

МЕЛОВЫЕ СДВИГОВЫЕ ДИСЛОКАЦИИ ЗОНЫ ДАЛАТ (ЮГО-ВОСТОЧНЫЙ ВЬЕТНАМ)

С.А. Касаткин¹, Фунг Ван Фать², Ле Дык Ань², В.В. Голозубов¹

¹ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр-т 100-лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022; e-mail: kasatkin04@hotmail.com

²Институт морской геологии и геофизики Вьетнамской Академии Наук и Технологий, г. Ханой, Вьетнам; e-mail: pvphach@yahoo.com

Поступила в редакцию 20 декабря 2016 г.

Исследования плективных дислокаций юрских терригенных отложений и кинематических условий разрывообразования при формировании меловых структур инъективного генезиса зоны Далат показали, что вулcano-плутонический пояс юго-восточного Вьетнама формировался в условиях левосдвиговых дислокаций СВ простирания под действием ССЗ сжатия, что свидетельствует о полном соответствии с меловыми структурами восточной окраины Азии. В результате Индо-Евразийской коллизии, начавшейся в кайнозой, Индо-Синийский блок сместился в юго-восточном направлении более чем на 500 км. Этот этап структурообразования происходил при динамическом влиянии и трансформации ранее образованных меловых структур. При последующем изучении кайнозойского тектогенеза в юго-восточном Вьетнаме предполагается учитывать существование структур мелового этапа.

Ключевые слова: меловые сдвиговые дислокации, инъективные структуры, восточная окраина Азии, зона Далат, юго-восточный Вьетнам.

ВВЕДЕНИЕ

Индо-Евразийская коллизия, начавшаяся в палеогене и продолжающаяся до настоящего времени, коренным образом изменила облик юго-востока Азии, затмив, тем самым, не менее важные события прошлых геологических эпох. Конвергентное взаимодействие Индийской и Евразийской плит привело к формированию таких грандиозных горных сооружений, как Тибет и Гималаи, образованию сети крупных разломов, вдоль которых блоки земной коры сместились на сотни километров. Наиболее ярким примером дисъюнктивных структур этого времени является система разломов Красной Реки (СРКР), разделяющая Южно-Китайский и Индо-Синийский блоки (рис. 1). Она прослежена от Тибета до побережья Южно-Китайского моря на расстояние около 1000 км. Установлено, что в олигоцене–раннем миоцене (32–16 млн лет назад) вдоль СРКР произошли левосторонние смещения [14, 18, 19, 21, 26, 27, 31 и др.] с амплитудами, по некоторым оценкам, до 500 и более км [21] и разворотом Индо-Синийского блока по часовой стрелке [9, 15, 30 и др.]. Для более позднего времени (5–0 млн лет) вдоль СРКР установлены уже правосторонние

перемещения с амплитудами в несколько десятков километров [6, 28, 33 и др.]. Важно отметить, что в период крупномасштабных тектонических дислокаций кайнозойского времени не зафиксировано проявления магматической активности. Лишь начиная с миоцена (преимущественно в плиоцен-четвертичное время) произошли обширные излияния базальтов в центральном и южном Вьетнаме [7, 11, 16].

Совершенно иная ситуация установлена для мелового времени, предшествующего Индо-Евразийской коллизии. Вдоль восточной окраины Азии в зоне перехода к Тихому океану зафиксирована тектоно-магматическая активность, сопровождавшаяся региональной складчатостью, глобальными левосдвиговыми дислокациями по системам ССВ разломов и формированием различных магматических и дайковых комплексов. Исследования последних лет показали, что эти структуры сформированы за счет взаимодействия Евразийской плиты с океанической плитой Изагаги [1]. Расчеты Д. Энгелбретсона [10], выполненные на основании анализа линейных палеомагнитных аномалий и положения океанической плиты относительно горячих точек, показывают, что

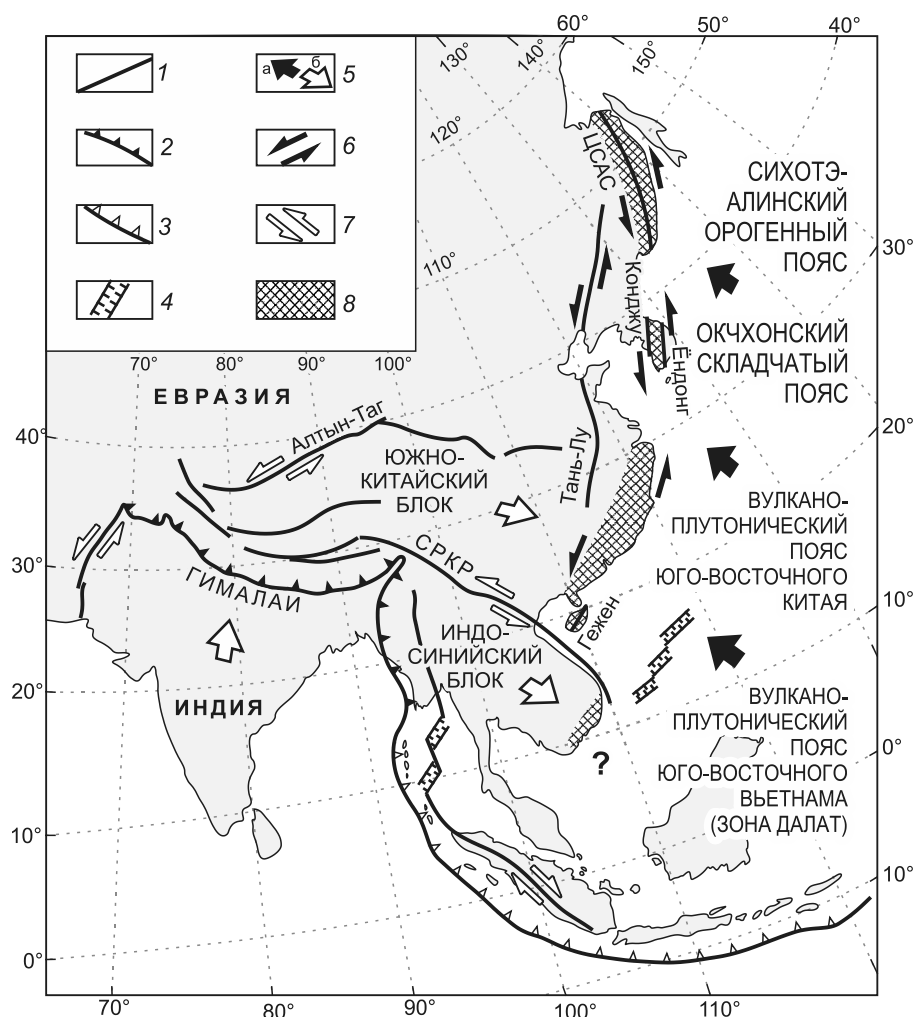


Рис. 1. Геодинамическая схема взаимоотношений меловых левосдвиговых дислокаций вдоль восточной окраины Азии и кайнозойских дислокаций Индо-Евразийской коллизии (по [31], адаптировано).

1 – главные тектонические нарушения; 2–4 – зоны: континентальной коллизии (2), субдукции (3), спрединга (4); 5 – генеральное направление движения плиты Изагаги (а) и направления смещения блоков под действием Индо-Евразийской коллизии (б); 6–7 – направления сдвиговых смещений вдоль систем разломов и сдвиговых зон: в меловое (6) и кайнозойское (7) время; 8 – пояса меловой тектоно-магматической активности; СРКР – система разломов Красной Реки.

в течение мелового времени плита Изагаги перемещалась со значительной (21–29 см/г) скоростью, изменяя направление в диапазоне движения от субмеридионального до северо-западного. Косое взаимодействие плит относительно генерального ССВ простирания восточной окраины Азии определило, с одной стороны, конвергентность структурообразования, с другой – развитие глобальных левосдвиговых дислокаций. Среди меловых структур, сформированных в условиях левосдвиговых дислокаций, наиболее значимыми являются (рис. 1): Сихотэ-Алинский орогенный пояс и его главная дизъюнктивная структура – Центральный Сихотэ-Алинский сдвиг (ЦСАС) с амплитудой левостороннего смещения более 200 км [2]; Окчхонский складчатый пояс Корейского полу-

острова, ограниченный сдвиговыми зонами Конджу и Ендонг, которые контролировали формирование меловых эпиконтинентальных бассейнов сдвигового растяжения по типу левого сдвига [20]; вулканоплутонический пояс юго-восточного Китая, где гранитоидные массивы простираются в СВ направлении [38]; разлом Тань-Лу, вдоль которого левосторонние смещения достигают 700–800 км [37] и разлом Гежен – главная магмо- и рудоконтролирующая структура на о. Хайнань [35, 36].

От непосредственной границы с океаном системы левосторонних сдвигов прослеживаются на континенте на расстояние более 400 км. Они образуют Восточно-Азиатскую глобальную сдвиговую зону (ВАГСЗ) [3]. На региональных тектонических схемах

достоверно установленные сдвиги ВАГСЗ прослежены на юг вдоль восточноазиатской окраины только до СРКР [3, 32, 34 и др.]. В.П.Уткин [4, 5] показал предполагаемое продолжение ВАГСЗ на юго-востоке Вьетнама. В его построениях, однако, не учтены влияние Индо-Евразийской коллизии и значительность левосторонних смещений вдоль СРКР.

Изучение кайнозойского тектогенеза в зоне динамического влияния Восточно-Вьетнамского граничного разлома, выявленного и прослеженного по геофизическим данным на шельфе [23] вдоль побережья юго-восточного Вьетнама (между 10° и 14° с.ш.), начато нами с 2014 г. В результате проведенных исследований удалось выяснить, что обнажающиеся вдоль побережья докайнозойские образования нарушены системами разрывов с разнотипной кинематикой. Из-за отсутствия возрастных реперов установить последовательность их формирования оказалось весьма затруднительным, поскольку, как говорилось выше, с позднего мела до миоцена здесь не зафиксировано проявлений магматической активности.

В связи с этим было принято решение провести изучение условий формирования пликативных дислокаций юрских терригенных образований, морфологии и кинематических характеристик докайнозойских (меловых) инъективных структур, выявить доминирующие системы их разрывной тектоники и реконструировать меловое поле палеонапряжений. Под термином «инъективные структуры» в настоящей статье понимаются дизъюнктивные нарушения (разрывы), имеющие вещественное заполнение. Впоследствии эти исследования позволят исключить влияние более ранних – меловых – систем разрывов из всего спектра имеющихся в настоящее время дислокаций и более достоверно определить геодинамические условия кайнозойского этапа тектогенеза.

Ниже приводятся результаты структурных исследований докайнозойских тектонических образований, ориентировки полей палеонапряжений и палинспастическая реконструкция юго-восточной окраины Азии для мелового времени.

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые структурные наблюдения 2014–2016 гг. проводились в пределах мелового вулканоплутонического пояса на юго-востоке Вьетнама, выделяемого как «зона Далат» [25] (рис. 2). Исследовались прибрежно-морские и придорожные обнажения, карьеры. Особое внимание уделялось изучению стиля пликативных деформаций юрских осадочных отложений, морфологии, пространственной ориентировки и возрастным взаимоотношениям инъективных структур, представленных, преимущественно, жилами и

дайками аплитов, дайками основного состава, а также кварцевыми жилами.

Основным методом изучения деформаций являлись замеры пространственной ориентировки структурных (слоистость, контакты жил и даек) элементов и выявление кинематических условий разрывообразования при внедрении инъекций. Тип смещения и направление сжатия определялись по морфологии и особенностям структурного рисунка даек и жил, где учитывались сопряженные системы, ориентировка и парагенетические соотношения элементов скалывания и растяжения, характер контактов.

Результаты полевых наблюдений обрабатывались при помощи программы StereoNett 2.46. Для оценки распределения максимумов и выделения доминирующих систем замеры выносились на верхнюю полусферу стереографической проекции Вульфа и отображались в виде изолиний плотности полюсов слоистости и контактов инъективных структур. Крутонаклонные (60–90°) замеры контактов выносились также на розы-диаграммы, чтобы с учетом кинематических характеристик достоверно выделить доминирующие направления сдвиговых смещений и на основе структурных парагенезисов складчатых и разрывных систем определить ориентировку поля напряжений.

КРАТКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК РАЙОНА

На территории юго-восточного Вьетнама обнажены дислоцированные породы мезозойского чехла Индо-Синийского блока [12]. В его составе закартированы выходы мезозоя и кайнозоя, залегающего с угловым несогласием. Кристаллический фундамент локализован в северной части рассматриваемой территории (рис. 2). Он представлен протерозойскими биотитовыми, реже биотит-пироксеновыми гнейсами и различными кристаллическими сланцами с горизонтами амфиболитов и оливиновых мраморов, а также менее метаморфизованными породами нижнего палеозоя: кварцитами, зеленокаменными породами, метариолитами, кварц-серицитовыми сланцами и доломитовыми мраморами. В основании разреза (средний триас) залегают конгломераты, гравелиты, песчаники, аргиллиты, сланцы, риолиты и их туфы (формация Манг-янг (Mang Yang), мощность 300–900 м). Они обнажены в северной части района. Юрские толщи распространены более широко и представлены отложениями всех трех отделов. Нижнеюрская базальная грубообломочная толща – конгломераты, гравелиты, грубозернистые песчаники формации Дакбун (Dak Bung) мощностью 110–500 м перекрыта толщей известковистых песчаников и алевролитов, содержащих

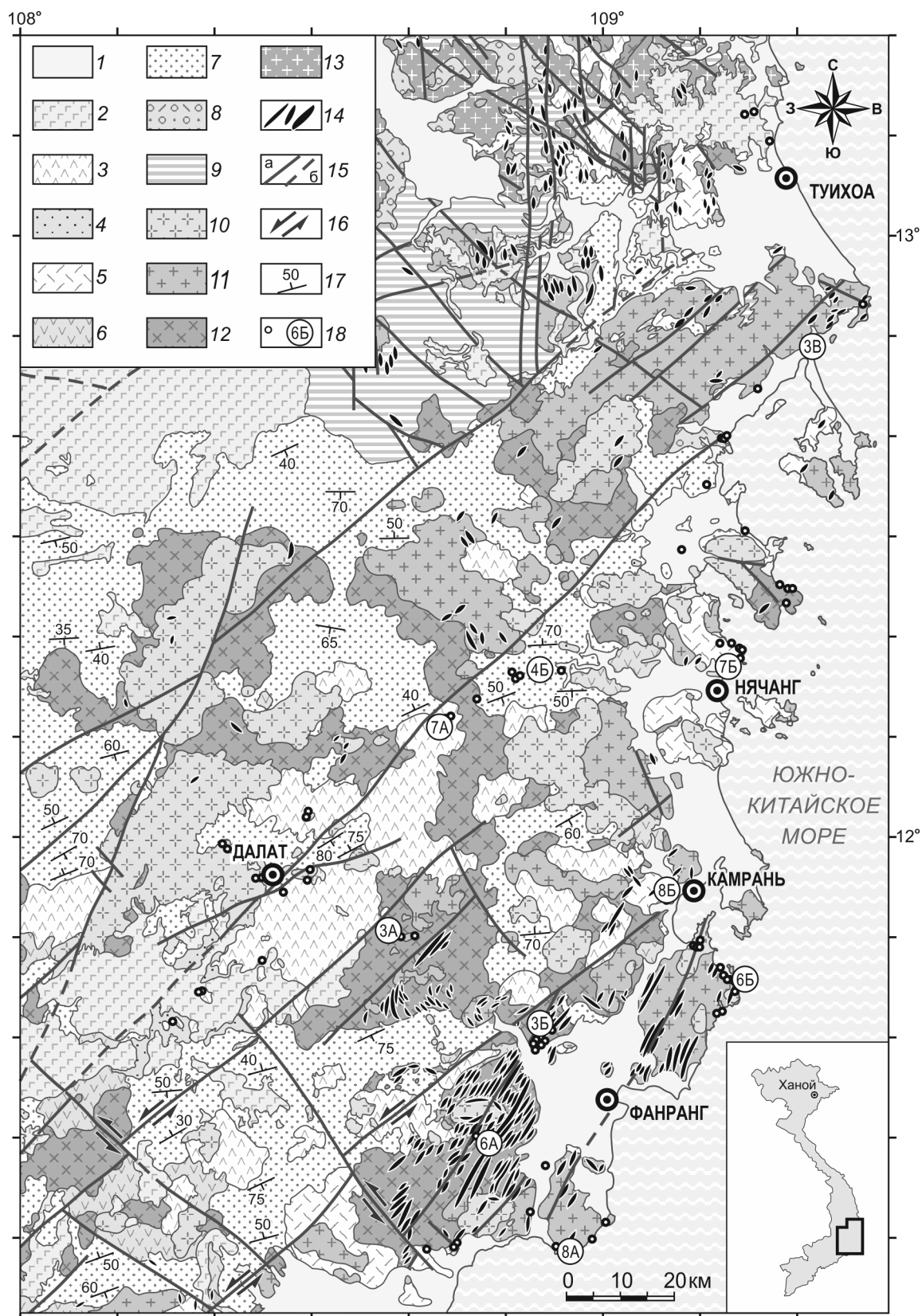


Рис. 2. Геологическая карта юго-восточной части Вьетнама (по [12] с изменениями и дополнениями).

1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2 – неоген-четвертичные базальты; 3 – верхнемеловые дациты, риодациты, риолиты, фельзиты и их туфы (формация Донзыонг); 4 – верхнемеловые конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты (формация Да-

мергелистые конкреции (формация Дрейлин (Dray Linh), мощность 200–700 м). Средней юрой датированы терригенные толщи песчаников, алевролитов и сланцев (формация Ланга (La Nga), мощность 600–1300 м), сменяющаяся красноцветными песчаниками и алевролитами (формация Эасап (Ea Sup), мощность 400–500 м). Верхнеюрские вулканогенные образования (формация Деобаолок (Deo Bao Loc), мощность 300–400 м) сложены покровами андезитов, дацитов и их туфов. Выше по разрезу картируется толща меловых вулканитов кислого и умеренно кислого состава формации Нячанг (Nha Trang): риолиты, трахириолиты, дациты, реже андезиты и их туфы, туфопесчаники и туфогравелиты (мощность 500–600 м). В западной части зоны Далат имеются небольшие (мощность до 100 м) выходы верхнемеловых конгломератов, гравелитов, песчаников и алевролитов формации Даклум (Dak Rium). Еще одна верхнемеловая формация – Донзыонг (Don Duong) – имеет более широкое распространение. Она представлена покровами дацитов, риодацитов, риолитов и их туфов (мощность 350–500 м). Венчают разрез неоген-четвертичные плато-базальты, рыхлые аллювиальные, озерно-болотные и прибрежно-морские отложения.

Домеловые стратифицированные образования более дислоцированы по сравнению с меловыми эффузивами, а кайнозойские залегают горизонтально.

Значительную часть изучаемой территории (более 50 %) занимают выходы интрузий меловых гранитоидов, внедрившихся в перечисленные выше породы триасового и юрского деформированного чехла (рис. 2). Нашими предшественниками [12] гранитоиды были подразделены на три комплекса: Динькуан (Dinh Quan), Деока (Deo Ca) и Кана (Ca Na).

Гранитоиды комплекса Динькуан размещены среди юрских толщ и перекрыты меловыми вулканитами формации Нячанг. Комплекс включает три фазы с закономерным увеличением кремнекислотности от габбродиоритов и диоритов до биотит-роговообманковых гранодиоритов и гранитов.

Гранитоиды комплекса Деока прорывают и метаморфизуют вулканиты формации Нячанг и с размывом перекрыты верхнемеловыми вулканитами формации Донзыонг. В составе комплекса выделяется

до трех фаз. Их состав меняется (по мере омоложения) от среднезернистых биотитовых гранодиоритов до средне- и мелкозернистых биотитовых гранитов и граносиенитов.

Гранитоиды комплекса Кана прорывают и метаморфизуют, в числе прочих образований, и верхнемеловые вулканиты формации Донзыонг. В их составе доминируют средне- и мелкозернистые, реже крупнозернистые биотитовые и двуслюдяные граниты, лейкограниты и аляскиты.

Каждый комплекс сопровождается сериями даек, состав которых меняется от гранит-порфиров и аплитов (ранняя фаза) до долеритов и диабазов (поздняя фаза). Промежуточные по составу дайки гранодиорит-порфиров и диоритовых порфиров также встречаются, но значительно реже. Интересной особенностью района является то, что серии даек локализованы преимущественно в пределах гранитоидных плутонов и крайне редко рассекают дислоцированные толщи осадочных и вулканогенно-осадочных образований (рис. 2).

Перечисленные гранитоидные комплексы относятся к высококальциевой известково-щелочной серии и имеют, как считается, геохимические признаки гранитоидов I-типа, внедрения которых происходили над зонами субдукции [25].

На изданных геологических картах комплекс Динькуан датирован поздней юрой, комплекс Деока – мелом (без уточнения), а комплекс Кана – поздне-мелом [12]. Более позднее датирование по цирконам показало, что время внедрения перечисленных комплексов приходится на интервал 112–88 млн лет (альб-турон) [25]. При этом гранитоиды комплекса Динькуан, ранее считавшиеся юрскими, датированы альбом (100–112 млн лет), гранитоиды комплекса Кана – сеноманом (92–96 млн лет), а комплекс Деока содержат наиболее молодые, туронские (92–88 млн лет) цирконы. Следует отметить, что перечисленные датировки цирконов, а также геохимические исследования гранитоидных комплексов зоны Далат выполнены на материале небольшого количества проб и требуют дополнительного изучения и уточнения.

Для гранитоидов комплекса Динькуан имеются также данные Rb-Sr (92–109 млн лет) и Ar-Ar ($104 \pm$

клум); 5 – меловые риолиты, трахириолиты, дациты, андезиты и их туфы (формация Нячанг); 6 – верхнеюрские андезиты, дациты и их туфы (формация Деобаолок); 7 – нижне-среднеюрские песчаники, алевролиты, известковистые алевролиты, переслаивание мергелей и глинистых известняков (формации Дакбун, Дрейлин, Ланга, Эасап); 8 – среднетриасовые конгломераты, гравелиты, песчаники, аргиллиты, сланцы, фельзиты, риолиты и их туфы (формация Манг-янг); 9 – домезозойские образования; 10–12 – меловые гранитоидные комплексы зоны Далат: Кана (10), Деока (11) и Динькуан (12); 13 – поздне-триасовый гранитоидный комплекс Ванькан; 14 – меловые дайки кислого и основного состава; 15 – разломы: установленные (а) и предполагаемые (б); 16 – направление смещений; 17 – элементы залегания слоистости; 18 – точки полевых наблюдений и номера рисунков в тексте.

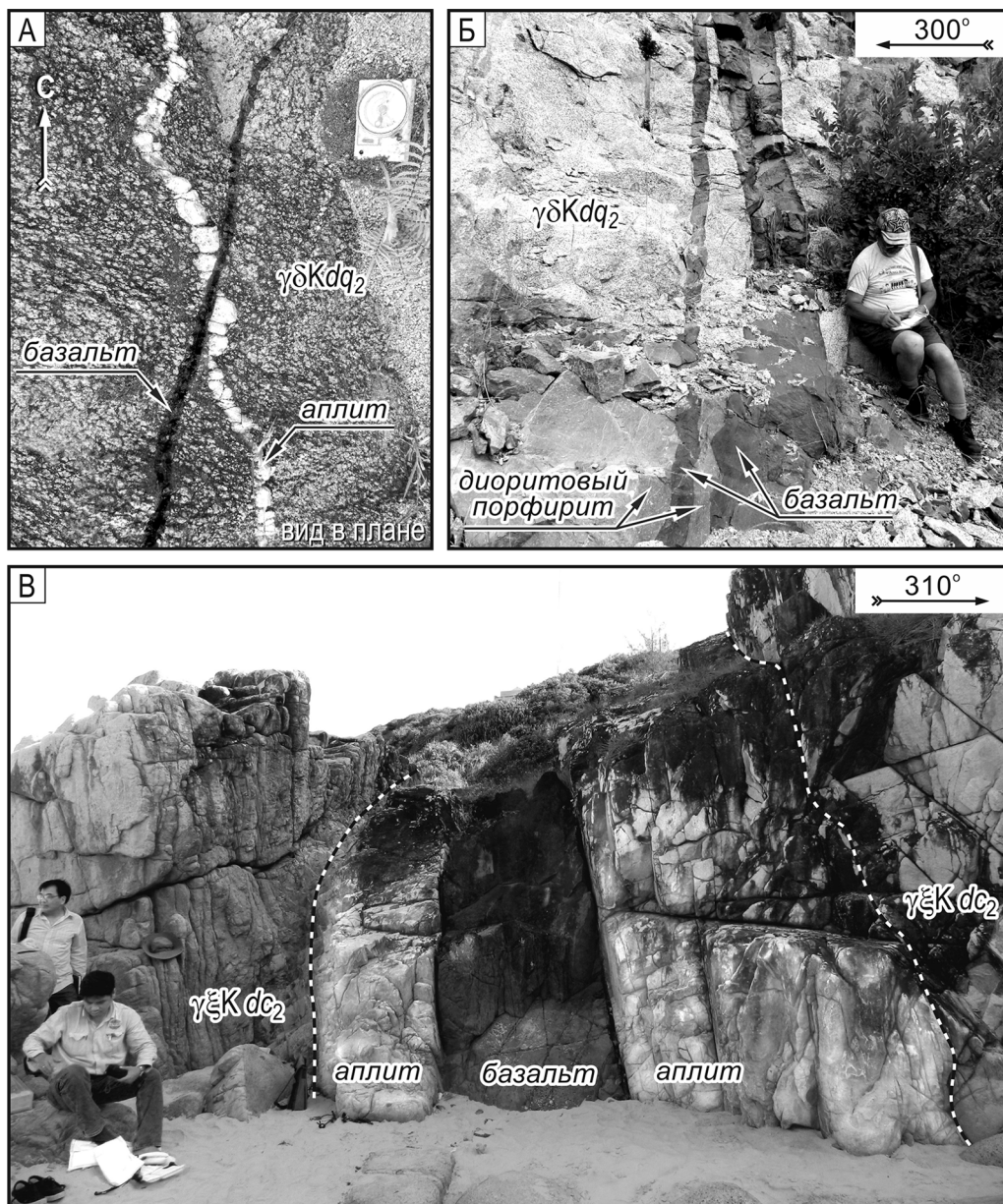


Рис. 3. Характерные проявления инъективных структур: жила базальта рассекает аплитовую жилу (А), дайки базальта рассекают диоритовый порфирит и гранодиориты комплекса Динькуан (Б), структура «дайка в дайке» (дайка базальта рассекает вдоль дайку аплита) в граносиенитах комплекса Деока (В).

Местоположение точек наблюдений см. на рис. 2.

2 млн лет) методов, что подтверждает их раннемеловой возраст [13].

ВОЗРАСТНЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ИНЪЕКТИВНЫХ СТРУКТУР

В процессе полевых наблюдений в ряде случаев нами фиксировались относительные возрастные взаимоотношения инъективных структур. В частности было отмечено, что дайки основного состава, как правило, являются более поздними по отношению

к дайкам кислого состава. Прямым свидетельством более позднего возраста даек основного состава является пересечение и смещение ими даек кислого состава (рис. 3 А). Кроме того, в каждом гранитоидном массиве зоны Далаг дайки базальтов проявлены весьма контрастно, рассекая интрузивные образования (рис. 3 Б). В пользу более позднего возраста даек основного состава свидетельствуют и структуры «дайка в дайке». Так, например, дайка базальта, внедрившаяся в дайку аплита, унаследовала ее элементы

залегания (рис. 3 В). Встречаются также дайки базальтов, внедрившиеся вдоль контакта дайки аплита с вмещающими гранитоидами.

Примечательно, что контакты даек кислого состава зачастую не резкие, а в виде плавных переходов, свидетельствуя, тем самым, что их внедрение происходило в еще не остывший гранитоидный массив. Дайки основного состава, напротив, имеют четкие, ярко выраженные контакты, что указывает на их внедрение в условиях хрупких деформаций.

Показанные на геологических картах дайковые серии кислого состава включены в состав вмещающих гранитоидных комплексов, в то время как дайки среднего и основного состава датируются преимущественно более молодым – палеогеновым возрастом, отделяя, таким образом, внедрение даек от формирования вмещающих интрузий [12]. Такой подход, основанный на определениях К-Аг изотопного возраста, выполненного по валовому составу даек, требует дополнительных исследований, поскольку К-Аг датирование нередко приводит к ошибкам, в основном, в сторону омоложения.

Представляется наиболее вероятным, что возрастная последовательность инъекций от кислых к основным обусловлена эволюцией развития каждого гранитоидного комплекса. Ранние дайки кислого состава (аплиты, гранит-порфиры), как это часто бывает, представляют собой результат внедрения остаточного расплава, заполнявшего в значительной мере контракционные трещины, возникшие при сокращении объема массива в процессе его остывания. Они, как правило, разноориентированные, нередко субгоризонтальные и пологонаклонные. По мере затвердевания массива в нем, по-видимому, в большей мере реализовывались напряжения в виде хрупких деформаций и ориентировки даек приобретали все большую упорядоченность. Отчетливый характер контактов даек основного состава указывает на то, что они внедрялись в уже остывший гранитоидный массив. Кроме того, преимущественное распределение даек именно в пределах гранитоидных массивов объясняется реологическими свойствами последних, где в отличие от стратифицированных образований отсутствует слоистая структура и напряжения реализуются напрямую в виде хрупких деформаций, минуя пластические.

Кварцевые жилы наблюдались как в гранитоидах, так и в вулканогенно-осадочных образованиях. Каких-либо взаимоотношений с другими инъективными телами нами не обнаружено.

РЕЗУЛЬТАТЫ СТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Начальный этап структурных исследований охватывает *изучение стиля пликтивных дисло-*

каций, главным образом в среднеюрских терригенных образованиях формации Ланга. Результаты этих исследований иллюстрирует диаграмма слоистости (рис. 4 А), в узоре изолиний которой выделяются пятипроцентные ($\geq 5\%$) максимумы, отражающие крылья складок (рис. 4 Б) преимущественно ВСВ (60–90°) простирания с углами падения 30–70°. Эти максимумы объединяются в пояса с пологими (5–10°) углами погружением осей на ЮЗ (240–265°) и СВ (35°), что свидетельствует о формировании складчатости зоны Далат в условиях ССЗ (330–355°) сжатия. Пояс с крутонаклонной осью (СЗ 300°, $\angle$ 80°) указывает на наличие сдвиговых смещений при формировании складчатости (рис. 4 А), а разворот слоев к ССВ соответствует флексурным изгибам, образованным вблизи разломов СВ простирания.

Наиболее важным этапом для выявления геодинамических условий развития зоны Далат является *изучение морфологии и кинематики инъективных структур*. Данные ориентировок массовых замеров их контактов с вмещающими породами иллюстрируют диаграммы (рис. 5). В процессе детального статистического анализа пространственного (включая поясовое) распределения контактов инъективных структур и данных полевых наблюдений было выделено пять систем, пространственно-кинематические характеристики которых сведены в таблицу.

Рассмотрим детально примеры проявления основных инъективных структур и геодинамические условия их формирования.

Дайки аплита проявлены в гранитоидных массивах и представлены разноориентированными, преимущественно крутонаклонными, реже – пологими телами мощностью от первых сантиметров до 2-х метров. Пространственное распределение их контактов иллюстрирует диаграмма (рис. 5 А). Закономерное распределение максимумов и вытянутость изолиний позволяет объединить их в пояса с крутым (70–80°) погружением осей, что указывает на развитие разрывных систем и последующих инъекций в условиях сдвиговых дислокаций.

При полевых наблюдениях и последующем статистическом анализе выявлены наиболее развитые направления даек аплита: СВ (30–40°) и СЗ (310–330°) с крутонаклонными (60–90°) углами падения, которые соответствуют I и II системам (рис. 5 А, Б). Дайки и жилы этих направлений встречаются в виде сопряженных структур, биссектриса острого угла которых указывает на проявление ССЗ сжатия раннего этапа (рис. 6 А). Вместе с тем, морфология даек СВ простирания (I система) с оперяющими субмеридиональными (ССЗ 340°–ССВ 20°) кулисами (III система) указы-

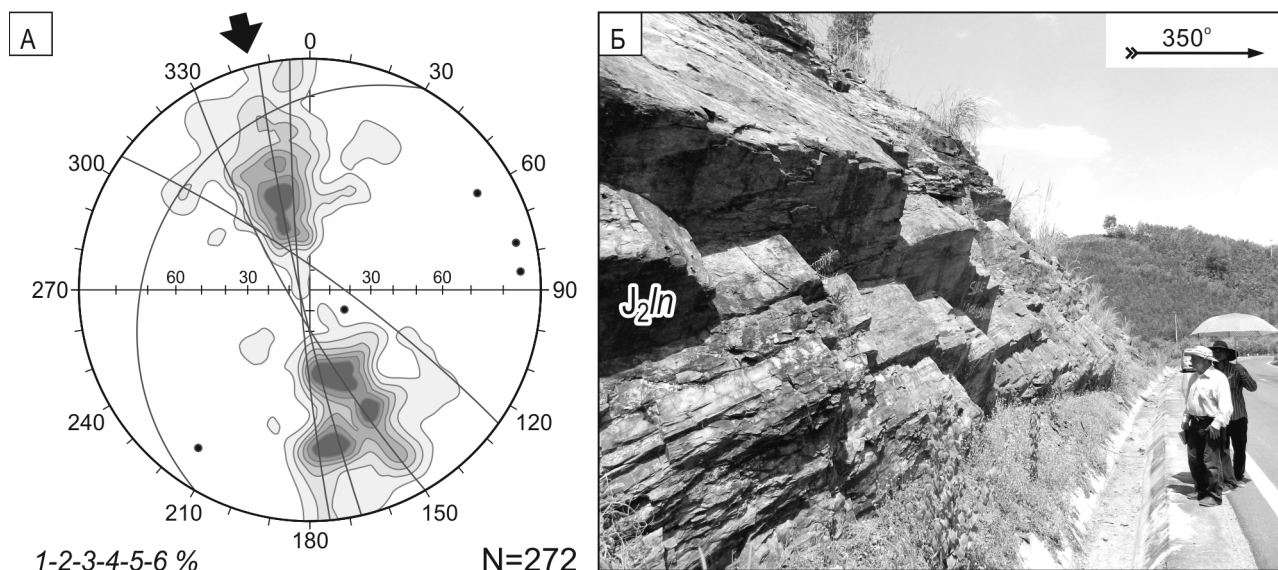


Рис. 4. Суммарная диаграмма ориентировки слоистости в ранне-среднеюрских осадочных образованиях юго-восточного Вьетнама (А) и пример наклонного залегания слоев песчаников формации Ланга (Б).

В проекции на верхнюю полусферу (сетка Вульфа) изображены: изолинии плотности полюсов слоистости через 1 %; экваторы поясов слоистости (дуги больших кругов) и их оси (точки); стрелка – генеральная ориентировка сжатия, соответствующая региональной складчатости; N – количество замеров. Местоположение точки наблюдения (3Б) см. на рис. 2.

вает на их формирование в условиях доминирования левосдвиговых дислокаций также под действием ССЗ сжатия (рис. 6 Б).

Учитывая особенности пространственного распределения СВ левых сдвигов (I система), сопряженных с ними правых сдвигов СЗ направления (II система) и субмеридиональных кулис (III система), образовавшихся как структуры сосдвигового растяжения, можно рассматривать эти системы как структурный парагенезис, сформированный в условиях ССЗ сжатия (рис. 5 Б). С этим же полем напряжения сочетаются инъекции ВСВ простираия (IV система), которые имеют подчиненное значение и представлены маломощными жилами аплита, формировавшимися, вероятно, в условиях поперечного сжатия по типу взбросов.

Образованию немногочисленных жил аплита V системы (рис. 5 А) могли способствовать пологие надвиговые или сбросовые срывы, а также образование отслоений в процессе остывания верхних уровней кровли гранитоидных массивов.

Кварцевые жилы наблюдались как в гранитоидных массивах, так и в вулканогенных толщах мелового возраста. Они представлены маломощными (до 5 см), преимущественно крутонаклонными прожилками СВ (30–50°) простираия, которые на диаграммах (рис. 5 В, Г) образуют максимумы I системы. Зачастую их морфология выражена сериями эшелонированных кулис (рис. 7 А), а также и право- и левоступенчатыми структурами несоосного сосдвигового сжатия и растяжения, соответственно (рис. 7 Б). При полевых наблюдениях неоднократно отмечалось, что по отношению к СВ маломощным прожилкам (I система) закономерное отклонение их простираия к меридиану сопровождалось увеличением мощности (рис. 7 А, Б), образуя структуры сосдвигового растяжения (III система). Формы проявления большинства таких прожилков кварца указывают на их развитие в условиях левосдвиговых дислокаций под действием субмеридионального сжатия (рис. 5 Г). В этих геодинамических условиях редкие СЗ жилы II системы могли формироваться по типу правосторонних сдвигов,

Рис. 5. Суммарные диаграммы ориентировок инъективных структур: жил и даек аплитов (А), кварцевых жил (В), даек основного состава (Д) и розы-диаграммы их простираий для крутонаклонных (60–90°) структур (Б, Г, Е), соответственно.

На диаграммах в проекции на верхнюю полусферу (сетка Вульфа) изображены: изолинии плотности полюсов контактов инъекционных структур в процентах; экваторы поясов (дуги больших кругов) и их оси (точки); римские цифры – номера систем инъективных структур; стрелки – направления сдвиговых смещений; черная стрелка – ориентировка сжатия; N – количество замеров.

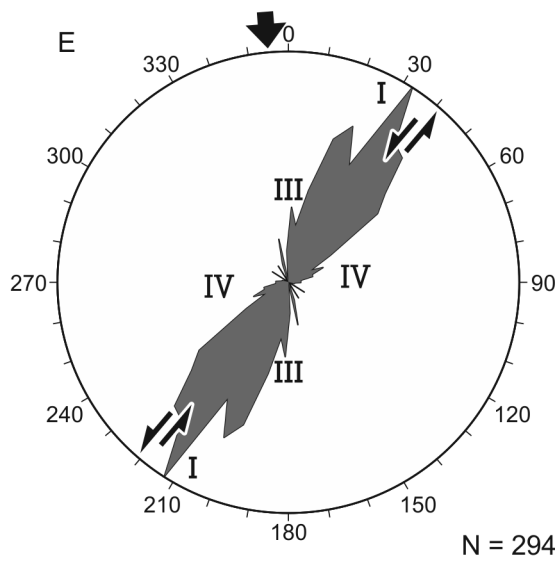
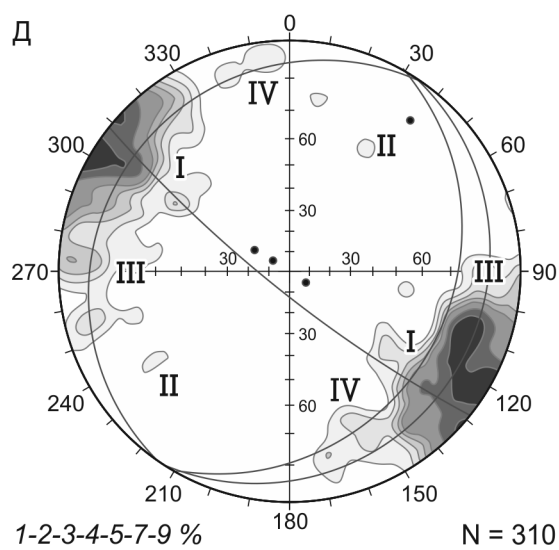
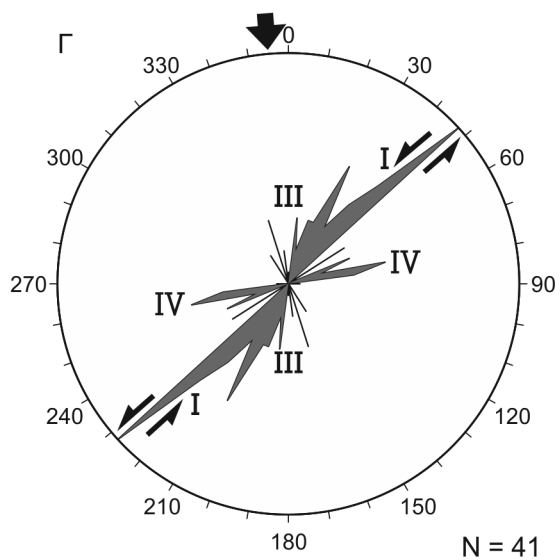
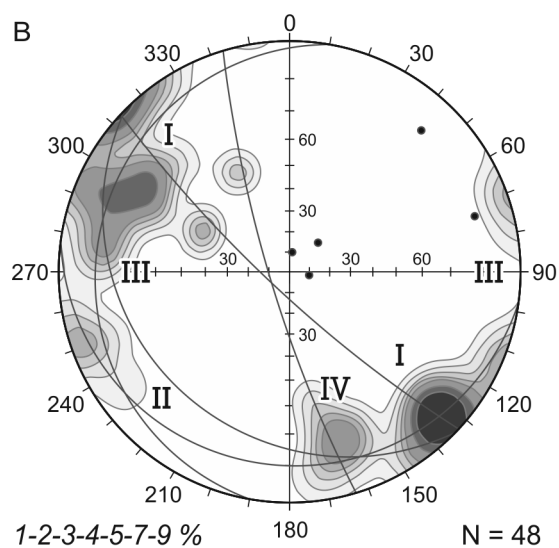
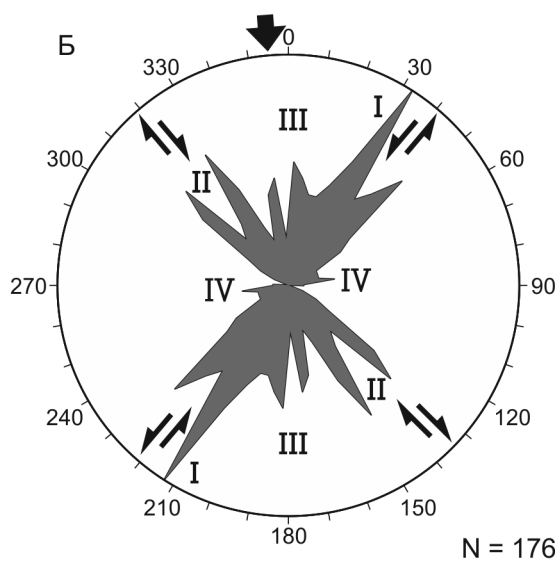
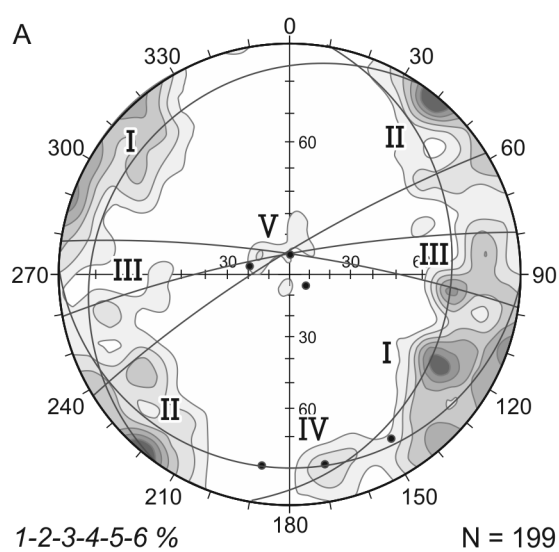


Таблица. Пространственно-кинематические параметры инъективных структур.

Индексы систем	Параметры ориентировки систем (град. °)		Вещественный состав и кинематические характеристики
	азимут простираия	угол падения	
I	СВ 20–60	СЗ 40–90 ЮВ 50–90	Дайки аплита, мелкозернистого гранита, прожилки кварца, дайки основного состава. Левые сдвиги.
II	СЗ 300–330	СВ 60–90 ЮЗ 60–90	Дайки аплита, редко дайки основного состава. Правые сдвиги.
III	ССЗ 340–ССВ 20	ЗСЗ 55–90 ВЮВ 60–90	Преимущественно дайки аплита, реже прожилки кварца и дайки основного состава. Структуры сосдвигового растяжения.
IV	ВСВ 60–85	ССЗ 80–90 ЮЮЗ 55–90	Дайки аплита, прожилки кварца, дайки основного состава. Вероятно, взбросы и левые взбросо-сдвиги, редко левые сдвиги.
V	З 270–В 90	З-СВ 0–30 Ю 0–10	Жилы аплита. Кинематика не установлена.

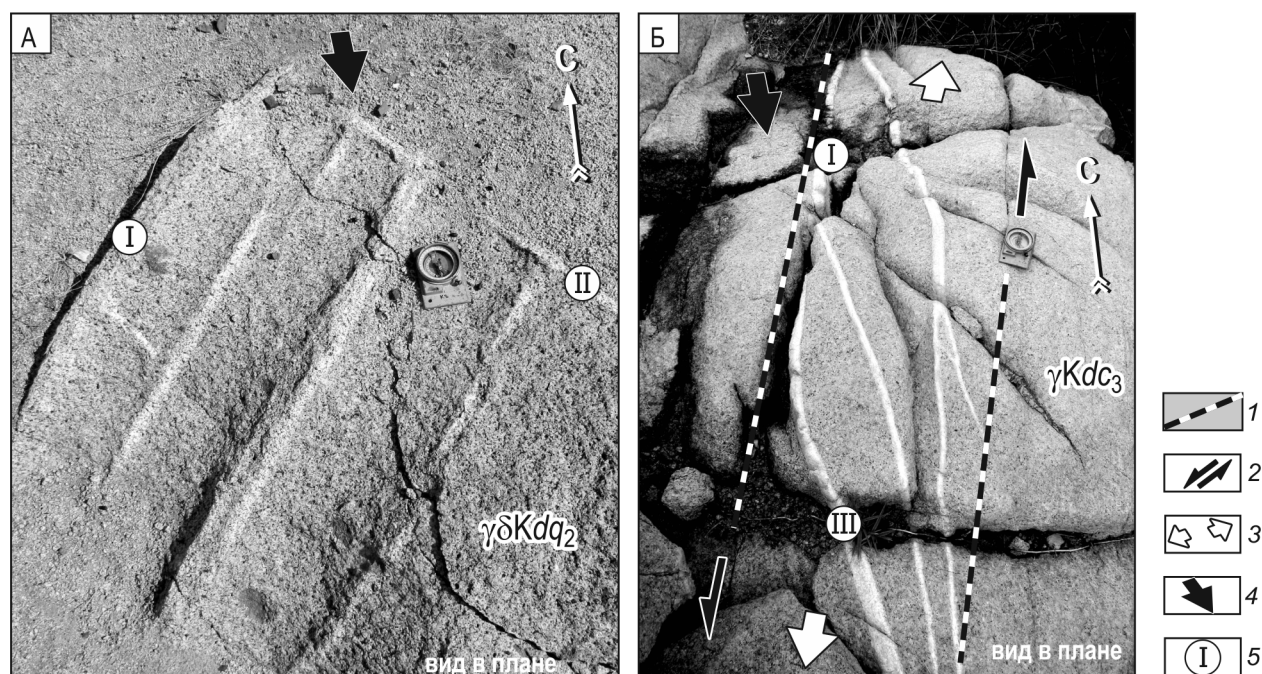


Рис. 6. Морфология аплитовых жил, сформированных под действием субмеридионального сжатия в виде: сопряженной системы в гранодиоритах комплекса Динькуан (А) и кулис при левосдвиговых дислокациях в гранитоидах комплекса Деока (Б).

I – потенциальные границы сдвиговой зоны; 2 – направления смещения; 3 – ориентировка сосдвигового растяжения; 4 – ориентировка регионального сжатия; 5 – номера систем инъективных структур. Пояснения в тексте. Местоположение точек наблюдений см. на рис. 2.

а жилы IV системы – как структуры сжатия, возможно с компонентой взбросовых смещений (рис. 5 В).

Дайки основного состава широко распространены в виде прямолинейных крутонаклонных (60–90°) структур преимущественно СВ (20–40°) простираия (I система, рис. 5 Д, Е) при средней мощности от 0.5 до 2 м. Вместе с тем, при отклонении их простираия

к меридиану (III система) наблюдается увеличение мощности (иногда до нескольких метров), что могло быть обусловлено сосдвиговым растяжением при левостороннем смещении вдоль структур СВ направления под действием ССЗ (355°) сжатия (рис. 5 Е). Тела СЗ направления (II система) имеют подчиненное значение и развиты в виде сопряженных апофиз по

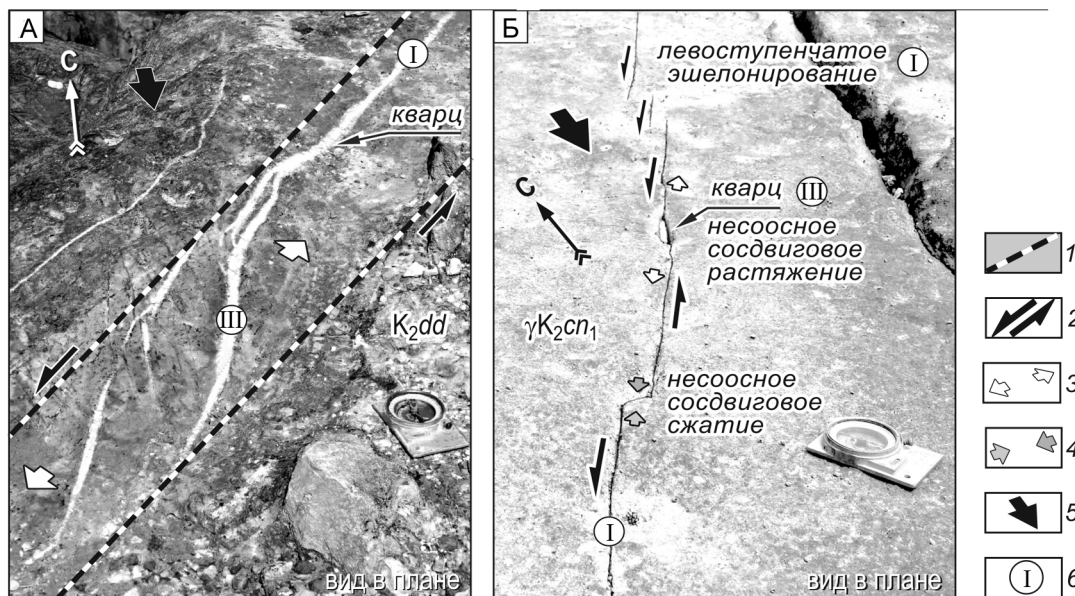


Рис. 7. Проявление левосдвиговых дислокаций в виде кварцевых жил в позднемеловых вулканогенных образованиях формации Донзыонг (А) и в гранитоидах комплекса Кана (Б) под действием субмеридионального сжатия.

1 – потенциальные границы сдвиговой зоны; 2 – направления смещения вдоль разрывов; 3 – ориентировка сдвигового растяжения; 4 – ориентировка сдвигового сжатия; 5 – ориентировка регионального сжатия; 6 – номера систем инъективных структур. Местоположение точек наблюдений см. на рис. 2.

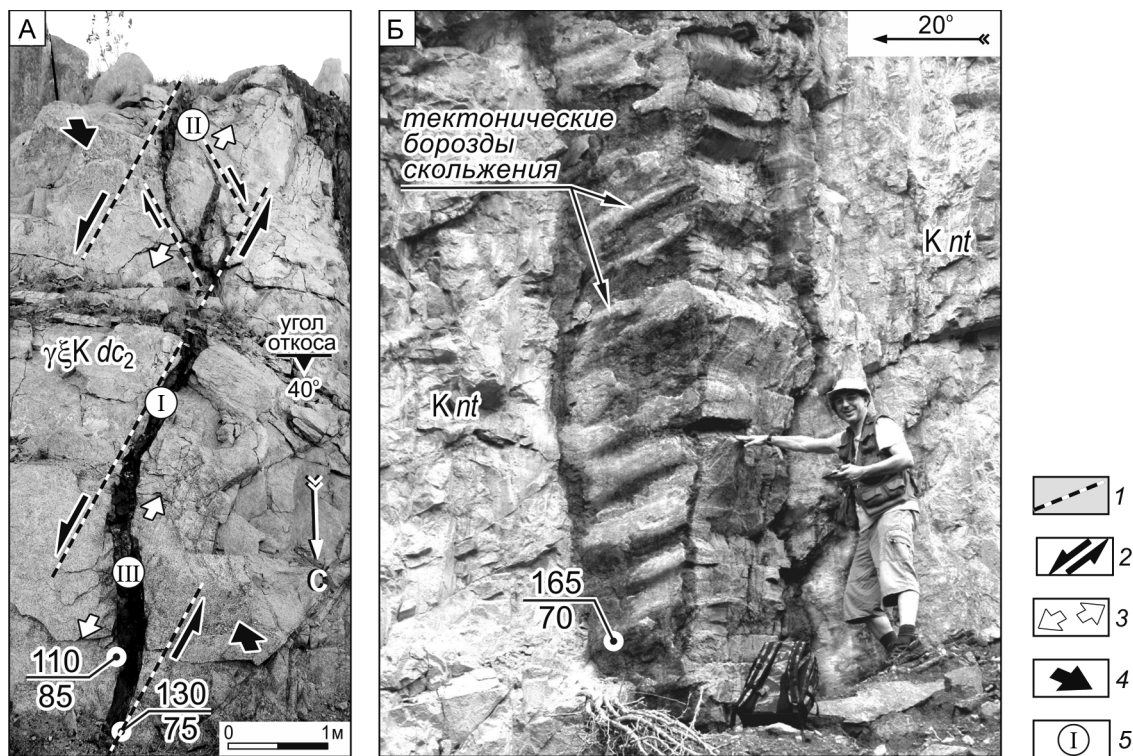


Рис. 8. Проявление левосдвиговых дислокаций при формировании даек основного состава: в граносиенитах комплекса Деока (А) и тектонические борозды скольжения на контакте дайки в меловых вулканогенно-осадочных образованиях формации Нячанг (Б).

1 – потенциальные границы сдвиговых зон; 2 – направления смещения вдоль разрывов; 3 – ориентировка сдвигового растяжения; 4 – ориентировка регионального сжатия; 5 – номера систем инъективных структур; цифры – элементы залегания контактов дайки: азимут (числитель) и угол (знаменатель) падения. Местоположение точек наблюдений см. на рис. 2.

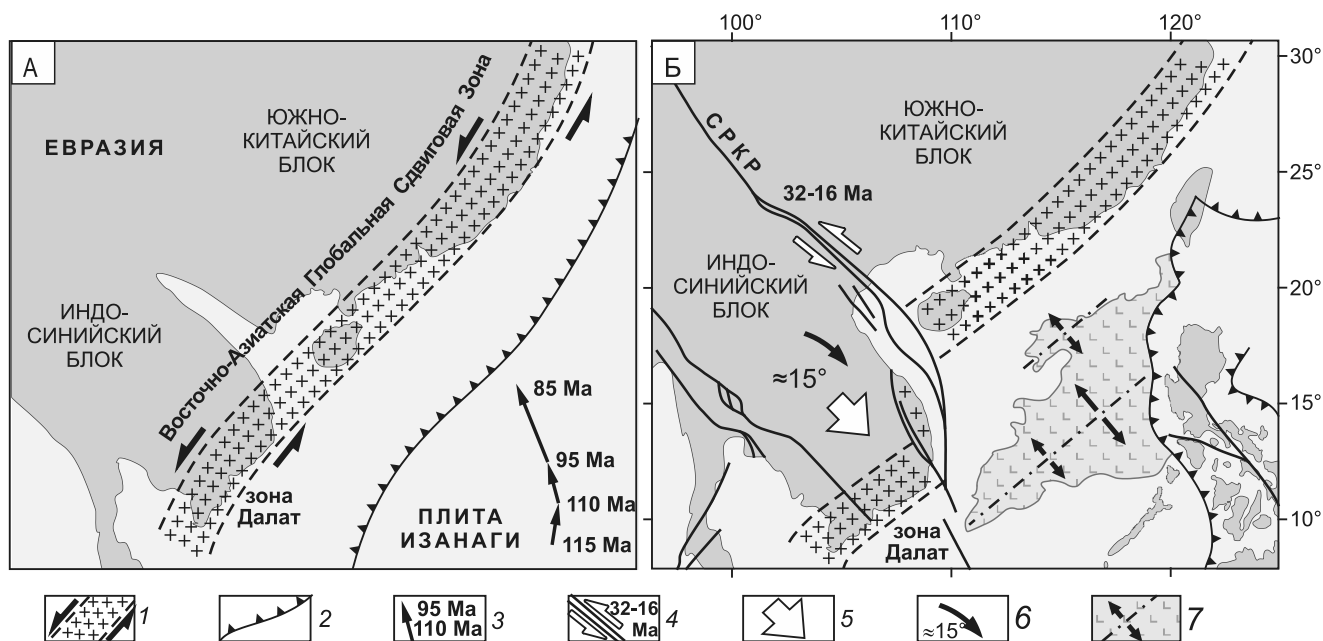


Рис. 9. Геодинамическая реконструкция юго-восточной окраины Азии для мелового 115–85 Ма (А) и кайнозойского 32–16 Ма (Б) времени (составлена по [8, 10, 14, 15, 17]).

1 – пояс меловых гранитоидов в составе ВАГСЗ, его предполагаемые границы (пунктир) и направление сдвиговых смещений (стрелки); 2 – зоны субдукции; 3 – направления (стрелки) и время изменения (цифры) движения плиты Изанаги; 4 – главные разломы, направления (стрелки) смещения блоков вдоль СРКР и период времени (цифры) крупномасштабных левосторонних смещений под действием Индо-Евразийской коллизии; 5, 6 – направление движения (5) и угол разворота (6) Индо-Синийского блока; 7 – океаническая кора, оси спрединга (штрих-пунктир) и направления растяжения (стрелки) в Южно-Китайском море. Пояснения в тексте.

отношению к главному – СВ направлению даек I системы (рис. 8 А). Дайки ВСВ простираения (IV система, рис. 5 Д, Е) встречаются довольно редко, однако волнистый характер их контактов и субгоризонтальные борозды скольжения указывают на их формирование в условиях сдвиговых дислокаций (рис. 8 Б).

Таким образом, результаты структурных исследований складчатости в юрских терригенных отложениях, изучение морфологии и кинематики разрывообразования всего комплекса меловых инъеكتивных структур указывают на развитие зоны Далат в условиях доминанты левосдвиговых дислокаций СВ простираения под действием ССЗ сжатия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Парагенетическое сочетание складкообразования с СВ-ССВ левосторонним сдвигом, наряду с проявлениями магматизма, рудной минерализацией и образованием бассейнов сосдвигового растяжения, является главным структурообразующим процессом на восточной окраине Азии в меловое время. Установленные авторами геодинамические условия формирования вулканоплутонического пояса юго-восточного Вьетнама (зона Далат) на основе анализа диаграмм складчатых форм и кинематических характеристик

меловых инъеكتивных структур показывают полное соответствие со структурами ВАГСЗ. Получается, таким образом, что гранитоидные массивы зоны Далат формировались при влиянии сдвигового процесса и не являются чисто надсубдукционными, как предполагалось ранее [13, 25].

Палинспастические реконструкции, учитывающие смещение в кайнозое Индо-Синийского блока в юго-восточном направлении вдоль СРКР более чем на 500 км и с поворотом в среднем на 15° по часовой стрелке, позволяют рассматривать зону Далат в качестве южного фланга ВАГСЗ (рис. 9 А). Как отмечалось ранее, причиной столь широкого развития левосдвиговых дислокаций и магматизма на восточной окраине Азии явилось косое (под острым углом) взаимодействие континентальной и океанической плит. Для периода времени 115–85 млн лет движение океанической плиты Изанаги происходило в субмеридиональном и ССЗ направлении [10], то есть под углом к ССВ окраине на юго-востоке Азии (рис. 9 А). Завершение тектоно-магматической активности для зоны Далат к середине позднего мела объясняется, вероятно, смещением активной окраины к востоку [17] и существенным уменьшением ее динамического влияния.

Индо-Евразийская коллизия вызвала смену геодинамической обстановки и привела к началу нового этапа структурообразования в юго-восточном Вьетнаме, который происходил при динамическом влиянии и трансформации ранее образованных – меловых структур. Принимая во внимание доминирующее развитие меловых левосдвиговых дислокаций, можно также предположить, что оси спрединга в Южно-Китайском море (Восточном море Вьетнама), главная фаза активности которых приходится на период 32–16 млн лет [8, 22, 24, 29], унаследовали северо-восточное направление меловой системы разломов (рис. 9 Б). Поэтому при исследованиях кайнозойских структур юго-восточного Вьетнама, в том числе осадочных нефтегазовых бассейнов Южно-Китайского моря, и поиске новых источников углеводородов следует учитывать влияние ранее проявленного мелового тектогенеза.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность д.г.-м.н. В.Г. Хомичу за детальную редакторскую правку статьи, ценные советы и замечания, которые существенно улучшили ее восприятие, а также Т.М. Михайлик за помощь в подготовке иллюстраций.

Работа выполнена при поддержке грантов ВАНТ №14-003 (Россия), VAST.HTQT.NGA.11/15-16. (Вьетнам), а также проекта КС.09.07/16-20. (Вьетнам).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голозубов В.В., Малиновский А.И., Симаненко В.П. О тектонических реконструкциях Сихотэ-Алиньского звена Восточно-Азиатской окраины: возможны ли простые решения? // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 4. С. 115–119.
2. Иванов Б.А. Центральный Сихотэ-Алинский разлом. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во. 1972. 114 с.
3. Уткин В.П. Восточно-Азиатская глобальная сдвиговая зона, вулканический пояс и окраинные моря // Докл. АН СССР. 1978. Т. 240, № 2. С. 400–403.
4. Уткин В.П., Нгуен Чонг Ием, Хо Дак Хоай, Ле Чонг Кан, Нгуен Динь Ту, Лый Хой Тхонг, Чан Ле Донг, Нгуен Куок Кыонг, Ле Ван Чыонг, Ле Минь Куок. Геодинамические условия формирования депрессий Юго-Восточной Азии // Тихоокеан. геология. 1986. № 6. С. 12–23.
5. Уткин В.П., Митрохин А.Н., Неволин П.Л. Сдвиговый континентальный рифтогенез Восточной окраины Азии // Литосфера. 2016. № 4. С. 5–29.
6. Allen C. R., Gillespie A. R., Yuan H., Sieh K., Zhang B., Zhu C. Red River and associated faults, Yunnan Province, China: Quaternary geology, slip rates, and seismic hazard // Geol. Soc. Am. Bull. 1984. V. 95. P. 686–700.
7. An A.R., Choi S.H., Yu Y., Lee D.C. Petrogenesis of Late Cenozoic basaltic rocks from southern Vietnam // Lithos. 2017. V. 272. P. 192–204.
8. Briais A., Patriat P., Tapponnier P. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: Implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia // J. Geophys. Res. 1993. V. 98, N B4. P. 6299–6328.
9. Charusiri P., Imsamut S., Zhuang Z., Ampaiwan T., Xu X. Paleomagnetism of the earliest Cretaceous to early late Cretaceous sandstones, Khorat Group, Northeast Thailand: Implications for tectonic plate movement of the Indochina block // Gondwana Res. 2006. V. 9. P. 310–325. doi:10.1016/j.gr.2005.11.006.
10. Engebretson D.G., Cox A., Gordon R.G. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific Basin // Geol. Soc. Amer. Spec. Paper. 1985. V. 206. 59 p.
11. Garnier V., Ohnenstetter D., Giuliani G., Fallick A.E., Trong T.P., Quang V.H., Van L.P., Schwarz D. Basalt petrology, zircon ages and sapphire genesis from Dak Nong, southern Vietnam // Mineral. Magazine. 2005. V. 69, N 1. P. 21–38.
12. Geological and Mineral Resources map of Viet Nam. 1:200 000: Buon Ma Thuot (D-49-XXV), Tui Hoa (D-49-XXVI), Ben Khe (D-49-XXXI), Nha Trang (D-49-XXXII), Dalat-Cam Ranh (C-49-I&C-49-II), Phan Thiet (C-49-VII). Ha Noi: Depart. Geol. & Minerals of Viet Nam, 1997–1998.
13. Geology and Earth Resources of Viet Nam / Tran Van Tri and Vu Khuc (Eds.). Ha Noi: Publ. House Sci. & Technol. 2011. 645 p.
14. Hall R., Blundell D. (Eds.). Tectonic evolution of Southeast Asia // Geol. Soc. London Spec. Publ. 1996. N 106. P. 153–184.
15. Hinsbergen D.J.J., Kapp P., Dupont-Nivet G., Lippert P.C., DeCelles P.G., Torsvik T.H. Restoration of Cenozoic deformation in Asia and the size of Greater India // Tectonics. 2011. V. 30. TC5003, doi:10.1029/2011TC002908.
16. Hoang N., Flower M. Petrogenesis of Cenozoic basalts from Vietnam: implication for origins of a «Diffuse Igneous Province» // J. Petrol. 1998. V. 39, N 3. P. 369–395.
17. Honza E., Fujioka K. Formation of arcs and backarc basins inferred from the tectonic evolution of Southeast Asia since the Late Cretaceous // Tectonophysics. 2004. 384. P. 23–53.
18. Huchon P., Le Pishon X., Rangin C. Indochina Peninsula and the collision of India and Eurasia // Geol. 1994. V. 22. P. 27–30.
19. Hutchison C.S. Geological evolution of South-East Asia. 2-nd edition. Malasia: Geol. Soc. 2007. 433 p.
20. Lee D.W. Strike-slip fault tectonics and basin formation during the Cretaceous in the Korean Peninsula // The Island Arc. 1999. V. 8. P. 218–231.
21. Leloup Ph.H., Lacassin R., Tapponnier P., Schärer U., Dalai Zh., Xiaohan L., Liangshang Zh., Shaocheng Ji, Trinh Ph. T. The Ailao Shan-Red River shear zone (Yunnan, China), Tertiary transform boundary of Indochina // Tectonophysics. 1995. V. 251. P. 3–84.
22. Morley C.K. A tectonic model for the Tertiary evolution of strike-slip faults and rift basins in SE Asia // Tectonophysics. 2002. V. 347. P. 189–215.
23. Nielsen L.N., Mathiesen A., Bidstrup T., Vejbaek O.V., Dien P.T., Tiem P.V. Modelling of hydrocarbon generation in the Cenozoic Song Hong Basin: highly prospective basin // J. Asian Earth Sci. 1999. V. 17. P. 269–294.
24. Nguyen N.T., Nguyen T.T. Topography of the Moho and Earth crust structure beneath the East Vietnam Sea from 3D inversion of gravity field data // Acta Geophys. 2013. V. 61, N 2. P. 357–384.
25. Nguyen T.T.B., Satir M., Siebel W., Chen F. Granitoids in the Dalat zone, southern Vietnam: Age constraints on magmatism

- and regional geological implications // *Int. J. Earth Sci.* 2004. V. 93. P. 329–340.
26. Phach P.V. Tectonic structure of the Red River Fault Zone // *J. Geol. Hanoi, Vietnam*, 2001. Ser. B, N 17–18. P. 1–12.
 27. Phach P.V., Chinh V.V. Cenozoic tectonic activities in Red River Basin and adjacent area // *J. Marine Sci. & Technol.* 2007. V. 3. P. 18–30. (In Vietnamese with English abstract).
 28. Replumaz A., Lacassin, R., Tapponnier P., Leloup P. H. Large river offsets and Plio-Quaternary dextral slip rate on the Red River fault (Yunnan, China) // *J. Geophys. Res.* 2001. V. 106, B 1. P. 819–836.
 29. Savva D., Pubellier M., Franke D., Chamot-Rooke N., Meresse F., Steuer S., Auxietre J.L. Different expressions of rifting on the South China Sea margins // *Marine & Petrol. Geol.* 2014. V. 58. P. 579–598.
 30. Takemoto, K. et al. Tectonic deformation of the Indochina Peninsula recorded in the Mesozoic palaeomagnetic results // *Geophys. J. Int.* 2009. V. 179. P. 97–111.
 31. Tapponnier P., Peltzer G., Armijo R., Le Dain, A.-Y., Cobbold P. Propagating extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experiments with plasticine // *Geol.* 1982. V. 10. P. 611–616.
 32. The Tancheng-Lujiang wrench fault system / J. Xu (Ed.). England: John Wiley and Sons, 1993. 253 p.
 33. Tran D.T., Nguyen T.Y., Duong C.C., Vy Q.H., Zuchiewicz W., Cuong N.Q., Nghia N.V. Recent crustal movements of northern Vietnam from GPS data // *J. Geodyn.* 2013. V. 69. P. 5–10.
 34. Utkin V.P. Wrench faults of Sikhote-Alin and accretionary and destructive types of fault dislocation in the Asia-Pacific transition zone // *The Tancheng-Lujiang wrench fault system*. Chichester, England: John Wiley and Sons, 1993. P. 225–237.
 35. Xu D.R., Wu C.J., Hu G.C., Chen M.L., Fu Y.R., Wang Z.L., Chen H.Y., Hollings P. Late Mesozoic molybdenum mineralization on Hainan Island, South China: Geochemistry, geochronology and geodynamic setting // *Ore Geol. Rev.* 2016. V. 72. P. 402–433.
 36. Xu D., Wang Z., Wu C., Zhou Y., Shan Q., Hou M., Fu Y. Mesozoic gold mineralization in Hainan Province of South China: Genetic types, geological characteristics and geodynamic settings // *J. Asian Earth Sci.* 2017. V. 137. P. 80–108.
 37. Xu J. Basic characteristics and tectonic evolution of the Tancheng-Lujiang Fault Zone / J. Xu. (Ed.). Tancheng-Lujiang wrench fault system. England: John Wiley and Sons, 1993. P. 17–50.
 38. Zhou X., Sun T., Shen W., Shu L., Niu Y. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution // *Episodes*. 2006. V. 29, N 1. P. 26–33.

Рекомендована к печати А.Н. Диденко

S.A. Kasatkin, Phung Van Phach, Le Duc Anh, V.V. Golozubov

Cretaceous strike-slip dislocations in the Dalat zone (southeastern Vietnam)

Structural studies of ductile dislocations of the Jurassic terrigenous strata and faulting kinematics of the Cretaceous injective structures in the Dalat zone have shown that the volcano-plutonic belt of the southeastern Vietnam was formed under NE-trending left-lateral dislocations under the action of the NNW general stress field. This deformation took place in the similar conditions as for the Cretaceous structures of the Asian eastern margin. Due to the Indo-Eurasian collision since the Cenozoic, the Indo-Sinian block was displaced south-eastward to a distance of more than 500 km from its primary position causing transformation of the previously formed Cretaceous structures. Thus, the study of the Cenozoic tectonogenesis in the southeastern Vietnam should be done with regard to the previous Cretaceous tectonic deformation.

Key words: Cretaceous strike-slip dislocations, injective structures, Asian eastern margin, Dalat zone, southeastern Vietnam.