

О СТРОЕНИИ ФУНДАМЕНТА И ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА РАЙОНА РАЧИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПО ДАННЫМ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СКЛАДЧАТЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Ф.Л. Яковлев

Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН (ИФЗ РАН), г. Москва, Россия

Часть задач тектоники и геодинамики, включая некоторые проблемы сейсмичности, не может быть решена без привлечения методов тектонофизики. Используя приемы описания напряженного состояния и определения величин больших деформаций в моделях и в природных структурах, эта отрасль науки позволяет сравнивать между собой несколько конкурентных моделей, находить параметры, по которым модели отличаются друг от друга, и аргументированно находить решение для природной структуры – какая из моделей может быть привлечена для ее интерпретации. Одна из таких нерешенных проблем – это строение и происхождение структур линейной складчатости. Сейчас общепризнанным является использование разнообразных схем пододвигания как для областей простых складок и надвигов в пределах форланда (что является корректным), так и для структур центральных частей складчатых сооружений (хинтерланда). Однако, как выясняется, реальная структура зон интенсивной линейной складчатости в хинтерланде остается малоизученной, поскольку для ее исследования до последнего времени не существовало количественных методов. Основным вопросом здесь остается выбор того, как следует достраивать структуру смятого в складки осадочного чехла не только на глубину 2-3 км от уровня обнажений, но и до кровли фундамента (на 20-30 км). Именно в этом аспекте проблемы ключевым методом, позволяющим решать такие задачи, является исследование величины и типа складчатых деформаций. Результаты этих исследований полезны в решении ряда проблем тектоники [1], в том числе – в описании структуры зон очагов сильных землетрясений.

Наиболее сильное из землетрясений Кавказского региона – Рачинское (29.04.1991 г., $M_w = 7,0$, глубина от 5 до 17 км) – возникло в зоне сочленения Большого Кавказа и Закавказского срединного массива (рис. 1). Вытянутое облако афтершоков имело размеры примерно 100×30 км с «кавказским» простиранием около 300° ЗСЗ и состояло из нескольких кластеров. Два основных были вытянуты вдоль Уцерского разлома на севере облака и вдоль более широтной Рача-Лечхумской шовной зоны на юге. Разные данные о механизме давали варианты смещения по пологому надвигу 24° - 39° с падением на ССВ [3], которым в принципе соответствовали парные плоскости крутого взброса с падением на ЮЮЗ. В многочисленных публикациях исследователи в основном сходились в том, что очаг имеет северное падение плоскости смещения. В обоснование такого варианта приводятся многочисленные структурные пересечения (например, [4] и [5]), имеющие в целом характер пододвигания «жестких» южных блоков (рис. 2). Тем не менее, до сих пор механизм и природа очага этого землетрясения остаются предметом дискуссий [6].

В структуре района основными его элементами следует считать Дзирульский массив, Окрибо-Сачхерскую зону, Рача-Лечхумскую шовную зону, Гагро-Джавскую зону и Чиаурскую зону (рис. 1), которые отличаются друг от друга характером отложений, временем и интенсивностью деформаций. Последние две тектонические зоны, как и ряд более северных зон, относятся к сооружению Большого Кавказа. В Дзирульском массиве все отложения мезозоя и кайнозоя имеют платформенный характер, горизонтальное залегание и малые мощности (до 2-5 км). В Окрибо-Сачхерской зоне терригенные отложения нижней и средней юры мощностью до 3-5 км в целом полого погружаются на север и нарушены складками и разрывами. Они с размывом надстраиваются толщами вулканогенного байоса и терригенного бата. Вся структура с угловым несогласием перекрывается субгоризонтальным маломощ-

ным (1-2 км) чехлом карбонатных параплатформенных пород верхней юры и мела. Рача-Лечхумская разломная зона имеет ширину до 5-10 км и состоит из блоков, имеющих индивидуальные особенности развития. Мощности мезозойского осадочного чехла здесь в целом больше, чем в Окрибо-Сачхерской зоне, интенсивности проявленных деформаций существенно выше и они затрагивают все структурные этажи. В строении зоны участвует Рача-Лечхумская грабен-синклиналь с деформированными неогеновыми молассовыми отложениями. В Гагро-Джавской зоне наблюдаются интенсивно смятые в складки толщи нижней и средней юры (терригенные флишоидные и вулканогенные породы) общей мощностью до 5-6 км. В южном крыле Уцерского разлома, отделяющего эту зону от Чиаурской, в районах г. Они и пос. Кваиси на породы средней юры с угловым несогласием ложатся карбонатные параплатформенные отложения от верхней юры до эоцена, образующие структурный этаж мощностью 1-2 км. Эти породы здесь смяты в относительно простые складки и нарушены надвигами на юг с небольшими амплитудами. В Чиаурской зоне терригенный флиш нижней и средней юры непрерывно продолжается карбонатным и терригенно-карбонатным флишем верхней юры, мела и низов палеогена, образуя чехол общей мощностью от 12 до 15 км. Общепринято, что структура этой зоны образована при пододвигании под Большой Кавказ жестких блоков срединного массива (рис. 2).

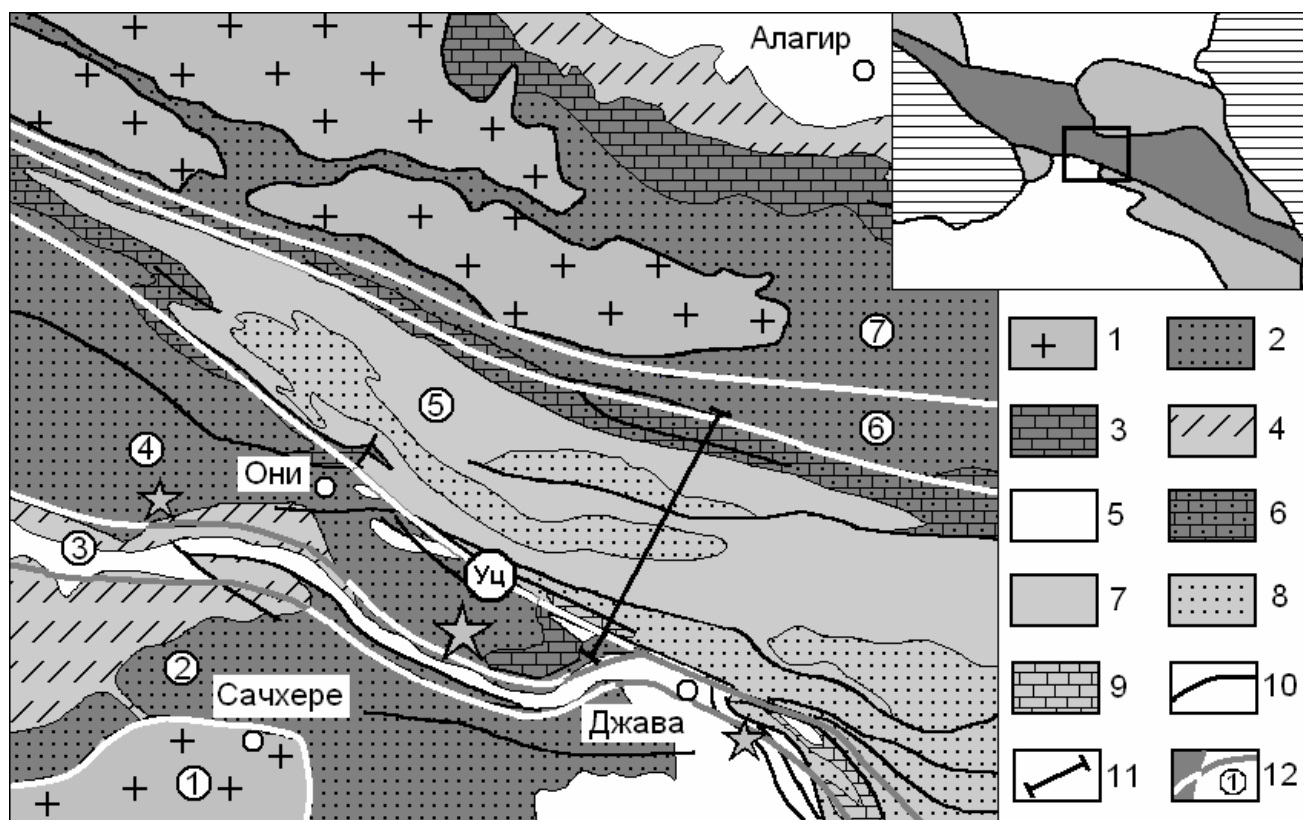


Рис. 1. Схематическая геологическая карта части Чиаурской тектонической зоны Большого Кавказа (по [1]). Карта составлена по материалам [2], тремя звездочками показаны позиции главного толчка и основных афтершоков [3]. 1 – выходы фундамента палеозойского и докембрийского возраста; 2 – отложения нижней и средней юры; 3, 4, 5 – отложения за пределами Чиаурской тектонической зоны: 3 – верхней юры, 4 – мела, 5 – палеогена–неогена; 6-9 – флишевые отложения Чиаурской тектонической зоны: 6 – верхней юры, 7 – нижнего мела (валанжсин), 8 – нижнего мела (готерив-альб), 9 – верхнего мела; 10 – разрывы, 11 – линия структурного пересечения (см. рис. 3); 12 – границы тектонических зон и их номера (1 – Дзирульский массив, 2 – Окрибо-Сачхерская зона, 3 – Рача-Лечхумская шовная зона, 4 – Гагро-Джавская зона, 5 – Чиаурская зона, 6 – Дигоро-Осетинская зона, 7 – другие зоны северного склона Большого Кавказа; Уц – Уцерский разлом)

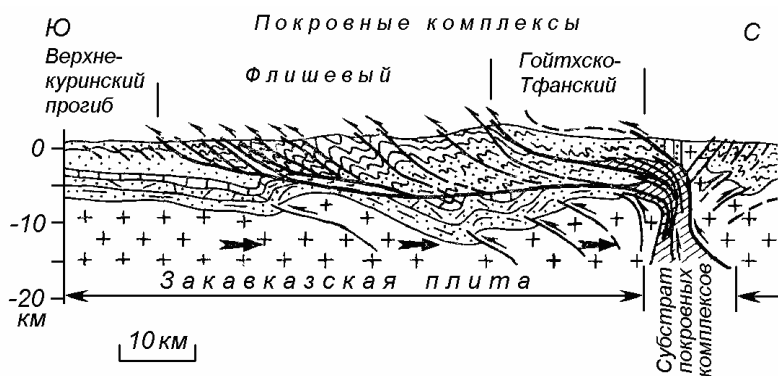


Рис. 2. «Концептуальное» пересечение через Большой Кавказ в районе Чиаурской тектонической зоны, показывающее пододвигание блоков Закавказского среднего массива как основную причину формирования структуры Большого Кавказа (по [5], с изменениями)

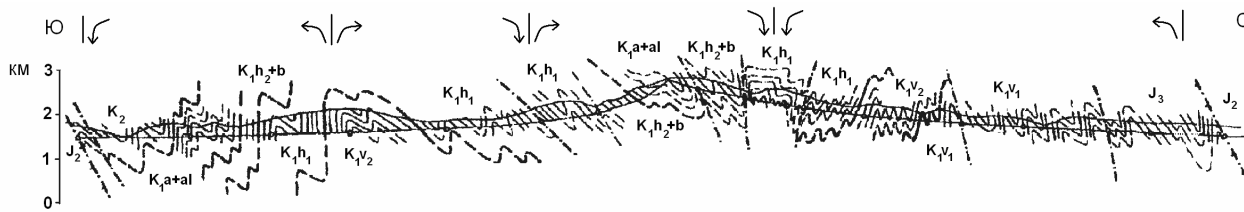


Рис. 3. Структурный разрез по пересечению р. Кешельта – р. Гинат [7], составленный по детальной геологической карте и замерам структуры в полевых условиях (см. рис. 1). Стрелками показаны границы структурных ячеек

Структура Чиаурской зоны была нами изучена в детальных маршрутах в 1976-1977 гг.; в результате построены несколько пересечений, одно из них захватывает южную и северную границы зоны (рис. 3). Для анализа деформаций и построения доскладчатого пересечения был использован метод восстановления доскладчатого состояния профиля по геометрии складчатых доменов [8]. Пересечение было разбито на 26 доменов, включая по одному в соседних зонах для определения характера и величины смещения по разломам. В доменах измерялись наклоны осевых поверхностей складок, величина укорочения по углу схождения крыльев складок, наклон зеркала складок, а также длина отрезка линии профиля и наклон отрезка. Измерялись падения поверхностей сместителей имевшихся на границах доменов разломов. Тремя операциями – поворотом, простым горизонтальным сдвигом и растяжением – каждый домен приводился к состоянию горизонтальной слоистости, внутри которой располагался отрезок линии профиля вычисленной доскладчатой длины. Полученные доскладчатые домены последовательно присоединялись друг к другу и образовывали общий доскладчатый профиль. Современная длина профиля составила около 27 км, доскладчатая – 65 км. Далее в доскладчатом профиле выделялись «структурные ячейки» от ядра локального синклиория до ядра антиклиория, длина которых примерно соответствовала общей мощности осадочного чехла. По соотношению горизонтальных сторон ячеек в современном и доскладчатом состоянии находилась величина их укорочения. Для выделенных четырех ячеек Чиаурской зоны эти величины оказались равны 0,56, 0,42, 0,40, 0,41 (рис. 4, А). Линия профиля проходила через часть основных стратиграфических подразделений, что дало возможность определить их мощности. Мощность «отслеженных» таким образом подразделений составила около 7 км из принятой для расчетов общей мощности чехла 13,5 км (среднее от крайних оценок 12 и 15 км). Колонки в 13,5 км для ячеек были «деформированы» в соответствии с найденными укорочениями и четыре структуры новой мощности были помещены на профиле так, чтобы в зону рельефа попали именно те подразделения, которые там обнажаются (рис. 4). Подошва осадочного чехла в четырех колонках образовала предположительный рельеф кровли фундамента (19, 22, 25, 17 км). Была также оценена глубина фундамента в соседней структуре Закавказского массива с учетом мощностей осадков и слабой степени деформированности; она составила 5-7 км. Оказалось, что для существования структуры, в которой средняя юра в Гагро-Джавской и Окрибо-Сачхерской зонах контактирует с верхним мелом в Чиаурской зоне через разлом, плоскость которого падает на север, необходимо, чтобы он имел характер сброса с амплитудой смещения 10-15 км по кровле фундамен-

та (рис. 4). Это означает, что фундамент Чиаурской зоны испытал такое же укорочение, как и залегающий выше осадочный чехол. Таким образом, было найдено, что не существует никаких геометрических условий для возникновения «субгоризонтального надвига» по кровле «жесткого» фундамента. Соответственно, любые модели такого типа (рис. 2) в принципе не могут быть использованы для интерпретации структуры Большого Кавказа.

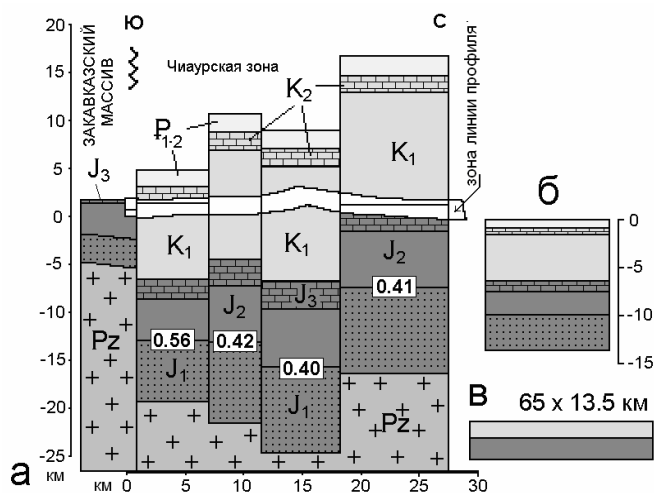


Рис. 4. Общая схема положения кровли фундамента для Закавказского массива и Чиаурской тектонической зоны (по [9], с изменениями), вертикальный и горизонтальный масштабы одинаковые. *а* – рассчитанные позиции основных стратиграфических разделов в четырех структурных ячейках и величины укорочений в них; *б* – исходные доскладчатые мощности в стратиграфической последовательности для того же вертикального масштаба, что и в *а*; *в* – показана пропорция вертикальной и горизонтальной сторон доскладчатой линзы осадочного чехла для Чиаурской тектонической зоны

Имевшиеся модели пододвигания были основаны на реально существующих надвигах, которые фиксируются, в частности, восточнее пос. Джава. В свете отрицания нами этих моделей существование надвигов требует объяснения. Если рассмотреть детально развитие зоны сочленения форланда и хинтерланда (рис. 5), то легко можно увидеть, что эти надвиги имеют локальный характер и приурочены к недеформированным блокам срединного массива, испытавшим погружение (рис. 5, Б). Заметим, что такая ситуация возможна только при деформации и масштабном погружении всей структуры, включая верхи мантии [10].

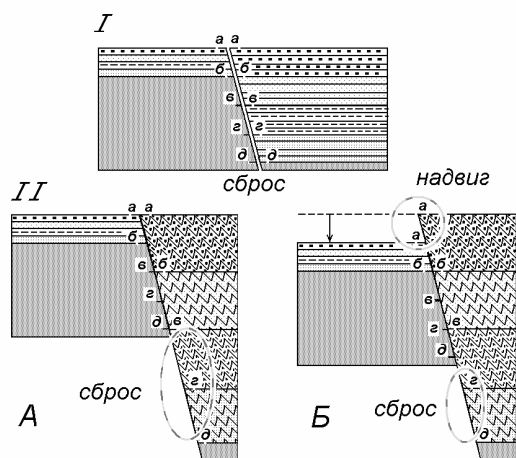


Рис. 5. Принципиальная схема соотношения структуры срединного массива и внутренней части складчатой системы (по [10], с изменениями). *I* – стадия осадконакопления, *II* – стадия складчатости, укорочение блока сопровождается увеличением его вертикального размера. Слева от разлома показан стабильный блок, справа – складчатый блок. Показаны реперные уровни (от *а-а* до *д-д*, для конца первого этапа – без смещения), позиции сбросов (*A*, *B*) и надвига (*B*)

Проведенное статистическое сопоставление параметров складчатой структуры Северо-Западного Кавказа (СЗК) с экспериментальными и теоретическими моделями типа «аккреционная призма» позволяет утверждать, что складчатость Большого Кавказа не совпадает с этими эталонами ни по одному из их важнейших признаков [11]. В эталонах существуют только моновергентные пологие надвиги; в природной складчатости существуют крупные изгибные структуры, а разломы представлены и сбросами, и надвигами. Основное сокращение в эталонах осуществляется по надвигам; в природе доля укорочения по надвигам составляет около 0,1 от общего укорочения. Найденная по 42-м ячейкам сложная поверхность кровли фундамента в СЗК не дает возможности провести единый субгоризонтальный детачмент [1]. Фундамент не «жесткий», а деформированный.

В свете представленных выше данных, пока нельзя сделать каких-либо определенных выводов о положении сместителя и о характере подвижки в очаге Рачинского землетрясения.

Существование плоскостей надвигания на юг возможно, но только в рамках ограниченных структур типа «short-cut». Они формируются при смещении по надвику небольшого блока, треугольного в разрезе, на стадии сжатия и складчатости рядом с крупным сбросом [11]. Эшелонированное расположение сейсмодислокаций [4], ряд явлений в структуре новейших и палеоразрывов, обнаруженные мантийные включения [12] указывают на существование в зоне очага землетрясения (в пределах Рача-Лечхумской зоны) крупнейшего разлома, уходящего субвертикально глубоко в земную кору и мантию, и имеющего компоненту движения по типу правостороннего сдвига в геологическом прошлом, на неотектоническом этапе и, возможно, в момент возникновения землетрясения. Для этого разлома характерна существенная деформация северного блока при неподвижности «платформенного» южного.

Ошибочность общераспространенных схем пододвигания южных блоков под Большой Кавказ и неприемлемость их использования для объяснения его структуры связаны с тем, что все они не являются сбалансированными по объемам пород осадочного чехла и величинам складчато-разрывных деформаций. Авторы таких пересечений стремились в первую очередь к их соответствию определенной геодинамической концепции, а не к отражению реальной структуры. Очень важным является также то обстоятельство, что при такой ошибочной интерпретации очага землетрясения совершенно игнорируется крупнейшая региональная субвертикальная неоднородность в строении земной коры и верхней мантии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев Ф.Л. Тектонофизические методы оценки величины конечной деформации для структур линейной складчатости разного ранга: примеры решения геотектонических задач // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН: Материалы конференции / Под ред. Ю.Л. Ребецкого. – Т. 1. – М.: Изд-во ИФЗ РАН, 2009. – С. 133-146.
2. Геологическая карта Кавказа в масштабе 1:500 000 // Под ред. Наливкина Д.В. и др. ВСЕГЕИ. – М.: Аэрогеология, 1978.
3. Арефьев С.С. Эпицентральные сейсмологические исследования. – М.: ИКЦ Академкнига, 2003. – 375 с.
4. Рогожин Е.А., Богачкин Б.М. Альпийская и новейшая тектоника района Рачинского землетрясения // Физика Земли. – № 3. – 1993. – С. 3-11.
5. Дотдугев С.И. О покровном строении Большого Кавказа // Геотектоника. – № 5. – 1986. – С. 94-106.
6. Белоусов Т.П. Рачинское землетрясение 1991 года и его проявление в рельефе Большого Кавказа. – М.: Светоч Плюс, 2009. – 208 с.
7. Яковлев Ф.Л. Диагностика механизмов образования линейной складчатости по количественным критериям ее морфологии (на примере Большого Кавказа). – М.: ОИФЗ РАН, 1997. – 76 с.
8. Яковлев Ф.Л. Реконструкция структур линейной складчатости с использованием объемного балансирования // Физика Земли. – № 11. – 2009. – С. 1023-1034.
9. 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 / Под ред. Ю.В. Карякина. – Т. II. – М.: ГЕОС, 2006. – С. 411-415.
10. Яковлев Ф.Л. Владимир Владимирович Белоусов и проблема происхождения складчатости // Геофизические исследования. – № 1. – 2008. – С. 56-75.
11. Yakovlev F. Experience of faults typology in linear folding and statistic study of their system based on results of balancing sections for North-West Caucasus // Geophysical Research Abstracts. EGU2011-8185. – Vol. 13. – 2011.
12. Белоусов Т.П., Богачкин Б.М., Геншафт Ю.С., Копылова М.Г., Чичагов В.П., Яковлев Ф.Л. Первая находка мантийных ксенолитов в магматических породах Большого Кавказа // Доклады АН. – № 6. – 1992. – С. 1146-1151.

Проблемы сейсмотектоники: Материалы XVII Международной конференции 20-24 сентября 2011 года / Под ред. акад. А.О. Глико, д.г.-м.н. Е.А. Рогожина, д.г.-м.н. Ю.К. Щукина, к.г.-м.н. Л.И. Надежка. – Москва, 2011. – 590 с.

Тематика конференции

1. Юбилейные даты и геологические события.
2. Геолого-тектонические основы региональной сейсмотектоники.
3. Геофизическая основа сейсмотектонических построений и решений.
4. Тектонические решения для сейсмотектонических задач и построений.
5. «Живая» тектоника – новейшая тектоника и современное движение земной коры. Современная геодинамика.
6. Региональная сейсмотектоника.
7. Сейсмотектоника очагов сильных землетрясений в разных структурно-тектонических и геодинамических ситуациях.
8. Геолого-геофизическая фактологическая основа для сейсмотектонических построений разной детализации.
9. Сейсмотектоника в задачах практической геологии. Инженерная геодинамика.
10. ГИС в сейсмотектонических построениях и прогнозе активных процессов в геологической среде.
11. Внешние воздействия в эндогенные процессы в эволюционно изменяющейся среде.
12. Мониторинг сейсмотектонических процессов и явлений в среде формирования очагов землетрясений методами геологии, геофизики, геохимии, гидрогеологии, геодезии и др.
13. Сейсмотектоника в задачах оценки сейсмической опасности.

Материалы конференции подготовлены при финансовой поддержке РФФИ (грант №11-05-06072-г), Геофизической службой РАН, Воронежского государственного университета.

Подготовка оформления и тиражирование электронной версии сборника материалов конференции осуществлены сотрудниками Воронежского государственного университета и лаборатории СМ ВКМ Геофизической службы РАН при поддержке ИФЗ РАН и ИГД РАН.

Сборник выполнен с авторских оригиналов с незначительными редакторскими правками.

Отв. за выпуск: Л.И. Надежка, Ю.К. Щукин
Корректоры: М.А. Ефременко, К.Ю. Силкин, Т.Б. Силкина
Макет диска: К.Ю. Силкин
Компьютерная верстка: Т.Б. Силкина

Фото: Первая Международная Сессия Научного Совета Сейсмологического института АН СССР, 2-8 сентября 1931 года