
**Российская академия наук
Сибирское отделение
Институт земной коры**

**Разломообразование и сейсмичность
в литосфере: тектонофизические
концепции и следствия**

**Материалы Всероссийского совещания
(18–21 августа 2009 г.)**

Том 1

**Иркутск
2009**

биотитовыми гранитами четвертой фазы. Таким образом, время их внедрения, по-видимому, сопоставимо – около 1530 млн л. [7].

Пояс даек основного состава северо-западного простирания известен и у восточного контакта Салминского плутона. Единичные дайки субширотного северо-восточного простирания (параллельные флекуре Полканова встречаются среди неравномерно-зернистых биотитовых гранитов четвертой фазы [3].

Ярко выраженная наследованность протерозойских разломов проявлена вдоль контакта северного и центрального блоков Салминского плутона (контакт между выборгитами и равномерно-зернистыми гранитами). На протяжении нескольких километров здесь прослеживается зона субширотного пологого надвига с преимущественным простиранием северо-восток 50° и падением на северо-запад под углом 20° . Нередко наблюдаются поперечные вертикальные зоны смещения с амплитудой в несколько метров (см. рис. 2). Хотя точное датирование надвига не представляется возможным, его приуроченность к границе северного блока, сложенного равномерно-зернистыми гранитами, и центрального блока, сложенного преимущественно выборгитами, свидетельствует о наследованности тектонических движений.

Наследованность протерозойских тектонических движений наблюдается на Валаамско-Салминской островной гряде Ладожского озера, сложенной среднерифейскими габбро-долеритами Валаамского силла. На силл наложились разнообразные системы трещиноватости: трещиноватость рифейской складчатости, трещиноватость гранитообразования, трещиноватость сводовых поднятий и опусканий в палеозой-мезозой-кайнозойский этапы, трещиноватость в связи с гляциацией и дегляциацией ледника Фенноскандии и трещиноватость современного неотектонического этапа [6]. Преобладающими при этом являются направления Пашско-Ладожской горст-грабеновой системы. Здесь также наблюдаются системы пологих надвигов, наиболее ярко фиксирующихся в пределах уступа скалистого берега о. Валаам [4]. Плогие надвиговые чешуи фиксируются на протяжении 2 км вдоль юго-западного берега с углом воздымания $3-10^\circ$ с максимальными смещениями в юго-юго-западном, реже в юго-юго-восточном направлении.

Роль краевой флексуры ярко проявилась на стадии дегляциации Валдайского оледенения. С ней связано несколько типов воздымания и обрушения, возобновление блоковых радиальных движений, наложение полихронной трещиноватости. Статистический анализ последней показывает, что преимущественные ее направления соответствуют горсто-грабеновой структуре.

Литература

1. Полканов А.А. Геология хогландия-йотния Балтийского щита. Труды ЛАГЕД АН СССР. Л., 1956. Вып. 6. 122 с.
2. Светов А.П. Платформенный базальтовый вулканизм карелид Карелии. Л., 1979. 208 с.
3. Светов А.П., Свириденко Л.П. Рифейский вулкано-плутонизм Фенноскандинавского щита. Петрозаводск. 1995. 211 с.
4. Светов А.П., Свириденко Л.П. Магматизм шовных зон Балтийского щита. Л., 1991. 199 с.
5. Свириденко Л.П. Петрология Салминского массива гранитов рапакиви (в Карелии): Труды Ин-та геол. Карельского филиала АН СССР. 1968. Вып. 3. 115 с.
6. Свириденко Л.П., Светов А.П. Валаамский силл габбро-долеритов и геодинамика котловины Ладожского озера. Петрозаводск, 2008. 122 с.
7. Larin A., Amelin Ju., Neumark L. et al. Origin of Salmi and Uljalegi anorthosite – rapakivi granite massifs: constraints from precise U-Pb geochronology and Rb-Sr-Nd isotopic data // 7th International symposium on rapakivi granites Helsinki, 1996. Abstract volume.

Ф.Л. Яковлев

Институт физики Земли (ИФЗ) РАН, Москва, Россия

ОПЫТ ТИПОЛОГИИ РАЗРЫВОВ В СТРУКТУРАХ ЛИНЕЙНОЙ СКЛАДЧАТОСТИ НА ПРИМЕРЕ БОЛЬШОГО КАВКАЗА

Разработанный многограновый деформационный анализ структур линейной складчатости [1] в последние годы позволил решить ряд задач, имеющих прямое отношение к определению основных параметров структуры на больших (до 20–30 км) глубинах. Для построения доскладчатого состояния профиля используются детальные структурные пересечения, составленные в поле (например, [2, 3]). Структура разбивается на домены (рисунок, Б 1), в которых измеряются наклоны осевых поверхно-

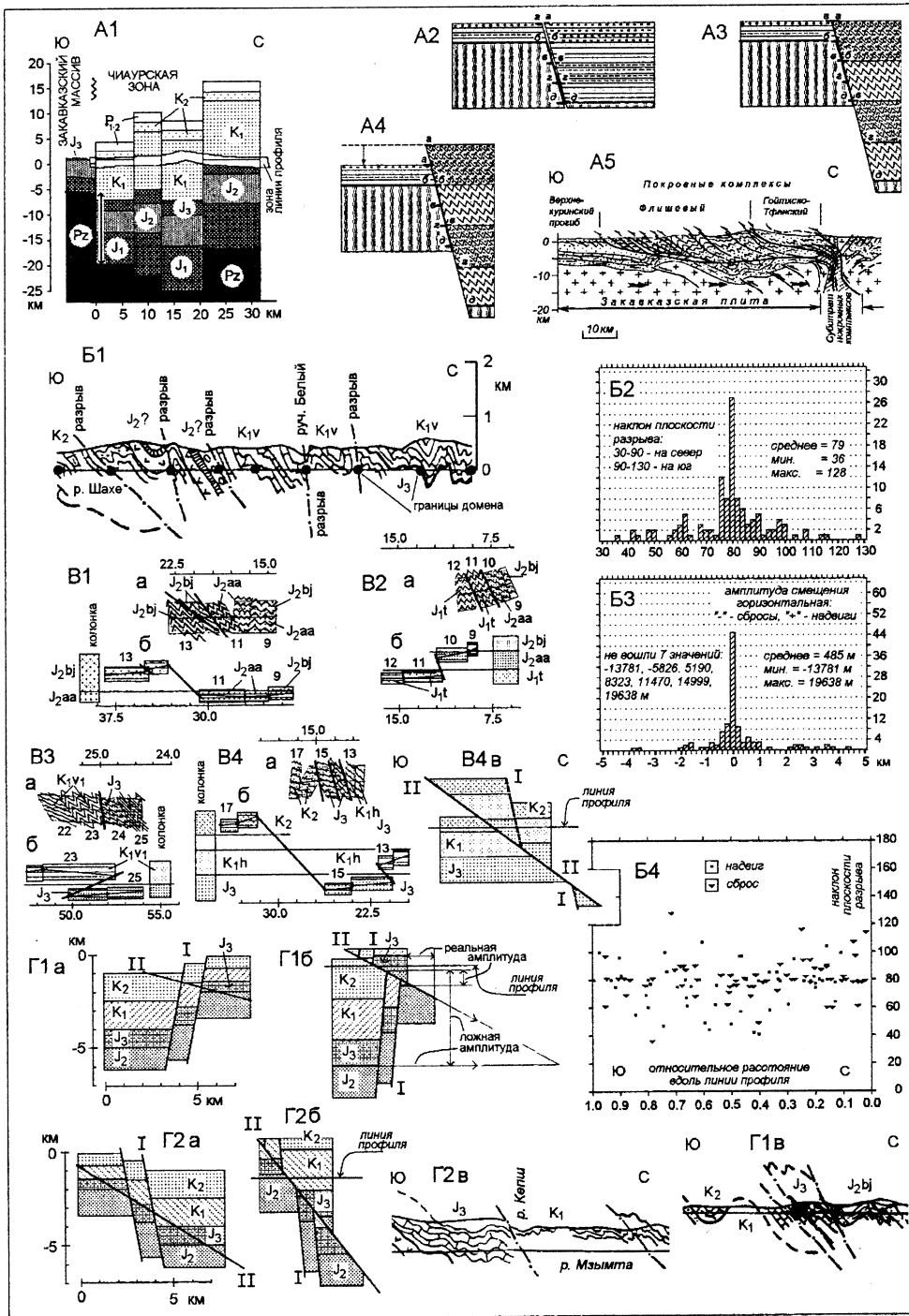
стей складок, наклон зеркала складок и величина укорочения перпендикулярно осевой поверхности. Эти данные необходимы и достаточны для характеристики эллипсоида деформации домена. Кинематические операции поворота, горизонтального простого сдвига и горизонтального растяжения приводят домен в доскладчатое состояние. Поверхность каждого разрыва как часть домена получает также доскладчатый наклон, а разница в положении «стратиграфического» уровня дает вертикальную амплитуду и, соответственно, горизонтальное смещение. Объединяя последовательно домены одного профиля и учитывая разрывы, можно построить доскладчатый профиль целиком. Для определения величины укорочения частей профиля выделяются «структурные ячейки», имеющие длину вдоль профиля, примерно равную мощности всего осадочного чехла. Исходя из соображений постоянства объема деформированных ячеек и знания исходной мощности чехла и величины укорочения, можно определить его новую постскладчатую мощность. Помещая колонну осадков в такую вертикальную позицию, в которой на современный гипсометрический уровень попадает нужный «стратиграфический» уровень структурной ячейки, получаем глубину залегания подошвы чехла и всех реперных уровней. Для Северо-Западного Кавказа были вычислены параметры 42 структурных ячеек (по 244 доменам в 11 профилях), показавшие, что глубина фундамента составляла от 2–7 км до 25–30 км при среднем значении 13 км [4]. Выявленный характер рельефа кровли фундамента не позволял провести единую пологую поверхность общего надвига, обычную для общепринятых субдукционных схем. Ниже приведены некоторые обобщения полученных результатов для разрывных нарушений.

1. Структура переходной зоны Закавказский массив – Большой Кавказ была изучена на примере Чиатурской зоны в Южной Осетии [5]. Было показано, что в современной структуре разлом на границе срединного массива и Чиатурской зоны является многокилометровым сбросом по уровню чехол-фундамент (рисунок, А 1), при развитии локальных надвигов в своей верхней части (рисунок, А 2, А 3, А 4). Это дает основание утверждать, что фундамент хинтерланда ведет себя «пластично» и испытывает такое же укорочение, как и чехол. Соответственно, масштабный надвиг «субдукционно-го» типа по подошве чехла [6] не может существовать в принципе (рисунок, А 5).

2. Для Северо-Западного Кавказа было собрано 119 значений современных (рисунок, Б 1) и восстановленных наклонов сместителей и амплитуд смещения по ним (58 надвигов и 61 сброс), что позволило получить некоторые статистические параметры. По углу падения сместителя среднее значение составило около 80° падения на север (проявлена южная вергенция), но распределение относительно среднего выглядит симметричным. Только пятая часть сместителей (10 надвигов и 13 сбросов) имеет падение на юг (рисунок, Б 2). Амплитуды горизонтального смещения составляли в среднем 1838 м для надвигов и 788 м для сбросов, однако около 1 км смещения из среднего для надвигов обеспечили четыре значения с амплитудой от 8,3 до 19,6 км, которые не являются точными (рисунок, Б 3). Распределения наклонов разрывов вкрест простирания структуры показывают слабую дивергенцию. Не выявлено существенных закономерностей и в распределении сбросов или надвигов вкрест простирания структуры – все углы падения сместителей и тип смещения в целом имеют случайное распределение (рисунок, Б 4). Тем не менее, надвиги с максимальной амплитудой имеют современный наклон сместителя на север и принадлежат либо центру структуры, либо ее южному флангу.

3. Самые простые разрывные структуры в зонах устойчивого распространения фаций и мощностей – это надвиги и сбросы, регистрируемые по разнице глубин исходной колонны в доменах с субвертикальными осевыми поверхностями (рисунок, В 1 и В 2) и по обычному соотношению возрастов (более древний для висячего крыла надвига). Более сложные случаи возникают, когда наклон сместителя надвига оказывается более крутой, чем наклон осевых поверхностей в висячем домене с более древними отложениями. После преобразований «поворот – горизонтальный сдвиг – растяжение» оказывается, что наклон сместителя меняет квадрант и он на самом деле оказывается сбросом (рисунок, В 3). Известные в западной литературе структуры «shortcut» также встречаются и в складчато-разрывном виде (рисунок, В 4). Сначала на фоне растяжения образуются сбросы (с падением примерно 70°), а при укорочении развивается надвиг с наклоном около 45° (в основном в приповерхностной структуре), который проникает из висячего крыла в лежащее и срезает его клин длиной вдоль профиля до нескольких километров.

4. Если разрывы находятся в зоне значительного изменения мощности и фациального состава чехла (обычно на границе тектонических зон), то возникают большие сложности в определении величины горизонтального смещения. Например, подошва верхней юры в северном поднятом блоке находится на глубине 2 км, а в южном – на глубине 5 км, поскольку там накопились более мощные толщи мела и палеогена. При возникновении пологого надвига (15°) северного блока на южный при горизонтальной амплитуде 2 км исследуемая точка оказывается выше на 520 м и попадает в пределы



Типичные разрывные структуры линейной складчатости.

А – разрыв на границе форланд/хинтерланд как многокилометровый сброс. А1 – восстановленное положение границы чехол/фундамент для четырех структурных ячеек Чиаурской зоны после построения сбалансированного профиля (по [5]). А2–А4 – схема распределения складчатых вертикальных амплитуд по разрыву: А2 – накопленные мощности осадков в блоках форланда и хинтерланда, А3 – после складчатого 50%-ного укорочения амплитуда сброса увеличивается с глубиной (сравните реперы «б-б» и «д-д»), А4 – при небольшом погружении структур форланда возникают локальные надвиги (репер «а-а»). А5 – концептуальный профиль строения Чиаурской зоны при механизме поддвижения Закавказского массива (по [6]); невозможен геометрически, поскольку составлен без учета природной структуры и идеи сохранения объемов осадков. Б (Б1–Б4) – разрывы и их статистические параметры

(пояснения в тексте). Б1 – пример структурного пересечения (по Е.А. Рогожину [3]). В – разрывы в современном (а – «компьютерная» модель геометрии доменов, показаны номера доменов и возраста пород) и восстановленном виде (б – восстановленное доскладчатое положение тех же доменов и колонка). В1 – надвиг, В2 – сброс, В3 – ложный надвиг, В4 – сочетание сброса и надвига («shortcut», В4в – схема структуры). Г – сложные случаи на границах структурно-фациальных зон (а – исходное состояние, показано положение будущего разрыва II, б – схема современной структуры при смещении и 30 %-ом укорочении, в – примеры соответствующих природных структур, по [3]). Г1 – надвиг с мнимой большой амплитудой, Г2 – ложный сброс (пояснения в тексте).

верхнего мела южного блока. Одновременно она будет выше на 3520 м, чем аналогичные по возрасту слои южного блока. Если считать горизонтальное смещение от этой разницы, то получится 13660 м горизонтального смещения (рисунок, Г 1), которое в этих условиях зависит от точности моделей колонок осадков в соседних блоках. В аналогичной структуре с поднятым южным блоком развитие надвига с севера на юг может привести к надвиганию пород нижнего мела (глубина 3500 м) на отложения верхов средней юры (глубина 2500 м), что по соотношению возрастов может восприниматься как сброс (рисунок, Г 2). Поскольку в складчатой структуре укорочение в блоках может быть

разное, то будет возникать дополнительная разница в глубинах, что еще больше усложняет дело. Заметим, что в этих случаях в соприкосновение могут прийти разновозрастные слои, отстоящие на 4–5 км (разница по исходной глубине 3–4 км) и имеющие разный характер литологии в силу принадлежности к разным зонам. Результат будет восприниматься геологами как явное «сближение фаций» с амплитудой в десятки километров.

Таким образом, в структуре зон линейной складчатости Большого Кавказа распространены как сбросы, так и надвиги при небольшом преобладании первых. Доля укорочения по надвигам в общем складчато-надвиговом укорочении не превышает 5–10 %. Корректное определение амплитуды смещения при балансировании разреза связано с точной регистрацией структуры в поле и с реалистичностью «стратиграфической» модели чехла. Амплитуда и направление вертикального смещения по разрывам при разной величине деформации структуры в соседних блоках сильно меняется в зависимости от «стратиграфического» уровня контактирующих слоев.

Литература

1. Яковлев Ф.Л. Многограновый деформационный анализ структур линейной складчатости // ДАН. 2008. Т. 422, № 3. С. 371–376.
2. Гиоргобиани Т.В., Закарая Д.П. Складчатая структура Северо-Западного Кавказа и механизм ее формирования. Тбилиси: Мецниереба, 1989. 61 с.
3. Шолпо В.Н., Рогожин Е.А., Гончаров М.А. Складчатость Большого Кавказа. М.: Наука, 1993. 192 с.
4. Яковлев Ф.Л. Исследование постскладчатого горообразования – первые результаты и подходы к диагностике механизмов на примере Северо-Западного Кавказа // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики: Материалы ХLI Тектонического совещания. Т. 2. М.: ГЕОС, 2008. С. 510–515.
5. Яковлев Ф.Л. О построении рельефа поверхности раздела чехол-фундамент Большого Кавказа на основе определения величин сокращения складчатых структур // Области активного тектогенеза в современной и древней истории Земли: Материалы XXXIX Тектонического совещания. Т.2. М.: ГЕОС, 2006. С. 411–415.
6. Дотдугев С.И. О покровном строении Большого Кавказа // Геотектоника. 1986. № 5. С. 94–106.

Gillian R. Foulger

Dept. Earth Sciences, University of Durham, Durham DH1 3LE, UK, g.r.foulger@durham.ac.uk

THE GREAT PLUME DEBATE

Mantle plumes were originally proposed in 1971 by W. Jason Morgan, who defined precisely their characteristics and consequences. However, subsequent research was variable in its success in confirming the predictions. Despite this, instead of the theory being abandoned as would have occurred, for example, in medical research if a drug were found to not produce the predicted results, the plume model was progressively adapted to encompass unpredicted observations. Plumes have been proposed to come from almost any depth, to rise vertically or tilt, and to flow for thousands of kilometres laterally. They have been proposed to have narrow or broad conduits, no plume head, one head, or multiple heads. They may produce steady or variable flow, be long- or short-lived, speed up or slow down, have a source that is either depleted, enriched, or both, and have either high or low $^3\text{He}/^4\text{He}$. Often, several mutually inconsistent plume models have been proposed for a single “hot spot”, to account for data from different sub-disciplines within Earth Science. In short, the theory of mantle plumes as it is applied today is so flexible it amounts to an unfalsifiable, data-independent, *a priori* assumption. Much applied research comprises reporting observations and explaining how the plume model must be adapted to fit them, often with little heed paid to adaptations already proposed by other authors. Such an approach is unscientific, and cannot increase our fundamental understanding of how the Earth works [1].

In a quest to find models that fit the observations without *ad hoc* assumptions or appeals to coincidence, there has recently been a resurgence of interest in alternative models for regions of anomalous volcanism. The most promising of these, the “Plate” model, attributes anomalous volcanism to permissive magmatism in areas of extension. The volumes of melt produced, which may vary from being large to little, are attributed primarily to variations in source fertility. Source volatile content (CO_2 and H_2O) and temperature will also affect melt volumes. Extension occurs at spreading plate boundaries, close to which a third of all melting anomalies lie, and intraplate regions such as the East African Rift, the Basin & Range Province, W USA, and back-arc basins. Fertility may be imparted to the mantle by subducted slabs of oceanic lithosphere, the crustal portion of which transforms to eclogite at depth, and recycling of delaminated continental lithosphere into the asthenosphere when continents break up. Mantle fertilised by eclogite or recycled conti-