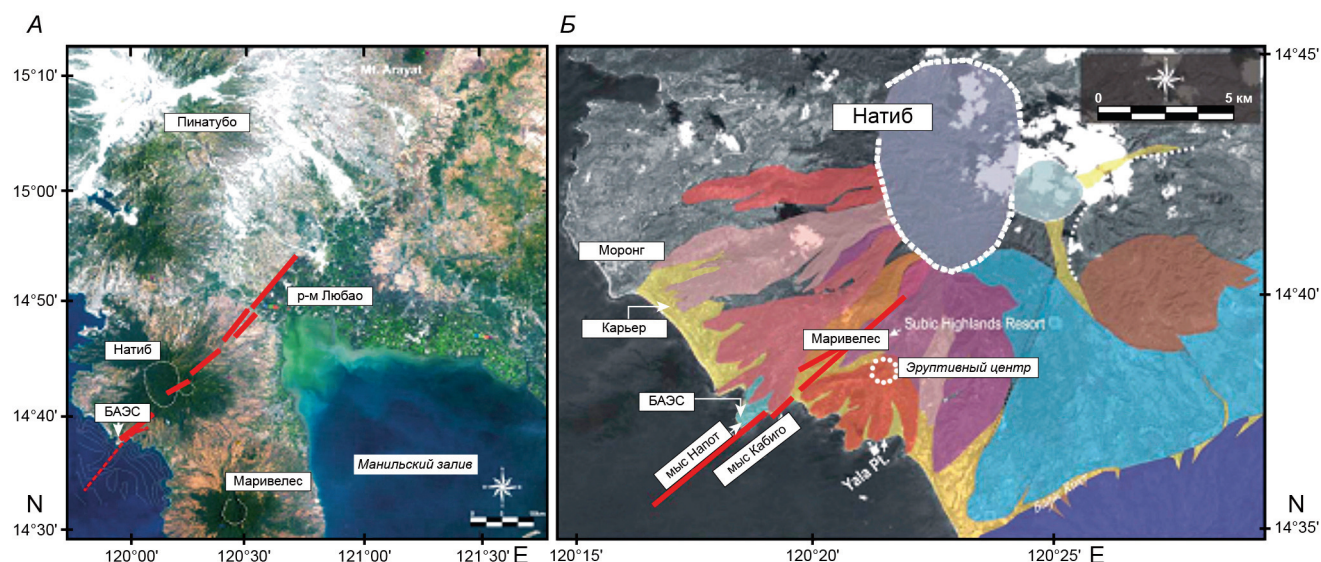


Рис. 6. Возможный активный разлом Любао, пересекающий стратовулкан Натиб [Lagmay, et al., 2012]. А — разлом Любао, продолжающийся по простиранию линейamentом в северо-восточном направлении (хорошо видно на спутниковом снимке) и в юго-западном направлении градиентной зоной в акватории (видно на батиметрической карте). Белым пунктиром показаны две кальдеры г. Натиб и кальдера г. Маривелес. Б — морфологическая интерпретация района вершины и южных склонов г. Натиб. На мысе Напот расположена Батаанская атомная электростанция (БАЭС)

В статье [Lagmay, et al., 2012] вблизи площадки АЭС обосновано наличие протяженного активного разлома северо-восточного простирания, пересекающего кальдеру вулкана Натиб (рис. 6). Нами была детально изучена поверхность вулканического склона вулкана Натиб и выходы вулканогенно-осадочных образований в береговых абразионных клифах морской террасы вдоль предполагаемого разлома, а также было проведено подводное обследование прибрежной акватории. При этом никаких значительных поверхностных смещений и нарушений в слоистой структуре вулканогенно-осадочных накоплений не было выявлено. В обнажениях присутствуют либо трещины без смещений, либо небольшие сбросовые структуры экзогенного происхождения. На поверхности дна наличия линейного уступа по простиранию разрыва также не установлено. Это, конечно, не исключает наличия зоны повышенной трещиноватости, способной проявиться при тектонических подвижках.

Маривелес — постройка высотой 1388 м с обширной (4 км) кальдерой на вершине, открытой к северу. Диаметр основания вулкано-кальдерного комплекса составляет 22 км. Помимо основной кальдеры вулкан имеет три паразитических конуса в северо-восточной части склонов. В прикальдерной части интервал абсолютного возраста составляет 1,05–0,19 млн лет, что соответствует второй половине эоплейстоцена — середине среднего неоплейстоцена. В южной приморской части вулкана в окрестностях города Маривелес находятся выходы пород андезитового ряда, из которых получены датировки существенно древнее — 4,1–2,8 млн лет, что соответствует верхнему плиоцену. Учитывая геоморфологические данные, отсутствие свежих вулканических форм рельефа, относящихся к голоцену

и моложе, проявлений современной вулканической активности вулкан Маривелес не имеет [Defant, et al., 1989; Geological..., 1987].

Наиболее древними образованиями стратовулкана являются миоценовые андезиты и андезидациты, представленные скальными изолированными выходами в основании южного склона. Более широко распространены плиоценовые образования маривеловской вулканической ассоциации. Маривеловская свита (N_2mr) сложена базальтовыми и андезитовыми лавами, туфами, туфобрекчиями, слагающими выходы западных и южных склонов кальдеры. На крутых склонах внутрикальдерной депрессии представлен комплекс жерловых образований.

В раннем неоплейстоцене на северо-северо-восточном склоне вулкана сформировался лавово-пирокластический паразитический вулкан Самат с сохранившимся жерлом и северо-западным выводным лавово-пирокластическим потоком андезитов саматской свиты (Q_{Ism}).

Максимально вулканическая активность вулкана проявилась во второй половине раннего неоплейстоцена, когда формировалась батаанская вулканическая ассоциация, представленная пирокластическими покровами туфобрекчий, туфов андезитового и базальтового состава батаанской свиты (Q_{I-IIbt}), широко развитыми практически на всех склонах вулкана, а на вершине отчетливо выражен экстрезивный лавово-пирокластический конус.

Завершают разрез вулкана обширные пирокластические покровы обломочных туфобрекчий, пемзы, андезиты среднееоплейстоценовой пантиган-винтанской свиты (Q_{I-IIpv}), слагающие относительно пологий юго-восточный склон, а также сохранившиеся экстрезивные и жерловые андезиты крутосклонных вершин.

Таблица 2

Возрастная последовательность вулканических комплексов стратовулкана Маривелес

Стадии вулканизма	Возраст	Вулканические ассоциации	Этапы развития вулкана
II	Средний неоплейстоцен	Пантиган-винтанская	В. Экструзивные конусы, пирокластические покровы
	Ранний неоплейстоцен	Батаанская	Б. Жерловый конус, пирокластические покровы А. Экструзивный купол
I	Плиоцен/ранний неоплейстоцен	Саматская	Паразитический вулкан Самат
	Плиоцен	Маривеловская	Кальдерная стадия, лавовые потоки
Докальдерная	Миоцен	Интрузивный комплекс	

Возрастная последовательность формирования вулканических комплексов стратовулкана Маривелес приведена в табл. 2, в соответствии с которой выделяется: I — главная кальдерная стадия с паразитическим вулканом Самат и II — вторая стадия формирования крупного экструзивного купола и конусов, а также пирокластических покровов. В позднем неоплейстоцене и голоцене вулканическая активность не проявлена.

Разновозрастные вулканические толщи в нижней части склонов перекрыты четвертичными прибрежно-морскими, аллювиальными, делювиальными, пролювиальными и лахаровыми накоплениями. Они локализованы вдоль береговой зоны полуострова Батаан, в приустьевых частях речных и крупных овратно-балочных долин, радиально расположенных на склонах вулканов Натиб и Маривелес. Возрастной интервал образований — верхний неоплейстоцен-голоцен.

Обсуждение результатов. На район п-ова Батаан с вулканами Натиб и Маривелес, входящих в систему южного сегмента Лусонской вулканической дуги, составлена детальная геолого-геоморфологическая карта. Натиб и Маривелес представляют собой стратовулканы с многочисленными паразитическими жерлами, которые действовали, как одновременно с главными извержениями, так и самостоятельно. В составе вулканитов преобладают андезиты и андезибазальты [Defant, et al., 1989; Geological..., 1987]. Для активных стратовулкана Пинатубо и вулканической постройки Таал характерен в целом более кислый состав вулканитов (преимущественно андезито-дациты и дацито-риолиты).

Стратовулкан Натиб возник в плиоцене-раннем неоплейстоцене с началом взрывных извержений, приведших к образованию нескольких кальдер. В раннем-среднем неоплейстоцене формировались лавово-пирокластические конусы и потоки в центральной части вулкана, в позднем неоплейстоцене — на западном склоне вулкана. Завершилось формирование стратовулкана образованием кальдеры на восточном склоне вулкана.

В стратовулкане Маривелес имеется миоценовый интрузивный комплекс. Вулкан возник в плиоцене с началом формирования кальдеры в центре вулканической постройки. В плиоцене-раннем неоплей-

стоцене сформировался паразитический вулкан Самат. В раннем неоплейстоцене формировались экструзивный и жерловый конус и пирокластические покровы. В среднем неоплейстоцене также формировались экструзивные конусы и пирокластические потоки.

Возникнув в конце миоцена, вулканы были активны в течение плиоцена и раннего-позднего неоплейстоцена. Вулкан Маривелес в последний раз извергался в среднем плейстоцене, Натиб — в позднем, а находящийся севернее Натиба стратовулкан Пинатубо активен и в голоцене.

Стратовулканы Натиб и Маривелес, вместе с действующими вулканами Пинатубо и Таал, принадлежат наиболее выступающей к западу Батаанской части Лусонской вулканической дуги. Этот участок Лусонской дуги явно находится под влиянием Филиппинского левого сдвига и оперяющих его разломов.

В цепи указанных стратовулканов потенциально активные Натиб и Маривелес занимают промежуточное положение между активными Пинатубо и Таал, активность которых возможно связана со смещениями по оперяющим разрывам зоны Филиппинского разлома.

Выводы. На основе проведенных геологических и геолого-геоморфологических исследований района Батаанской атомной электростанции впервые создана детальная крупномасштабная (масштаб 1 : 100 000) геологическая карта стратовулканов Натиб и Маривелес Лусонской островной дуги. Получены новые данные о стратиграфии вулканических и вулканогенно-осадочных плиоцен-четвертичных отложений. Рассмотрена история формирования стратовулканов, динамика вулканизма на протяжении плейстоцена-голоцена, геодинамические особенности положения вулканической зоны.

Благодарности. Авторы глубоко признательны рецензентам статьи д.г.-м.н. зав. кафедрой петрологии и вулканологии геологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова А.Л. Перчуку и к.г.-м.н. с.н.с. Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН Т.Г. Чуриковой за конструктивную критику и редакционную правку статьи.

Финансирование. Исследование выполнено по договору с АО «Институт Оргэнергострой».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андродов В.А. Вулканы мира. М.: Мысль, 1982. 367 с.
- Программа глобального вулканизма, 2025. [База данных] Вулканы мира (версия 5.3.2, 30 сентября 2025 г.), распространяется Смитсоновским институтом, составлено Венцке Э. <https://doi.org/10.5479/si.GVP.VOTW5-2025.5.3>
- Aurelio M.A., Forbes M.T., Taguibao K.J.L., et al. Middle to Late Cenozoic tectonic events in south and central Palawan (Philippines) and their implications to the evolution of the south-eastern margin of South China Sea: Evidence from onshore structural and offshore seismic data // *Mar Pet Geol.* 2014. Vol. 58. P. 658–673. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2013.12.002>
- Casulla M.A.A., Mizunaga H., Tanaka T., Dimalanta C.B. Imaging crustal features and Moho depths through enhancements and inversion of gravity data from the Philippine island arc system // *Progress in Earth and Planetary Science.* 2022. <https://doi.org/10.1186/s40645-022-00473-8>
- Defant M.J., Jacques D., Maury R.C., et al. Geochemistry and tectonic setting of the Luzon arc, Philippines // *Geological Society of America Bulletin* 1989. Vol. 101, No. 5. P. 663–672.
- Delfin F.G.Jr., Villarosa H.G., Layugan D.B., et al. Geothermal exploration of the pre-1991 Mount Pinatubo hydrothermal system // Newhall C.G., Punongbayan S. (eds.) *Fire and mud.* University of Washington Press, 1996. P. 197–212.
- Fan J., Wu S., Spence G. Tomographic evidence for a slab tear induced by fossil ridge subduction at Manila Trench, South China Sea // *International Geology Review.* 2015. Vol. 57. No. 5–8. P. 998–1013. DOI: 10.1080/00206814.2014.929054
- Geological Report on the work in the area of the Bataan nuclear power plant. Philippine Geological Survey, 1987.
- Lagmay A.M.F., Rodolfo R., Cabria H., et al. Geological hazards of SW Natib Volcano, site Bataan Nuclear Power Plant, the Philippines // *Geological Society. London, Special Publications*, 2012. Vol. 361. P. 151–169.
- Mitchell A.H.G., Hernandez F., de la Cruz A.P. Cenozoic evolution of the Philippine Archipelago. *J. Southeast Asian Earth Sci.* 1986. Vol. 1. P. 3–22. [https://doi.org/10.1016/0743-9547\(86\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0743-9547(86)90003-6)
- Newhall C.G., Daag A.S., Delfin Jr.F.G., et al. Eruptive history of Mount Pinatubo // *Fire and mud* / Eds. C.G. Newhall, S. Punongbayan. University of Washington Press, 1996. P. 165–195.
- Nguyen C.-N., Huang B.-S., Lee T.-Y., et al. Slab tearing and lithospheric structures in Luzon island, Philippines: constraints from P- and S-wave local earthquake tomography // *Front. Earth Sci.* 2023. Vol. 11. P. 1213498. doi: 10.3389/feart.2023.1213498
- Pautot G., Rangin C. Subduction of the South China Sea axial ridge below Luzon (Philippines) // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1989. Vol. 92. P. 57–69.
- Rangin C. The Philippine Mobile Belt: a complex plate boundary // *J. SE Asian Earth Sci.* 1991. Vol. 6. P. 209–220. [https://doi.org/10.1016/0743-9547\(91\)90068-9](https://doi.org/10.1016/0743-9547(91)90068-9)
- Smith W.D. The Geology of Luzon, P.I. // *The Journal of Geology.* Vol. 21, No. 1 (Jan. — Dec., 1913). P. 29–61.
- Stimac J.A., Goff F., Counce D., et al. The crater lake and hydrothermal system of Mount Pinatubo, Philippines: evolution in the decade after eruption // *Bull Volcanol.* 2004. Vol. 66. P. 149–167.
- Yang T.F., Lee T., Chen C.H., et al. A double island arc between Taiwan and Luzon: Consequence of ridge subduction // *Tectonophysics.* 1996. Vol. 258. P. 85–101.
- Yoshida K., Pulido N., Fukuyama E. Unusual stress rotations within the Philippines possibly caused by slip heterogeneity along the Philippine fault // *J. Geophys. Res. Solid Earth.* 2016. Vol. 121. P. 2020–2036.
- Yumul G.P., Dimalanta C.B., Maglambayarw V.B., et al. Tectonic setting of a composite terrane: a review of the Philippine island arc system // *Geosci J.* 2008a. Vol. 12. P. 7–17. <https://doi.org/10.1007/s12303-008-0002-0>
- Yumul G.P., Dimalanta C.B., Tamayo R.A., et al. Contrasting morphological trends of islands in Central Philippines: speculation on their origin // *Island Arc.* 2008b. Vol. 9. P. 627–637. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.2000.00307.x>

Статья поступила в редакцию 13.05.2025,
одобрена после рецензирования 12.11.2025,
принята к публикации 26.12.2025