

УДК 551.21(571.6)

СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ВОСТОЧНО-СИХОТЭ-АЛИНСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПОЯСА И ЕГО СКЛАДЧАТОГО ОСНОВАНИЯ

© 2009 г. В. П. Уткин

Представлено академиком Ю.М. Пушаровским 26.05.2008 г.

Поступило 30.05.2008 г.

Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс (ВСАВП) протягивается вдоль побережья Японского моря и Татарского пролива более чем на 1000 км при средней ширине 35–40 км. ВСАВП и другие звенья Восточно-Азиатского вулканического пояса являются структурами транзитными, носят сквозной характер развития, накладываясь или пересекая протоструктуры восточной окраины Азии независимо от их типа и возраста. Изучение структурно-динамических взаимоотношений, существовавших в процессе синхронных дислокаций оснований и наложенных вулканических комплексов, позволяет определять геодинамические условия формирования вулканических поясов.

ВСАВП сформирован в позднем мелу–раннем палеогене, представлен комплексом осадочно-вулканогенных и эффузивно-экструзивных образований, несогласно перекрывающих складчатое основание, которое сложено преимущественно раннемеловыми терригенными отложениями, смятыми в систему открытых и изоклинальных складок с простираем в среднем северо-восток 40° – 60° , осложненных чешуйчатыми взбросо-надвигами. Складчатая система расчленена север-северо-восточными левыми сдвигами. В отличие от основания в вулканитах при геокартировании доминирующих региональных складчатых и разрывных систем не выявлено. Наблюдались фрагменты складчато-слоистых структур с разным простираем и углами падения и многочисленные так же разноориентированные разрывы (преимущественно сбросы), формирование которых связывалось с локальными стрессами, возникшими в процессе вулканоплутонического магматизма. У большинства исследователей сложилось устойчивое представление, согласно ко-

торому вулканиты являются наложенным комплексом с индивидуальным типом дислокаций, не имеющих генетических связей с тектоникой раннемелового складчатого основания. Открытие в Сихотэ-Алине системы север-северо-восточных левых сдвигов с амплитудами смещений в позднем мелу до первых десятков километров позволило сделать вывод о формировании ВСАВП в результате поздне меловой активизации сдвигов [2–4]. В этих геодинамических условиях в вулканогенном чехле должны формироваться ансамбли закономерно ориентированных и складчатых, и разрывных структур, характерных для дислокаций образований, перекрывших активные сдвиги. Была поставлена задача выявить в поздне меловых вулканитах комплекс синсдвиговых структур.

К проблеме соотношений дислокаций ВСАВП и складчатого основания мы обращались неоднократно [1, 3, 4]. На заключительном этапе к решению поставленной задачи мы шли путем статистического анализа всей совокупности массовых замеров ориентировок элементов складчатых и разрывных структур, собранных в процессе многолетних исследований в составе геолого-съёмочных партий и при выполнении научно-исследовательских работ в ДВГИ ДВО РАН. Генетическая расшифровка статистически выявленных закономерностей пространственных соотношений разрывных и складчатых дислокаций проводилась с использованием структурно-парагенетического метода. Для корректного решения поставленной задачи (исключение возможной локальности выявленных закономерностей) исследовано два крупных фрагмента ВСАВП, удаленных друг от друга на сотни километров: северо-восточный фланг пояса (Самаргинский рудный район) и его центральную часть (Кавалерово-Дальнегорский рудный район).

Статистический анализ структурных элементов основания вулканитов показал следующие результаты. Максимумы замеров слоистости в

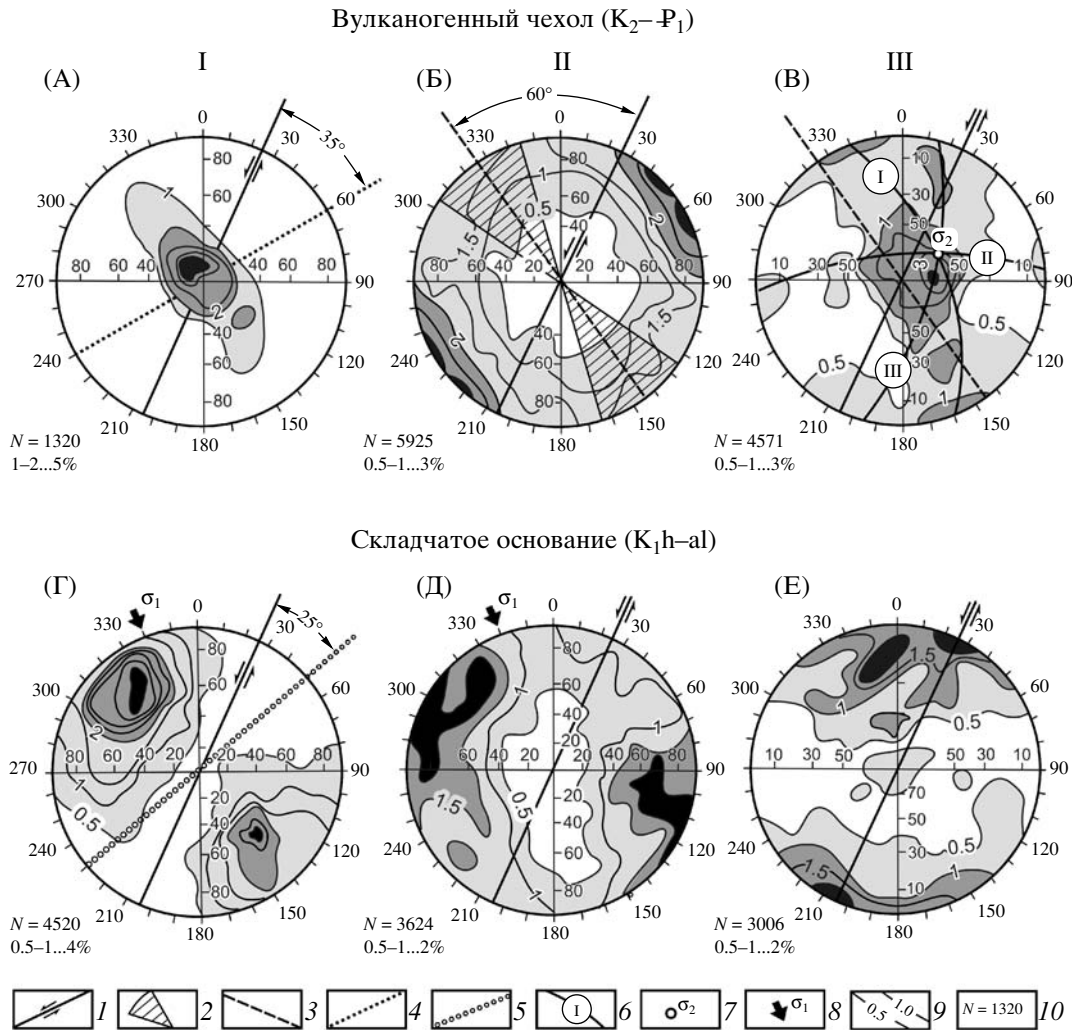


Рис. 1. Соотношения складчатых и разрывных структур вулканогенного чехла и складчатого основания по данным статистического анализа (северо-восточный фланг ВСАВП). I–III (вертикальные ряды) – диаграммы (сетки Вульфа, верхние полусферы) ориентировок массовых замеров слоистости (I), разрывов с признаками смещений (II), тектонической штриховки (III). 1 – простирание Центрального Сихотэ-Алинского левого сдвига; 2 – сектор развития в вулканитах доминирующей системы крутых разрывов; 3 – усредненное простирание доминирующих разрывов в вулканитах; 4, 5 – простирание складчатой системы вулканитов (4) и складчатого основания (5); 6 – пояса концентрации тектонических штрихов с разными углами погружения; 7 – точка выхода на поверхности сферы среднего напряжения сжатия; 8 – напряжение главного сжатия, составляющего с Сихотэ-Алинской системой левых сдвигов угол около 45° ; 9 – изолинии плотностей полюсов слоистости (A, Г), разрывов (B, Д) и погружений штрихов скольжения (B, E); 10 – число замеров ориентировок слоев (I), разрывов с признаками смещений (II) и тектонических штрихов (III).

раннемеловых осадочных комплексах (рис. 1Г, рис. 2В) свидетельствуют о развитии складок с преимущественно крутопадающими ($60^\circ-85^\circ$) крыльями и простиранием СВ $40^\circ-50^\circ$, идентичным доминирующей ориентировке складчатой системы Сихотэ-Алиня. Максимумы замеров разрывов с признаками смещений (рис. 1Д) указывают на доминанту крутопадающих ($60^\circ-90^\circ$) сместителей с преимущественно северо-восточным простиранием, отвечающим ориентировке сдвиговой системы Сихотэ-Алиня, в том числе и главной структуре этой системы – Центральному Сихотэ-Алинскому сдвигу (ЦСАС), который здесь и

на других диаграммах использован в качестве репера при анализе доминирующих ориентировок разрывов и складок по данным статистики. Максимумы замеров ориентировок тектонических штрихов (рис. 1Е, рис. 2Г) отражают их преимущественно пологие углы погружения ($0^\circ-30^\circ$) и простирание, параллельное и субпараллельное север-северо-восточным крутопадающим сместителям (рис. 1Д), подтверждая сдвиговую кинематику установленной системы региональных сдвигов Сихотэ-Алиня. Выявленные статистическим методом доминирующие ориентировки складчатых и разрывных систем, как и кинемати-

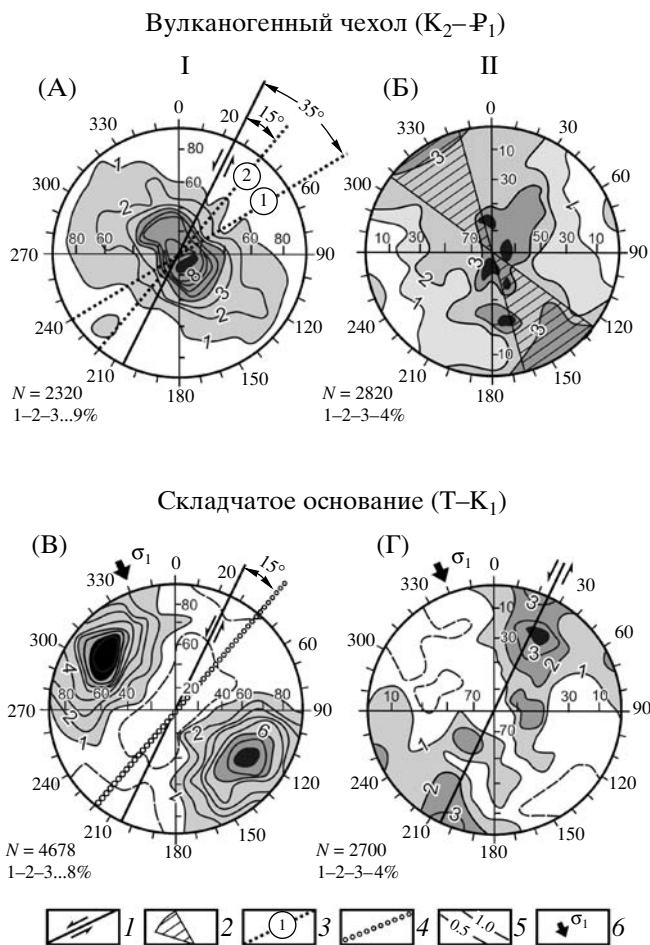


Рис. 2. Соотношение складчатых структур и тектонической штриховки вулканогенного чехла и складчатого основания (центральная часть ВСАВП). I, II (вертикальные ряды) – диаграммы (сетки Вульфа, верхние полусферы) ориентировок массовых замеров слоистости (I) и тектонических штрихов (II). 1 – простираание Центрального Сихотэ-Алинского сдвига; 2 – сектор развития доминирующей системы сдвигов в вулканитах; 3 – простираание складок вулканитов на раннем (1) и последующем (2) этапах их развития; 4 – простираание складок основания вулканитов; 5 – изолинии плотностей полюсов слоистости (А, В) и выходов тектонической штриховки (Б, Г); 6 – направление главного сжатия, составляющего с Сихотэ-Алинской системой левых сдвигов угол около 45° .

ческие характеристики, оказались идентичными простираанию и кинематике закартированных региональных структур основания вулканитов. По существу статистический анализ был апробирован как метод выявления доминирующих складчато-разрывных систем и поэтому уверенно использовался при оценке дислокационных характеристик вулканического чехла.

В отличие от складчатого основания вулканического чехла характеризуется пологонаклонными моноклиналями, смят преимущественно в бра-

хиформные складки с пологими крыльями, но с четко выраженной тенденцией развития линейной складчатости северо-восточного простираания (рис. 1А, рис. 2А), в общем идентичного ориентировке складчатой системы основания (рис. 1Г, рис. 2В). При более детальном анализе обнаруживается некоторая дискордантность в положении складок с разными углами падения крыльев (рис. 2А). Система складок с относительно пологими крыльями (до 50°) ориентирована в среднем СВ 60° и составляет с ЦСАС угол около 35° , в то время как складки с более крутыми (до 85°) крыльями ориентированы в среднем СВ 40° , аналогично простираанию тесно сжатых складок основания (рис. 2В). Из анализа складчатости чехла следует два основных вывода. Во-первых, позднемеловой вулканический чехол, в отличие от существовавших представлений, характеризуется достаточно четко выраженной тенденцией развития региональной складчатой системы северо-восточного простираания, которая ориентирована под острым углом по отношению к северо-восточным левым сдвигам, указывая на ее формирование как следствия активности сдвигов основания. Во-вторых, первичные складки с пологими крыльями по мере их сжатия разворачивались против часовой стрелки, что совпадает с направлением ротации в зонах левосторонних сдвигов.

Разрывы с признаками смещений в позднемеловых вулканитах преимущественно крутые до вертикальных (рис. 1Б). Их ориентировка разнообразна, но с четко выраженной доминантой, указывающей, что основная масса разрывов формировалась в секторе СЗ $305^\circ-345^\circ$ под углом в среднем 60° по отношению к северо-восточным левым сдвигам основания. По многим разрывам доминирующей северо-западной ориентировки при полевых исследованиях, кроме сбросов, установлены правосторонние сдвиги. Сдвиговая кинематика разрывов этого направления статистически подтверждается субгоризонтальной тектонической штриховкой северо-западного простираания (рис. 1В, рис. 2Б). Однако в отличие от доминирования сдвигов в основании (рис. 1Е, рис. 2Г) в позднемеловых вулканитах преобладают сбросы с преимущественно крутой и вертикальной тектонической штриховкой (рис. 1В, рис. 2Б). В целом тектоническая штриховка сосредоточена в трех поясах, точка пересечения которых фиксирует выход на поверхности средней оси напряжений сжатия, погружающейся на юго-запад под углом 60° (рис. 1В). Крутое положение средней оси сжатия вместе с субгоризонтальным главным сжатием (СЗ 40°) свидетельствуют о сдвиговом геодинамическом режиме дислокаций вулканического чехла.

Для оценки ориентировки сдвигов вулканитов по отношению к сдвигам основания были выбраны замеры крутых (70° – 90°) сместителей, несущих пологую (0° – 30°) тектоническую штриховку (рис. 3а). Роза простираний сдвигов основания характеризуется двумя основными максимумами – I (25°) и II (355°). В вулканитах сдвиги также выражены двумя главными максимумами простираний – I' (335°) и II' (305°). Углы между максимумами I–I' и II–II' равны и составляют 50° . Возникает предположение, что максимумы правых сдвигов вулканитов генетически связаны с активизацией соответствующих максимумов левых сдвигов основания. Это предположение находит подтверждение, если обратиться к результатам широко известного эксперимента Риделя [5] (рис. 3б). Можно считать, что северо-западная система правых сдвигов вулканитов является сколами Риделя, формировавшимися в результате активизации в позднем мелу северо-восточных левых сдвигов основания. Длительная позднемеловая активность северо-восточных левых сдвигов основания, по-видимому, обусловила трансформацию сдвигов Риделя в структуры растяжения, что привело к широкому развитию сбросовой тектоники в вулканитах и контролю этими структурами, как установлено [3, 4], дайкового магматизма и рудных тел.

Из изложенного вытекают следующие основные выводы.

1. Статистический анализ ориентировок слоистости осадочных пород подтверждает наличие в раннемеловых образованиях основания вулканитов складчатой системы северо-восточного простирания высокой степени развития. Также подтверждается развитие доминирующей системы крутых (до вертикальных) разрывов с пологой тектонической штриховкой, северо-восточная ориентировка которых идентична простиранию Сихотэ-Алинской системы левых сдвигов. Система складчатости по отношению к системе сдвигов ориентирована под острым углом, в полном соответствии с положением складчатых парагенезов левых сдвигов. Следовательно, основание вулканитов в раннем мелу структурировалось в условиях сдвигового геодинамического режима при субмеридиональном региональном сжатии.

2. В позднемеловых вулканитах, наряду с локальными дислокациями, по-видимому, связанными с вулкано-плутоническими процессами, наблюдается система преимущественно брахиформной складчатости, но с четко выраженной тенденцией развития линейной складчатости северо-восточного простирания. Косая ориентировка складок вулканитов по отношению к сдвигам основания свидетельствует о формировании складчатости вулканитов в условиях продолжав-

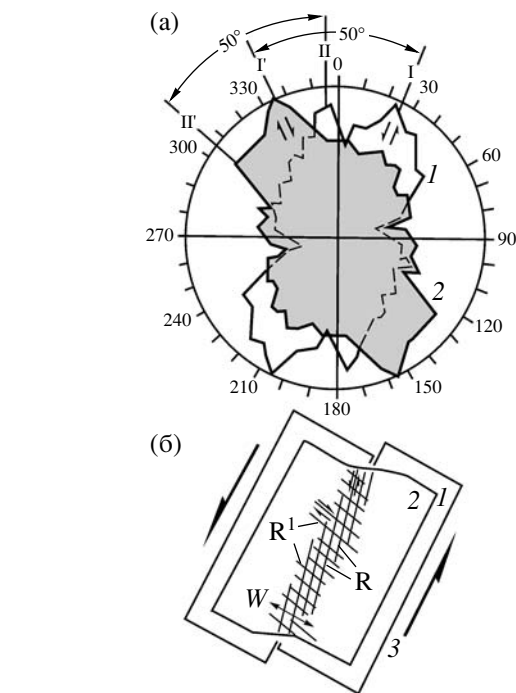


Рис. 3. Доминирующие простирания сдвигов вулканического чехла и складчатого основания (а) и их соотношения с результатами эксперимента Риделя (б). а – розы простираний сдвигов основания (I) и вулканического чехла (2). Замеров соответственно 1336 и 1520. I, II – максимумы простираний левых сдвигов основания, активизация которых, по-видимому, обусловила формирование соответствующих (I', II') максимумов правых сдвигов в вулканитах. б – схема эксперимента Риделя [5]. 1 – жесткие пластины; 2 – пластичный материал (глина); 3 – направление смещения пластин (левый сдвиг); R – сколы Риделя (синтетические сдвиги); R¹ – сопряженные сколы Риделя (антисинтетические сдвиги); W – ширина сдвиговой зоны.

шейся в позднем мелу левосторонней активности северо-восточной системы сдвигов основания.

3. В позднемеловых вулканитах, при всем разнообразии разрывов разных направлений (преимущественно сбросы), доминируют разрывы, сформированные в секторе СЗ 305° – 345° . В этой системе разрывов, кроме сбросов, установлены правые сдвиги, а с системой северо-восточных левых сдвигов основания она составляет угол около 60° , что соответствует сколам Риделя, которые, как известно, развиваются в чехле, перекрывающем активные сдвиги. Следовательно, доминирующая разрывная тектоника вулканитов формировалась вследствие активизации северо-восточных левых сдвигов основания.

4. Весь комплекс доминирующих складчатых и разрывных дислокаций позднемелового вулканического чехла формировался в условиях активизации северо-восточной системы левых сдвигов раннемелового основания, что противоречит

представлениям, согласно которым на восточной окраине Азии в позднем мелу произошла смена сдвиговой геодинамической обстановки на субдукционную. Развитие позднемеловых вулканических поясов в условиях сдвигового геодинамического режима подтверждается и их главными морфо-генетическими характеристиками. Линейная морфология окраинно-континентальных вулканических поясов объясняется их контролем глубинными сдвигами, которые определяют не только мегапротяженность поясов, но и процессы магматизма, так как при активизации сдвигов формируются структуры растяжения континентальной коры, а также генерируются поля на-

пряжений, благоприятные для продвижения к поверхности магм разной глубинности [2–4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Врублевский А.А., Сорокин Б.К., Уткин В.П. и др. // ДАН. 1977. Т. 235. № 4. С. 894–897.
2. Уткин В.П. // ДАН. 1978. Т. 240. № 2. С. 400–403.
3. Уткин В.П. Сдвиговые дислокации и методика их изучения. М.: Наука, 1980. 144 с.
4. Уткин В.П. Сдвиговые дислокации, магматизм и рудообразование. М.: Наука, 1989. 163 с.
5. Riedel W. // Cent. Miner., Geol. and Paleontol. B. 1929. V. 1. P. 78–97.